Ministry of Education and Science of Ukraine
Odessa National University of Technology
Vinnytsia National Technical University
P.N. Platonov Institute of Computer Engineering, Automation, Robotics and Programming

INFORMATION TECHNOLOGIES AND AUTOMATION– 2025

PROCEEDINGS
OF THE XVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

OCTOBER 30-31, 2025

Odesa

НТБОНТУ

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Інститут комп`ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім.П.Н.Платонова

«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І АВТОМАТИЗАЦІЯ – 2025»

МАТЕРІАЛИ
XVIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

30-31 ЖОВТНЯ 2025 р.

м.Одеса

НТБОНТУ

ПРЕЗИДІЯ ТА ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ
ПРЕЗИДІЯ

Іванченкова Л.В. – Ректор Одеського національного технологічного університету, д.е.н., професор
Єгоров Б.В. – Радник ректора, академік НААН України, д.т.н., професор
Ольшевська О.В. – Проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків ОНТУ, к.т.н., доцент
Ревенюк Т.А. – В.о. директора Навчально-наукового інституту комп`ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ОНТУ, к.т.н., доцент

ОРГКОМІТЕТ

Котлик С.В. – голова оргкомітету, к.т.н., доц., доцент кафедри Інформаційних технологій та кібербезпеки ОНТУ
Хобін В.А. – заступник голови оргкомітету, д.т.н., проф., професор кафедри АТПтаРС ОНТУ
Соколова О.П. - секретар оргкомітету, старший викладач кафедри Інформаційних технологій та кібербезпеки ОНТУ

ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ

Panagiotis Tzionas, prof. (Thessaloniki, Greece)
Qiang Huang, prof. (Los Angeles C.A., USA)
Yangmin Li, prof (Macao, China)
Артеменко С.В., проф., (Одеса, Україна)
Романюк О.Н., проф. (Вінниця, Україна)
Грабко В.В., проф. (Вінниця, Україна)
Жученко А.І., проф. (Київ, Україна)
Ладанюк А.П., проф. (Київ, Україна)
Лисенко В.Ф., проф. (Київ, Україна)
Любчик Л.М., проф. (Харків, Україна)
Палов І., проф. (Русе, Болгарія)
Стовкова В.Д., доц. (Тракия, Болгарія)
Суслов В., доц. (Кошалін, Польща)
Артем'єв П., проф. (Ольштин, Польща)
Судацевські В., доц. (Кишинів, Молдова)
Аманжолова С., доц. (Алмати, Казахстан)

НТБ ОНТУ

УДК 004.01/08

Інформаційні технології і автоматизація – 2025 / Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 30-31 жовтня 2025 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2025 р. – 1316 с.

Збірник включає матеріали доповідей учасників конференції, які об'єднані за тематичними напрямками конференції.

Збірник буде корисним як для фахівців і працівників фірм, зайнятих в області IT та автоматизації, так і для викладачів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямами і спеціальностями програмного забезпечення, обчислювальної техніки і автоматизованих систем, прикладної математики та обробки інформації, буде корисним професіоналам з комп'ютерного моделювання та розробки комп'ютерних ігор.

Результати досліджень у збірнику представляють собою своєрідний зріз сучасного стану справ в перерахованих галузях знань, який може допомогти як фахівцям, так і студентам університетів скласти загальну картину розвитку інформаційних технологій та пов'язаних з ними питань.

Наукові праці згруповані за напрямками роботи конференції та наведені в алфавітному порядку прізвищ авторів.

Матеріали (тези доповідей) друкуються в авторській редакції. Відповідальність за якість та зміст публікацій несе автор.

Матеріали подано українською та англійською мовами.

Головний редактор збірника Сергій Котлик

©Одеський національний технологічний університет, 2025

НТБ ОНТУ

UDC 004.01/08

Information Technologies and Automation - 2025 / Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference. Odessa, October 30-31, 2025. - Odessa, ONUT Publishing House, 2025 – 1316 p.

The collection includes materials of reports of conference participants, which are united by thematic areas of the conference.

The collection will be useful for professionals and employees of companies engaged in the field of IT, as well as for teachers, masters and students of higher education institutions studying in the areas and specialties of computer software and automated systems, applied mathematics and information processing, will be useful to professionals on computer modeling and development of computer games.

The results of research in the collection are a kind of slice of the current state of affairs in these areas of knowledge, which can help both professionals and university students to get a general picture of the development of information technology and related issues.

Scientific papers are grouped by areas of the conference and are listed in alphabetical order of the authors.

Materials (abstracts) are published in the author's edition. The author is responsible for the quality and content of publications.

Materials are submitted in Ukrainian and English.

Editor-in-Chief of the collection Sergii Kotlyk.

© Odessa national university of technology 2025

НТБ ОНТУ

ПРОБЛЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

- ***МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ***
- ***УПРАВЛІННЯ, ОБРОБКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ***
- ***АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ***
- ***НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ***
- ***ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ***
- ***КОМП'ЮТЕРНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***
- ***ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ***
- ***КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ І WEB-ДИЗАЙН***
- ***БІБЛІОМЕТРИКА. ІНФОРМАТИЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО, НАУКОВОГО, ДОСЛІДНОГО ПРОЦЕСІВ***
- ***ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ***
- ***3D МОДЕЛЮВАННЯ ТА 3D ДРУК***

PROBLEMS OF THE CONFERENCE

- ***MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION OF COMPLEX PROCESSES***
- ***MANAGEMENT, PROCESSING AND PROTECTION OF INFORMATION***
- ***AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES***
- ***NEW INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION***
- ***DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS AND SOFTWARE COMPLEXES***
- ***COMPUTER TELECOMMUNICATION NETWORKS AND TECHNOLOGIES***
- ***ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUTOMATION OF ROBOTIC SYSTEMS***
- ***COMPUTER GAMES AND WEB DESIGN***
- ***BIBLIOMETRIC. INFORMATIZATION OF EDUCATIONAL, SCIENTIFIC, RESEARCH PROCESSES***
- ***INFORMATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE***
- ***3D MODELING AND 3D PRINTING***

НТБОНТУ

ПЕРЕДМОВА

Осінь в Одесі цього року видалася не лише сонячною, а й науковою. 30–31 жовтня 2025 року в Одеському національному технологічному університеті відбулася XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та автоматизація – 2025», яка об'єднала дослідників з України та зарубіжжя у дистанційному форматі. Попри складні умови, у яких живе та працює країна, вітчизняна наука не просто зберігає свій поступ — вона продовжує розвиватися, об’єднуватися, знаходити нові форми співпраці та демонструвати світу, що українські науковці здатні створювати нові технології та інновації навіть у турбулентні часи. Конференція проходила онлайн на платформі ZOOM і зібрала рекордну кількість учасників.

Проведення подібних заходів у воєнних реаліях — не просто організаційне досягнення. Це підтвердження того, що в Україні зберігається інтелектуальне середовище, здатне продукувати нові ідеї, підтримувати наукові дискусії та формувати траєкторії майбутнього розвитку технологій. Сучасні інформаційні системи, методи автоматизації, прикладна інформатика, робототехніка, моделювання складних процесів, штучний інтелект, телемедицина, цифрова освіта — усі ці напрями продовжують активно зростати та інтегруватися у виробничі, соціальні та гуманітарні контексти.

У конференції взяли участь 883 науковця (!) з 116 організацій (!), зокрема з шести зарубіжних університетів та фірм із Казахстану, Китаю, Грузії, Німеччини та США. Цей широкий спектр представництва свідчить про незмінний інтерес міжнародної спільноти до українського наукового середовища та високий рівень матеріалів, які традиційно готує конференція ІТІА. Усього було подано 577 тез, що стало новим рекордом за всю історію проведення конференції (рис.1). Серед учасників конференції було 48 докторів наук, професорів та 202 кандидата наук і PhD. Своїми дослідженнями захотіли поділитися директори інститутів, експерти, провідні наукові співробітники, 26 завідувачів кафедр ВНЗ. Поряд із маститими вченими участь у конференції взяли більше двохсот студентів та 73 аспіранта.

У центрі уваги — практичні, експериментальні та теоретичні роботи, які демонструють нові підходи до створення інформаційних систем, оптимізації технологічних процесів, аналізу даних, розроблення моделюючих платформ, впровадження штучного інтелекту в реальні виробничі сценарії. Молоді дослідники подали свої перші результати, викладачі представили нові напрацювання, а досвідчені науковці презентували завершені й польові дослідження, що мають прикладне значення для промисловості, освіти та безпеки.

Декілька слів про те, як конференція "Інформаційні технології та автоматизація", яку проводить Одеський національний технологічний університет вже у вісімнадцятий раз, набирала потужність за останні роки - продемонструємо це цифрами. На рис.1 представлені надіслані на адресу оргкомітету конференції доповіді та тези щодо років проведення конференції. На гістограмі видно поступове збільшення кількості доповідей, також добре видно обвал у 2022 році, що вочевидь пов'язано з широкомасштабними воєнними діями, які змушена була вести Україна. Також добре проглядається пік доповідей у поточному році, причини цього ще треба проаналізувати.

Рис. 1 - Доповіді (тези) на конференціях ІТІА по роках

На рис.2 показано кількість учасників конференції, які надіслали свої доповіді та виступили на тих чи інших засіданнях. Ті ж самі піки та провали на гістограмі, що й у попередній інформації. Однак видно, що за 8 років з 2018 року кількість учасників збільшилась більш ніж удесятеро.

На рис.3 показано кількість організацій, співробітники яких брали участь у конференціях. Якісний розкид показників у цих організаціях величезний – здебільшого, звичайно, це ВНЗ України, але чимало наукових організацій, шкіл, коледжів, навіть представники діючих підприємств у нас виступали з науковими доповідями. Також на слайді видно дуже різке збільшення кількості організацій-учасників за останні роки, що, звісно, свідчить про підвищення рейтингу конференції.

Рис. 2 - Кількість учасників на конференціях ITIA по роках

Рис. 3 - Кількість організацій на конференціях ITIA по роках

Цікаво проаналізувати характеристики поточної конференції, на їх основі можна робити деякі висновки щодо стану науки у заявлених напрямках по Україні. Наприклад, на рис.4 показано кількість доповідей та тез по різних секціях конференції ITIA у 2025 році. Найбільше тез подано у секції «Проєктування інформаційних систем та програмних комплексів» — 163, що підтверджує провідну роль програмної інженерії в IT-науці. Далі йдуть «Штучний інтелект та автоматизація робототехнічних систем» (135) і «Управління, обробка та захист інформації» (119) — напрями, що формують сучасну технологічну парадигму, орієнтовану на автоматизацію, аналітику й безпеку даних. Помітним є також інтерес до автоматизації технологічних процесів, математичного моделювання та освітніх IT, що вказує на міждисциплінарність досліджень. Адже ще нещодавно на цій же конференції переважали прихильники Комп'ютерних ігор та 3-D принтерів. Загалом тенденції засвідчують зміщення акцентів у бік інтелектуалізації, автоматизації та захисту інформації, що відповідає світовим трендам цифрової трансформації.

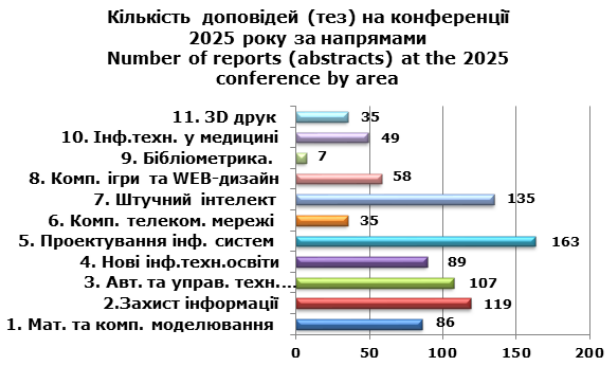


Рис. 4 - Кількість доповідей (тез) на конференції 2025 року за напрямами

На рис.5 показані найактивніші організації цього року у плані кількості надісланих на розгляд доповідей та тез. Тут лідирує один із організаторів конференції – Вінницький

Національний Технічний Університет, високий ступінь участі у Харківського політехнічного университету, ХНУРЕ, ОНТУ и так далі.

Найбільш активні ВНЗ на конференції 2025 року
The most active universities at the 2025 conference

Вінницький Національний Технічний Університет	41
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	38
Харківський національний університет радіоелектроніки	24
Одеський національний технологічний університет	22
Національний університет «Львівська політехніка»	22
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна	19
Національний університет "Одеська політехніка"	18
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України	16
Київський національний університет імені Тараса Шевфченка	16
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара	14
Національний університет «Запорізька політехніка»	13
Український державний університет науки і технологій	12
Державний податковий університет	10
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»	10
Центральноукраїнський національний технічний університет	10

Рис. 5 - Найбільш активні ВНЗ на конференції 2025 року

Підсумовуючи представлені дані, можна впевнено сказати: конференція ITIA-2025 стала не просто ще одним науковим заходом, а справжнім індикатором стану й напрямів розвитку української IT-науки. Рекордна кількість учасників, установ та тез свідчить про те, що попри всі труднощі країна не втрачає науковий потенціал, а навпаки — розширює його. Тематика поданих робіт показує чітке зміщення акцентів у бік штучного інтелекту, безпеки даних, автоматизації та проєктування інформаційних систем — саме тих сфер, які формують фундамент цифрової трансформації. Зростання інтересу до цих напрямів підтверджує адаптивність української науки до глобальних викликів і технологічних трендів.

Конференція продемонструвала також потужну географічну присутність та міждисциплінарність підходів, що говорить про підвищення рейтингу заходу й формування стійкої міжнародної наукової спільноти навколо нього. У цілому ITIA-2025 засвідчила: українська наука жива, динамічна і здатна продукувати конкурентні дослідження навіть у найскладніших умовах, а значить — тримаємо курс правильно.

Цей збірник — не просто традиційна публікація матеріалів конференції. Це свідчення того, як наука продовжує жити, розвиватися, обмінюватися ідеями та підтримувати один одного в період, коли це особливо важливо. Ця щорічна конференція Одеського національного технологічного університету — не лише подія, а й символ стійкості, єдності, інтелектуальної незламності та віри в розвиток технологічного майбутнього України. Її цінність — не лише в темах доповідей, але й у тому, що вона створює простір для комунікації, взаємної підтримки та народження нових спільних проєктів. Такі зустрічі об’єднують людей, які працюють у різних містах, університетах і наукових школах, але мають спільне бачення: розвиток країни через інновації, аналіз даних, моделювання процесів, підвищення ефективності виробництва, створення нових технологічних рішень.

Матеріали цієї збірки надруковано в авторській редакції, згруповано відповідно до тематичних напрямів конференції та подано в алфавітному порядку прізвищ авторів. Кожен розділ демонструє як широту, так і глибину сучасних наукових досліджень, що виконуються в Україні та за її межами.

Оргкомітет висловлює вдячність усім учасникам конференції — за їхню активність, відповідальність, нестримне прагнення до розвитку та невтомну працю, яка продовжує утверджувати імідж України як держави з потужним науковим потенціалом. Висловлюємо подяку партнерам, інституціям, колегам, які підтримали захід та зробили його можливим.

Бажаємо всім авторам плідних наукових результатів, нових відкриттів, натхнення та мирного неба. Нехай наступні конференції стануть ще масштабнішими й принесуть ще більше цікавих ідей, рішень та наукових перемог.

Організаційний комітет конференції ITIA-2025

ЗМІСТ
CONTENT

Передмова	7
Список організацій, представники яких взяли участь у роботі конференції	44
РОЗДІЛ 1. МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ	47
MATHEMATICAL MODELS OF FUNCTIONING OF PIPELINE SYSTEMS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF CITIES. Dyadun S.V., Strukov V.M. V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)	47
MODELING OF DYNAMIC VALUE CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES. Ishchenko P.P., Hryhorenko A.O., Usov D.D., Lymar O.O., Marchenko D.D.Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)	49
BLOCKCHAIN-ENABLED MATHEMATICAL MODELLING OF URBAN PASSENGER TRANSPORT. Khoshaba O., Zora I. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	51
ANALYSIS OF INTELLECTUAL DATA ANALYSIS METHODS FOR EVALUATING USER BEHAVIOUR. Koliesnik D. Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (Ukraine)	54
MAPPING ONLINE BEHAVIOR OF UKRAINIAN STUDENTS THROUGH K-MEANS CLUSTERING. S. V. Kotlyk, O. P. Sokolova, Y. V. Voronkova, L.K.Yadovin. Odesa National University of Technology, Odesa Technical Professional College of ONUT (Ukraine)	56
MULTISCALE PERCOLATION AND FORCE FIELDS ON SIERPINSKI PREFRACTALS: A MULTIPLICATIVE MEASURE APPROACH. Yu.V. Kryvchenko, A.S. Zhadan, A.A. Kryvchenko. Separated Structural Subdivision «Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology» (Ukraine)	58
MODEL OF THE DYNAMICS OF FINELY GROUND ORE MATERIAL DURING CRUSHING. Morkun V.S., Hryshchenko Y.O. Kryvyi Rih National University, Vladimir Dal East Ukrainian National University (Ukraine)	61
FUEL ECONOMY CALCULATION RESULTS GAS ENGINE BY CYCLE PREHEAT AND START-UP ON A MATHEMATICAL MODEL IN APPLICATION COMBINED HEATING SYSTEMS. Palamarchuk V.Y., Shutsman T.A., Oliynyk M.V., Lymar O.O., Marchenko D.D. Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)	62
MODELING OF WORKING PROCESSES OF ENGINES OPERATING ON GASEOUS FUELS.Petrushenko D.O., Kaftan V.D., Lymar O.O., Marchenko D.D. Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)	65
ЛОГІКО-ЙМОВІРНІСНЕ ТРАЄКТОРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО УПРАВЛІННЯ. Pryymak Nazar, Zhuk Yurii, Horodetska Yaryna. Lviv Polytechnic National University (Ukraine)	667
SYNTHESIS OF A POSITIONING CONTROL SYSTEM FOR A STOCHASTIC MULTIDIMENSIONAL AIRCRAFT MOTION SIMULATION PLATFORM. Sieliukov Oleksandr, Enbo Yang. School of Aerospace Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an (China)	70
EFFICIENCY OF KADEMLIA DHT IN PRACTICE. Yezhkova A.G., Kichmarenko O.D. Odesa I.I.Mechnykov National University (Ukraine)	72
PIPELINE-NATIVE MODELS FOR DETECTING AND MINIMISING FLAKY TESTS. Antonkin V., Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	74
ІНКРЕМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЛІЄНТСЬКОЇ ПОВЕДІНКИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ЛОЯЛЬНІСТЮ. Бабіч І.К., Орловський Д.Л. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	77
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ДІМ» ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ. Березенська С. М., Печеневська О. О. Харківський радіотехнічний фаховий коледж (Україна)	80

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ НАВАНТАЖЕННЯ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ. Борщевський В.В., Ушкаренко О.О. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	82
МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОСТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У НАНОПОЛІМЕРАХ. Вавринюк А. М. Криворізький державний педагогічний університет (Україна)	84
ПАРАЛЕЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ СТЕПЕНЕВОГО МЕТОДУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ Web-СТОРІНОК. Вербіцький В.В., Корнійчук І. Г. Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)	87
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ.Власенко О.В., Рябова Є.В. Державний університет «Житомирська політехніка» (Україна)	88
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОЗПЛАВІВ, ЩО МІСТЯТЬ Mn, Fe, Co, Ni І Cu. Гончаров І.О.[1], Міщенко Д.Д.[1], Богаченко О.Г.[1], Судавцова В.С.[2] [1]Інститут електрозварювання імені Євгена Патона НАНУ (Україна), [2]Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ (Україна)	90
ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ЯК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СКЛАДОВА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ. Гуджуманюк К.С., Подорожняк А.О., Баленко О. І. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"(Україна)	91
ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДОПОМОГИ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ. Денисюк С. С. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	93
ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КООРДИНАЦІЇ ГРУПИ БПЛА В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ. Дерев'янко Є.М. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	95
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ МАЛЬМКВІСТА. Долгіх Я.В. Сумський національний аграрний університет (Україна)	98
NEURAL NETWORK MODELING IN PYTHON FOR APPROXIMATING COMPLEX FUNCTIONAL DEPENDENCIES. Doroshenko D. "Gymnasium 12" Kamianske, Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)	99
ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. Зощак Л.М. Івано-Франківська філія Університету «Україна» (Україна)	101
АНСАМБЛЕВА ІНТЕГРАЦІЯ РІШЕНЬ В МОДЕЛІ РЕСУРСНОГО ІНДИКАТОРУ БЕЗПЕКИ ІНТЕРЕСІВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОЇ МЕТРИКИ ЯКОСТІ. Ільїна О.П., Скибик С.Я. Інститут програмних систем НАН України (Україна)	103
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ДЕТЕКЦІЇ НЕВІДОМИХ АТАК У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ. Ісмагілов А. І. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	106
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ЛІКВІДУСУ І СОЛІДУСУ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ Fe-Mn-Si-Ti ТА ЇЇ ПІДСИСТЕМ. Каверинський В. В., Судавцова В.С. Інститут проблем матеріалознавства НАН України (Україна)	109
ВИКОРИСТАННЯ WOLFRAMALPHA ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОШУКУ ЕКСТРЕМУМІВ У ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ. Карнашенко А.С., Франчук Н.П. Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)	112
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ БАГАТОРІВНЕВИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ. Коваленко К. А., Гладченко О. В. Державний податковий університет (Україна)	115
КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ. Ковальчук Д.М. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)	116
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ АНТИАЛІАСИНГУ. Колодій В.В., Романюк О.В.	118

Вінницький національний технічний університет (Україна)	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ ХИБНО ЗАХИЩЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ. Колчин О.В., Руденко Д.Б. Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України	120
ПРИНЦИП РОБОТИ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ ІНТЕРНЕТ-ТРАФІКУ. Корецький В.А. Сумський національний аграрний університет (Україна)	122
МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ CASE-СИСТЕМ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ ПЛАТФОРМ. Корнієнко О. О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	124
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ У ГРАФЕНОВИХ КВАНТОВИХ ТОЧКАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Коротиш В.О. Криворізький державний педагогічний університет (Україна)	126
ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ОБОРОННОГО ПЛАНУВАННЯ. Лактіонов О.І. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Україна)	129
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЛОБАЛЬНИХ ТА ЛОКАЛЬНИХ ОПТИМУМІВ У ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ. Литвиненко О. Є., Кашкевич С.О. Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)	131
ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВАРТОСТІ АКЦІЙ НА ОСНОВІ LSTM-МЕРЕЖ ТА СЕНТИМЕНТ-АНАЛІЗУ НОВИН. Маковій А.С., Лютенко І.В. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	133
ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГРУП СТУДЕНТІВ У ОСВІТНІХ ДАНИХ. Матвійчук О., Мамчич Т. І. Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)	134
ЗАДАЧА ЗАСТОСУВАННЯ НИЗКИ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ ТА КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА. Мельников О. Ю., Малюкін О. В. Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)	136
APPLICATION OF SIR MODELS TO PREDICT THE SPREAD OF CONTENT ON SOCIAL NETWORKS USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES. Mysiuk I.V. Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)	139
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАПОВНЕННЯ РІДИНОЮ РЕЗЕРВУАРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ. Михайлов А. Г. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	140
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІКИ FPV-ДРОНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB GUI ТА КВАТЕРНІОННОГО ІНТЕГРАТОРА. Нікулін С. С., Заболотний О. В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	142
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Оліярник Т. І. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	145
МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ХІМІЧНОМУ АНАЛІЗІ ТА РОЗПІЗНАВАННІ РЕАКТИВІВ. Павленко Р.О. Сумський національний аграрний університет (Україна)	147
МЕТОД ІНТЕРЛІНАЦІЇ ДЛЯ 3D РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЯЖКИХ МЕТАЛІВ: МОДЕЛЬ, ВАЛІДАЦІЯ ТА ПОРІВНЯННЯ З МЕТОДАМИ ШЕПАРДА. Першина Ю.І., Ковтун А.В. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	149
ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ КОНВЕЄРНОГО ПОЇЗДА. Поляков В. О. Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)	151
МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНТРОПІЇ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СЕНСОРНИХ ДАНИХ. Поперешняк С.В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	154
МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕГАУСІВСЬКИХ	157

ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ НОРМАЛІЗУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ. Приходько С.Б. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна), Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ. Прищепа В.О., Задорожній А.О. Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)	158
АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДОМАШНЬОГО СЕРВІСУ З РЕЙТИНГОВОЮ СИСТЕМОЮ МАЙСТРІВ. Прищепа В.О., Кудерметов Р.К., Грушко С.С. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	160
3W-КЛАСИФІКАЦІЯ ДОРОЖНІХ СЦЕН НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ ГРАНУЛЯРНИХ ПРАВИЛ. Прус Б.В., Ракитянська Г.Б. Вінницький національний технічний університет (Україна)	162
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ІОТ-СИСТЕМ РОЗУМНОГО ПАРКУВАННЯ. Расенко В.Ф., Грушко С.С., Тіменко К.І. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна), Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)	164
ПОБУДОВА СХЕМ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ. Романовська І.О. Харківський радіотехнічний фаховий коледж (Україна)	167
СИСТЕМА ПІДТРИМКИ, ПОБУДОВИ, ТЕСТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ. Рувінська В. М., Жупікова В.Є. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	170
РОЗРОБКА ПРОЕКТА МОДУЛЯ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ З ІНВЕСТИЦІЙ. Рудніченко М. Д., Шведов Д. В. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	172
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МУЗИЧНОГО СИНТЕЗАТОРА У ФОРМАТІ VST-ПЛАГІНУ. Сентюрін Є.Є.,Ткаченко О. М. Вінницький національний технічний університет (Україна)	174
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТОРГОВИХ СТРАТЕГІЙ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МІКРОСТРУКТУРИ РИНКУ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ. Сербинов Я.С., Селіванова А.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	176
МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ КОНКУРЕНЦІЇ. Сивицький Ю. І. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	177
СЕГМЕНТАЦІЯ ПОВЕРХНІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРИВНИХ СПЛАЙНІВ. Славік О. В., Будім В. П. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	180
ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ О. М. ЛИТВИНА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ ЗА ВІДОМОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ ПРО НЕЇ НА ПІДОБЛАСТЯХ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ. Славік О. В., Сердюков А. А. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	182
INTEGRATED MODELS AND METHODS FOR DYNAMIC PRICING AND QUEUE MANAGEMENT IN AMUSEMENT PARKS. Slobodyanuk V., Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	184
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ ПІДХОДІВ. Сохацький А.В. Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України (Україна)	186
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕРВАЛЬНИХ ПОВТОРЕНЬ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЛЕКСИКИ. Ткаченко Д. Р. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	189
МОДЕЛЮВАННЯ СМАРТПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ. Удачина К. О.,Підгорна К. Д., Підгорний В. О. Український державний університет науки і технологій (Україна)	191
ПЛАНУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ СЦЕНАРІЇВ ВЗАЄМОДІЇ В ІНТЕРФЕСАХ	192

ИТЕОТУ

ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ. Федорчук Є., Федорчук Р. Національний університет «Львівська Політехніка» , Шайда Ю. Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)	
BASIC PROVISIONS FOR DEVELOPING AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING MICROCLIMATE PARAMETERS IN INDUSTRIAL PREMISES. Fesenko A.O., Sotnik S.V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	194
JUSTIFICATION FOR THE SELECTION OF THE SIZE OF THE BALL LOAD FOR ENERGY-EFFICIENT ORE GRINDING. Khlebnikov M., Matsui A., Tkachenko A. Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)	197
SOLUTION OF SOME OPTIMISATION PROBLEMS IN THE DEVELOPMENT OF CENTRALISED AND DECENTRALISED DISTRIBUTED SYSTEMS. Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	199
A QUEUEING-DRIVEN CONTROLLER FOR MEMPOOL, BLOCK FULLNESS AND TAIL LATENCY. Khoshaba O., Bystryk M. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	202
ДОСЛІДЖЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗПЛАВІВ ТРИКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ Al–Mg–Si Ge, Sn, Pb . Царюк Д.В.[1], Носенко В.К.[1], Носенко А.В.[1], Кудін В.Г.[2], Романова Л.О.[3], Судавцова В.С.[3] [1]Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАНУ (Україна), [2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна), [3]Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ (Україна)	205
CLUSTERING-BASED INTELLECTUAL ANALYSIS OF SMART CONTRACT DATA IN BLOCKCHAIN-ORIENTED SOCIAL NETWORKS. Tsudzenko Y.Y. Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)	207
ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ РИЗИКІВ ЗА ПРІОРИТЕТАМИ. Шаповалов Б.Д., Коробейнікова Т.І., Журавель І.М. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	209
ОСОБЛИВОСТІ ПРОБЛЕМАТИКИ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ РИЗИКІВ В СЛАБОСТРУКТУРОВАНИХ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ ВЕЛИКОГО ОБСЯГУ. Шведов Д. В., Рудніченко М. Д. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	212
РОЗДІЛ 2. УПРАВЛІННЯ, ОБРОБКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ	215
ARCHITECTURE OF A VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM BASED ON EDGE COMPUTING FOR REAL-TIME OBJECT MOTION DETECTION TASKS. Bahatskyi Oleksii. V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences (Ukraine)	215
INTELLIGENT APPROACHES TO SECURE CODING IN RUST: A STATE-OF-THE-ART REVIEW. Erik-Nazir Daut. Astana IT University, School of Intelligent Systems (Kazakhstan)	217
LIGHTWEIGHT ENTERPRISE AND SECURITY APPROACH TO SUPPORT INTEGRITY AND EXTENSIBILITY IN INFOSEC. Hasilin D.L., Zhuravel I.M. “Lviv Polytechnic” National University (Ukraine)	219
METHODS AND GPU -BASED MEANS FOR ACCELERATED IMAGE ENCRYPTION USING CHAOTIC CODING. Nechyporuk M.L., Luzhetskyi V.A., Maidanyuk V.P., Romanyuk O.N. , Stakhov O.Ya. Vinnytsia National Technical University (Ukraine)	222
SAFEGUARDING THE CLOUD: ASYMMETRIC ENCRYPTION APPROACHES. Strashnov Vitalii, Martynovych Larysa. Odesa I.I. Mechnikov National University (Ukraine)	224
APPLICATION OF BLOCKCHAIN METHODS IN TRANSPORT TECHNOLOGIES. Zora I. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	227
АЛГОРИТМ ДИНАМІЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОМІТОК НА КАРТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА ДЕТАЛІЗАЦІЇ. Олександр Антоненко , Ганна Михальчук.(Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	228
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЛЯЦІЙНИХ ТА НЕРЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ. Біленький О.В., Романюк О.В. Вінницький національний технологічний університет (Україна)	230
МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ. Бова Ю.В. Інститут програмних систем	232

Національної академії наук України (Україна)	
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗБЕРІГАННЯ РОЗРІДЖЕНИХ ДАНИХ. Бульба С.С., Сизоненко А.С. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	234
ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ. СТОРЧАК А.С, БУРДЕЙНИЙ А.О. Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Україна)	235
ВРАЗЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ Вавіленкова А.І. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	237
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ І НАДІЙНОСТІ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ІОТ-СИСТЕМ Войтович В. І., Лис Р. М. Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)	239
DATAOPS ЯК КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ. Гавадзин А.П., Вовк Р.Б. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)	241
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ У СКЛАДІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ. Гаврилюк Ю.О. ВСП «Фаховий коледж промислової автоматики Одеського національного технологічного університету» (Україна)	244
МІЖНАРОДНІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ПЛАТФОРМИ: ІМПЕРАТИВ СТІЙКОСТІ МІЖНАРОДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН В ЕПОХУ BANI. Геля Є. К., Гончаренко О. В. Державний торговельно-економічний університет (Україна)	245
УПРАВЛІННЯ КЛЮЧОВОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ В КАСКАДНИХ СИСТЕМАХ ПОТОКОВИХ ШИФРІВ. Главчев М.І., Главчева Ю.М., Гавриленко С.Ю. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	247
ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ЗНИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА МАГНІТНИХ НОСІЯХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ. Главчев М.І., Панченко В.І. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	250
CRITERIA FOR THE SELECTION AND THE PRINCIPLE OF STRUCTURAL DIVERSITY IN STREAM CIPHER CASCADING. Maksym Glavchev, Volodymyr Panchenko, Yehor Bulykin. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)	252
УПРАВЛІННЯ, ОБРОБКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВЕБ-САЙТАХ ТА ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ. Гладкоскок О. М. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	255
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ. Гладченко О.В., Мітла М.О. Державний податковий університет (Україна)	256
ПРЕДСТАВЛЕННЯ (VIEWS) У СУЧАСНИХ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ДАНИХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ, БЕЗПЕКИ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ. Гловин Н.А., Вовк Р.Б. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)	258
МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ВТОРГНЕНЬ НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ ПРАВИЛ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ. Горбатов В.С., Журба А.О. Український державний університет науки та технологій (Україна)	261
ПЕРСПЕКТИВИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕНЬ. Граняк В.Ф. Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського (Україна)	263
МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПОРУШЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЇ. Гураль В.С., Зубрович Р.Е., Савка Н.Я. Західноукраїнський національний університет (Україна)	266
СЕРВІС ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Дорошук А. О., Тройніна А. С., Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	267
МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ КОНТЕНТУ ТА РЕАКЦІЙ АУДИТОРІЇ В TELEGRAM. Іванюк О. І. Український державний університет залізничного транспорту	269

(Україна)	
ЕВОЛЮЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ РЕФАКТОРИНГУ ТА ЇЇ АДАПТАЦІЯ ДО ОНТОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ. Карповський Д.О, Шинкаренко В.І. Український державний університет науки та технологій(Україна)	271
ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГРОЗ І ФРЕЙМОВОРКИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ПІДПРИЄМСТВА. Кіщак М.М. Коробейнікова Т.І. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	272
АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ СМАРТКОНТРАКТІВ НА ПЛАТФОРМІ ETHEREUM. Ковальчук О.Я., Іваницький Р.І. Західноукраїнський національний університет (Україна), Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка (Україна)	274
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК. Корецький В.А. Сумський національний аграрний університет (Україна)	277
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦІНКИ ДЕСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ У БЕЗПЕЦІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Кравченко Д. В., Косенко С. І. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	279
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ У БЕЗПЕЦІ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Кравченко Д. В., Косенко С. І. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	281
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА КОНТРОЛЮ ПОТОКОВИХ ДАНИХ. Кравченко Р.В. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	283
ПОВЕДІНКОВІ ІНДИКАТОРИ ЯК ФАКТОР РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ. Крупа Н. О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	285
ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ЛОГУВАННЯ ЯК СКЛАДОВА ПІДВИЩЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Кузик Я.М. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	288
СТІЙКІ ДО ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРУ СИСТЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ. Кузик Я.М. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	290
СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ КІБЕРАТАК У КООРПЕРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ. Кур'ята О. С., Кічак Б.В. Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)	292
ФОРМУВАННЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ. Кушніков В.В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	293
ОБМЕЖЕННЯ КЛАСИЧНИХ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПІДХОДИ ДЛЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ. Кушнір В.М., Вовк Р.Б. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)	295
АЛГОРИТМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ В ХМАРНИХ ІНФРАСТРУКТУРАХ. Лисков В.І. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	298
SELECTION OF DATA STORAGE METHODS FOR WEATHER FORECAST BIG DATA COLLECTION. Liutenko Iryna, Yaroslav Kravets. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)	299
ЗАСТОСУВАННЯ GOOGLE AUTHENTICATOR У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ. Матвеєв Р.В., Терейковська Л.О., Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)	302
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНОНІМНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ ОБМІНУ КРИПТОВАЛЮТ. Овчаренко О.В., Котлик С.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	303
ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ ЗАСОБАМИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ. Опанасюк М. С. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	305
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ МОБІЛЬНИХ	307

ЗАСТОСУНКІВ. Панченко В.І., Ткаченко П.Д. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ АЕРОЗЙОМКИ. Панченко В.І., Цяпа Г.П.Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"	308
ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА У ФІНАНСОВІЙ СФЕРІ: РОЛЬ БЛОКЧЕЙН У МІНІМІЗАЦІЇ КІБЕРРИЗИКІВ. Подельський С.В. Київський авіаційний інститут (Україна)	310
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ КОЛЕКЦІЙНИХ ДАНИХ У КОНТЕКСТІ ГЕЙМІФІКАЦІЇ ТА ЦИФРОВИХ СЕРЕДОВИЩ. Поперешняк Д.І.. Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)	312
ЛОКАЛІЗАЦІЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Прищепа О.І., Бовнегра Л.В. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	315
МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ПОШКОДЖЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВНАСЛІДОК ДІЙ КІБЕРАТАК. Саввова П. В. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	316
BIG DATA. ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ: MAPREDUCE. Сенюк Є.О., Мельничук В.Е. Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (Україна)	319
БЕЗПЕКА ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ З МУЛЬТИТЕНАНТНІСТЮ. Сердюк Н.М., Вольгуст М.С. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	320
МОДЕЛІ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ВИБОРУ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ. Сиваченко І. О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	323
ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПЕНТЕСТУ ГОТОВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДО КІБЕРАТАК. Скіцько О.І. Національна академія СБ України (Україна)	325
АНАЛІЗ МЕРЕЖЕВОЇ АКТИВНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРАЦІВНИКІВ. Супрун О.В., Карпенко Н. В. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	329
ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ФІШИНГОВИМ АТАКАМ. Тимошенко Л.М., Тихонов І.В. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	331
ЗНАЧЕННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРИСКОРЕНОЇ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ. Усенко М. П., Бандоріна Л.М. Український державний університет науки і технологій (Україна)	333
АНАЛІЗ ОБМЕЖЕНЬ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ПЗ. Цапковатий Р.В. Сумський державний університет, (Україна)	335
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ УРАЗЛИВОСТЕЙ У ГЕНЕРАТОРАХ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ. Цебак О.А., Войтусік С.С. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	337
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПЕРЕДАВАННІ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИМИ КАНАЛАМИ. Чернявський О. Ю., Герасимов С. В. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	339
ДЕКОМПОЗИЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ПОШУКУ ПІДГРАФІВ У СИНТАКСИЧНИХ ГРАФАХ ДЛЯ СИНТАКСИКО-СЕМАНТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ. Чорний А.О., Досин Д.Г. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	342
ФОРМАЛІЗОВАНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ ЗАСОБАМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ. Шевченко В. В. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	344
КІБЕРБЕЗАХИСТ В ДОБУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Штефан А.-В.В. Національний	347

університет “Львівська політехніка” (Україна)	
АСИМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ШИФРУВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ. Щербакова Ю. А., Драшпуль Н.В. Національний аерокосмічний університет «ХАІ» (Україна)	348
УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ. Ямнич А. Б., Коробейнікова Т. І. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	350
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ У СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ПОДІЙ. Янкін І.С., Гунченко Ю.О. Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)	353
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ КОНТЕНТУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПРИХОВАНИМ ЗАГРОЗАМ У ЗОБРАЖЕННЯХ. Яцев А.В., Журавель І.М., Сколоздра М.М. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	355
РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМ	358
AUTOMATED LASER MARKING OF PRECIOUS METALS AS A STEP TOWARD INDUSTRY 4.0 STANDARDS. Bernatskyi A.V., Bondarieva V.I, Harder D.A., Hryn A.P., Lukashenko V.A. E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)	358
INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL: FROM REACTIVE ALGORITHMS TO PREDICTIVE MODELS. Holod I. V., Yevsieiev V. V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	360
EPOKG AS DYNAMIC STRUCTURAL LAYER FOR ADAPTIVE ML IN BPM. Serhii Korotenko, Roman Yarovyi. Private Higher Education Establishment "European University" (Ukraine)	362
MODELING AND SIMULATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS. Mahammad Mammadov, Volodymyr Panchenko. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)	365
OPTIMISATION OF LIGHTING IN GREENHOUSES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF VEGETABLE GROWING. Martynenko S.V., Krutofal O.S., Serbul O.M. Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)	368
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A FERROMETER WITH AUTOMATIC MAGNETIC FIELD CONTROL FOR RAPID ORE ANALYSIS. Perevalov M.V., Shymanovskyi B.S., Zaichenko D.O., Serbul O.M., Kalich V.M. Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)	371
FORWARD-LOOKING RADAR SOLUTIONS FOR INDUSTRIAL SILO LEVEL MEASUREMENT. Dmytro Tsyban, Oleksandr Zabolotniy. National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"(Ukraine)	373
ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ. Авдєєв Д. С. Одеський національний технологічний університет (Україна)	376
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА. Білинський Й. Й., Стеценко А.А. Вінницький національний технічний університет (Україна)	378
КЕРУВАННЯ ВІДБІЛЮВАННЯМ ОЛІЇ: СИНЕРГІЯ ЗРОСТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ІМОВІРНОСТІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПОРУШЕНЬ. Буйваленко А. А., Осадчук П. І., Хобін В. А. Одеський національний технологічний університет (Україна)	380
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ. Буряк С. Ю., Гололобова О. А. Український державний університет науки і технологій (Україна)	383
СТАБІЛЬНІСТЬ ТА РОБАСТНІСТЬ ЯДЕРНОГО ПРЕДИКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ. Воловецький О.О. Криворізький національний університет (Україна)	384
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ	387

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ. Волощук Д.О. Романюк О.В. Вінницький національний технічний університет (Україна)	
ІНТЕГРАЦІЯ SCADA-СИСТЕМ ІЗ РЕЛЯЦІЙНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ. Галлямов К.С., Красніков І.Л., Левадна О.С. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	389
ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З МАСИВНИМ ФЕРОМАГНІТНИМ РОТОРОМ. Голощапов С.С. Херсонська державна морська академія (Україна)	392
ВДОСКОНАЛЕННЯ ДОСТАВКИ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПОПЕРЕДНЬОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ КЛІЄНТІВ. Готопіло Б.В., Жигайло О.М. Одеський національний технологічний університет (Україна)	394
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ. Григоренко І.В., Лашков А.Г. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	396
ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ХЛОРОФІЛ ФЛУОРОМЕТРІВ. Груша В.М, Вороненко О.В. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)	398
БАГАТОРІВНЕВА ОРГАНІЗАЦІЯ АНАЛІТИЧНОГО АПАРАТУ ЕКОНОМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА. В. Долінський. Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (Україна)	401
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА АВТОМАТИЗАЦІЯ: КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ, РИЗИКИ ТА ЕТИЧНІ ВИКЛИКИ. Жак А. С Державний біотехнологічний університет (Україна)	403
ПЕРСПЕКТИВИ ПІСЛЯВОЄННОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ. Жесан Р. В., Кравцов С. В. Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна)	405
ЦИФРОВІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО СЕКТОРУ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ МЕГАТРЕНД ПОДВІЙНОГО ПЕРЕХОДУ. Зимогляд Б. Г. Український державний університет науки і технологій (Україна)	408
СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО СУПЕРВІЗОРА (ПІД-РЕГУЛЯТОРА) ПРИ ВІРОГІДНІЙ ПОМИЛЦІ ТА ЇЇ ПОХІДНА. Ільїнський М. І. Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)	411
ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПЕРЕДАЧІ ПОКАЗНИКІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В БЮДЖЕТНИХ ЗАКЛАДАХ М.ЧЕРКАСИ. Калейніков Г.Е. Черкаський державний технологічний університет (Україна)	413
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОМ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІНІЙ ПРИЙОМУ ЗЕРНА З АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ. Кір'язов І.М., Хобін А.В., Степанов М.Т., Хобін В.А. SE Group International (Німеччина), Одеський національний технологічний університет (Україна)	414
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ. Ковальчук Д.М. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)	417
ЩОДО ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ КУКУРУДЗИ. Коренной Б. Ю. Одеський національний технологічний університет (Україна)	419
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ TRIMBLE, TOPCON ТА LEICA ДЛЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ БДМ. Кудінов Є.О. Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)	421
КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ. Кудряшова А. В., Петрик В. А. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	424
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧОГО ОПРАЦЮВАННЯ ГАЗЕТНО-ЖУРНАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ. Сліпецький Ю. Б., Кудряшова А. В. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	426
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДУЛЮ СТЕКУ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ РОЗРОБКИ БЕЗПЕЧНОГО ВЕБДОДАТКУ. Куриляк А.І., Коробейнікова Т.І., Журавель	428

І.М. Національний університет “Львівська політехніка” (Україна)	
АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І ВИКЛИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В РЕАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ. Кучаковська Г.А. Київський столичний університет імені Бориса Грінченка (Україна)	432
INTELLECTUALIZATION OF TROUBLESHOOTING IN RAILWAY AUTOMATION SYSTEMS. Lazariev O.V. Ukrainian State University of Railway Transport , Lazarieva O.O. V.N. Karazin Kharkiv National University (Ukraine)	433
КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА КАПРОНОВОГО ВОЛОКНА БЕЗПЕРЕРВНИМ СПОСОБОМ. Лизанець А.М., Кравченко Я.О. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	435
JUSTIFICATION FOR DEVELOPING SYSTEMATIC METHODOLOGY FOR COMPARING DIFFERENT TYPES OF TESTING. Kyrylo Lobanov. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	436
ТЕХНОЛОГІЇ VARIABLE DATA PRINTING У КОНТЕКСТІ ПІДГОТУВАННЯ БАГАТОМОВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ВИДАВНИЧОГО ДОМУ "УКРПОЛ". Малець І. Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка»	438
СОЦІАЛЬНІ ТА ЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ. Малик Я.В., Франчук Т.М. Державний торговельно-економічний університет(Україна)	440
РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕНЕДЖМЕНТУ В АВІАЦІЇ. Мірошниченко І.С. , Хмурін О.О. Українська державна льотна академія (Україна)	442
МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗУЮЧЕ КЕРУВАННЯ БУРОВОЮ УСТАНОВКОЮ. Моркун В.С., Бобров Є.Ю. Криворізький національний університет (Україна)	444
ПРОЕКТ МОДУЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОРСЬКОГО СУДНА. Мушинський А. В., Гришин С.І. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	446
АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМИ. Мушинський А. В., Гришин С.І. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	448
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПРИ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСІВ В ОПЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ. Ненич Д.О., Дядюн С.В. Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)	450
ВИСОКОТОЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА ADS1263 ВІД TEXAS INSTRUMENTS ПІД КЕРУВАННЯМ CODESYS. Пашков С.О., Мазур О.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	452
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ДЕШИФРУВАННЯ СИГНАЛІВ АЛС. Профатилов В.І., Масалов Є.О. Український держаний університет науки і технологій (Україна)	455
АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ СИГНАЛЬНИХ ПРОЦЕСОРІВ. Профатилов В.І. Український держаний університет науки і технологій (Україна)	457
АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ І СУПРОВІД ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЕРЖАВНИХ ПІДПРИЄМСТВ. Ратушняк Т. В., Суздальцева С. І. Державний податковий університет (Україна)	459
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ INTERNET OF THINGS IOT . Рудь Ю.Л., , Харченко М.В., Поліщук Д.В. Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук (Україна)	461
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИБІР ПРОГРАМИ ЗАМІСУ ТІСТА. Рустамов Р. Р., Жигайло О. М. Одеський національний технологічний університет (Україна)	463
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСТЕМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗА АУДІАЛЬНОЮ ДІАГНОСТИКОЮ. Савула А. А., Коротинськйи А. П. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря	466

Сікорського" (Україна)	
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ІНФОРМУВАННЯ СТУДЕНТІВ ТА АДМІНІСТРАЦІЇ ЗАСОБАМИ МЕСЕНДЖЕРА TELEGRAM. Сорокін В. С., Манаков С.Ю. Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)	469
АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СЕРВІСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ GIST-МЕТОДОЛОГІЇ. Сторожук Ю.В Вінницький національний технічний університет (Україна)	471
ДІАГНОСТИКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ В СИСТЕМАХ ЧПУ З САМОАДАПТИВНИМ КЕРУВАННЯМ ПОДАЧЕЮ. Татауш І. І. Одеський національний технологічний університет (Україна)	473
АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКОВИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА ЗАСОБАМИ ВІЗУАЛЬНОГО КОНФІГУРУВАННЯ. Феденко Д.О. Київський національний економічний універитет імені Вадима Гетьмана (Україна)	475
ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ СПИРТУ ТА КИСЛОТНОСТІ НА ТЕМПЕРАТУРНУ МЕЖУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИНОМАТЕРІАЛУ. Хобін В. А., Левінський В. М.,Мельник О.Р. Одеський національний технологічний університет (Україна)	478
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕСТОВОГО ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КАСКАДНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ З ПРОГНОЗУВАННЯМ. Хобін А.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	479
КОНТРОЛЬ ДИСПЕРСНОСТІ ВОДНО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ ПІСЛЯ МЕМБРАННОЇ ОБРОБКИ З АВТОМАТИЧНОЮ ОЦІНКОЮ РОЗМІРУ КРАПЛІ. Ходєєв А.А., Заболотний О.В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	482
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ADAS ADVANCED DRIVER-ASSISTANCE SYSTEMS ЯК ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЕМ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ. Холодний Ю.Ф., Поліщук Д.В., Алтухов П.М. Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук (Україна)	484
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВИПАЛЮВАННЯ ВАПНЯКУ В ШАХТНІЙ ПЕЧІ. Чумак Л. І., Ткачов В. С., Донський Д. М. ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій (Україна)	486
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ БПЛА. Шувалов Д. О., Кочук С. Б. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	489
РОЗДІЛ 4. НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ	492
DESIGN PRINCIPLES AND FUNCTIONALITY OF A MOBILE COMPONENT FOR MONITORING DIPLOMA WORK PROGRESS. Huba B.A., Dvukhhlavov D.E. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)	492
LARGE LANGUAGE MODELS IN FACILITATING ACADEMIC WRITING TO PSYCHOLOGY AND JOURNALISM MAJOR STUDENTS. Mykolaichuk A.I., Mykolaichuk V.R. Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)	494
INTEGRATION OF AGENT-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GAME THEORY IN ADAPTIVE EDUCATIONAL SYSTEMS: DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF ETHICAL COOPERATION. Novikova H. V.[1], Denysenko I.V.[1], Kharchenko O. O.[1], Novikov A.M.[2] [1]National University of "Kyiv-Mohyla Academy" (Ukraine), [2]Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)	497
STEAM EDUCATION THROUGH MODERN TECHNOLOGIES: INTEGRATION OF TINKERCAD.COM AND ARDUINO IDE IN VIRTUAL AND REAL TRAFFIC LIGHT MODELING. Zakariashvili M. Z. Iakob Gogebashvili Telavi State University (Georgia)	499
ІНФОРМАЦІЙНО-ЦИФРОВИЙ ПІДХІД У ФОРМУВАННІ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ТА ОСВІТНІ ПЕРСПЕКТИВИ. Алексахіна Т. О. Сумський державний університет (Україна)	502
ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ GOOGLE MEET ДЛЯ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ.	504

INFOTY

Безноско І.С. Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Україна)	
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ІННОВАЦІЙНОГО ЗАСОБУ НАВЧАННЯ ІНФОРМАТИКИ В ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ. Березюк М.А., Жуковський С.С. Житомирський державний університет імені Івана Франка (Україна)	505
ВИКОРИСТАННЯ BIG DATA ТА LEARNING ANALYTICS У ПРОГРАМНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ ОСВІТНІХ ПЛАТФОРМ. Блох Д. С., Кобзєв В. Г. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	506
МІЖПРЕДМЕТНА ІНТЕГРАЦІЯ ІНФОРМАТИКИ ТА ФІЗИКИ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ. Бобильов Б.В. Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)	509
ЦИФРОВА ЛІНГВОДИДАКТИКА: МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК «ЙОЙ» ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ МОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ. Бортун К.О. Національна академія внутрішніх справ (Україна)	511
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ РУХУ КОНТИНГЕНТУ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ. Водоп'ян В. А., Селіванова А.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	513
ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНІЙ ВИЩІЙ ОСВІТІ. Воінова С. О. Одеський національний технологічний університет,(Україна)	515
НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ. Войтік Т.Г., Копєйкіна Т.Г. Одеський національний морський університет Військова академія (місто Одеса, Україна)	517
РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ПРОГРАМІСТАМИ. Гарбарчук І. С., Бабич С. М. Рівненський державний гуманітарний університет (Україна)	520
ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДУ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ЗАКЛАДУ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ. Глинчук Л.Я., Самох П.І. Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)	521
ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ НА УРОКАХ ІНФОРМАТИКИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМУВАННЯ. Горбачова Н. В.[1], П'ятикоп О.Є. [2 1] Спеціалізована школа №264 з поглибленим вивченням англійської мови м. Києва, [2] ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)	523
ТЕХНОЛОГІЇ СИМУЛЯЦІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ФІНАНСОВИХ ДИСЦИПЛІН. Горохова В.М. Сумський фаховий коледж економіки і торгівлі (Україна)	526
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В ОСВІТІ. Гула І.В., Полікаровських О.І., Ткачук А.В. Хмельницький національний університет (Україна), Одеський національний морський університет (Україна)	527
ЕТИКА ТА ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПІДГОТОВЦІ ТА ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦІВ З ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ. Деркач Т.М., Деркач С.М. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Україна)	529
DESIGN, COMPLIANCE, AND PILOT METRICS IN A WEB SYSTEM FOR SCHOOL DIARY, ASSESSMENT, AND LEARNING ANALYTICS. Didur V., Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	531
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ ТА ІНТЕГРОВАНІ АСИСТЕНТИ ДОВЕДЕНЬ У НАВЧАННІ КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ І ПРОГРАМУВАННЯ. Євдокимов О. О., Мандрікова Л. В. Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут" (Україна)	534
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НАВЧАЛЬНА СИСТЕМА З АВТОМАТИЧНИМ ПІДБОРОМ ТЕСТІВ ДЛЯ ШКОЛЯРІВ. Заіка О.О., Жульковська І.І., Жульковський О.О. Дніпровський державний технічний університет (Україна)	536
МЕТОД МАКСИМІНА В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ. Ігнатьєва К.М., Розум М.В. Одеський національний морський університет (Україна)	539

LEARNING ANALYTICS ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ ТА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ОСВІТНІХ ПРОБЛЕМ ЗДОБУВАЧІВ. Кобус О.С., Бондаренко С.Ю. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	541
СИМУЛЯЦІЙНІ ТА ІГРОВІ ПІДХОДИ ДО НАВЧАННЯ КОРИСТУВАЧІВ СИСТЕМАМ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ. КОМИНАР Т. Н. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	543
ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГЕЙМІФІКАЦІЇ У ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІНИ «ЗАХИСТ УКРАЇНИ». Коротун К.О., Мирошниченко В.О. Бердянський державний педагогічний університет (Україна)	545
ОСОБЛИВОСТІ СИНХРОННОГО Й АСИНХРОННОГО НАВЧАННЯ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ. Кривонос О.М., Кривонос М.П. Житомирський державний університет імені Івана Франка (Україна)	547
ОСВІТНІЙ АСПЕКТ ПОЄДНАННЯ ІМПЕРАТИВНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПАРАДИГМ. Крижановський Г.О., Ковалюк Т.В. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	550
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ TELEGRAM-БОТІВ ДЛЯ ДОПОМОГИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ. Лазар М., Гайша О.О. Міжнародний класичний університет імені Пилипа Орлика (Україна)	552
ДОТРИМАННЯ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ЗДОБУВАЧІВ ІІІ КУРСУ З ДИСЦИПЦІНИ «РАДІОЛОГІЯ». Ленчук Т.Л., Мацькевич В.М. Івано-Франківський національний медичний університет (Україна)	554
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ КРЕАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ І ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ. Листопад Н. Л. Комунальний заклад «Одеський педагогічний фаховий коледж» (Україна), Гуданич Н. М. Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Україна)	555
DESIGN AND EVALUATION OF A SOFTWARE TOOL FOR FOREIGN LANGUAGE LEARNING. Lukov D., Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	558
ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ СИМУЛЯТОРІВ ТА ШІ-ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ УМІНЬ З КОМП'ЮТЕРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ В БАКАЛАВРІВ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК. Малежик М.П., Злагодух Д.О. Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)	560
ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ТА АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Огібовський С. В. Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)	562
МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ АТМОСФЕРИ З АКЦЕНТОМ НА ФАКТОРИ РИЗИКУ ПОЛЬОТІВ ТА РОЗРОБКУ АЛГОРИТМІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІЛОТАМИ. Полторацька О.О. Харківський національний університет внутрішніх справ, Кременчуцький льотний коледж (Україна)	564
СУЧАСНА ОСВІТА У СВІТІ НОВІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Рисована З.Г.[1], Рисований О.М.[2] [1] Комунальний заклад "Харківський ліцей № 164 Харківської міської ради", [2]Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	566
АНАЛІЗ ІТ-ГАЛУЗІ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ ТА ЗАТРЕБУВАНІСТЬ ВИПУСКНИКІВ АСПІРАНТУРИ. Романюк О.Н., Майданюк В.П., Решетнік О.О. Вінницький національний технічний університет (Україна)	567
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «МАТЕМАТИКА» У КОЛЕДЖАХ. Руденко О.В. Сумський фаховий коледж економіки і торгівлі (Україна)	569
ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ. Русанов Ю.О. Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)	571
МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ ДЛЯ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ.	574

Савченко Р.О. Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)	
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ. Сакалюк О.Ю., Корнієнко Ю.К., Попков Д.М. Одеський національний технологічний університет (Україна)	576
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАННІ. Саміло А. Харківська ЗО онлайн-школа І-ІІІ ступенів «Альтернатива» (Україна)	579
USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE AUTOMATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS. Сікетін Д. С., Михайловська О. В., Ленська О.О. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)	581
ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ПРОФОРІЄНТАЦІЇ З АНАЛІЗОМ РИНКУ ПРАЦІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗАТРЕБУВАНОСТІ ПРОФЕСІЙ. Сіренко В.В., Грушко С.С., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	582
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН: АДАПТАЦІЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ. Соменко О.О. Центральноукраїнський інститут розвитку людини Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» (Україна), Соменко Д.В. Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка (Україна)	585
ПСИХОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ТРЕНУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТА ДЕКОНЦЕНТРАЦІЇ УВАГИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ БІОЛОГІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ. Спаський І.Д. Одеський національний технологічний університет (Україна)	587
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПРОГРЕСУ У НАВЧАННІ. Старіков І. Р., Зіноватна С.Л. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	589
ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ФОРМУВАННІ КЛЮЧОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ. Тимченко Г.О. Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)	592
СТУДЕНТОЦЕНТРОВИЙ ПІДХІД У ВИКЛАДАННІ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ. Товт Б. М. Дніпровський державний аграрно-економічний університет (Україна)	594
АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ У ВИЩІЙ ОСВІТІ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ. Трач О.Р. Одеський національний технологічний університет (Україна)	596
КРОСПЛАТФОРМНІ ФРЕЙМВОРКИ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ РОЗРОБКИ: ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ОБМЕЖЕНЬ. Фуркало Д.Ю., Петрівський В. Я. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	597
ВПЛИВ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА LLM НА ЗМІСТ КУРСУ ІНФОРМАТИКИ У ШКОЛІ. Худан Т.Г., Худан М.Ю. Глухівська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів №6 Глухівської міської ради Сумської області (Україна)	600
ВИКОРИСТАННЯ ОСВІТНІХ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ІЗ ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ДОПОМОГИ ШКОЛЯРАМ У ВИБОРІ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ. Чубикіна В.О., Петрівський В.Я. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	602
ВЕБДОСТУПНІСТЬ ЯК КОМПОНЕНТ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ. Юрійчук А.О. Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (Україна)	605
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЗАХИСТУ ЦИФРОВИХ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ ОСВІТЯН. Яланецький В. А. КПІ ім. Ігоря Сікорського» (Україна)	607
РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ	609
BENCHMARKING VISION TRANSFORMERS FOR WEBSITE AESTHETIC PREDICTION. Glib Briia, Lina Volobuieva. National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute" (Ukraine)	609
USING OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE CONTROL OF ENTERPRISES.	611

Dyadun S.V. V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)	
INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE CONTROL OF TOURISM ORGANIZATIONS AND HOTELS. Dyadun S.V., Oleshko O.I. V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)	612
THE IMPACT OF QUALITY ATTRIBUTE SELECTION ON COMPARING CQRS WITH EVENT SOURCING ARCHITECTURAL VARIATIONS. Hruzin D.L., Lytvynov O.A. Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)	614
INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING WEAR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDERS. Keyda A.A., Cherevko S.L., Lymar O.O., Marchenko D.D. Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)	616
CONCEPTUAL DESIGN OF A BUS TICKET SALES SERVICE MODULE. Anastasiia Kylynnyk. Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (Ukraine)	618
DATA ENCRYPTION METHODS IN RELATIONAL DATABASES. Lavreniuk A.O., Romaniuk O.V., Maidaniuk V.P. Vinnytsia National Technical University (Ukraine)	621
MONOREPOSITORY-DRIVEN DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS AND SOFTWARE COMPLEXES. Maidaniuk V., Khoshaba O. Vinnitsia National Technical University (Ukraine)	625
INCIDENT DATABASE FORMATION FOR SIMULATING PRODUCTION ENVIRONMENT RESPONSES WITHIN THE DIGITAL TWIN. Tetyana Neroda. Educational and Scientific Institute of Printing Art and Media Technologies in Lviv Polytechnic National University (Ukraine)	627
HEADLESS ARCHITECTURE - INNOVATIVE DIRECTION IN CREATING WEB RESOURCES AND CONTENT SYSTEMS. Romanyuk [1] O.N., Maidanyuk [1] V.P., Kotlyk [2] S.V., Kovalova [3] Y. O. Kutsyn S. O. [1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine), [2] Odessa National Technological University (Ukraine), [3]Smart Alpaca LLC (USA)	630
NEW MONITOR MANUFACTURING TECHNOLOGIES. Romanyuk [1] ON, Maidanyuk [1] VP, Romanyuk [1] O. V. , Kostenko[1] A.V., Kotlyk [2] S.V. [1]Vinnytsia National Technical University, Ukraine, [2]Odessa National Technological University (Ukraine)	632
STUDYING THE PROCESS OF CODE INJECTION INTO THE HEADERS OF THE WINDOWS 11 EXECUTIVE FILE RE-FORMAT. Rysovanyi O. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)	634
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ «ОДИН ДО БАГАТЬОХ» У РЕЛЯЦІЙНИХ ТА ДОКУМЕНТО-ОРІЄНТОВАНИХ БАЗАХ ДАНИХ. Бабенко С. П., Романюк О. В. Вінницький національний технічний університет (Україна)	636
МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ І ВТОРГНЕНЬ У СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ. Бакаєв О.О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	638
ПРОЄКТУВАННЯ МОДУЛЮ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІТИКИ РЕКЛАМНОЇ АКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА. Бандоріна Л.М., Климкович Т.О., Безпалий Л.Є. Український державний університет науки і технологій (Україна)	641
РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ І ФОРМУВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗВИЧОК. Бевз С. В.[1], Монастирський О. М.[2]. [1]Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова, [2] Вінницький національний технічний університет (Україна)	644
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВІРИ ДО МЕТЕОПРОГНОЗІВ ШЛЯХОМ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ШІ. Бережний Т. В., Бойченко В.І , Почуєв Д.С., Зіноватна С. Л. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	646
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СОЦІАЛЬНА МЕРЕЖА ДЛЯ ОБМІНУ ФОТОГРАФІЯМИ З АВТОМАТИЧНИМ ШІ-ТЕГУВАННЯМ. Бережний Т. В., Тройніна А.С., Рувінська В. М. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	649
A HEALTH-DRIVEN ADAPTIVE CONSENSUS PROTOCOL FOR STABLE FINALITY TIME. Bystryk M. Vinnytsia National Technical University (Ukraine)	651
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ АГРОБІЗНЕСУ. Биченко Є.В. Сумський національний аграрний університет (Україна)	653
РОЗРОБКА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗШИРЕНОЇ	655

АВТЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ BLUETOOTH-З'ЄДНАНЬ. Більорін-Еррера О.М., Главчев М.І., Ігнатьєв К.І. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	
ПРОЕКТУВАННЯ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ КОМПАНІЇ-ПОСТАЧАЛЬНИКА ІТ-РІШЕНЬ. Бойченко В.І., Тройніна А.С., Рувінська В.М. Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)	658
ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ФІНАНСАМИ ДЛЯ ФІЗИЧНОЇ ОСОБИ-ПІДПРИЄМЦ». Бородкіна І.Л. Бородкін Г.О. Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна), Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)	660
ВІДПОВІДНІСТЬ СТАНДАРТАМ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СЕРВЕРНОЇ ЧАСТИНИ ВЕБЗАСТОСУНКІВ. Браташ С.П. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	664
ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕБСИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО БІЗНЕС-ПЛАНУВАННЯ БРЕНДУ ОДЯГУ. Брежнєв О.С., Жульковська І.І., Жульковський О.О. Дніпровський державний технічний університет (Україна)	666
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРІВ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ. Бубенщиков Д.Є., Шаповалов С.П. Сумський державний університет (Україна)	668
ТЕЛЕГРАМ-БОТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗІ СЛУЖБОЮ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ. Бур'ян С. С., Погорєловська І. Д. Державний податковий університет (Україна)	670
РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ SMART-НОТАТОК. Бурбело С. М.[1], Коваленко О. О.[2], Саєцький Д. Р.[2] [1]Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова, [2] Вінницький національний технічний університет (Україна)	672
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ НА ОСНОВІ ПАТЕРНУ CIRCUIT BREAKER. Ванда І. С. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)	675
БЕЗПЕКА ТА ПРИВАТНІСТЬ У IOS-ДОДАТКАХ: ЯК ЗАБЕЗПЕЧИТИ ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ APPLE. Вдовенко Д.О., Сєдих О.Л. Національний університет харчових технологій (Україна)	677
РОЗРОБКА IOS-ЗАСТОСУНКУ "AI TRAVEL ASSISTANT" НА БАЗІ SWIFTUI ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Вдовенко Д.О., Сєдих О.Л. Національний університет харчових технологій (Україна)	679
МЕТОДИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИБОРУ КОНДИТЕРСЬКИХ МАГАЗИНІВ. Виноградов М.Ю., Тітов С.В. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	681
АРХІТЕКТУРА ХМАРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИМИ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ З ДЕРЖАВНИМИ СЛУЖБАМИ: ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ Воробйов Р.Р. Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)	682
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ КОЛЕКЦІЯМИ В ХМАРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ. В'юннік Ю.О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	684
ПІДХІД НА ОСНОВІ MOCK-ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕСТУВАННЯ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ. Гамзаєв Р.О., Ткачук М.В. Харківській національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)	687
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ КОРИСТУВАЧІВ У ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Гамор І.М. Інститут програмних систем Національної академії наукУкраїни (Україна)	690
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КЕРУВАННЯ 2-DOF МЕХАНІЗМАМИ ПРОТЕЗІВ.	693

Гюльмамедов Н. М., Хавич О. С., Бурлаченко І. С. Чорноморський нац. ун-т ім. Петра Могили (Україна)	
АЛГОРИТМ ТЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ СКАРГ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ТИПОВИХ КОРУПЦІЙНИХ РИЗИКІВ У СИСТЕМІ PROZORRO. Дем'янчук О. П, Крамар Ю. М. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	696
МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА ЯК СУЧАСНА ПАРАДИГМА ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Дєнін Б.С. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	698
BIG DATA PROCESSING AND MODELING IN PYTHON FOR COMPLEX SYSTEMS PROBLEMS. Doroshenko D. "Gymnasium 12" Kamianske, Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)	699
РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ МУЛЬТИПРОЄКТНОГО СЕРЕДОВИЩА. Доценко Н.В.[1], Некрасов І.Б.[2], Луців Я.С.[1] [1]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (Україна), [2]Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України (Україна)	701
ПАТЕРНИ ПРОЕКТУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ. Жовнірчик Л. І. Івано-Франківська філія Університету «Україна» (Україна)	703
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО КОДУ. Запоточний І.І. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)	705
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗБЕРІГАННЯ АРХІВІВ ФОТОГРАФІЙ. Зімін О.А., Скрупський С.Ю., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна), Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)	707
БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЦЕНТРАМИ ОБРОБКИ ДАНИХ ПРИ ЗМІННІЙ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ. Ільїн С. А. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	710
ЕФЕКТИВНІСТЬ АРХІТЕКТУРИ MVC У СТВОРЕННІ СУЧАСНОГО WEB-САЙТУ В ПРОЄКТІ РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ «CONCEPTUAL CUISINE». Ільницький Б.І., Корнієнко Ю.К. Одеський національний технологічний університет (Україна)	713
ІНТЕГРАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДУЛІВ У ПЛАТФОРМУ WAZERCODE З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ОСВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ. Кічак Б.В. Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)	715
РОЗРОБКА ВЕБ-САЙТУ ДЛЯ КОМПАНІЇ, ЩО НАДАЄ ПОСЛУГИ ДРУКУ НА ТЕКСТИЛЬНІЙ ТА СУВЕНІРНІЙ ПРОДУКЦІЇ. Кічук С.С., Корнієнко Ю.К. Одеський національний технологічний університет (Україна)	717
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ SCHEME ТА PYTHON В ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ. Ковалюк Т.В., Шаповал В.В., Комісаров В.Р. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	719
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КУЛЬТУРИ НА АРХІТЕКТУРУ м. ОДЕСИ НА ОСНОВІ СТВОРЕНОГО ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ. Колісніченко В.С. , Корнієнко Ю.К. Одеський національний технологічний університет (Україна)	721
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗКІВ КОМПОНЕНТІВ У ARCHIMATE-МОДЕЛЯХ.Копп А. М., Лисенко І. О. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	723
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ. Короленко С. О., Любченко Н. Ю., Подорожняк А. О. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"(Україна)	725
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ.Короткіх В. М. Національний університет	728

«Львівська політехніка» (Україна)	
РОЗРОБЛЕННЯ ДОДАТКУ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ПУБЛІКАЦІЇ ВЛАСНИХ РЕЦЕПТІВ RECEPTICO. В.Кривенко, С.Антоненко. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	729
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ «ОСТАННЬОЮ МИЛЕЮ» ДОСТАВКИ. Кузін Ю.В. Лифар В.О. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (Україна)	731
МОДЕЛІ СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ. Купцов Д.В. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	733
СУЧАСНІ ВЕБТЕХНОЛОГІЇ ТА МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КООРДИНАЦІЇ ВОЛОНТЕРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ. Лежненко В. С., Копп А. М. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	735
СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТІВ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО ВВЕДЕННЯ ТЕКСТУ ЛЮДЬМИ З ЗАХВОРЮВАННЯМИ МОТОРНОЇ СИСТЕМИ. Лепеха В.В, Орел А.Б, Муравська І.О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	737
АРХІТЕКТУРА БОРТОВОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ CUBESAT НА БАЗІ ВІДКРИТОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Лимаренко О.Б., Соколова Є.В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	739
ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОШУКУ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ БІЗНЕС-ЦЕНТРУ. Линник М.М., Зіноватна С.Л. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	741
АНАЛІЗ ВЕБ РЕСУРСУ КАФЕДРИ ЗВО З МЕТОЮ ПІДГОТОВКИ ДО АКРЕДИТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ. Ломовцев С. П., Селіванова А.В., Ломовцев П. Б. Одеський національний технологічний університет (Україна)	744
МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДОДАТКУ ДЛЯ БРОНЮВАННЯ НОМЕРІВ ГОТЕЛЮ. Лютенко І. В., Орловський К. Ю. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	746
РОЗРОБКА БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ РОЛЕЙ ТА ПРАВ ДОСТУПУ ДЛЯ ТУРИСТИЧНИХ ВЕБ-ПЛАТФОРМ. Лютенко І. В.,Тітов В. О. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	748
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВАЛІДАЦІЙНОГО ТЕСТУВАННЯ REST API НА ОСНОВІ OPENAPI. Мадяр М. М., Гедеон Г. О. ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (Україна)	750
АЛГОРИТМИ ОПЕРУВАННЯ СТРУКТУРАМИ ДАНИХ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМП'ЮТЕРА ПРИРОДНОМОВНОГО ДІАЛОГУ. Малахов К.С., Каверинський В.В. Відділ мікропроцесорної техніки, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України (Україна)	752
ЕКОЛОГІЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ ЯК ПІДХІД ДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПЗ. Мартинов А. В., Карпенко В. В. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут » (Україна)	755
РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЦІН ЦИФРОВИХ АКТИВІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АРБІТРАЖНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ НА ТОРГОВИХ ПЛАТФОРМАХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ. Медовкін В. В. Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)	757
АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА З ОБЛІКУ ТА УПРАВЛІННЯ МАГАЗИНОМ. Мельник А. А. Сумський національний аграрний університет (Україна)	759
ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ. Мєраджи М.В. Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій Одеського національного технологічного університету" (Україна)	762
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МАСШТАБУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ. Миргородський А.В. Вінницький	764

національний технічний університет (Україна)	
ЄДИНЕ ДЕВ-СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ WINDOWS/MACOS/LINUX: DOCKER DEV CONTAINERS, DOCKER COMPOSE І MULTI-ARCH ОБРАЗИ ЯК БАЗИС УНІФІКАЦІЇ. Михайленко Д. В., Михайленко С. В. Національний університет "Одеська політехніка" (Україна)	767
БРАУЗЕРНИЙ HMI БЕЗ ІНСТАЛЯЦІЙ: SPA + WEBSOCKET + JWT ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ПЛК. Михайленко С. В., Михайленко Д. В., Ядрова М. В. Національний університет "Одеська політехніка" (Україна)	769
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КАРШЕРИНГОВИМИ ПОСЛУГАМИ. Морохович В.С., Петрус В.М. ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (Україна)	771
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОРЕНДИ ЖИТЛА. Мотошин О.А., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка», Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)	773
ЕВОЛЮЦІЯ SEARCH ENGINE OPTIMIZATION (SEO) В КЛІЄНТСЬКИХ ДОДАТКАХ З КЛІЄНТСЬКИМ РЕНДЕРИНГОМ. Насенок К.О., Войцеховська М.М. Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)	775
ІНТЕГРАЦІЯ МОДУЛІВ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ У ВЕБОРІЄНТОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ORACLE APEX. Небога С.В. Державний податковий університет (Україна)	778
ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО МІГРАЦІЇ КОРИСТУВАЦЬКОГО КОДУ SAP ABAP. Поздняков О. А., Пархоменко А. В. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	780
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МЕТАПРОГРАМУВАННЯ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПЛАТФОРМІ .NET. Позур М.Ю., Войтко В.В. Вінницький національний технічний університет (Україна)	783
ПРОЄКТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ З ТЕКСТОВИМИ ДАНИМИ НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ C#. Поліщук Д.С., Собко О.В., Залуцька О.О. Хмельницький національний університет (Україна)	785
МУЛЬТИМОДАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ КОЛЕКЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ МАСШТАБОВАНИХ СИСТЕМ. Поперешняк Д.І Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)	788
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ СЕРВІСНОГО ПІДПРИЄМСТВА (НА ПРИКЛАДІ КАВ'ЯРНІ «ЕСПРЕСО-ТОЧКА»). Почуєв Д. С, Рувінська В. М., Тройніна А.С. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	790
ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ РЕНДЕРИНГУ. Романюк О.Н., Завальнюк Є.К., Мельник А.В., Стахов О.Я. Вінницький національний технічний університет (Україна)	793
ТАКСОНОМІЯ ТА МЕТРИКИ ОЦІНЮВАННЯ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Рубан І.В., Ткачов В.М. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	796
IDENTIFYING NON-FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR A CRM SYSTEM. Rudenko M.O., Sotnik S.V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	798
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ВІЗУАЛЬНИХ КАРТ СПОГАДІВ ТА ПОДОРОЖЕЙ. Сілін М.Ю., Голуб Т.В., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка», Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)	801
НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ОРЕНДИ НЕРУХОМОСТІ. Солом'яний О.М. Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)	804
ОПТИМІЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДОПОМОГИ	805

ЗАСОБАМИ ІТ. Соломаха Є.Е., Лютенко І.В. Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)	
ВЕБДОДАТОК «ЛІСОВА АБЕТКА». Ткаченко О. Е. Сумський державний університет (Україна)	808
ПРОЕКТ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ КОРПУСІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ. Тулісов В. А., Рудніченко М. Д. Міжрегіональна академія управління персоналом (Україна), Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	810
АЛГОРИТМИ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ. Федорченко О.Д. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	812
КАТЕГОРНО-ФУНКТОРНА МОДЕЛЬ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ВИМОГ ДО ПРИВАТНОЇ ХМАРНОЇ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. Цвіркун О.А., Євланов М.В. Харківський національний університет радіоелектроінки (Україна)	815
АЛГОРИТМІЧНІ ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБРОБКИ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗАПИТІВ В REST API ВЕБЗАСТОСУНКАХ. Чередниченко М. Є. Літвінова Ю. С. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	817
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ "ВИСОКООРГАНІЗОВАНОГО" БОЮ З ГРУПОВИМ УРАЖЕННЯМ ЦІЛІ В СТОХАСТИЧНІЙ ПОСТАНОВЦІ У PYTHON. Черновол Н.М., Бобрицька Г.С., Фурсенко О.К. Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба (Україна)	818
РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ DATA LAKE У СУЧАСНИХ АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМАХ. Чорний О. В., Романюк О. В. Вінницький національний технічний університет (Україна)	821
АНАЛІЗ ВИТРАТ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕННЯ РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ. Шведа М. О., Зіноватна С.Л. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	823
РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ШКІДНИКІВ. Шевченко А. Є., П'ятикоп О. Є. ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)	826
ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ ПОЛІТИК ІЄРАРХІЇ ПАМ'ЯТІ В СИСТЕМАХ DRAM+HBM. Щерба М. Ю., Тарнавський П. В., Білецький В. М. Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)	828
МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ КОРПОРАТИВНОГО ВЕБСАЙТУ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ. Юрченко К. Ю. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	829
РОЗДІЛ 6. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ	833
МЕТОДИКА НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА. Антонова Г.В. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)	833
АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА МОНІТОРИНГ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ І БЛЕКАУТІВ. Юрій Вихневич, BestLink LLC (Україна)	836
EMBEDDED DEVSECOPS У ХМАРІ: ЗАСОБИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ. Єрофеєв Ю.В., Слабоспицька О.О. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	837
ВПЛИВ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ. Закірко Ю.О. Національний університет "Одеська юридична академія" (Україна)	840
АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЗВ'ЯЗКУ УЗДОВЖ ЛІНІЙНО-ПРОТЯЖНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ. Кононихін О.С., Моісеєнко Р.С., Малік Д.О. Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)	843

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ БПЛА. Ластівка О.І. Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)	845
ЗБІР ТА ОБРОБКА КОНФІГУРАЦІЙ ГІБРИДНИХ ХМАР. Малініч І. П., Іванчук Я. В. Вінницький національний технічний університет. (Україна)	847
ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ СИГНАЛУ У ПРИМІЩЕННІ НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ. Михалевський Д.В., Бриль Д.Р. Вінницький національний технічний університет (Україна)	850
ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ В БЕЗДРОТОВИХ САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ. Нєнов О. Л., Гришковець Є. П. Одеський національний технологічний університет (Україна)	852
ФУНКЦІОНАЛЬНА АЛГЕБРА ПОЛІТИК І FRP ДЛЯ СТАБІЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ ТЕЛЕМЕТРІЇ В NB-IOT ТА LORAWAN. Ніконоров А.О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	854
АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ РЕСУРСИ КОМПОНЕНТІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. Окунцов Д.К., Сіренко О.І. Одеський національний технологічний університет (Україна)	856
РОЗРОБКА АДАПТИВНОГО МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ В ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧЕНИХ МЕРЕЖАХ (SDN) З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ. Паламарчук О.О., Кічак Б.В. Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)	858
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ КЛАСИФІКАЦІЇ. Папіровий Д.В Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)	859
КОМПРЕСІЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ В СИСТЕМАХ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦЗВ'ЯЗКУ. Радзієвський В.Ю., Пархоменко М.В.	861
ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ. Смирнова С.О. Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)	863
ПЕРЕДАЧА СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ У БЕЗДРОТОВІЙ МЕРЕЖІ EASY NET EVERYWHERE. Смірнов В.В, Смірнова Н.В. Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна), Easy Net Everywhere Research Group (Україна)	865
МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ. Солодка В.І., М.О, Білий Е.О., Федоришин М.В., Товкис Д.Р. Державний університет інтелектуальних технологій та звя'зку (Україна)	867
ІЄРАРХІЧНИЙ АЛГОРИТМ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ У ПРОСТОРІ ВЕЙВЛЕТІВ. Солодка В.І., Патлаєнко М.О, Білий Е.О., Федоришин М.В., Душкін Д. Ю. Державний університет інтелектуальних технологій та звя'зку (Україна)	869
ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ WI-FI. Шестопалов С.В., Осадчий Р.Р. Одеський національний технологічний університет (Україна)	872
РОЗДІЛ 7. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	875
COMPARATIVE ANALYSIS OF LOCALIZATION METHODS FOR ACCURATE AND ROBUST POSITIONING. Ivan Ilnytskyi. Lviv Polytechnic National University (Ukraine)	875
RESEARCH OF CONTROL METHODS FOR A MOBILE MANIPULATION ROBOTIC PLATFORM WITHIN THE FRAMEWORK OF INDUSTRY 5.0 CONCEPTS. Elgun Jabrayilzade. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	878
USAGE OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN TELECOMMUNICATIONS AND BILLING SYSTEMS. Kazhymukhanov A.T., Kim Ye.R., Kulambayev B.O. Turan University (Kazakhstan)	880
TOWARDS HUMAN EXPERTS SUBSTITUTION WITHIN MULTI-ASSISTANT AI-BASED DECISION-MAKING FRAMEWORK. Andrii Kopp, Ivan Nesterenko, Roman Dashkivskyi. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)	882

INTELLIGENT WEB SERVICE FOR PERSONALIZED NUTRITION**.** Kotova A. V., Rakhimbayeva A. B., Ospanov R. R., Kim E. R. Turan University (Kazakhstan)	885
AI IN SEARCH-AND-RESCUE ROBOTIC SYSTEMS. Kulesh K. S. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Ukraine)	887
VERIFYING ONLINE MARKETING CHANNEL WITH CHATGPT. Orekhov S. V., Taran P.A., Bahatskyi N.S. NTU “KhPI” (Ukraine)	889
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE AUTOMATION OF ROBOTIC SYSTEMS IN CONVERGENT JOURNALISM. Mariam Vekua, Tatia Kokobinadze. Caucasus International University, Tbilisi (Georgia)	892
FEATURES OF THE USE OF QUANTUM COMPUTING IN CONSTRUCTING TRAJECTORY OF COLLABORATIVE MOBILE ROBOT. Vladyslav Yevsieiev, Nataliia Demska. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	893
АНАЛІЗ AI-АСИСТЕНТІВ ДЛЯ IDE VISUAL STUDIO CODE. Антоненко В. А., Шевченко І. В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	895
ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ОЦІНКИ ТОНАЛЬНОСТІ ПРИ ОБРОБЦІ ПРИРОДНЬОЇ МОВИ. Арнаутов Ю. О., Рудніченко М.Д. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	897
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ В СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ. Арсенюк Д.В. Національний технічний університет «Харківський політехнічних інститут»(Україна)	899
ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ. Бандоріна Л.М. Дружин І. Є. Український державний університет науки і технологій (Україна)	900
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БІБЛІОТЕК ДЛЯ НАВЧАННЯ АГЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ. Бовкун М. Ф. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	902
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СФЕРІ ТУРИЗМУ. Богачик Є.Ф., Куваєва В.І. Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)	904
MODIFICATIONS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR STREAMING SIGNAL PROCESSING IN CROSS-DOMAIN APPLICATIONS. V. Bondarchuk, A. Matsui. Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)	906
ЗАСТОСУВАННЯ КОМП’ЮТЕРНОГО ЗОРУ В АВТОНОМНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ. Бурда С.В., Кічак Б.В. Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)	908
INTELLIGENT WELD QUALITY CONTROL SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING METHODS. Velychkovych B., Liaskovska S. Lviv National Polytechnic University (Ukraine)	910
РОЗРОБЛЕННЯ AI-АСИСТЕНТА ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ. Вечтомова Д. В., Шевченко І. В. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)	912
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ АКАДЕМІЧНОЇ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО ВІДВІДУВАНІСТЬ ТА ОЦІНКИ. Волощук М. А., Богатєнкова О. Є. Миколаївський національний аграрний університет (Україна)	913
ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТІВ ТА ДОКУМЕНТАЦІЇ У ВЕБІНТЕГРОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ РОЗРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ OPENAI API. Ганжа А.С. Антоненко С.В. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	916
РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ. Гладій А.Л. ВСП «Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету» (Україна)	918
РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ. Глухонець Адріана, Нестерук Галина. ВСП «Хмельницький торговельно – економічний фаховий коледж ДТЕУ» (Україна)	920

КОНЦЕПЦІЯ АДАПТИВНОГО НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА З ПІДТРИМКОЮ ФЕДЕРАТИВНОГО НАВЧАННЯ У ВІРТУАЛЬНІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ. Горіченко Ю. Є., Пархоменко А. В. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	922
ГІБРИДНА НЕЧІТКО-ГЕНЕТИЧНА AI-МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЗОРИХ ТА АДАПТИВНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ. Гребенюк М. О., Ситнікова П. Е.Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	925
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДБОРУ РОЗВАГ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Гурницька В. О., Козаченко Д. О., Прокоп Ю. В. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	928
ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ СИНТЕЗУ МЕРЕЖ ПЕТРІ. Гурський О.О. Одеський національний технологічний університет (Україна)	930
АРХІТЕКТУРА МОДУЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ З КОНТРОЛЕМ ЯКОСТІ ВХІДНИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Держак В. В., Овчарук О.М. Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	932
АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БІОЛОГІЧНИХ ОЗНАК РОСЛИН З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ. Дідусь О. П., Ситнікова П. Е. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	934
ВИМОГИ ЩОДО СТРУКТУРИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СТАНУ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ. Добришин Ю.Є. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	937
ПЛАТФОРМА МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ. Єрдуганов А.О., Попова М. О. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	940
НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МАКРОСТРУКТУРИ ТКАНИН ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ. Залуцька О.О, Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	941
РОЗРОБКА ЧАТ-БОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ RAG ДЛЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ ОСВІТИ. Зацерковний Р. Г. Львівський торговельно-економічний університет (Україна), Зацерковна Р. С. Національний університет “Львівська політехніка” (Україна)	944
РОЗРОБКА ВЕБ-СЕРВІСУ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ СУЧАСНИХ СОЦІАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ. Зінін М.Ю., Ізвалов О.В. Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті (Україна)	946
ВИКОРИСТАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОШУКУ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ СЕМАНТИЧНОГО БАР'ЄРУ В РОБОТОТЕХНІЦІ. Іванишен М.К., Романюк О.Н. Вінницький національний технічний університет (Україна)	948
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АРХІТЕКТУР ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ. Кадинська В.Д., Молчанова М.О. Хмельницький національний університет (Україна)	950
НЕЙРОМЕРЕЖІ ЯК ЦИФРОВІ АСИСТЕНТИ: ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОВСЯКДЕННИХ ЗВИЧОК. Калашникова К.О., Чорна В.В.ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури Українського державного університету науки і технологій (Україна)	952
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БІБЛІОТЕК І ФРЕЙМВОРКІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ EDGE INTELLIGENCE. Кедич А.В., Кедич Н.А. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)	954
СТВОРЕННЯ ДАТАСЕТУ ДЛЯ ШІ З ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ. Клименко Максим[1], Усенко Станіслав[2], Шаповалов Євгеній[1], Носачова Юлія[2], Овчаренко Катерина[1]. [1]Національний університет харчових технологій (Україна), [2]Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (Україна)	956
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ФОТОГРАФІЙ. Коваленко К.А., Ніжегородцев В.О. Державний податковий університет (Україна)	959

ПОРІВНЯННЯ ПРОСТИХ АЛГОРИТМІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗРОБЦІ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ. Козолуп П. Д. Сумський державний університет (Україна)	960
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕКСТОВИХ ПІДКАЗОК ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБАМИ ІТЕРАЦІЙНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ. Коровін Д.Д. Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)	961
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНАЧЕНЬ ЧАСОВИХ РЯДІВ. Костюченко А.Д., Герасимов В.В. Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)	963
РОЗРОБКА ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОМІЧНИКА У ВИГЛЯДІ TELEGRAM-БОТА ІЗ МОЖЛИВІСТЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗАПИТІВ. Кошовий М. В. Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (Україна)	966
ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ТА СТРАТЕГІЧНІ ІМПЕРАТИВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ. Крук В.М. Одеський національний економічний університет (Україна)	969
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ СТУДЕНТІВ У ВЕБСИСТЕМІ ОНЛАЙН-ОСВІТИ. Кряжєва Д.Є., Літвінова Ю.С. Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)	972
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ. Кучеренко В.В., Сердюк Н. М. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	973
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING INFORMATION RETRIEVAL SYSTEMS. Levenets I.O., Sotnik S.V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	975
ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБРАЗІВ У ФОТО- ТА ВІДЕОСИСТЕМАХ: МЕТОДИ УСУНЕННЯ ШУМІВ ТА СПОТВОРЕНЬ НА ЗОБРАЖЕННЯХ. Липовий А.Є. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	977
ВИКОРИСТАННЯ CLIPS ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ. Ліщинська Л.Б. Вінницький національний технічний університет (Україна)	979
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МЕТОДУ РОЗПІЗНАВАННЯ МАНІПУЛЯТИВНИХ ФІШИНГОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У КОНТЕКСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ. Мазурець О.В., Назаров В.В.Хмельницький національний університет, комунальний заклад загальної середньої освіти «Ліцей №17 Хмельницької міської ради» (Україна)	980
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ. Майданик О.О., Мацуй А.М., Мелешко Є.В. Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна)	983
ВИКОРИСТАННЯ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ У ВЕБПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ КНИЖКОВИМИ КОЛЕКЦІЯМИ. Майоров І.А. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	985
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ТЕСТУВАННІ БЕЗПЕКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Максимович М.В. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	986
ОЦІНКА ВПЛИВУ РІЗНИХ МЕТРИК НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ. Маріупольський Р. Ю., Жебко О. О. Миколаївський національний аграрний університет (Україна)	989
ОГЛЯД ПІДХОДУ ГЕНЕРАЦІЇ ВІДПОВІДЕЙ З ДОПОВНЕННЯМ ЧЕРЕЗ ПОШУК (RAG). Марічев Д.О., Олійник А.О. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	992
ПРАВА ЛЮДИНИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА: НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ. Марусик А.І., Національна академія Служби безпеки України (Україна)	994
АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛИШКІВ	996

ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАТИВНОСТІ КУТА ФОТОФІКСАЦІЇ. Масловська В.В., Кліменко В.І. Хмельницький національний університет (Україна)	
ВИКЛИКИ ТА ЗАВДАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВІЙ ОСВІТІ. Махник С. І., Остапчук Н. О. Рівненський державний гуманітарний університет (Україна)	999
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ (ML) ДЛЯ ПРОАКТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КІБЕРАТАК ТИПУ ADVANCED PERSISTENT THREAT (APT). Мацола А. С. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	1000
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ШІ-АГЕНТА ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ САЙТА ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ. Мельников О. Ю., Щербина Б. Т. Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)	1002
НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У СКЛАДСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ. Журба А.О., Модзалевський Є.О. Український державний університет науки та технологій (Україна)	1004
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADDITIVE MANUFACTURING (3D PRINTING). Nevludov I.Sh., Sotnik S.V.Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	1006
ВПЛИВ НЕЙРОМЕРЕЖ НА РИНОК ПРАЦІ: НОВІ ПРОФЕСІЇ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ. Нескреба М.С., Чорна В.В. ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури Українського державного університету науки і технологій (Україна)	1009
SEMANTIC SEGMENTATION AND ADAPTIVE ATTENTION IN AUTONOMOUS DRIVING. Nikolenko K. Odesa I.I. Mechnikov National University (Ukraine)	1011
ЗАСТОСУВАННЯ LLM ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ НА ОСНОВІ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗАПИСІВ. Овчаренко М.О., Літвінова Ю.С. Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)	1012
АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ. Овчаренко В.С. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	1013
ІНТЕРПРЕТОВАНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ ГРОМАДЯН З ПТСР. Овчарук О.М., Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	1016
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ. Очкасов О. Б. Гришечкіна Т.С. Український державний університет науки і технологій (Україна), Очкасов М.О. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	1019
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АСИСТЕНТА ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ «ОЩАДЛИВОГО» ІТ-СТАРТАПУ. Пархоменко І. А., Хоменко А. В., Дубровін В. І. Національний університет «Запорізька політехніка»(Україна)	1021
ПРОБЛЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО МЕТОДІВ ЩОДО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЕРЖАВИ. Пересада Д.В., Однорог М.Т Національна академія Служби безпеки України (Україна)	1024
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ НА БАЗІ MICRO:BIT З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Полешко Т.І., Назарова О.С. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	1026
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ. Помпенко І.Г. Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій ОНТУ (Україна)	1028
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ. Проценко Є. В. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	1030
АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ.Савіцький Р.С., Бабіцький Б О. Державний університет «Житомирська політехніка» (Україна)	1032
АЛГОРИТМИ, АРХІТЕКТУРА ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО	1035

НАВЧАННЯ В АВТОНОМНИХ БОЙОВИХ СИСТЕМАХ. Семенишин Б.Т., Вовк Р.Б. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)	
МЕТОДИ САМООРГАНІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ СИСТЕМ У ЗАДАЧАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ. Симоненко О. В. Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)	1038
ЗАСТОСУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ LEARNLM В МОДЕЛЯХ GEMINI ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ. Ситник Л.Г. Сумський національний аграрний університет (Україна)	1041
ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З АВТОНОМНИМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ГУМАНІТАРНОМУ РОЗМІНУВАННІ. Скорлупін О. В., Подорожняк А. О. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	1044
ЗАСТОСУВАННЯ ML-МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛУ LIFESTYLE-ВЕБЗАСТОСУНКІВ. Сокол Д. В. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	1047
ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШІ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ КОДУ СТУДЕНТІВ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЮ. Сорока С.М., Ковалюк Т.В. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	1048
АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ АГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ В E-COMMERCE. Сосін Д.О., Сагайдак В.А. Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)	1050
ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ АРХІТЕКТУРИ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ. Страхов Є.М., Чачко Н.Л. Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (Україна)	1052
АНСАМБЛЕВІ МЕТОДИ В СИСТЕМАХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ. Сулейманов Є.С., Байбуз О.Г., Зайцева Т.А. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	1054
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДОВКІЛЛЯ. Суровцев І.В.[1], Галімова В.М.[2], Савченко-Синякова Є.А.[1], Ляхов В.С.[1], Ханевич А.К.[1], Антонюк Я.М.[1] [1]Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, [2]Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)	1056
ANALYSIS OF MAIN TASKS AND CHALLENGES IN DRONE REMOTE CONTROL. Sukhomlinova D.A., Sotnik S.V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	1059
ЗАСОБИ КРОСПЛАТФОРМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ. Таволжан Д.О., Петрівський В.Я. Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка (Україна)	1061
КОМБІНОВАНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ СИГНАЛІВ РІВНЯ ПАЛЬНОГО НА МОБІЛЬНИХ ПЛАТФОРМАХ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДАНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРА. Тенета Є. В., Ситніков В. С. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	1063
АНАЛІЗ ДАНИХ У ВЕБ-МАГАЗИНІ ДЛЯ ПРОДАЖУ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР: ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКОВАНИХ РЕЙТИНГІВ І ВІДГУКІВ У СИСТЕМАХ ОЦІНЮВАННЯ ІГОР. Терещенко О.О. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	1065
НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ВИЯВЛЕННЯ ДЕПРЕСИВНИХ ПАТЕРНІВ СОЦІАЛЬНО-ДЕСТРУКТИВНИХ НАРАТИВІВ У ТЕКСТАХ ІЗ ВІЗУАЛЬНИМ ПОЯСНЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ. Тимофієв І.А., Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	1066
РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ ОС ДЛЯ БАГАТОПОТОКОВИХ AI-ДОДАТКІВ. Фуркало Д.Ю., Ткаченко О. М. Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)	1069
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕТАЛОННОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СКАНОВАНИХ ПРОСТОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ. Камелія Чінкуе, Паола Чінкуе. Інститут поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка» (Україна)	1071
ЕВОЛЮЦІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ: ВІД ЖОРСТКИХ АЛГОРИТМІВ ДО	1073

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РОБОТІВ. Шепель А.С., Франчук Т.М. Державний торговельно-економічний університет (Україна)	
АПАРАТНО-ПРОГРАМНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ ДЕТЕКТОРОМ МІН НА БАЗІ ГЕКСАПОДА. Шишканич Т.В. Ужгородський національний університет (Україна)	1075
АНСАМБЛЕВИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРНО-ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ТА ГЛИБИННИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ. Шквір І.Е., Ємець К.В., Ізонін І.В., Гентош Л.І. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	1077
THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: AN OVERVIEW OF ADVANTAGES, RISKS AND CHALLENGES. Shmatko O. V., Shabanov M. V. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)	1079
БАГАТОРІВНЕВИЙ КАСКАДНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ДРОБІВ. Щербій О. А. , Ізонін І.В., Ємець К.В., Музика Р.Т. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	1080
МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ТА АНАЛІЗ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ. Юзвишин І. С. Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)	1082
ПІДХІД ДО ВІЗУАЛЬНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІЗУ ЕМОЦІЙНИХ ПАТЕРНІВ МАНІПУЛЯТИВНИХ ТЕХНІК У ЦИФРОВИХ ТЕКСТАХ ЗАСОБАМИ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ.Юрченко Д. Ю., Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	1085
ОГЛЯД ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ТА МІМІКИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ. Яремченко О. Д. Національний університет "Львівська політехніка" (Україна)	1088
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НЕЙРОННИХ АРХІТЕКТУР CNN ТА RNN/LSTM ДЛЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ. Ярченко Д. С., Пархоменко О. Ю. Миколаївський національний аграрний університет (Україна)	1090
РОЗДІЛ 8. КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ ТА WEB-ДИЗАЙН	1094
INNOVATIVE METHODS OF CODING GRAPHIC IMAGES. Nechyporuk M. L., Luzhetskyi V. A., Romanyuk O. N., Maydanyuk V. P. Vinnytsia National Technical University (Ukraine)	1094
ANALYSIS OF THE GRAPHICS CONVEYOR STAGES AND ITS MODIFICATIONS. Romanyuk [1] O.N., Maidanyuk [1] V.P., Kotlyk [2] S.V., Melnyk [1] A.V., Romanyuk [1] O.V. [1]Vinnytsia National Technical University (Ukraine), [2]Odessa National Technological University (Ukraine)	1097
MODIFICATIONS OF THE PHOENIX METHOD FOR 3D IMAGE RENDERING PROBLEMS. Romanyuk [1] O.N., Melnyk [1] A.V., Romanyuk O.V. [1] , Kotlyk [2] S.V.[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine), [2] Odessa National Technological University (Ukraine)	1100
OVERVIEW OF TECHNIQUES USED FOR MITIGATION OF SUBOPTIMAL NETWORK CONDITIONS IN ONLINE GAMES. Shevchenko I. O. Sokolova Yevheniia (National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute" (Ukraine)	1102
РОЗРОБКА WEB-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ТА ПОШУКУ ВАКАНСІЙ. Заполовський М.Й., Бабенко А.П Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)	1104
РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБРОБКИ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Бандурка Людмила. Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ (Україна)	1106
МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАЛАШТУВАННЯ МЕХАНІКО-ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІГРОВІЗАЦІЇ ОЗДОРОВЧИХ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ. Безугла А. І., Блажко О. А. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	1108
ВЕБГРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ФІНАНСОВОЇ ГРАМОТНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ. Борецький І. В., Тройніна А. С., кРувінська В. М. Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)	1111

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ. Борецький В.О., Ткаченко О.М. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1113
КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ ТА WEB-ДИЗАЙН. Борман В.О., Шибко О.М. ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» УДУНТ (Україна)	1115
СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ ГРИ ДЛЯ ANDROID ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ FLOOD-FILL. Брускі Є. В., Тютюнникова Г. С. Ужгородський національний університет (Україна)	1116
РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ АНІМОВАНИХ ВЕБ-РЕСУРСІВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ПОТРЕБАМИ НА ОСНОВІ НАСТАНОВ З ДОСТУПНОСТІ WCAG. Васильців О.В. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)	1118
САУНДТРЕК ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАНУРЕННЯ ГРАВЦЯ У ВІРТУАЛЬНИЙ СВІТ. Вишневський О.О., Пархоменко О.Ю. Миколаївський національний аграрний університет (Україна)	1121
ПІДХІД ДО ВІЗУАЛЬНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ВИЯВЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ ВТОМИ В ПОВІДОМЛЕННЯХ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ. Віт Р.В., Мазурець О.В. Хмельницький національний університет (Україна)	1122
ВІЗУАЛЬНІ ТА ЕМОЦІЙНІ ПАТЕРНИ У ВЕБДИЗАЙНІ: ЯК ІНТЕРФЕЙС ВПЛИВАЄ НА ПОВЕДІНКОВУ ЕКОНОМІКУ КОРИСТУВАЧА. Галуза М.О. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	1124
ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ГРИ ХРЕСТИКИ-НУЛИКИ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON. Глинчук Л.Я., Шевчук І. С. Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)	1126
ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ UI/UX-ДИЗАЙНУ В РОЗРОБЦІ ВЕБ-ДОДАТКІВ. Гречаник А.Р. Національний транспортний університет (Україна)	1127
2D-ГРА У ЖАНРІ ROGUELIKE З СИСТЕМОЮ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ РІВНІВ. Демиденко М.О., Тройніна А. С. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	1130
РОЗРОБКА АНІМАЦІЙ ПЕРСОНАЖІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ANIMATION TA BLEND TREES У UNITY. Дорохін Д.А., Швець Д.В. Криворізький національний університет (Україна)	1132
ОСОБЛИВОСТІ UI/UX ДИЗАЙНУ КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ. Дорошенко Ю.О. Таврійський національний університет імені В.І.Вернадського (Україна)	1135
NFT ТА БЛОКЧЕЙН У ГЕЙМДИЗАЙНІ. Заіченко Ю.П. Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)	1138
АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПО РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ІГОР ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ «TOP GAMES». Зіманков А.М., Тройніна А.С., Рувінська В. М. Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)	1140
РОЗРОБКА ВЕБРЕСУРСУ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ОНЛАЙНОВИХ ІГОР. Кравченко А. О. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	1142
ПАРАСОЦІАЛЬНИЙ НАРАТИВ: ВПЛИВ СТРІМІНГОВОЇ КУЛЬТУРИ ТА МЕТА-ЗНАННЯ НА СПРИЙНЯТТЯ ІГРОВИХ СЮЖЕТІВ. Логінов Д. О. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1143
ІНТЕРАКТИВНА НОВЕЛА-СИМУЛЯТОР. Лукашук Г.О., Герасименко А.А, Селіхова Р.Р., Тимошенко Д.О. Український державний університету науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна)	1145
ІНТЕРАКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ВЕБ ДИЗАЙНУ ЯК ЗАСІБ ЗАЛУЧЕННЯ НОВИХ КОРИСТУВАЧІВ. Матюшин Л. С., Білець Д. Ю., Левикін І. В. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	1148
ПРИНЦИПИ UX/UI-ДИЗАЙНУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УСПІШНОГО ТОРГОВОГО БІЗНЕСУ. Мирошниченко Є.Є. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	1150

ИТДОНТУ

ІНЖЕНЕРІЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ GAMEDEV STUDIO «PIXELFORGE» У КОНТЕКСТІ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ ЗОВНІШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ. Мірошник Д.О., Тройніна А.С., Рувінська В. М. Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)	1152
АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ІГРОВИХ СВІТІВ У СЕРЕДОВИЩІ UNITY. Огарков В.Ю., Антоненко С.В. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)	1155
АДАПТОВАНА СИСТЕМА ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В ІГРОВІ ПЛАТФОРМИ. Пасєка І. В., Штефан Н. З. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	1158
КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ І WEB-ДИЗАЙН: ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕСТЕТИКИ ТА КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ. Прайс І. С. Державний податковий університет (Україна)	1160
ПОЯСНЮВАНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЗАКОНУ АМДАЛА. Прус О. В., Майданюк В. П. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1161
ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ РЕНДЕРИНГУ. Романюк О. Н., Завальнюк Є. К., Романюк О. В., Новосельцев О.О., Бобко О.Л. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1163
ДИНАМІЧНЕ РЕЛЬЄФНЕ ТЕКСТУРУВАННЯ. Романюк[1] О. Н., Новосельцев[1] О.О., Теренчук[1] А.Т., Котлик[2] С.В. [1] Вінницький національний технічний університет (Україна), [2]Одеський національний технологічний університет (Україна)	1165
ІНТЕГРАЦІЯ ІГРОВИХ МЕХАНІК ДО ВЕБДОДАТКІВ: ГЕЙМІФІКАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАЛУЧЕННЯ КОРИСТУВАЧІВ. Рустамова А.Ю. Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна)	1167
ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОГО ШІ СУПРОТИВНИКІВ У СИМУЛЯТОРАХ МОРСЬКИХ ВІЙСЬКОВИХ ОПЕРАЦІЙ. Струк Н.О., Логінова Н.І. Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)	1170
ОПЕРАЦІЙНІ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ У VR/AR-ТРЕНАЖЕРАХ ТА ІГРОВИХ СИМУЛЯТОРАХ. Таволжан Д.О., Ткаченко О.М. Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка (Україна)	1172
МОДЕРНІЗАЦІЯ ВІДКРИТОГО WEB-AR-КОНСТРУКТОРА У GITHUB-СЕРЕДОВИЩІ З ПІДТРИМКОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ. Халаміренко О. І., Блажко О. А. Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)	1174
ІНДУСТРІЯ РОЗВАГ: БІЗНЕС-МОДЕЛІ, МАРКЕТИНГ ТА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ. Циб А.О. Державний біотехнологічний університет (Україна)	1177
ІНТЕГРАЦІЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ (LLM) ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ДІАЛОГОВИХ СИСТЕМ ТА ОБРОБКИ КОМАНД ПРИРОДНОЮ МОВОЮ В ІГРАХ ЖАНРУ TYCOON. Чепендюк О.О., Манаков С.Ю., Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)	1180
АДАПТИВНИЙ ДИЗАЙН, ШВИДКІСТЬ ТА SEO-ОПТИМІЗАЦІЯ СУЧАСНИХ ВЕБСАЙТІВ. Чубатов М. А. Державний податковий університет (Україна)	1182
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ ІТ ТЕРМІНОЛОГІЇ З АДАПТИВНИМ ПІДХОДОМ ДО НАВЧАННЯ. Швець Р.Ю. Грушко С.С Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	1184
ШКІДЛИВІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР. Дзіміна А.А., Шевченко Д.Г. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1186
РОЗДІЛ 9. БІБЛІОМЕТРИКА. ІНФОРМАТИЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО, НАУКОВОГО, ДОСЛІДНИЦЬКОГО ПРОЦЕСІВ	1188
КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ ТА WEB-ДИЗАЙН. Антонов З.Є. Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій ОНТУ (Україна)	1188
ДО ПИТАННЯ ОНТОЛОГО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ БІБЛІОТЕК. Бойко М.О., Вихованець Д.Д. Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України,	1190

INTERNET

(Україна)	
ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ: ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Листопад О. А., Мардарова І. К. Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Україна)	1192
ПЕРСОНАЛІЗОВАНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ СЕРВІС ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДОСЛІДНИКІВ. Шовкопляс М.О. Сумський державний університет (Україна)	1195
РОЗДІЛ 10. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МЕДИЦИНІ	1198
MOBILE APPLICATION FOR EFFECTIVE COORDINATION OF BLOOD DONORS. Meliukhina K, Rysovanyi O. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)	1198
TELEMEDICINE — A NEW STAGE IN THE DEVELOPMENT OF COMPUTER TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE. O. V. Miroshnyk, S. V. Kotlyk. Odesa National University of Technology (Ukraine)	1199
EARLY-STAGE DIAGNOSIS OF ALZHEIMER'S DISEASE USING MACHINE LEARNING METHODS. Veronika Pletnova, Inna Zhulkovska, Oleg Zhulkovskyi Dniprovsky State Technical University (Ukraine)	1201
USE OF NEUROHEADSETS IN LIMB PROSTHESIS. Romanyuk [1] O. N., Pavlov [1] S.V., Maidanyuk [1] V.P., Romanyuk [2] S.O., Titova [2] N.V. [1] Vinnytsia National Technical University, Ukraine, [2]National University "Odessa Polytechnic" (Ukraine)	1202
CONDUCTING VIRTUAL MEDICAL SURGERIES ABROAD AND IN UKRAINE. Titova [1] N.V., Romanyuk [1] S.O. , Kotlyk [3] S.V., Romanyuk [2] O.N. , Pavlov [2] S.V. [1] National University "Odessa Polytechnic" (Ukraine), [2] Vinnytsia National Technical University (Ukraine), [3] Odessa National Technological University (Ukraine)	1204
INFORMATION TECHNOLOGY IN MEDICINE. Andreiev A.S., Sotnik S.V. Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)	1207
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ. Бандурка Л.М. Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова (Україна)	1209
ПОТЕНЦІАЛ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СИСТЕМІ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я. Білошицька О.К., Галкін О.Ю., Бесараб О.Б., Луценко Т.М. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	1212
АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РЕАЛІЗАЦІЇ КЛІНІЧНИХ МАРШРУТІВ ПАЦІЄНТІВ ПІД ЧАС ПРОТЕЗНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕДУР. Білошицька О.К. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	1215
ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ У ФІЗИЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ. Вишемірська Я. С., Вишемірський Є.Д. Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського (Україна)	1218
РОБАСТНИЙ БЕГІНГОВИЙ АНСАМБЛЬ З АГРЕГУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА МЕДІАНОЮ. Гаврилюк М.А., Ізонін І. В., Чесанов С. В., Савіцький Н. О. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	1220
МЕДИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК КОМПОНЕНТА УСПІШНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я. Головчук Ю. О., Плюшко Р. І. Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (Україна)	1222
СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДТРИМКИ ЗДОРОВОГО СПОСОБУ ЖИТТЯ. Гулевич О.О. Державний податковий університет (Україна)	1225
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ПІД ПОТРЕБИ ОСІБ З ВАДАМИ ЗОРУ. Драченко А.В., Селіванова А.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1227
MEDICAL DEVICE OPERATING SYSTEMS: CURRENT STATUS, CHALLENGES AND FUTURE TRENDS. Zhelezniak-Kranh I. O. Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)	1229

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ АНОНІМІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ЕКГ ЗВІТІВ. Закржевський Д.С. Інститут кібернетики НАН України (Україна)	1232
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОБРОБКИ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ У МЕДИЧНІЙ ТА ВЕТЕРИНАРНІЙ ПРАКТИЦІ. Іванова Л.В., Краснієнко Н.В., Кавалжі Д.Д. ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного унівеситета» (Україна)	1233
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБРОБКИ КАПІЛЯРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ. КАЛІНА В.В., БУДНИК М.М. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАНУ (Україна)	1235
КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗДОРОВ'Я ТА ЙОГО СКЛАДНИКІВ В КОНТЕКСТІ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ. Кіфоренко С.І., Бєлов В.М., Лавренюк М.В., Гонтар Т.М., Козловська В.О. Інститут інформаційних технологій та систем НАНУ (Україна)	1238
КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА „АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ЛІКАРЯ-ПСИХОЛОГА". Костішин С. В., Конахов О. Ю. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1240
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПСИХОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ. Крячок Т.В., Кобзар Т.А., Чалий П.В. Інститут інформаційних технологій та систем НАНУ (Україна)	1243
ГЕНОМНИЙ СЕРВІС ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ПІДТВЕРДЖЕННЯ РОДИННИХ ЗВ'ЯЗКІВ І ОЦІНКИ ПОХОДЖЕННЯ ЗА СИРИМИ ДАНИМИ СЕКВЕНУВАННЯ. Кузьменко Д. С., Морозова А. І. Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)	1245
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ. Лозовий Д. О. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	1247
СПОСОБИ КРІПЛЕННЯ ВЕЛОАДАПТЕРА ДО ПРОТЕЗУ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ. Луценко К. О., Овчаренко А. Р. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)	1249
ЦИФРОВА ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я: ШІ-АГЕНТИ ТА ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ЛЮДИНИ Малахов К.С. Відділ мікропроцесорної техніки, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України	1251
СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ. Мірецький В.В., Приходько О.В. Західноукраїнський національний університет (Україна)	1254
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ПЛАНІВ ХАРЧУВАННЯ. Мотошин А.А., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка», Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)	1256
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ФІТНЕС-КОУЧИНГУ. Наливайко А.Ю., Кудерметов Р.К., Грушко С.С. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	1259
БІОІНФОРМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ МУТАЦІЙ ГЕНІВ CYP450 З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ФАРМАКОТЕРАПІЇ. Пастушенко М.О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна), Шарий О.О. Національний медичний університет імені О.О. Богомольця (Україна)	1262
ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІАГНОСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕДИЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ. Пікуляк М. В., Перегінець І. В. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)	1263
КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ СТРУМІВ У СЕРЦІ ЗА ДАНИМИ МАГНІТОКАРДІОГРАФІЇ. Риженко Т.М., Чайковський І.А., Будник М.М. Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (Україна)	1266
ІНФОЛОГІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ СТВОРЕННІ ЕЛЕКТРОННОГО ПОМІЧНИКА ЛІКАРЯ. Смолін Ю.О., Кононихін О.Д. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	1269
ЗАХИСТ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ПАЦІЄНТІВ У ЗАКЛАДАХ ОХОРОНИ	1271

ЗДОРОВ'Я. Ханенко О. І., Рибак В. Т., Керівник: Мацькевич В.М. Івано-Франківський національний медичний університет (Україна)	
АНСАМБЛЬ ЛІНІЙНИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З АГРЕГУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА ПРИНЦИПОМ «ПЕРЕМОЖЕЦЬ ЗАБИРАЄ УСЕ». Чесанов С. В. , Ізонін І. В., Гентош Л. І., Гаврилюк М.А. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)	1273
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР У СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ. Шевченко Д.Г., Дзіміна А.А. Вінницький національний технічний університет (Україна)	1275
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я. Шкода Д.С., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. Національний університет «Запорізька політехніка», Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка, (Україна)	1277
ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА В МЕДИЦИНІ: ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ ПАЦІЄНТІВ. Штефан С.М. Національна академія Служби безпеки України (Україна)	1280
РОЗДІЛ 11. 3D МОДЕЛЮВАННЯ ТА 3D ДРУК	1283
FEATURES OF AUTOMATION TECHNOLOGY OF 3D METAL MATERIALS. Batsak A. M., Bernatskyi A. V., Bondarieva V. I, Harder D. A., Lukashenko V. A. E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)	1283
ІНТЕГРАЦІЯ ГЕНЕРАТИВНИХ AI-МОДЕЛЕЙ У РОБОЧИЙ ПРОЦЕС 3D-ХУДОЖНИКА ЯК ЗАСІБ ПРИСКОРЕННЯ ЕТАПІВ ЕСКІЗУВАННЯ ТА ПРОТОТИПУВАННЯ. Войтов С. С. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1285
ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ФОНОВИХ 3D-МОДЕЛЕЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХНЬОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ІГРОВОГО СЕРЕДОВИЩА. Волнянська В.П., Силенко Ю.В., Іванова М.С. Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)	1286
ВИКОРИСТАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Глинчук Л.Я. Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)	1289
3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ У НАУЦІ ТА МИСТЕЦТВІ. Гончарук Д.О. Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна(Україна)	1291
МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗА ПРОЦЕСОМ 3D-ДРУКУ. Ковальчук Д.М. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)	1292
3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ. Кравченко А. О. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)	1293
АВТОМАТИЗОВАНЕ НАЛАШТУВАННЯ 3-POINT LIGHT У BLENDER 3D ЯК ЕТАП ДОСЛІДЖЕННЯ ОСВІТЛЕННЯ В 3D СЦЕНАХ. Лисковецький В.В., Болтач С.В., Ломовцев П.Б. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1295
АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОФІЛІВ ДЕТАЛЕЙ ДЕКОРУ. Ломовцев П.Б., Болтач С.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1298
МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ. Романюк [1]О.Н. Майданюк В.П., Стахов О. Я., Бойко[2] О.П. [1]Вінницький національний технічний університет, [2]Комунальний заклад «Вінницький ліцей №7 ім.Олександра Сухомовського» (Україна)	1299
АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ. 3D-ДРУК НАВЧАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ 155-ММ БОЄПРИПАСІВ. Снітков К.І., Поліщук А.М, Семів Г.О. Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (Україна)	1301
МОДЕЛЮВАННЯ ТА 3Д-ДРУК ПРОТЕЗІВ. Солощук О.О. ВСП «Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій Одеського національного технічного університету» (Україна)	1304
ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ РОЗРОБКИ БІОМІМЕТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ. Тупкало О. А. Український державний університет науки і технологій (Україна)	1306
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ.	1308

Турянський К. О., Селіванова А.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ 3D-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ КОНЦЕПТІВ ПРИВАТНОГО ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА. Шинкар О.В. Одеський національний технологічний університет (Україна)	1311
3D-ДРУК У ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ. Янюк О.В., Куцак Ю.С. ВСП «Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету» (Україна)	1312

НТБ ОНТУ

Організації - учасники конференції
Organizations - participants of the conference

1	Astana IT University (Kazakhstan)
2	Caucasus International University (Georgia)
3	Iakob Gogebashvili Telavi State University (Georgia)
4	SE Group International (Germany)
5	Private Higher Education Establishment "European University"
6	School of Aerospace Engineering, Xi'an Jiaotong University (China)
7	Turan University (Kazakhstan)
8	Бердянський державний педагогічний університет
9	Відокремлений структурний підрозділ "Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж державного торговельно-економічного університету"
10	Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
11	Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова
12	Вінницький національний технічний університет
13	Волинський національний університет імені Лесі Українки
14	ВСП "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету"
15	ВСП «Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету»
16	ВСП Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій ОНТУ
17	Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка
18	ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет"
19	ДВНЗ "Ужгородський національний університет"
20	Державний біотехнологічний університет
21	Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»
22	Державний податковий університет
23	Державний торговельний-економічний університет
24	Державний університет "Житомирська політехніка"
25	Державний університет «Київський авіаційний інститут»
26	Державний університет інтелектуальних технологій та зв’язку
27	Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій
28	Дніпрвський національний університет імені Олеся Гончара
29	Дніпровський державний аграрно-економічний університет
30	Дніпровський державний технічний університет
31	Донбаська державна машинобудівна академія
32	Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті
33	Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
34	Житомирський державний університет імені Івана Франка
35	Західноукраїнський національний університет
36	Івано_Франківський національний медичний університет
37	Івано-Франківськ національний технічний університет нафти і газу
38	Івано-Франківська філія Університету «Україна»
39	Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
40	Інститут інформаційних технологій та систем НАН України
41	Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
42	Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка»
43	Інститут проблем безпеки АЕС НАН України
44	Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

45	Інститут програмних систем НАН України
46	Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету
47	Інститут транспортних систем і технологій НАН України
48	Ірпінський фаховий коледж НУБіП України
49	Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
50	Комунальний заклад Гімназія №12 м.Кам'янське
51	Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана
52	Київський національний університет будівництва і архітектури
53	Київський національний університет імені Тараса Шевченка
54	Київський національний університет технологій та дизайну
55	Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
56	Київський столичний університет імені Бориса Грінчека
57	Комунальний заклад «Одеський педагогічний фаховий коледж»
58	Криворізький державний педагогічний університет
59	Криворізький національний університет
60	Львівський національний університет імені Івана Франка
61	Львівський торговельно-економічний університет
62	Миколаївський національний аграрний університет
63	Національна академія внутрішніх справ
64	Національна академія Служби безпеки Україниии
65	Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
66	Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
67	Національний медичний університет імені О.О. Богомольця
68	Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
69	Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
70	Національний транспортний університет
71	Національний університет "Запорізька політехніка"
72	Національний університет "Львівська політехніка"
73	Національний університет "Одеська політехніка"
74	Національний університет "Одеська юридична академія"
75	Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
76	Національний університет «Чернігівська політехніка»,
77	Національний університет біоресурсів і природокористування України
78	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
79	Національний університет харчових технологій
80	ННІ «ДМетІ» Український державний університет науки і технологій
81	ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій
82	Одеський державний аграрний університет
83	Одеський національний економічний університет
84	Одеський національний морський університет
85	Одеський національний технологічний університет
86	Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
87	Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
88	Рівненський державний гуманітарний університет
89	Сумський державний університет
90	Сумський національний аграрний університет
91	Сумський фаховий коледж економіки і торгівлі
92	Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
93	Таврійський національний університет ім. В.І.Вернадського
94	Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка
95	Українська державна льотна академія

96	Український державний університет залізничного транспорту
97	Український державний університет імені Михайла Драгоманова
98	Український державний університет науки і технологій
99	Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
100	Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук
101	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
102	Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
103	Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ
104	Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
105	Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
106	Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
107	Харківський національний університет радіоелектроніки
108	Харківський радіотехнічний фаховий коледж
109	Херсонська державна морська академія
110	Хмельницький національний університет
111	Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
112	Центральноукраїнський інститут розвитку людини Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»
113	Центральноукраїнський національний технічний університет
114	Черкаський державний технологічний університет
115	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
116	Чорноморський національний університет імені Петра Могили

НТБ ОНТУ

Розділ 1.

Математичне і комп'ютерне моделювання складних процесів

УДК 681.5.015

MATHEMATICAL MODELS OF FUNCTIONING OF PIPELINE SYSTEMS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF CITIES

Dyadun S.V., Strukov V.M.
(s.v.dyadun@karazin.ua, volodymyr.strukov@karazin.ua)
V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)

The report examines mathematical models of the functioning of pipeline systems of critical infrastructure of cities, which have confirmed their effectiveness and have been widely tested in the implementation of automatized control systems, as well as systems of automatized design and reconstruction of gas, water, heat supply, water drainage and ventilation networks of many cities.

When solving the problems of designing and reconstructing pipeline systems of critical infrastructure of cities, as well as during their operation, in particular at the stages of operational and long-term planning of the necessary flow distribution in them, the mathematical model of sustainable flow distribution in these systems has become wide widespread, which can be represented in the form

$$f_r = r_r\varphi_r(x_r) - a_r\psi_r(x_r) + \sum_{i\in E_1} b_{1ri}\left[r_i\varphi_i(x_i) - a_i\psi_i(x_i)\right] = 0 \ (r \in E_2), \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{r\in E_2} b_{1ri}x_r \ (i \in E_1), \quad (2)$$

where $\varphi_j(x_j)\ (j \in E)$ is usually a monotonically increasing odd function x_j, and $\psi_j(x_j)\ (j \in E)$ is a monotonically decreasing or constant function, i.e.

$$\varphi_j(-x_j) = -\varphi_j(x_j)\ (j \in E), \quad (3)$$

$$\frac{\partial\varphi_j(x_j)}{\partial x_j} > 0 \ (j \in E), \quad (4)$$

$$\frac{\partial\psi_j(x_j)}{\partial x_j} \le 0 \ (j \in E). \quad (5)$$

Here E is the set of arcs of the graph of the pipeline system; r_j, x_j – the aerodynamic or hydrodynamic resistance and flow rate of the target product of the j-th section of the pipeline; B_1 – the matrix of fundamental cycles for the branches of the tree; E_1, E_2 – the set of arcs of the graph assigned to the branches of the tree and chords, respectively; $\bar{x}^T = \left[x_j\ (j \in E)\right] = \left[\bar{x}_1^T\ \bar{x}_2^T\right]$; $\bar{x}_1^T = \left[x_i\ (i \in E_1)\right]$; $\bar{x}_2^T = \left[x_r\ (r \in E_2)\right]$.

It is assumed that in the main section there may be an active element, the direction of which coincides with the selected direction of this section; $\alpha_j = 1$, if in the j-th section there is such an active element, and $\alpha_j = 0$ otherwise, and at least for one $j = k, \alpha_k \neq 0$.

System (1) - (2) under conditions (3) - (5) is a system μ (μ – cyclomatic number of the graph of the pipeline system) of nonlinear equations with $(v-1)$ a linear equation of the connection. Moreover $\mu = e - v + 1$, where $e = cardE$ and v - the number of arcs and vertices of this graph, respectively. The

solution of system (1) - (2) with respect to the costs of the target product is called the solution of the analysis direct problem or digital modeling of the distribution of the target product in the pipeline system.

Model (1) - (2) was obtained under the following assumptions:

- the pipeline system can be structurally represented as a large number of interconnected subsystems of three types: loads, or consumers, active elements, communication lines. Moreover, as a consumer in the system, a real or equivalent section is considered, called a fictitious (or drain) and directed from any node of the pipeline system graph to some point with zero pressure. Active elements, or sources, include ventilation units (for ventilation networks), as well as pumping and compressor stations (for hydraulic and gas networks). Communication lines (passive elements) are sections of the pipeline. Since with increasing flow rate in such a section, the head loss increases, and with equal but opposite flow rates it is the same in absolute value but opposite in sign, the dependence of the head loss on the flow rate is a monotonically increasing and odd function (relations (3), (4)). Passive elements should also include various adjustable and unadjustable shut-off valves (gate valves);

- each subsystem is characterized by two variables: serial (flow) and parallel (head loss), a number of parameters, as well as the selected direction. Head loss is the pressure difference under which the gas or liquid is at the beginning and end of the i-th section of the pipeline. Sometimes for gas, the difference in squared pressures is taken as a parallel variable;

- the relationship between the main elements of the pipeline system, that is, its structure can be represented as a linear graph;

- the total flow of liquid or gas supplied to the system is equal to the total flow consumed from it;

- the system obeys Kirchhoff's laws (network postulates):

a) the algebraic sum of the flows at any node of the system graph is zero;

b) the total head loss over any closed cycle (contour, ring) of this graph is also zero.

The above assumptions make it possible to consider the pipeline system as a strongly connected linear graph, on which two Kirchhoff's laws are fulfilled. This graph contains vertices and arcs, each of which is assigned a number of active and passive elements and two variables: the flow rate of the target product, or a sequential variable, and the head loss, or a parallel variable, which are related to each other by a monotonic dependence. The terms "sequential" and "parallel" variables emphasize the main characteristic of the variables and the method of their measurement, namely: the sequential variable (flow rate) is measured when the measuring device is connected in series, and the parallel (head loss) - when the latter is connected in parallel.

The set of quantities x_i and y_i $(i=\overline{1,e})$ is a two e-dimensional vector: $\bar{x}^T=[x_1,x_2,...,x_e]$ and $\bar{y}^T=[y_1,y_2,...,y_e]$.

These vectors characterize the state of flow distribution in the pipeline system, and their current (for example, the i-th) components are related by a dependence determined by the parameters of the active and passive elements of the corresponding (i-th) arc of the graph of this system, but do not depend on the geometric structure of the latter. On the other hand, the first postulate of the pipeline system allows us to find the dependence between the components of the vector $\bar{x}$, the second - the dependence for the components of the vector $\bar{y}$. These dependences are determined only by the graph of this system, that is, its geometric structure. The system of e equations for the branches together with e equations arising from Kirchhoff's laws, and is the mathematical model of the flow distribution process in the pipeline system, which uniquely reflects the relationship between variables, parameters and the structure of the system.

The model (1) - (2), obtained using the contour separation method [1], must be supplemented in the general case with *e* equations for the parallel variable $\bar{y}$

$$y_j(x_j)=r_j\varphi_j(x_j)-a_j\psi_j(x_j)\ (j\in E). \quad (6)$$

Here

$$y_j^{(\text{п})}=r_j\varphi_j(x_j)\ (j\in E) \quad (7)$$

parallel variable of the j-th passive element,

$$y_j^{(a)}=a_j\psi_j(x_j)\ (j\in E) \quad (8)$$

parallel variable of the j-th active element; $x_j>0$, if the direction of the serial variable of the j-th arc of the pipeline system graph coincides with the selected direction of this arc; $x_j<0$ otherwise;

$y_j^{(п)} > 0$, if $x_j > 0$; $y_j^{(п)} < 0$, if $x_j < 0$. It is also assumed that the j-th active source is oriented identically with the j-th arc. In this case $y_j^{(а)}$, in expression (1) is taken with a minus sign.

References

1. Evdokimov A.G. Pipeline Transport Systems. Theory. Practical Applications. Mathematical Principles. - Kharkiv: Tochka Publishing House, 2004. - 572 p.

UDC 621.436.001.57

MODELING OF DYNAMIC VALUE CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES

Ishchenko P.P., Hryhorenko A.O., Usov D.D., Lymar O.O., Marchenko D.D.
(limaroo@mnau.edu.ua, marchenkodd@mnau.edu.ua)
Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)

The article considers the issue of forming dynamic operating modes of a diesel engine during vehicle acceleration. The influence of turbocharger inertia on boost pressure, acceleration dynamics, and the occurrence of such phenomena as "turbo pit" and "turbo pick-up" is determined. The author proposes a method for mathematical modeling of transient engine operation based on the use of an extended mathematical model of the Blitz-PRO® turbo-piston engine. A system of equations for the dynamics of the engine, turbocharger, and pneumatic actuators is presented, which allows for highly accurate determination of changes in the speed, boost pressure, and load in real operating conditions. The results obtained contribute to increasing the accuracy of transient evaluation in modern diesel engines with gas turbine supercharging and can be used in the design improvement of supercharging systems.

When a diesel internal combustion engine is used in a motor vehicle, transient operating modes constitute a significant portion of its operation. These modes include starting, warming up, accelerating, and braking. From the perspective of the turbocharging system's operation, the acceleration mode of the vehicle is of greatest interest [1]. Due to the inertia of the turbocharger, it takes a certain amount of time for its rotor to spin up to its operating speed. Consequently, during the initial acceleration phase, the boost pressure does not correspond to that during steady-state engine operation. To maintain the maximum permissible excess air coefficient, it is necessary to limit the cyclic dose of fuel injected into the cylinder, which leads to a decrease in engine power and an increase in acceleration time. This phenomenon is known as "turbo lag". As the vehicle accelerates, the boost pressure begins to increase sharply, which leads to a sudden increase in engine power and acceleration of the vehicle - "turbo lag". Both of these phenomena are unfavorable and are the subject of constant efforts by designers to eliminate them.

Fig. 1 shows the combination of external speed characteristics of the engine (VSH) and the resistance power (load) on the engine.

When accelerating a vehicle at maximum acceleration, the engine operates according to its external speed characteristic, despite the engine load being significantly lower than the power it generates. The difference between the engine's generated power and the load power is expended to increase the kinetic energy of the engine and vehicle. Clearly, the dynamic VSH is lower than the static VSH, which adversely affects the transition time.

The problem of favorable formation of dynamic VSH becomes more acute with increasing boost pressure, since, with single-stage boost, it becomes necessary to use high-pressure turbocompressors, which have higher rotor moments of inertia.

НТБОНТУ

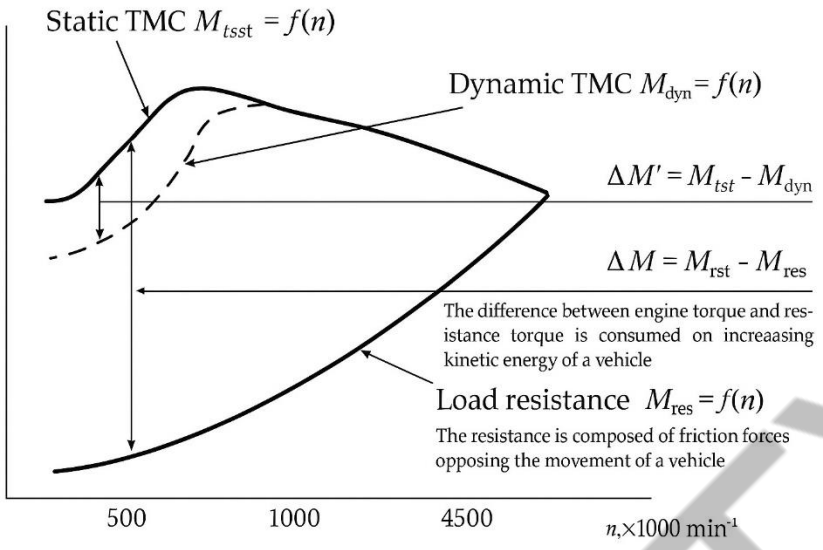


Fig. 1 External speed characteristics during vehicle acceleration and a fixed transmission gear ratio

To simulate transient operating modes, the Blitz-PRO® mathematical model of the turbopiston engine, developed at the Department of Tractors and Agricultural Machinery, Operation and Technical Service, was supplemented with the corresponding calculation modules. Initially, the steady-state operating mode of the engine is calculated before the onset of a transient process (e.g., acceleration). This step is necessary for the initial filling of the arrays of parameters of the working fluid in the engine cylinder, intake receiver, and exhaust manifolds [2 - 5]. Next, the sequence of engine operating cycles is calculated. In this case, the change in the rotational speed of the engine and turbochargers is calculated at a time interval corresponding to the cycle time. Dynamic equations are used for the calculation engine and turbochargers, as well as an equation for determining the load on engine:

$$\Delta n^{i-1} = \frac{60}{I_{eng}} \frac{N_e^i - N_{mp}^i - N_{load}^i}{x\left(\frac{\pi}{30} n^i\right)^2};$$

$$\Delta n_{TK}^{i+1} = \frac{60}{I_{TK}} \frac{N_t^i - N_K^i}{x\left(\frac{\pi}{30} n_{TK}^i\right)^2};$$

$$N_{load}^i = A_0 + A_1\left(\frac{n^i}{n_н}\right) + A_2\left(\frac{n^i}{n_н}\right),$$

where n - is the current engine speed; n_{TK} - is the current engine speed turbocharger rotor; N_e - the current value of the effective engine power, which is the difference between the indicated power and power of mechanical losses; N_{load} - current value of engine load; N_t - instantaneous value of turbocharger turbine power; N_K - instantaneous value of turbocharger compressor power; I_{eng}- instantaneous value of power losses in transmission: I_{eng}- total moment of inertia of moving parts of engine, transmission and vehicle propeller; A_0, A_1, A_1 - constant coefficients; I_{TK} - moment of inertia of turbocharger rotor; $n_н$ - rated engine speed; N_e- rated engine power; i - time layer number.

The turbocharger dynamics equation is solved together with the iterative refinement of the pressure increase ratio in $П_к$ the turbocharger compressor based on the interpolation of the digitalized characteristics of the turbocharger.

It is especially important to emphasize the need to use extrapolated characteristics of the compressor and turbine of the turbocharger [6, 7] to ensure the stability of such a calculation, since the engine operates over a very wide range.

It should be noted that when simulating transient engine conditions, the mathematical model is also supplemented by a calculation of the dynamics of pneumatic actuators to determine the current flow area of the bypass valves [8, 9]. According to the fundamental law of dynamics:

$$\sum \overline{F} = -m\overline{a} : \overline{P_s} + \overline{P_t} + \overline{F_{пр}} = -\overline{m_{mex}} \frac{d^2 h_{cl}}{dt^2};$$

$$P_s=\frac{\pi d_{\text{м}}^2}{4}(p_s-p_o);$$
$$P_t=p_t\frac{\pi d_{BP}^2}{4}-p_{\text{зт}}\frac{\pi d_{\text{cl}}^2}{4};$$
$$F_{\text{пр}}=C_{\text{пр}}\text{h}_{\text{кл}}+B_{\text{in}},$$

where p_s - is the air pressure in the engine receiver; p_o - is the ambient pressure; p_t - is the gas pressure before the turbine; p_t - is the gas pressure after the turbine; $C_{\text{пр}}$ - is the spring stiffness coefficient; B_{in} - is the static force of the spring; is the diameter of $d_{\text{м}}$ - the actuator membrane; d_{BP} - is the diameter of the bypass valve; is the diameter of d_{cl} - the actuator membrane ; h_{cl} - is the valve lift height; h_{cl} - the total mass of the moving parts of the mechanism.

In conclusion, it should be said that the application of the indicated approach to modeling the dynamic VSH [10] of diesel engines allows us to estimate transient processes in modern gas turbine supercharging systems with a fairly high degree of accuracy.

References

[1] Yu. L. Moshentsev, D. S. Minchev, A. V. Nagorny, and S. Dyakonov, “Extrapolation of experimental characteristics of centrifugal compressors,” *Proceedings of the National University of Shipbuilding*, no. 4, pp. 57–63, 2011.

[2] O. Lymar and D. Marchenko, “Prospects for the Application of Restoring Electric Arc Coatings in the Repair of Machines and Mechanisms,” in Proceedings of the *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems* (MEES 2022), 2022. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005709.

[3] Yu. L. Moshentsev, D. S. Minchev, A. V. Nagorny, and A. S. Dyakonov, “Application of centrifugal compressor characteristics in numerical modeling of combined internal combustion engines,” *Electronic Bulletin of the National University of Shipbuilding*, no. 5, pp. 33–38, 2011.

[4] J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

[5] D. Marchenko, K. Matvyeyeva, and V. Kurepin, “Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives,” *Problems of Tribology*, vol. 29, no. 4(114), pp. 24–31, 2024. doi: 10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31.

[6] R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, 4th ed. London: *Palgrave Macmillan*, 2012.

[7] V. Ganesan, Internal Combustion Engines, 3rd ed. *New Delhi: McGraw-Hill Education*, 2011.

[8] Y. Kononov and O. Lymar, “Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 7(133), pp. 14–21, 2025. doi: 10.15587/1729-4061.2025.323200.

[9] R. J. Watson and M. A. Milovanovic, “Modelling turbocharged diesel engine transient performance,” *International Journal of Vehicle Design*, vol. 19, no. 3, pp. 272–288, 1998.

[10] P. J. Wallace and P. S. Leach, “Simulation of turbocharger dynamics and transient performance in diesel engines,” *SAE Technical Paper* 2000-01-0919, 2000.

UDK 656.078:004.7:519.8

BLOCKCHAIN-ENABLED MATHEMATICAL MODELLING OF URBAN PASSENGER TRANSPORT

Khoshaba O., Zora I. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Annotation. This paper proposes a mathematically grounded framework for organising urban passenger transport that couples classic transit modelling (assignment, headway control and capacity analysis) with a permissioned blockchain for trusted, auditable data exchange among agencies, operators and users. We formalise the problem as minimising generalised passenger time and operational cost subject to fleet, capacity and service constraints, while enforcing the integrity of ticketing, vehicle

telemetry and control actions via smart contracts. The contribution is threefold: (i) a demand–supply modelling layer based on transit assignment and holding control; (ii) a data and governance layer using a consortium blockchain with role-based consensus; and (iii) a set of measurable performance indicators and deployment guidelines for multi-operator cities. The approach targets reductions in headway variability and excess waiting, improved fare integrity and transparent inter-operator reconciliation, while meeting throughput and latency requirements of large networks.

Keywords: urban transport; transit assignment; headway control; blockchain; smart ticketing; distributed ledger; operations research.

Problem statement. Urban passenger systems increasingly operate as multi-operator, multi-modal networks that must coordinate timetables, capacity and fares under demand peaks and disturbances. Conventional data pipelines and bilateral clearing create silos, reconciliation delays and limited auditability. The lack of a commonly trusted record complicates pay-as-you-go and capping policies, hinders real-time control across agencies, and weakens evidence for service-quality enforcement. Meanwhile, rigorous planning still requires mathematically consistent models of passenger behaviour and service control to guarantee predictable levels of service under constraints [3]–[5], [9]. Recent research suggests blockchain can supply a tamper-evident, multi-stakeholder data fabric and programmable settlement for mobility ecosystems [1], [2], [6], [7], [10]–[12]. We therefore address the following: how to integrate (A) transit network modelling and (B) a practical, high-throughput blockchain substrate so that operational decisions and economic transactions share a single source of verifiable truth.

Research tasks.

T1 – Mathematical modelling of service and demand. Build a transit assignment model on a directed network where passenger route choice follows optimal strategies (frequent-service assumption), consistent with established formulations [4]. Then, compute link and line loads under given headways and capacities. Integrate passenger arrival processes at stops and vehicle capacity to quantify excess waiting and on-board crowding [3]–[5], [9].

T2 – Real-time control policy. Design a headway-based holding controller at selected control stops to suppress bunching, parameterised to balance passenger delay and schedule regularity, following evidence from the holding-control literature [9]–[12].

T3 – Blockchain architecture and data model. Specify a permissioned (consortium) ledger that records: (i) fare events (issue/validate/revoke/cap); (ii) vehicle events (arrival/departure, dwell, load); and (iii) control actions (hold/release) as signed transactions governed by smart contracts. Select a BFT-class consensus (e.g., PBFT/IBFT) to achieve low-latency finality appropriate for operational control, per blockchain design guidance and ITS-oriented surveys [1], [2], [6].

T4 – Inter-operator clearing and audit. Implement periodic settlement and subsidy rules as programmable contracts (caps, concessions, revenue splits), and expose cryptographic audit trails for regulators and operators [6], [7], [10]–[12].

T5 – Performance indicators and design targets. Define KPIs: headway CV on trunk segments, excess waiting time, on-board time, dispatched fleet, fare-leakage proxy, and ledger throughput/latency. Map event rates to ledger capacity (e.g., for 600k boardings/day ≈ 6.9 s^{-1} average, peaking ×8–10 in rush hours; with ~3–5 ledger events/boarding, dimension for O(150–350) TPS with sub-second commit at the edge). These order-of-magnitude requirements follow simple rate calculations and align with throughput reported for permissioned, BFT-style deployments in applied studies [2], [6], [7], [10]–[12].

3. Essence of the approach.

3.1 Demand–supply and assignment layer. We adopt an optimal-strategies assignment on transit networks (passengers minimise expected journey time, including waiting and in-vehicle time under frequency-based service) to compute equilibrium flows [4], using Sheffi-style network equilibrium concepts for existence and solution quality [3]. Capacity constraints and stochastic arrivals feed a queueing-inspired waiting model consistent with TRB practice [5]. Outputs include platform loads, line segment utilisation and expected waiting time by stop and time-of-day.

3.2 Control layer (holding). We place dynamic holding controllers at a small set of control points. Each controller observes preceding/following headways (estimated from vehicle telemetry) and solves a convex surrogate of the passenger time–regularity trade-off, consistent with the literature on predictive/dynamic holding [9]–[12]. Control actions are discretised dwell extensions that respect minimum headway and capacity constraints.

3.3 Blockchain data and governance layer.

Data objects. (a) Fare tokens (or account entries) encoding product, capping and concessions; (b) Telemetry events (arrival/departure, dwell, load, device attestations); (c) Control actions.

Smart contracts. (i) Ticketing/validation (single-tap account-based or token-based), (ii) Capping across operators and modes, (iii) Revenue distribution with rules agreed ex ante, (iv) Service-quality oracle that locks bonuses/penalties based on KPIs.

Consensus & performance. We recommend a permissioned BFT family for finality and low latency within a consortium of agencies/operators, following blockchain overviews and ITS-focused surveys [1], [2], [6].

Privacy & security. Pseudonymous identifiers, selective disclosure for audits, and on-chain proofs anchored to off-chain payloads (e.g., Merkle commitments) in line with smart-ticketing studies [6], [7], [10], [11].

3.4 Systems integration. Roadside units/validators act as edge nodes signing events; control centres and settlement services act as validating peers. The ledger provides a tamper-evident trail across agencies, replacing bilateral files and enabling near-real-time reconciliation, as proposed in recent transport-ticketing work [6], [7], [10], [11].

Results (what the framework enables). Analytical and simulation outputs from the coupled model are intended to demonstrate:

(i) Regularity gains-median headway CV reductions on trunk segments via holding (literature baseline suggests material improvements under dynamic policies) [9]–[12]; (ii) Passenger benefits - lower excess waiting time and missed-bus probability under stochastic arrivals [5], [9];

(iii) Operational efficiency - meeting target loads with fewer ad-hoc extras by stabilising service; (iv) Economic and governance benefits- on-chain capping and automated inter-operator settlement with cryptographic auditability [6], [7], [10], [11]; (v) Data integrity - single source of truth for regulators and planners, supporting before/after evaluation. The blockchain's role is not to "optimise" flows per se, but to ensure that control decisions, validations and reconciliations are reproducible and tamper-evident, a property emphasised in surveys and smart-ticketing studies [1], [2], [6], [7], [10], [11].

Conclusions. We developed a coherent, deployable scheme that unites transit assignment and headway control with a permissioned blockchain to handle trust, reconciliation and programmability across agencies. The framework is technology-agnostic at the modelling layer and pragmatic at the data/governance layer, using smart contracts for ticketing, capping and settlements. Future work includes field trials with live validators, robustness to device failures, and formal welfare analysis under multi-operator governance. Given the pace of development in IoV/ITS blockchain tooling and the maturity of transit control theory, the proposed synthesis is timely and actionable for mid-sized and large cities [1], [2], [6], [7], [10]–[12].

On a simulated urban bus line with variable demand (peak load), the proposed control scheme (dynamic holding + slack control) reduced the interval fluctuations: CV(H) from 0.32 to 0.21 (-34%), the average expected passenger delay (EWT) from 4.8 to 3.1 min (-35%), and the share of "sticking" trips from 12 to 5 cases per 100 trips (-58%). The blockchain component (IBFT, permissioned) provided a median commit delay of 0.19 s (P95 = 0.42 s) at ~250 txn/s and an end-to-end control decision delay of 0.8 s (median); the average additional CPU load of the onboard node <3%.

References:

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008. [Online]. Available: bitcoin.org/bitcoin.pdf. Accessed: Oct. 15, 2025.

[2] Z. Zheng, S. Xie, H.-N. Dai, X. Chen, and H. Wang, "An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends," in Proc. 2017 IEEE Int. Congress on Big Data (BigData Congress), Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 557–564, doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85.

[3] Y. Sheffi, Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1985.

[4] H. Spiess and M. Florian, "Optimal strategies: A new assignment model for transit networks," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 23, no. 2, pp. 83–102, 1989, doi: 10.1016/0191-2615(89)90034-9.

[5] Kittelson & Associates, Inc. TCRP Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd ed. Washington, DC, USA: Transportation Research Board of the National Academies, 2013. [Online]. Available: doi:10.17226/24766. Accessed: Oct. 15, 2025.
[6] M. B. Mollah et al., "Blockchain for the Internet of Vehicles toward intelligent transportation systems: A survey," IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 6, pp. 4157–4185, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3028368.
[7] A. Preece, O. Morris, and C. Easton, "Leveraging ontochains for distributed public transit ticketing," IET Blockchain, vol. 4, no. 4, pp. 456–469, 2024, doi: 10.1049/blc2.12071.
[8] UDC Consortium, "UDC Summary (UDCS): Universal Decimal Classification Summary." [Online]. Available: udcc.org (UDC resources and updates). Accessed: Oct. 15, 2025.
[9] Y. Xuan, J. Argote, and C. F. Daganzo, "Dynamic bus holding strategies for schedule reliability: Optimal linear control and performance analysis," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 45, no. 10, pp. 1831–1845, 2011, doi: 10.1016/j.trb.2011.07.006.
[10] G. Laskaris, O. Cats, E. Jenelius, M. Rinaldi, and F. Viti, "A holding control strategy for diverging bus lines," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 126, art. 103087, 2021, doi: 10.1016/j.trc.2021.103087.
[11] L. Fu and X. Yang, "Design and implementation of bus-holding control strategies with real-time information," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1791, pp. 6–12, 2002.
[12] A. Alhogail, M. Alshahrani, A. Alsheddi, D. Almadi, and N. Alfaris, "RideChain: A blockchain-based decentralized public transportation smart wallet," Mathematics, vol. 12, no. 19, art. 3033, 2024, doi: 10.3390/math12193033.

UDC 004.8

ANALYSIS OF INTELLECTUAL DATA ANALYSIS METHODS FOR EVALUATING USER BEHAVIOUR

Koliesnik D. (Daniil.Koliesnik@hneu.net)
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (Ukraine)

Analysing user behaviour in the digital environment requires the use of intelligent data analysis. The study proposes a combination of cluster and discriminant analysis for segmentation and prediction of target actions (e.g., purchases) based on interaction metrics.

In today's digital world, companies and developers are faced with a huge flow of information about how users interact with their products – websites, applications, services. These ever-growing volumes of data on clicks, views, purchases and other actions can easily turn into information noise if you don't have effective tools to analyze them. Without a deep understanding of user behavior, it becomes difficult to make informed decisions about product development, content personalization, or marketing strategies, leading to missed opportunities and inefficient use of resources. In such situations, data mining methods become reliable tools for identifying hidden patterns and assessing user behavior.

For a comprehensive analysis and understanding of user behavior in the digital environment, it is important to consider three key aspects: how this behavior can be measured, how it can be conceptually modelled, and what factors influence it. Behavior is measured using a variety of metrics that allow for the quantitative assessment of different aspects of user interaction with a digital product. Behavioral models help to structure the understanding of these interactions, explain existing patterns, or predict future actions. Finally, influencing factors provide the necessary context, explaining why users behave in one way rather than another, considering both their internal characteristics and the features of the external environment.

Key aspects of analysing user behaviour in the digital environment:

Behavior measurement: visitor numbers/traffic; engagement; navigation; conversions; retention; satisfaction/experience;

User behavior models: describing the decision-making process; describing interaction; data-driven; agent-based; profiling;

Factors influencing behavior: internal; external.

User behaviour in the digital environment is a complex, multifaceted and dynamic phenomenon that reflects human interaction with technology. Studying it is key to creating successful digital products. The characteristics of this behaviour, such as purposefulness, measurability, variability and the presence of patterns, make it a suitable object for the application of intelligent data analysis methods.

Since user interaction generates a lot of different information, we will highlight the following potentially important groups of indicators:

session and visit data: traffic sources, visit time, session duration, device type, geographic data, number of pages/screens viewed;

data on interaction with content and functionality: page view sequences (user paths), clicks on interface elements, search usage, form filling, video viewing, time on page, scrolling depth;

conversion action data (if relevant): purchases, registrations, subscriptions, file downloads, other goal completion;

user data (if available and relevant): demographic characteristics, history of previous interactions, user segment (if previously segmented).

This data is typically captured by web analytics systems, internal application logs, or special event tracking systems.

Solving the problem of evaluating user behaviour requires the use of adequate methods of multidimensional statistical analysis capable of processing complex data sets that characterise objects according to many features. This section discusses two classes of such methods, namely cluster and discriminant analysis.

Although these methods solve different problems – cluster analysis aims to reveal the internal structure of data and segment objects without prior information about classes, while discriminant analysis is used to classify objects into predefined groups – they can be effectively combined to achieve the goals of this study. In particular, we plan to use cluster analysis to identify natural segments of users based on their behavioural patterns, and then apply discriminant analysis to build a model that predicts target actions (e.g., purchases) and identifies key behavioural factors that distinguish users.

To visualize and structure this comprehensive approach, it is advisable to construct a conceptual research framework. This diagram will reflect the main stages of analysis, linking specific models that need to be developed to assess user behavior and potential demand with the corresponding methods of intelligent data analysis that will be used to solve them (Table 1).

Table 1. Conceptual diagram of building models for intelligent data analysis

Models / Research tasks	**Intelligent data analysis methods**
M1. Model of user segmentation by behavior patterns (identification of typical user groups)	Cluster analysis (CA): Hierarchical methods (dendrograms, Ward's method) for visual determination of the number of clusters; K-means method for final cluster formation; Calculation of distance measures (Euclidean) to calculate similarity between observations.
M2. Classification model for assessing cluster membership (verification of segmentation accuracy and development of classification rules)	Discriminate analysis (DA): Construction of discriminant functions to separate clusters; Classification of observations according to the discrimination rule; Assessment of classification accuracy (error matrix, Wilks' lambda)
M3. Analysis of factors influencing behavioral membership (interpretation of clusters and discriminant functions)	Descriptive statistics (for profiling clusters obtained in M1). Analysis of discriminant function coefficients (from M2) to determine the importance of features.

The key task of the practical part is to evaluate their behavior in terms of predicting specific outcomes. In particular, the goal is to develop a model that will allow, based on data about user interaction with a digital product (collected behavior metrics), to assess the probability of achieving target actions, such as making a purchase or leaving positive feedback, as well as potentially classifying users by level of satisfaction.

A comparative analysis revealed fundamental differences between cluster analysis and discrimination analysis. Cluster analysis, as an unsupervised learning method, aims to reveal the internal structure of data and form groups (clusters) of objects based on their similarity, regardless of any external criteria or target variables. Although it can be useful for exploratory analysis and identifying unknown user segments, it does not provide direct tools for solving classification or prediction problems for predefined categories.

In contrast, discriminant analysis is a supervised learning method, the main purpose of which is to develop rules for classifying objects into known groups. Direct alignment with goals: discriminant analysis allows you to build a model that, based on behavioral predictors (number of views, session time, functions used, etc.) will classify users into target categories ('bought'/'did not buy', 'left positive feedback'/'did not leave', 'highly satisfied'/'low satisfaction').

Predictive power. The discriminant function (or functions) can be used to predict the behavior of new users, which has high practical value for business (for example, for targeting marketing campaigns or proactive work with customer support).

Interpretation of influencing factors. Discriminate analysis not only classifies but also allows you to evaluate the contribution of each behavioral characteristic to the separation of groups. This makes it possible to understand which aspects of behavior are the most significant indicators of the likelihood of purchase, satisfaction or leaving positive feedback.

Thus, the application of intelligent data analysis methods to assess and predict key aspects of user behavior (probability of purchase, leaving positive feedback), the optimal solution would be to combine these two models.

References

1. Болюбаш Н. М. Інтелектуальний аналіз даних : навч. посіб. / Н. М. Болюбаш. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. – 320 с.

2. Гороховатський В. О., Творошенко І. С. Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних : навч. посіб. / В. О. Гороховатський, І. С. Творошенко. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 92 с.

3. Data Mining. Concepts and Techniques / Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei. – 3rd ed., 2012. – 744.

UDK 316.663.5

MAPPING ONLINE BEHAVIOR OF UKRAINIAN STUDENTS THROUGH K-MEANS CLUSTERING

S. V. Kotlyk[1], O. P. Sokolova[1], Y. V. Voronkova[2], L.K.Yadovin[2]

(sergknet@gmail.com, okspetr@ukr.net, voronkova_ulya@ukr.net, Lev20008lev@gmail.com)

[1]Odesa National University of Technology,

[2]Odesa Technical Professional College of ONUT (Ukraine)

Abstract. *The paper explores the phenomenon of Internet dependency among Ukrainian youth, emphasizing behavioral tendencies, emotional aspects, and the role of digital habits in shaping daily life. The study combines theoretical research, online data collection, and statistical clustering to identify distinct user profiles that reflect varying degrees of Internet engagement and addiction risk.*

Keywords*: Internet addiction, digital behavior, Ukrainian youth, clustering analysis, K-means method, online survey, Google Forms, social media, digital wellbeing.*

Introduction

Over the past decade, the Internet has evolved from a communication tool into an essential part of everyday life. According to the *Digital 2024* global report, more than 5.5 billion people—about two-thirds of the world's population—use the Internet daily, spending an average of 6.5 hours online. For many, online activity is an integral part of work, study, entertainment, and social interaction. However, the fine line between productive use and dependency often becomes blurred, especially among young users who spend a significant portion of their time in digital environments.

Theoretical Background

Internet dependency is rooted in the brain's reward system. Activities such as receiving likes on social media, gaming achievements, or continuous content consumption trigger dopamine release, creating positive reinforcement loops that encourage repetitive behavior. As a result, individuals may lose control over time spent online, neglect responsibilities, and experience emotional fatigue.

Researchers identify several forms of Internet addiction: social media obsession, gaming dependency, compulsive information seeking, binge-watching, excessive communication via messengers, online shopping addiction, gambling, and virtual relationships. Each reflects a specific behavioral pattern but shares a common mechanism—displacement of real-life activities by online substitutes.

Methodology

The study aimed to assess the level of Internet dependency among Ukrainian youth, determine the main behavioral patterns, and identify risk factors.

A Google Forms online survey was designed based on adapted elements of the Kimberly Young Internet Addiction Test (IAT) and Chen Internet Addiction Scale (CIAS), supplemented with customized questions relevant to modern digital habits.

The questionnaire covered demographics, daily online time, purposes of Internet use, emotional response to disconnection, procrastination, and attempts to self-limit online activity. A total of 405 respondents participated, including students and teachers of Odesa National Technological University and affiliated colleges.

Data Analysis

Statistical analysis was performed using descriptive statistics, correlation evaluation, and the k-means clustering algorithm to segment respondents by behavioral similarity. Visualization was implemented using dimensionality reduction (PCA).

The main findings include:

- Average online time: 3–7 hours per day for most respondents; 21% exceeded 7 hours.
- Main purposes of use: social networks (79%), academic information search (69%), news reading (61%), and entertainment (47%).
- Emotional dependence: 52% reported discomfort when offline.
- Impact on life: over 60% admitted procrastination due to online activity.
- Self-regulation attempts: only 24% successfully reduced Internet use.
- Preferred coping methods: time management (27%), changing environment (21%), and social support (15%).

Clustering Results

Four distinct behavioral clusters were identified:

1. **Addicted Users** – mostly under 17; spend over 7 hours online; experience anxiety when disconnected; frequent procrastination; failed attempts to limit usage.
2. **Active Users** – aged 17–23; spend 5–7 hours daily; moderate discomfort offline; use Internet actively for both entertainment and study.
3. **Stable Users** – over 24; balanced Internet use (3–4 hours/day); minimal negative effects; rarely procrastinate.
4. **Conscious Users** – adults using the Internet for work and learning; 3–5 hours/day; rational and controlled digital behavior.

Discussion

The clustering results reveal age-related progression in Internet dependency. Younger groups exhibit stronger emotional and behavioral attachment, while older participants demonstrate more self-regulated use. The transition from "addicted" to "conscious" patterns reflects a maturing understanding of digital self-control.

The findings also confirm that Internet dependency correlates with time online, social media activity, and limited self-regulation strategies. The emotional dimension—discomfort, anxiety, or guilt—serves as a key diagnostic indicator.

Conclusions

Internet dependency remains a pressing issue among Ukrainian youth. The majority of respondents show moderate to high engagement levels, often linked to procrastination and reduced focus.

To mitigate these risks, the study recommends:

- integrating digital hygiene education into university curricula;

- promoting self-monitoring tools and time-tracking apps;
- encouraging offline social interaction;
- implementing institutional awareness campaigns about responsible Internet use.

The results provide a data-driven foundation for developing preventive programs and contribute to the broader understanding of digital behavior within Eastern European academic environments.

References

[1]. Special report - digital 2024. Your ultimate guide to the evolving digital world. Available online: URL: https://wearesocial.com/uk/blog/2024/01/digital-2024/
[2]. Internet Addiction: A Literature Review. Available online:: https://ijtarp.org/article/view/23785
[3]. Bickham, D.S. (2021). Current research and viewpoints on Internet addiction in adolescents. Current Pediatrics Reports. 9, 1–10. https://doi.org/10.1007/s40124-020-00236-3
[4]. Cruz, F. A. D., Scatena, A., Andrade, A. L. M., & Micheli, D. (2018). Evaluation of Internet addiction and the quality of life of Brazilian adolescents from public and private schools. Estudos de Psicologia (Campinas), 35(2), 193–204. https://doi.org/10.1590/1982-02752018000200008
[5]. Dalal, P.K & Basu, D, (2016). Twenty years of Internet addiction. Quo Vadis?. Indian J Psychiatry, 58(1), 6–11. https://doi.org/10.4103/0019-5545.174354
[6]. Clustering process. Availalbe online: URL: https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/clustering-process
[7]. Clustering Principles. Availalbe online: URL: https://www.ibm.com/docs/en/spss-statistics/saas?topic=hca-clustering-principles
[8]. Chen Internet Addiction Scale. Availalbe online: URL: https://blocksurvey.io/templates/self-assessments/chen-internet-addiction-scale
[9]. Clustering Algorithms. URL: https://developers.google.com/machine-learning/clustering/clustering-algorithms?
[10]. The 5 Clustering Algorithms Data Scientists Need to Know. URL: https://towardsdatascience.com/the-5-clustering-algorithms-data-scientists-need-to-know-a36d136ef68
[11]. Clustering Methods. URL: https://sustainabilitymethods.org/index. php/Clustering_Methods

UDC 519.24:531.38:514.764

MULTISCALE PERCOLATION AND FORCE FIELDS ON SIERPINSKI PREFRACTALS: A MULTIPLICATIVE MEASURE APPROACH

Yu.V. Kryvchenko (yuriikryvchenko@otfk.ukr.education),
A.S. Zhadan (arthur.zhadan@gmail.com),
A.A. Kryvchenko (Nastya.otk.2014@gmail.com)
Separated Structural Subdivision «Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology» (Ukraine)

This research explores the behavior of multiscale site percolation on fractal substrates through the construction of a multiplicative measure on a two-scale Cantor-type set, capturing the probabilistic structure of cluster formation. Simultaneously, it investigates the force field generated by point sources distributed over the nodes of a Sierpinski pre-fractal of arbitrary generation. By employing recursive relations and symmetry principles, explicit analytical expressions for field components are derived. The study offers a unified framework for understanding how hierarchical geometries influence both statistical distributions and physical interactions, contributing to the broader modeling of complex systems on fractal domains.

The study introduces a refined approach to modeling site and gradient percolation on fractal substrates, emphasizing the role of arithmetic structures in redefining the nature of phase transitions. Within the framework of an infinite system, the transition is shown to manifest not as a singular critical

point, but as a finite critical interval, reflecting the layered complexity of multiscale interactions. Analytical expressions are derived for stress fields and critical exponents associated with cluster systems embedded in Sierpinski-type geometries. A system of recurrence relations is formulated, enabling the classification of defect dynamics through attractor behavior in phase space. The model incorporates a representation of the nearest neighborhood as a "thick" fractal set, with the Sierpinski carpet of arbitrary generation serving as a canonical example. Recognizing its structural analogy to a two-dimensional Cantor set, the study identifies a corresponding multiplicative measure, extending the applicability of fractal analysis to interconnected systems. These findings reinforce the interdisciplinary relevance of percolation theory, where the concept of connectedness emerges as a unifying principle across physical and computational domains.

Really one of the possible representations of the nearest neighborhood in the model is the prefractal of the Sierpinski *n*-th generation carpet. It is well known that the Sierpinski gasket can be considered as the two-dimensional Cantor set. By analogy with [1], we identify its multiplicative measure.

Let there be a two-dimensional Cantor set with two scales $s_1$and s_2 and the measure generated by a multiplicative process $p_1$and p_2. Totally, we have $n!/k!\,(n-k)!$ segments of the space $s_1^k s_2^{n-k}$ and weight $\mu_i = p_1^k p_2^{n-k}$ in the *n*-th generation of the Cantor set (Fig. 1). Thus, the measure is given by

$$M_d(q,\delta) = \left(p_1^q s_1^d + p_2^q s_2^d\right)^n = \left(p_1^q l_1^{2d} + p_2^q l_2^{2d}\right)^n,$$

where δ is the same box size on all cells used to cover the set and q is the moment order of M.

This measure remains finite with $\delta = l_2^n$ as $n \to \infty$ if, and only if, one chooses $d = \tau(q)/2$ [1] where the mass exponent $\tau(q)$ is the solution of the equation

$$p_1^q l_1^{\tau(q)} + p_2^q l_2^{\tau(q)} = 1$$

For $q = 0$ the mass exponent is the fractal dimension of the set and equals 0.6110497257 (Fig. 1).

The possibility of solving the percolation problem on the Sierpinski carpet by the renormalization group method is shown in [2].

Let us consider modification of the "wire" model of the Sierpinski carpet, which proposed in [2].

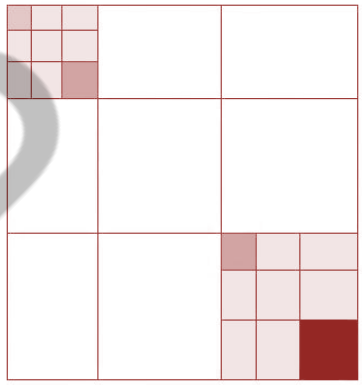


Figure 1 - Two-scale fractal measure on the 2D Cantor set with $s_1 = 0.25^2$ and weight $p_1 = 0.6$ and $s_2 = 0.4^2$ with $p_2 = 0.4$. The space of squares in the *n*-th generation is proportional to the density $\rho_i = \mu_i/s_i$. The fractal dimension of the Cantor set supporting the measure is D = 1.8927892607

Let the original square frame be divided on nine equal squares by four "wires". The procedure is repeated many times on each of the 8m frames (except for the central ones) received in the next step. Let also on each the Sierpinski carpet of any "generation" with linear density λ contain point sources that create fields with the intensity $E \sim 1/r^2$.

Let the Sierpinski carpet with side of the forming square equal to 2H be arranged so that its center coincides with the central point, and sides are parallel to the axes. The components of the stress vector, created by the segment, are determined by relations

$$\begin{cases} E_x = \lambda\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)/\,r\,, \\ E_y = \lambda\,(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)/\,r\,, \end{cases}$$

where α_i is the angle between the perpendicular of length r, dropped from the point at which the strength is determined, to the segment or its continuation, and the corresponding direction to the end points of the segment.

If designate

$$A(u,v) = (u^2 + v^2)^{-1/2},\ B(u,v) = v/\,[u\,(u^2 + v^2)^{1/2}],$$
$$\xi(n,p) = -\xi + (-1)^n p,\ \eta(n,p) = -\eta + (-1)^n p,$$

then the components of the stress vector E, produced by the carpet of the m-th generation at arbitrary points that do not lie on lines that contain segments of the network, can be calculated from the recurrence relations

$$E_x = X_m(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{2} \{X_{m-1}(\xi, \eta(i, H'') + X_{m-1}(\xi(i, H''), \eta) +$$

$$+ \sum_{j=1}^{2} [X_{m-1}(\xi(j, H''), y(i, H'')) + \lambda(-1)^j (A(\xi(j, H'), \eta(i, H')) -$$

$$- A(\xi(j, H), \eta(i, H')) + B(\xi(i, H'), \eta(j, H) - B(\xi(i, H'), \eta(j, H')))]\},$$

$$E_y = Y_m(\xi, \eta) = X_m(\eta, \xi), \text{ where } H' = H/3,\ H'' = 2H/3,$$

$$\text{where } X_0(\xi, \eta) = \lambda \sum_{j=1}^{2} \sum_{i=1}^{2} [(-1)^i A(\xi(i, H), \eta(j, H)) + (-1)^{j+1} B(\xi(i, H), \eta(j, H))],;$$

$$Y_0(\xi, \eta) = X_0(\eta, \xi) = \lambda \sum_{j=1}^{2} \sum_{i=1}^{2} [(-1)^i A(\eta(i, H), \xi(j, H)) + (-1)^{j+1} B(\eta(i, H), \xi(j, H))].$$

Conclusions

The proposed framework provides a consistent analytical approach to modeling multiscale site percolation on fractal domains and evaluating force fields generated by discrete sources on Sierpinski-type pre-fractals. The construction of a multiplicative measure on a two-scale Cantor set enables precise characterization of probabilistic distributions within hierarchical percolation structures. The derived recurrence relations for field components, based on symmetry and generational indexing, yield explicit expressions for the spatial behavior of vector fields on pre-fractal geometries. These results contribute to the theoretical understanding of complex systems governed by fractal topology and offer potential applications in statistical physics, network theory, and field modeling on non-Euclidean substrates.

References

[1] J. Feder, Fractals (Plenum Press, New York, 1988).
[2] A. Herega et al, Physics Uspekhi 55, 519 (2012).
[3] D. Achlioptas, R.M. D'Souza, J. Spencer, Science 323, 1453 (2009).
[4] D.I. Iudin, Ya.D. Sergeyev, M. Hayakawa, Applied Mathematics and Computation 16, 8099 (2012).
[5] Ya.D. Sergeyev, "Computer System for Storing Infinite, Infinitesimal, and Finite Quantities and Executing Arithmetical Operations with Them." EU Patent 1728149, 03.06 (2009).
[6] A. Herega, Yu. Kryvchenko, Proc. of Ukrainian Conference "Chemistry, Physics and Technology of Surface" (A.A. Chuiko Inst. of Surface Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv, 2017), p. 74.
[7] A. Herega, Yu. Kryvchenko, Proc. of International Conference "Algebraic and geometric methods of analysis." (ONAFT, Odessa, 2017), p. 112.

UDC 622.7: 534

MODEL OF THE DYNAMICS OF FINELY GROUND ORE MATERIAL DURING CRUSHING

Morkun V.S., Hryshchenko Y.O.,
(morkunv@gmail.com, grischenko.yr@gmail.com)
Kryvyi Rih National University (Ukraine),
Vladimir Dal East Ukrainian National University (Ukraine)

The abstract considers a model of the dynamics of crushed ore material on the screening surface of a vibrating screen, which takes into account the advection, diffusion, segregation, and percolation of its particles. The approach used enables a description of how the granulometric composition and density of the oversize product transform as it moves across the screen, thereby enhancing the quality of automated process control.

Problem statement. Screening or sifting is widely used in the mining industry to separate ore particles by size. A massive amount of ore at mining enterprises is regularly subjected to industrial screening; therefore, studying the kinetics of the process and optimizing the corresponding technology is of great economic importance. However, many studies have identified the decisive influence of the movement of discrete particles on the results of this operation [1, 2]. Solving this problem is complicated by the presence of many operating variables and various disturbing factors that determine the results of this technological operation. The most significant factors include the complex distribution of ore particles by size and density, along with the intricate effects of various dynamic operating modes of the screening surface on the movement of oversize products.

List of completed tasks. Recently, fine wet screening machines have been increasingly used for the classification of crushed ore at enrichment plants. The use of wet material screening, the solid phase of which includes ore particles of varying density and size, imposes additional requirements on the design and adjustment of the relevant operating equipment. During continuous screening, when the feed rate of ore material to the screen is high enough and it creates a concentrated layer of particles of a certain thickness, for example, around the feed section, only the particles in the layer that are in direct contact with the screen have a chance to pass through the openings. As long as the upper layers are able to add small particles to this contact layer, the material flow rate will remain constant. As the material moves along the screen and more and more smaller particles pass through the openings, it becomes more dispersed. At the same time, the particles become more mobile and "separated," transitioning from a "clumped" state to "separated" motion. These features significantly complicate the task of developing effective automated control of this process. The studied model of the dynamics of crushed ore material on the screening surface of the screen takes into account the advection, diffusion, segregation, and percolation of its particles in the material layer. The approach used allows taking into account the transformation of the particle size distribution of the solid phase of the oversize product and its density during movement on the screen surface, thereby improving the quality of automated control of the process.

Research essence.

During the research, the process of movement of the primary mass of ore material across the surface of the sieve was modeled. The granulometric composition of the ore material was determined by the content of crushed ore particles with a size of 150, 106, 74, and 45 μm. The change in the coordinate of the concentration of the corresponding size class relative to its input value in the mass of the pulp product loaded onto the surface of the sieve was determined. The change in the mass concentration of the solid phase in the input product from 20 to 40% was modeled. Fig. 1 shows the results of modeling in MATLAB® the change in the concentration of the specified ore size classes in the oversize product when screening on a sieve with a mesh size of 74 μm.

For ore material with a particle size of 74 μm, the green sector determines the effect of changing the mass concentration of the solid phase in the input product from 20% (+74d) to 40% (+74u).

Analysis of this approach showed that its application allows simulating virtually all possible dynamics of ore material during its movement through the screen and, based on the results obtained, forming an appropriate strategy for automated process control [3, 4].

ITPOHTY

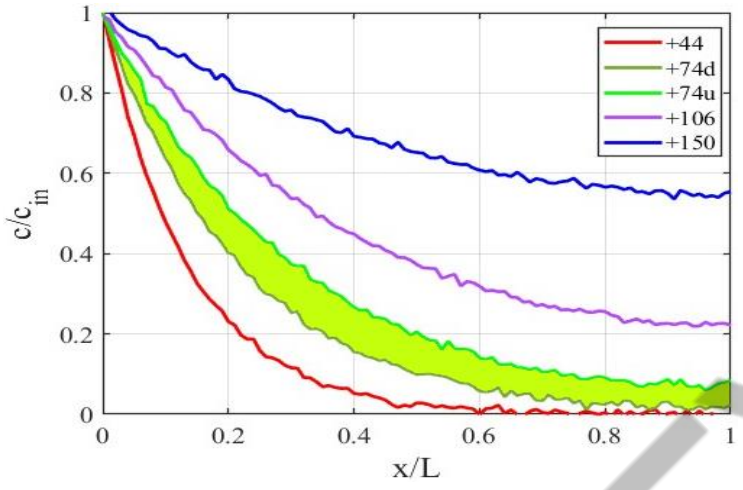


Fig. 1. Results of modeling changes in the concentration of certain classes of ore particle size in the oversize product of a screen

Conclusions. The proposed model allows for changes in the particle size distribution and density of the oversize product to be taken into account, which makes it possible to develop a strategy for automated process control. Further research should be aimed at refining the model parameters and developing intelligent control systems for fine wet screening.

References

1. Wang Z., Liu C., Wu J., Jiang H., Zhao Y. «Impact of screening coals on screen surface and multi-index optimization for coal cleaning production,». Journal of Cleaner Production, vol. 187, pp. 562-575, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.238. [Accessed: September 17, 2025].
2. Wang G, Tong X. «Screening efficiency and screen length of a linear vibrating screen using DEM 3D simulation,». Mining Science and Technology (China), vol. 21, no. 3, pp. 451-455, 2011. https://doi.org/10.1016/j.mstc.2011.05.026. [Accessed: September 07, 2025].
3. Morkun V. S., Morkun N. V., Hryshchenko S. M., Shashkina A. A. & Bobrov E. Y. «General principles of formalization of technological process control of mining production in a dynamic distributed system,». Radio Electronics, Computer Science, Control, vol. 4, pp. 210-221, 2024. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-4-20. [Accessed: March 03, 2025].
4. Morkun V.S., Morkun N.V., Hryshchenko S.M., Hryshchenko Y.O. «Modeling of the combined electromagnetic and electromechanical drive of the screen to increase its efficiency,». Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, vol. 287, no. 1. pp. 46-56, 2025. https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-46-56. [Accessed: July 15, 2025].

UDC 621.43.019:004.942

FUEL ECONOMY CALCULATION RESULTS GAS ENGINE BY CYCLE PREHEAT AND START-UP ON A MATHEMATICAL MODEL IN APPLICATION COMBINED HEATING SYSTEMS

Palamarchuk V.Y., Shutsman T.A., Oliynyk M.V., Lymar O.O., Marchenko D.D.
(limaroo@mnau.edu.ua, marchenkodd@mnau.edu.ua)
Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)

The article presents the results of mathematical modeling and fuel economy calculations for a gas engine equipped with a combined heating system during pre-start and start-up cycles. A mathematical model was developed to evaluate the fuel efficiency and environmental performance of the K159M2 internal combustion engine using a system for pre-starting and accelerated warm-up (SPC). The model incorporates data from experimental studies and takes into account the influence of coolant circulation speed, temperature variations, and thermal accumulator operation. Simulation results demonstrate that

the implementation of SPC reduces the warm-up time by 16–38%, fuel consumption by up to 75%, nitrogen oxide emissions by 93–98%, and particulate matter emissions by 88–94%, compared to a conventional cooling system. The use of the combined heating system ensures stable engine operation, improved fuel economy, and significantly enhanced environmental performance. The proposed mathematical model allows accurate prediction of temperature dynamics, thermal energy requirements, and emission characteristics during the pre-start heating and warm-up phases, providing an effective approach for optimizing cold-start conditions in gas engines.

Introduction. Accelerated warm-up elements include solenoid valves and a liquid pump, which allows modulating the circulation of the coolant (OR) depending on its temperature, to ensure effective warming up of the internal combustion engine. The peculiarity of the construction and operation of the SKP is as follows: if the temperature of the coolants of the cooling system (CO) of the internal combustion engine is below the maximum permissible level (40 °C), then to carry out the process of warming up and starting the internal combustion engine, the TA is first put into operation and passes the liquid coolant CO through the TA using its own pump. which takes the heat accumulated by the heat-accumulating material (TAM) and transports it inside the small circulation circuit of the internal combustion engine CO until the set temperature is reached in it (40 °C).

Analysis of recent research. According to the results of bench tests of the K159M2 engine equipped with a SPC in the laboratory conditions of the Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine [1], it was found that the use of SPC improves fuel efficiency (total fuel consumption for warming up) when starting and warming up after starting the internal combustion engine when it is operating at idle. In addition, the warming up time of the internal combustion engine is significantly reduced in the range from the ambient temperature to the “hot start” temperature and to the temperature at which it is possible to accept the load by the engine. At the same time, the environmental performance of the engine is improved, in particular, nitrogen oxide emissions and particulate emissions are reduced, in the same operating temperature range.

Problem statement. To assess the effectiveness of the use of the SPC, it is advisable to determine the fuel efficiency and environmental performance of a stationary internal combustion engine according to the cycle of pre-start warm-up, start-up and accelerated warm-up after start-up using a mathematical model when using a combined warm-up system.

Main material. In the course of research, a mathematical model for calculating fuel efficiency and environmental performance of the K159M2 engine when using the SPC during start-up and warm-up was developed, and after conducting experimental studies, it was refined [2], which allows obtaining urgent (hourly) parameters, fuel efficiency indicators and environmental performance of the engine in the process of its implementation of the pre-start thermal preparation mode from the ambient temperature to the “hot start” temperature and the possibility of accepting the load. The mathematical model takes into account the features of using the SPC on the K159M2 engine. To form the initial data base of the developed mathematical model, experimental data on the design and working process of the internal combustion engine were used, and the initial data on the working process of the studied internal combustion engine were also calculated. For this purpose, the Diesel-RK software package was used (a program of the thermodynamic program class, i.e. the engine cylinders are considered in it as open thermodynamic systems) [3], which is intended for the calculation, analysis and research of two-stroke and four-stroke internal combustion engines. As a result of the preparation of the necessary initial data, the dependences of pressure, temperature in the cylinder and temperature in the exhaust manifold on the crankshaft rotation of the internal combustion engine at a speed of 700 were obtained $x_в^{-1}$, which were subsequently used in the mathematical model. Also, the mathematical model includes polynomial dependencies obtained by processing the results of bench tests of the K159M2 engine, namely, the dependencies of fuel consumption during engine warm-up: with a standard cooling system, and elements of accelerated engine warm-up (EPA) installed in the CO of the ICE, with an experimental SPC installed on the ICE and preliminary engine warm-up to "hot start" temperatures, namely: 40 °C, 50 °C and 60 °C. [4]. As well as the components of the mathematical model, according to the provisions of [4]. the equations of the developed method for monitoring the thermal parameters of the cooling system of the K159M2 engine were refined according to the data of the natural characteristic of CO. First of all, this concerns the regularities of the engine cooling process. In the mathematical model, as its dominant parameter when choosing the criterion for permissible cooling of the K159M2 engine, the parameters of

the temperature change at the inlet to the engine cylinder block were introduced. Due to this, it was possible to predict the dynamics of the drop in engine temperature indicators in time in the mathematical model and to give appropriate recommendations regarding the amount of thermal energy, intervals and duration of pre-start preparation of the engine from the thermal accumulator of the phase transition of the SPC.

To take into account the specifics of the application of the SPC in the CO of the internal combustion engine, the mathematical model includes the conditions, basic assumptions and model representations necessary for building a mathematical model of the functioning of the SPC of the internal combustion engine with the TA of the adopted design, at which the SPC is turned on, operated and turned off. The model is based on the well-known formula [5] for determining the specific heat flow through a flat wall:

$$q=\frac{t_{ж1}-t_{ж}}{\frac{1}{\alpha_{ж1}}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_{ж}}}, \quad (1)$$

where$t_{ж_1}$ and $t_{ж}$ - the temperature of the gases in the cylinder and the coolant, respectively; $\alpha_{ж_1}$and $\alpha_{ж}$- the heat transfer coefficient of the gases to the wall and from the wall to the liquid, respectively; λ - the thermal conductivity coefficient ; δ- wall thickness.

Since the gas temperature is not required for this case, we transform formula (1) by taking out $t_{ж_1}$and $\alpha_{ж}$inserting the value of the wall temperature on the gas side (t_w), we obtain:

$$t_w=t_{ж}+q\left(\frac{1}{\alpha_{ж}}+\frac{\delta}{\lambda}\right). \quad (2)$$

Analyzing the formula (2), it can be noted that the change t_w, according to the given law, is possible, either by affecting the temperature of the coolant $t_{ж}$, which is not very effective, or by affecting the intensity of heat transfer $\alpha_{ж}$. Other parameters are either constant for this design $\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)$, or are set by the engine operating mode (q). Mathematical modeling was carried out under the conditions of installing the SPC on the K159M2 engine stationary electric unit DGMA-48M1, the parameters of which are included in the mathematical model. The simulation was carried out under the following conditions when using the VG thermal energy utilizer: without using the SPC; when using the SPC with operating elements of the SPPD with disconnected elements of the SUTTA; when using the SPC with operating elements of the SPPD and SUTTA. In the process of modeling, a cycle of pre-starting warm-up and starting of the ICE was formed from the beginning of the discharge of the TA (the beginning of the thermal preparation of the ICE) to its full charging, which is determined by the temperature of the phase transition of the TAM. During the simulation, the processes of pre-starting warm-up of the ICE K159M2 at different fixed ambient temperatures were considered, but the results were selected for the temperatures most characteristic of the region, namely: 20 °C, 0 °C, -20 °C.

At the specified temperature regimes, the system operates as follows: the internal combustion engine warm-up from the TA lasts 862 s, 1433 s, 1956 s, respectively, then upon reaching the OC temperature of 50 °C , the internal combustion engine is started and combined with its warming up from the TA and the thermal energy of fuel combustion to the OC temperature of 85 °C in 570 s, after reaching the OC temperature of 85 °C, the TA is charged, which lasts 460 s, 1697 s, 1876 s, respectively. While the OC warm-up using the classical method will last 1350 s, 1810 s and 2715 s, respectively. From these dependencies it can be seen that the internal combustion engine with the SPC warms up to a temperature t °C 40 (50/60) °C respectively in 1343 (1433/1541) s., which is less by 486 s. (27%) and 196 s. (21%) / 288 s. (16%) compared to warming up the ICE with standard CO to a temperature of 50 °C, which is 1829 s. At the same time, the engine consumes less fuel by 0.895 (0.789 / 0.643) m^3, which is less by 2.259 kg. (72%) (2.359 kg. (75%) / 2.504 kg. (79%)) compared to warming up the ICE with standard CO to a temperature of 50 °C, which is 3.147 m^3 . The engine emits less nitrogen oxide emissions by 0.333 (0.246 and 0.154) g, which is 5.864 g (94%) less (5.617 g (96%) / 5.617 g (96%)) compared to warming up the ICE with standard CO to a temperature of 50 °C, which is 5.864 g. Particulate emissions are reduced by 0.056 (0.044 / 0.030) mg, which is 0.570 mg (90%) less (0.582 mg (91%) / 0.596 mg (95%)) compared to warming up the ICE with standard CO to a temperature of 50 °C, which is 0.626 mg. Thus, comparing the warm-up time of t,s., hourly fuel consumption GT, emissions of nitrogen oxides NO, of solid particles K during start-up and warming it up to the temperature of "hot warm-up", it is seen that the SPC allows to significantly improve the indicators of warm-up time (up to 16-38%), and environmental friendliness (for NO* up to 93-98%, and for A' up to 88-94%) and economy (up to 62-75%) of the

experimental internal combustion engine when solving the problems of cold start based on TA and accelerating the internal combustion engine warm-up using the SPC. The results of the study also show that by increasing the circulation speed of the OC flow in the CO of the ICE from 0.08 m/s (which corresponds to the circulation speed of the OC when warming up the ICE at idle with a standard pump) to 0.22 m/s (which corresponds to the characteristics of the SKP circulation pump), we obtain a reduction in the warm-up time g.s. on average by 14%, fuel consumption for warming up GT by 25%, reduce emissions of particulate matter K during warming up by 28%, and nitrogen oxides NO_x during warming up by 23%.

Conclusion. Thus, the assessment of the effectiveness of the use of SPC in the cycle of pre-starting and starting the internal combustion engine confirmed the improvement of fuel efficiency when working with the combined heating system, as well as the effectiveness of the use of SPC as one of the directions for improving the environmental performance of the internal combustion engine without worsening fuel efficiency.

References

[1] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

[2] R. Isermann, *Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines*, 2nd ed. Cham: Springer, 2017.

[3] M. M. Rahman, M. K. S. Mazlan, and M. A. Kalam, "Performance and emission analysis of a spark ignition engine with preheating system using natural gas," *Energy Conversion and Management*, vol. 151, pp. 460–471, 2017. doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.041.

[4] O. Lymar and D. Marchenko, "Prospects for the application of restoring electric arc coatings in the repair of machines and mechanisms," in *Proc. 2022 IEEE 4th Int. Conf. Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2022. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005709.

[5] S. Sharma, V. Kumar, and H. C. Ong, "Optimization of engine start-up performance using hybrid thermal management systems," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1127–1138, 2023.

UDC 621.43.019:004.942

MODELING OF WORKING PROCESSES OF ENGINES OPERATING ON GASEOUS FUELS

Petrushenko D.O., Kaftan V.D., Lymar O.O., Marchenko D.D.
(limaroo@mnau.edu.ua, marchenkodd@mnau.edu.ua)
Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)

This paper examines a promising approach to reducing operating costs of internal combustion engines: converting them to run on gaseous fuel. The challenge with this method is the fundamental change in the operating conditions of most powertrain components and assemblies, which requires careful preliminary analysis. To address this issue, a mathematical model was developed, which is a universal system of volume balance differential equations. A key advantage of the proposed model is its capability to interact with other subsystems—such as intake and exhaust manifolds—via feedback loops, enabling comprehensive simulation of heat and mass transfer, mixture formation, fuel supply, and air exchange processes. Implemented in the MathCAD environment, the model is currently adapted for high-speed, naturally aspirated gas engines with external mixture formation and a cylinder diameter of 70–95 mm. The developed approach provides a reliable tool for predicting key engine performance parameters, optimizing operating conditions, and reducing the time and cost of experimental refinement during the conversion of conventional engines to gaseous fuels.

НТБОНТУ

A promising way to reduce operating costs of internal combustion engines is to convert them to use gaseous fuels. This conversion changes the operating conditions of most engine components and assemblies.

In this regard, before converting a specific engine, it is necessary to perform mathematical modeling of the gas engine's operating process in order to determine its key parameters and reduce the time, material, and financial costs of further refinement work, as well as to ensure its fuel efficiency and service life.

The developed mathematical model of the engine's working process is a core, the basis of which is a system of differential equations of volume balance developed and proposed by N.M. Glagolev. Its peculiarity is that it allows one to determine with sufficient accuracy the parameters of the working fluid in the engine cylinder throughout the entire working cycle, taking into account the peculiarities of heat and mass transfer processes. One of its advantages is the ability to interact with other models using the feedback principle. That is, having, for example, parameters or functional dependencies for gas-dynamic processes in the intake manifold, one can link them with the above-mentioned model and obtain a more accurate calculation of the processes in the cylinder and vice versa, knowing the parameters of gas outflow from the cylinder through the valve into the intake port, one can estimate the influence of the working fluid parameters on the gas-dynamic processes in the intake manifold. Thus, the interconnected calculation blocks take into account the processes in the engine systems and units, before/after the cylinder, they can be constantly expanded and the mathematical model can be improved, forming its basis based on design features the engine under consideration.

This model is related to the gas-dynamic and thermodynamic parameters of the working fluid, and is also associated with the processes of mixture formation, fuel supply, air supply, the thermal state of the engine, and parameters that determine mechanical losses.

The system of differential equations defining the core of the program is based on the following assumptions:

a) the cylinder during gas exchange processes can be considered as an open thermodynamic system;

b) the cylinder during the processes of compression, combustion and expansion can be considered as a conditionally closed thermodynamic system;

c) the processes occurring in a thermodynamic system are of a quasi-stationary nature;

d) heat exchange processes are of a quasi-equilibrium nature;

d) the physicochemical properties of gaseous fuels obey the law of additivity.

The change in the parameters of the working fluid is shown schematically in the Fig. 1.

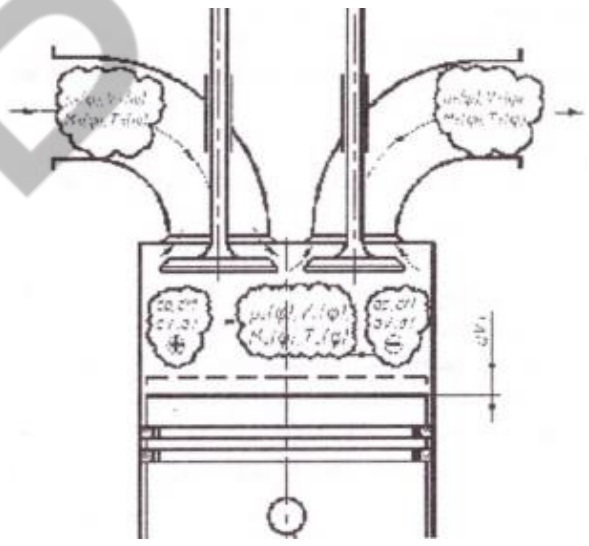


Fig. 1 - Change in the parameters of the working fluid in the cylinder

The model itself is implemented in the MathCAD environment and at this stage is adapted for the calculation of high-speed naturally aspirated gas engines with external mixture formation and a cylinder diameter of 70...95 mm.

References

[1] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

[2] R. Isermann, *Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines*, 2nd ed. Cham: Springer, 2017.

[3] M. M. Rahman, M. A. Kalam, and A. I. M. Ismail, "Modeling and performance analysis of a natural gas engine for power generation," *Energy Conversion and Management*, vol. 87, pp. 1071–1081, 2014. doi: 10.1016/j.enconman.2014.07.062.

[4] J. S. Martínez, D. T. Falcón, and C. H. Ochoa, "Numerical modeling of combustion and emission formation in spark-ignition natural gas engines," *Fuel*, vol. 317, p. 123529, 2022. doi: 10.1016/j.fuel.2022.123529.

[5] P. D. Walker, R. G. Longoria, and T. D. Butts, "Simulation and validation of cycle-resolved performance of spark ignition engines operating on gaseous fuels," *Applied Thermal Engineering*, vol. 190, p. 116788, 2021. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116788.

[6] A. E. Hossain, R. Mamat, and A. R. Abu Bakar, "A review on simulation and modeling of gaseous-fuel engines for performance and emission analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 603–621, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.125.

[7] F. Ma, H. Wang, and Y. Li, "Development and validation of a CFD model for combustion of lean-burn natural gas engines," *Energy*, vol. 239, p. 122100, 2022. doi: 10.1016/j.energy.2021.122100.

[8] H. Chen, Y. Zhao, and M. Lin, "Numerical study of methane combustion characteristics and NOx formation in gas engines," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 203–212, 2023. doi: 10.1016/j.egyr.2022.11.047.

[9] D. Marchenko and K. Matvyeyeva, "Study of wear resistance of cylindrical parts by electromechanical surface hardening," *Problems of Tribology*, vol. 29, no. 1(111), pp. 25–31, 2024. doi: 10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.

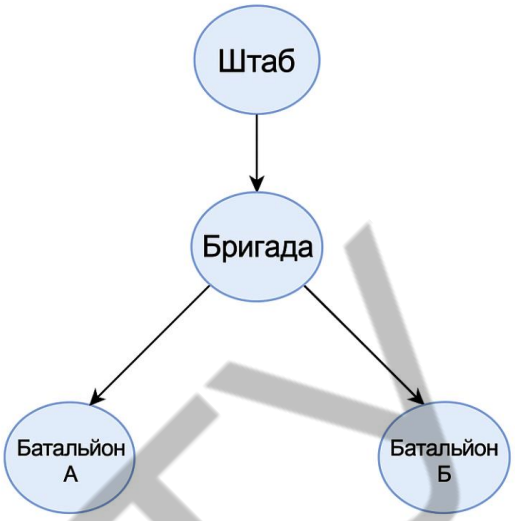
[10] O. Lymar and D. Marchenko, "Prospects for the application of restoring electric arc coatings in the repair of machines and mechanisms," in *Proc. 2022 IEEE 4th Int. Conf. Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2022. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005709.

ЛОГІКО-ЙМОВІРНІСНЕ ТРАЄКТОРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО УПРАВЛІННЯ

Pryymak Nazar (nazar.i.pryimak@lpnu.ua),
Zhuk Yurii (yurii.p.zhuk@lpnu.ua),
Horodetska Yaryna
Lviv Polytechnic National University (Ukraine)

Запропоновано застосування методу логіко-ймовірнісного траєкторного моделювання до оцінювання безперервності та живучості ієрархічних систем військового управління (C2) типу «штаб—бригада—батальйон—рота». Структура подається як орієнтований граф із критичними вузлами в двох станах: працює / відмова. Логіко-ймовірнісний метод траєкторного моделювання трактує проходження «ймовірнісних пакетів» як траєкторії доведення наказів/збирання звітів через багаторівневі шляхи з урахуванням правил місії (AND/OR, k-of-n) та кінцевиї часових термінів. Метод надає метрики: (1) ймовірність P{успішне доведення наказу в межах часу T}, (2) ймовірність P{керованість при деградаціях}, (3) чутливість до відмов вузлів і ліній. Порівняно з підходами на базі характеристичних поліномів Логіко-ймовірнісний метод траєкторного моделювання забезпечує меншу обчислювальну складність і кращу масштабованість для оперативного «what-if» аналізу великих ієрархій.

Ключові слова: *C2; ієрархічна структура; живучість; надійність; критичні вузли.*



Постановка проблеми. Системи військового управління у полі бою зазнають впливу радіоелектронна боротьба(РЕБ), вогневих уражень та перевантаження каналів. РЕБ це сукупність узгоджених дій військових сил щодо здобуття інформації про розташування радіоелектронних засобів, систем управління військами і зброї противника, їхнього знищення, захоплення, виведення з ладу, радіоелектронного придушення, а також захисту власних радіоелектронних засобів і систем управління військами та зброєю від застосованих противником заходів радіоелектронної розвідки і ведення контррадіоелектронної протидії. У такій ситуації потрібен метод, що одночасно враховує ієрархію, ненадійність компонентів і часові обмеження доставки наказів. Мета роботи — показати, що Логіко-ймовірнісний метод траєкторного моделювання*(*ЛІТМ) масштабується на багаторівневі С2-структури та дає інженерно зрозумілі показники безперервності управління.

Є ієрархія С2 [1]: вершина — штаб, нижче — бригади, батальйони, роти. Кожен вузол існує у двох станах: працює або відмова. Лінії зв'язку мають імовірність доступності та затримку. Потрібно оцінити:

- ймовірність P{наказ доведено до необхідного підмножини підлеглих за час ≤ T};
- ймовірність P{збереження керованості при втраті частини вузлів};
- чутливість метрик до відмов окремих вузлів/ліній (виявлення вузьких місць).

Метод логіко-ймовірнісного траєкторного моделювання для військового управління.

ЛІТМ [2] розгортає граф задачі в простір траєкторій «ймовірнісних пакетів». На першому вході в кожний вузол пакет розгалужується на два варіанти стану вузла (працює / відмова) з відповідними ймовірностями; повторні входи стан не змінюють. Траєкторії, що задовольняють дедлайн T і правила місії (AND/OR, k-of-n), агрегуються в інтегральну ймовірність успіху сценарію.

Які повинні бути вхідні дані:

1. Граф G=(V,E), V — вузли штабів/підрозділів/ретрансляторів, E — канали (радіо/волокно/супутник).
2. Для кожного v∈V: p(v)=P{вузол працює}; для e∈E: r(e)=P{канал доступний}, d(e)=затримка.
3. Правило місії на нижньому рівні: AND, OR або k-of-n (напр., достатньо зв'язку з ≥k ротами).
4. Дедлайн T задає фільтр траєкторій: сумарна затримка ≤T.

Алгоритм ЛІТМ:

1. Визначити сценарії: доведення наказу зверху вниз; зворотній звіт знизу вгору.
2. Побудувати граф ієрархії з допустимими резервами (альтернативні канали, ретранслятори).
3. Призначити параметри p(v), r(e), d(e); стани вузлів — лише два.
4. Запустити «ймовірнісний пакет» із вершини; на першому вході в кожний вузол — розгалуження {працює/відмова}.
5. Пропустити пакети крізь граф; відсіяти траєкторії, що порушують дедлайн або правило місії.
6. Агрегувати ймовірності валідних траєкторій → P(успіх); виконати ранжування чутливості за зміною P(успіх) при локальних деградаціях параметрів.

Порівняння з характеристичними поліномами.

Побудова полінома надійності для великих ієрархій призводить до комбінаційного вибуху. ЛІТМ працює на рівні траєкторій, дозволяючи:

- локальний перерахунок при зміні параметрів (ефективно для «what-if»);

- природне введення дедлайнів та *k*-of-*n* політик;
- зручне чутливісне аналізування «вузьких місць».
- Емпірично (на макетній топології нижче) ЛІТМ дає виграш у часі розрахунку проти поліноміального підходу при близьких оцінках P(успіх).

Експериментальний приклад. Топологія: штаб → 2 бригади → по 3 батальйони; для візуального мінімального прикладу використовуємо підграф «1→2→{3,4}» (рис. 1). Канали: радіо/волокно/супутник (резерв на рівні бригад). Параметри (умовні): p(v) у межах 0.97–0.995, r(e) у меж.

Формалізація місії. Розглянуто дві політики агрегування на рівні батальйонів:ах 0.90–0.99, дедлайн T = 5 хв.

- OR (1-of-2): наказ вважається доведеним, якщо доходить хоча б до одного з {3,4} у межах T (рис. 1). Агрегатор: $P_{усп} = 1 - \Pi_i (1 - P(траєкторія_i))$ для тих траєкторій, у яких сумарна ґзатримка ≤ T.
- AND (2-of-2): наказ має дійти до обох {3,4} у межах T (рис. 1). Агрегатор: $P_{усп} = \Pi_i P(траєкторія_i)$.

Результати на демонстраційних параметрах. Для OR при базових r(e) отримано $P_{усп} \approx 0.995$. Для AND значення менше (очікувано), бо вимагається успіх обох траєкторій. Побудовано криві чутливості $P_{усп}$ до деградації каналу 2→3 та підготовлено таблицю значень для вставки у збірник (табл. 1). Видно, що політика AND значно чутливіша до зниження надійності 2→3.

Таблиця.1. Ймовірність P(успіх) до r(2→3), T = 5 хв

$r_{(2->3)}$	$P_{усп\ OR\ (1-of-2)}$	$P_{усп\ OR\ (2-of-2)}$
0.6	0.9698	0.5337
0.65	0.9732	0.5732
0.7	0.9766	0.6227
0.75	0.98	0.6672
0.8	0.9834	0.7116
0.85	0.9868	0.7561
0.9	0.9902	0.8006
0.93	0.9922	0.8273
0.95	0.9936	0.8451
0.97	0.9949	0.8629

Практичний висновок. Для завдань, де достатньо часткового доведення наказів (до будь-якого з двох маневрових елементів), політика OR забезпечує істотно вищу живучість при тих самих ресурсах. Якщо потрібне синхронне доведення до обох елементів (AND), доцільно посилювати резервування найвразливіших каналів (тут 2→3).

Висновки. ЛІТМ забезпечує швидку й масштабовану оцінку живучості ієрархічних С2-систем із двостановими вузлами. Метод дозволяє: (1) інтегрувати дедлайни та політики k-of-n; (2) оперативно проводити «what-if»; (3) ідентифікувати критичні вузли. Напрямки подальших робіт: калібрування параметрів на реальних даних РЕБ/навантажень, оптимізація резервування каналів.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

1. Claverie, Bernard & Desclaux, Gilles. (2022). C2 - Command and Control: A System of Systems to Control Complexity.
2. Kuen-Long Lu and Yung-Yuan Chen, “Model-based design, analysis and assessment framework for safety-critical systems,” in 51st Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks - Supplemental Volume (DSN-S). Taipei, Taiwan: IEEE, June 2021, pp. 25–26.

UDC 334.78

SYNTHESIS OF A POSITIONING CONTROL SYSTEM FOR A STOCHASTIC MULTIDIMENSIONAL AIRCRAFT MOTION SIMULATION PLATFORM

Sieliukov Oleksandr (seliukov.oleksandr@tnu.edu.ua),
Enbo Yang (selukov@xjtu.edu.cn)
School of Aerospace Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an (China)

An original method for synthesizing a multidimensional tracking system controller is presented. It enables the development of a control system for a test bench that simulates the spatial movements of an aircraft in laboratory conditions. This method is unique in that it allows finding the transfer function matrices of a three-component controller that minimize the quadratic quality criterion.

Systems for natural flight simulation are widely used to solve various problems. These problems include the certification of aviation system sensors, the adjustment and testing of autopilots and onboard control systems, research into human psychophysiological properties, and the adjustment of stabilization systems for targeting and firing equipment, among others. The relevance of developing and creating such systems is underscored by the large number of companies engaged in developing similar systems. Virtually all design bureaus in the aerospace industry have full-scale simulation complexes in their structure. Despite this, the accuracy of natural simulation of stochastic flight conditions is limited. This limitation leads to an increase in the time, labor intensity, and cost of developing onboard equipment.

The main reason for these limitations is the imperfection of the platform motion control system, which simulates the behavior of the simulation object. Most systems that mimic natural flight conditions consist of a computer and a simulator stand (test bench) for aircraft movements. They are connected via a special interface. As shown by the project author's research and analysis of literature sources [1, 2, 3], almost all of them are designed using an open-loop structure. This material is devoted to overcoming this shortcoming by developing, implementing, and using a control system synthesis method, the choice of which is influenced by the nature of the change in the probing signal vectors (r) from a standard signal generator, noise when solving the inverse kinematics and interpolation problem (φ), platform resistance forces (ψ), as well as the dynamic properties of such system elements as the inverse kinematics solution block (IS), the stand dynamics block (SS), and the filter block (FF).

The choice of synthesis method must be made from a variety of methods for designing optimal multidimensional closed-loop control systems with random input signals. These methods can be divided into time-domain methods and frequency-domain methods.

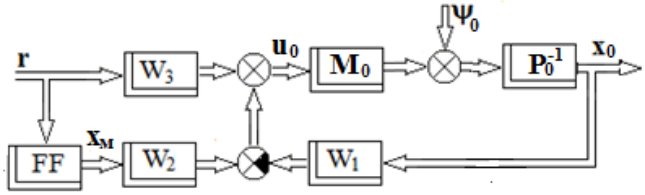


Figure 1 - Asymplified closed-loop structure

To solve the problem, the block diagram shown in Fig. 1 was considered, and a system of equations was formulated. It relates the Fourier images of the input and output signal vectors of the system under zero initial conditions and has the form

$$\begin{cases} P_0 x_0 = M_0 u_0 + \psi_0; \\ x_M = FFr; \\ y = r, \end{cases}$$

where P_0 is a polynomial matrix of size $n_0 \times n_0$ from the differentiation operator p; x_0 is a vector of coordinates defining the position of the test bench platform, having size n_0; M_0 is a polynomial matrix of size $n_0 \times m_0$ from the differentiation operator p; u_0 is a vector of control signals for the test bench drives, having size m_0; ψ_0 is a vector of disturbances. The transfer function matrix FF is represented as the product of two polynomial matrices

$$FF = P_{\text{м}}^{-1} M_{\text{м}}.$$

To convert the above system of equations into vector-matrix form, the following designations were introduced:

$$x^{/} = \begin{bmatrix} x_0^{/} & x_M^{/} & y^{/} \end{bmatrix}^{/}, u = u_0, \varsigma^{/} = \begin{bmatrix} \psi_0^{/} & r^{/} \end{bmatrix}^{/},$$

$$= \begin{bmatrix} P_0 & O_{n_0} & O_{n_0 \times m_0} \\ O_{n_0} & P_{\text{м}} & O_{n_0 \times m_0} \\ O_{m_0 \times n_0} & O_{m_0 \times n_0} & E_{m_0} \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} M_0 \\ O_{n_0 \times m_0} \\ O_{m_0} \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} E_{n_0} & O_{n_0 \times m_0} \\ O_{n_0} & M_{\text{м}} \\ O_{m_0 \times n_0} & E_{m_0} \end{bmatrix},$$

where E_{n0} is a unit matrix of size $n_0 \times n_0$; O_{n0} is a zero matrix of size $n_0 \times n_0$; $O_{n0 \times m0}$ is a zero matrix of size $n_0 \times m_0$; $^{/}$ is a transposition sign. The transfer function matrix of a three-part controller, taking into account Fig. 1, can be represented as follows:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 \end{bmatrix}.$$

The optimal transfer function matrix for controller W can be found using one of the algorithms described in sources [4, 5, 6]. Such transfer functions for the controller, which ensure stability and high-quality simulation, can be found using methods for synthesizing optimal multidimensional systems for stabilizing the motion of a rigid body.

Further research should focus on developing and implementing multidimensional optimal robust control systems to model the movements of moving objects in stochastic conditions.

References

[1]Thomas R. Yechout. Introduction to Aircraft Flight Mechanics: Performance, Static Stability, Dynamic Stability, and Classical Feedback Control. AIAA Education Series. Editor-in-Chief Joseph A. Schetz. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4344 – 631 p.

[2]Computational Modelling and Simulation of Aircraft and the Environment Vol . 1: Platform Kinematics and Synthetic Environment D. J. Diston John Wiley and Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK. 2009. 356pp.

[3]El-Sheimy, N., Hou, H., and Niu, X. Analysis and modeling of inertial sensors using Allan variance. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2008. vol. 57. no. 1. P. 140–149.

[4]F.A. Aliev, V.B. Larin "Optimization of Linear Control Systems. Analytical Methods and Computational Algorithms." OPA (Overseas Publishers Association) N.V., 1998.

[5]Блохин Л.М., Осадчй С.І., Дідик О.К., Віхрова Л.Г., Каліч В.М. Технології конструювання конкурентоспроможних комплексів керування стохастичним рухом обєктів: монографія під ред. С.І. Осадчого. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2023. - 292 с.

[6]Osadchiy S.I. Combined method for the synthesis of optimal stabilization systems of multidimensional moving objects under stationary random impacts / S.I. Osadchiy, V.A. Zozulya // Journal of Automation and Information Sciences. Vol. 45, 2013, Issue 6. pp. 25-35.

ITBOITY

UDC 004.75

EFFICIENCY OF KADEMLIA DHT IN PRACTICE

Yezhkova A.G., Kichmarenko O.D., (yezhkova@gmail.com, o.kichmarenko@onu.edu.ua)
Odesa I.I.Mechnykov National University (Ukraine)

The paper presents a rigorous mathematical study of Kademlia's routing behavior using probabilistic methods. We derive analytical bounds on the expected routing time, proving that it scales less than logarithmically with network size and depends on bucket size and system parameters. We describe experiment results proving the theoretical proposal, presenting quantitative evaluation.

Kademlia is one of the most prominent structured overlay protocols based on Distributed Hash Tables (DHT). A Distributed Hash Table is essentially a mapping of keys to objects, created by applying a hash function to the object's element and generating an index. For instance, applying a hash algorithm such as SHA-1 produces a key that uniquely identifies the object. The efficiency of routing is critical for the overall performance of Kademlia. Its analysis is the topic of this work. To answer how long it takes to find a node in Kademlia, we study theorems bounding probability of meeting the target node, and conduct two experiments.

As Kademlia assigns each participant a unique identifier (ID), sampled uniformly at random from the space $\{0,1\}^d$, we can denote points of the space as vertices of a d-dimensional hypercube, where d typically equals 128 or 160 [3]. In our simulation, nodes are always referred to by their assigned IDs. Given two identifiers $x = (x_1, \dots, x_d)$ and $y = (y_1, \dots, y_d)$, the protocol defines the XOR-based distance metric (integer value of the XOR of the two IDs) as

$$\delta(x, y) = \sum_{i=1}^{d} (x_i \oplus y_i) \cdot 2^{d-i},$$

where $\oplus$ represents the bitwise exclusive OR,

$$u \oplus v = \begin{cases} 1 & \text{if } u \neq v, \\ 0 & \text{if } u = v. \end{cases}$$

Because a node cannot realistically maintain knowledge of every other node in such a vast identifier space, Kademlia requires each node x to store information only about a small, carefully selected subset of peers. More precisely, the space $\{0,1\}^d$ is conceptually divided into d regions, each representing nodes that are at comparable XOR distances from x. The d buckets associated with x make its routing table. Let us consider a Kademlia overlay consisting of n nodes, denoted $X_1, \dots, X_n$. Each node is assigned an identifier, which we write as a byte array of length d. The entire set $X_1, \dots, X_n$ can then be naturally embedded in a binary trie. The sequence of bits collected along a path of length d specifies the unique ID stored at the leaf. Consequently, the binary trie has height d, and the n network nodes appear as leaves at depth d from the root. The number of hops in ρ_{xy}, denoted T_{xy}, is the number of communication rounds required to complete the lookup, and hence we define it as the **routing time** (expected routing time denoted as $\mathbb{E}[T_{xy}]$). Our first experiment concerns the **deterministic-ID model**, where nodes $X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n$ are fixed d-bit integers. The only randomness stems from how k-buckets are populated. In formal expressions, we will consider $\sup_{x_1,\dots,x_n}$ — worst-case choice of the entire ID set, $\sup_x$ — worst-case source node x among n nodes and $\sup_y$, worst-case destination ID y.

Theorem 1. [2] Under the deterministic-ID model, the expected routing time satisfies

$$\sup_{x_1,\dots,x_n} \sup_x \sup_y \mathbb{E}[T_{xy}] \leq (c_k + o(1)) \log n,$$

where the constant c_k depends on the bucket size k and $c_k = 1/H_k$, with $H_k = \sum_{i=1}^{k} 1/i$ denoting the k-th harmonic number. The inequality provides a sharp upper bound on the expected routing time between any fixed source and destination pair.

Our second experiment examines the **random ID model**, where node identifiers $X_1, \dots, X_n$ are sampled randomly, uniformly without replacement from $\{0,1\}^d$.

Theorem 2.[2] In the random ID model, as $n \to \infty$,

$$\frac{T}{\log n} \longrightarrow \frac{1}{g(k)} \text{ in probability,}$$

where $g(k) = H_k + O(1)$ depends on the bucket size k.
The limit immediately implies

$$\frac{1}{g(k)} \leq \frac{1}{H_k}.$$

Yet the practical difference is small: since $g(k) = H_k + O(1)$, the scaling behavior essentially coincides with the deterministic case as k grows. This observation confirms that the upper bound of Theorem 1 is nearly tight. [2]

To investigate the behavior of distributed hash tables (DHTs), we rely on an event-driven simulation. We model a scenario in which a large population of nodes attempts to bootstrap into a Kademlia overlay network nearly simultaneously (20 ms latency). Following a successful join, each node periodically issues a *find_node* query toward a randomly selected key.

Table 1. Non-deterministic model: convergence and growth metrics

Parameters	Rounds	Theo. conv.	Actual conv.	Actual−Theo.	% diff	eak R	eak G	Acc. knowledge	Norm. acc.
k = 8, α = 1	161	3.6793	2.8048	−0.8750	−23.7781		52	155.8175	0.9678
k = 8, α = 3	192	3.6793	4.2917	0.6118	16.6260		3	187.7990	0.9781
k = 20, α = 1	138	2.7795	2.4839	−0.2960	−10.6482		27	134.7521	0.9764
k = 20, α = 3	132	2.7795	3.1258	0.3459	12.4442		5	128.9024	0.9765

Table 2. Deterministic model: convergence and growth metrics

Parameters	Rounds	Theo. conv.	Actual conv.	Actual−Theo.	% diff	eak R	eak G	Acc. knowledge	Norm. acc.
k = 8, α = 1	174	3.6788	2.5517	−1.1276	−30.6468		9	167.9863	0.9654
k = 8, α = 3	159	3.6788	3.7490	0.0696	1.8931		14	153.6523	0.9663
k = 20, α = 1	160	2.7791	2.1376	−0.6418	−23.0912		11	156.2128	0.9763
k = 20, α = 3	81	2.7791	2.8515	0.0720	2.5917		24	77.5244	0.9570

Tables 1 and 2 summarize the experimental outcomes for networks operating under non-deterministic and deterministic ID assignment models, respectively. Increasing the bucket size from 8 to 20 consistently reduced the average number of hops and shortened the convergence time. For instance, in the deterministic model with $\alpha = 1$, rounds before convergence dropped from 174 to 160, and the actual hop count decreased from 2.55 to 2.14. This demonstrates that larger routing tables improve path efficiency by providing each node with more long-range contacts.

Raising the α parameter accelerated the early discovery phase but sometimes increased the overall hop count slightly, due to redundant lookups. In the deterministic scenario, moving from $\alpha = 1$ to $\alpha = 3$ reduced the number of rounds from 174 to 159, while the average hop count increased marginally from 2.55 to 3.75. This trade-off aligns with the expected behavior of Kademlia, where higher concurrency improves responsiveness but reduces routing precision.

Deterministic networks generally converged with fewer hops and exhibited smoother discovery curves (higher AUC values and smaller variance), while non-deterministic systems reflected more realistic, stochastic behavior. For example, in deterministic experiments with $k = 8$, the deviation from theoretical expectation was -030.6%, compared to -23.8% for the corresponding non-deterministic

case. However, both achieved comparable normalized accumulated knowledge ($0.965 - 0.968$), implying that long-term efficiency remained high regardless of ID distribution.

Peak growth behavior: in both models, the most rapid expansion of routing knowledge occurred early—typically within the first 2–5 rounds — and the magnitude of this growth correlated positively with α. For instance, in the deterministic configuration with $k = 20, \alpha = 3$, the peak growth of 124 occurred at round 3, reflecting aggressive initial exploration.

Overall, the results confirm that Kademlia's theoretical model accurately predicts average routing efficiency, with deviations mostly within $\pm 30\%$. Because $c_k \leq c_1 \leq 1/\log 2$, this result strengthens the original bound of $\lceil \log_2 n \rceil$ reported by Maymounkov and Mazières [1]. Deterministic ID assignment yields slightly more stable convergence, while non-deterministic assignment better reflects realistic decentralized overlays, where random ID distribution introduces minor variability. Both configurations maintain high normalized accumulated knowledge (≥ 0.95), underscoring that the implemented network sustains near-optimal connectivity throughout the convergence process.

References

[1] P. Maymounkov and D. Mazieres, "Kademlia: A Peer-to-Peer Information System Based on the XOR Metric," in *Proc. Int. Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS)*, Cambridge, MA, USA, 2002, pp. 53–65.

[2] X. S. Cai and L. Devroye, "A Probabilistic Analysis of Kademlia Networks," in *Proc. 24th Int. Symp. Algorithms and Computation (ISAAC)*, Hong Kong, China, Dec. 2013, pp. 711-721. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1309.5866

[3] J. W. Lee, H. Schulzrinne, W. Kellerer, and Z. Despotovic, "0 to 10k in 20 Seconds: Bootstrapping Large-Scale DHT Networks," in *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kyoto, Japan, Jun. 2011, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC.2011.5962665. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/5962665

UDK 004.415.53

PIPELINE-NATIVE MODELS FOR DETECTING AND MINIMISING FLAKY TESTS

Antonkin V., Khoshaba O. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. Flaky tests — non-deterministic pass/fail outcomes on unchanged code—undermine CI/CD reliability. We present a pipeline-native framework that combines Bayesian outcome modelling, controlled test re-ordering, coverage- and change-aware triage, and a light-weight machine-learning predictor to identify likely flakiness early and cheaply. A cost-aware policy allocates re-runs and restricts quarantine to time-boxed, auto-revalidated cases. Minimisation emphasises hermetic builds, deterministic time/network abstractions, concurrency isolation, and automated fixes (e.g., seeding, teardown guards). The design is grounded in empirical evidence on dominant causes (async waits, concurrency, order dependency) and industrial practice at scale. The result is reduced noise, preserved bug-finding power, and faster feedback cycles in CI/CD.

Keywords: flaky tests; CI/CD; order dependency; deterministic testing; Bayesian modelling; test quarantine.

Problem Statement. In modern CI/CD, developers expect each failing test to indicate a genuine regression. Flaky tests violate this assumption, creating false alarms that waste engineering time, consume compute resources, and obscure real defects [1]. Empirical studies show that flakiness is both prevalent and multi-causal—commonly due to asynchronous timing, concurrency, or test-order dependency [1]. Industrial reports and datasets further indicate that naïve re-run policies and indiscriminate quarantine lists are palliative at best, masking rather than removing root causes [2–4]. The research problem is to devise detection models and pipeline-integrated procedures that (a) accurately identify likely flakiness early; (b) minimise its operational impact; and (c) guide durable fixes without suppressing tests that do reveal faults.

Objectives and Solved Tasks.

We address seven tasks:

1. Taxonomise flakiness mechanisms relevant to pipelines. We adopt a practical taxonomy—order-dependent (OD) vs non-order-dependent (NOD)—and map concrete manifestations (async waits, race conditions, resource leaks, time/network non-determinism) to pipeline controls [1–3].

2. Formulate a probabilistic detection model. We define a Bayesian Flakiness Score (BFS) for each test using Bernoulli outcome histories under stable code, applying hierarchical shrinkage across projects to remain data-efficient on small suites. BFS drives triage, alerts, and re-run budgeting.

3. Detect order dependencies. We integrate targeted re-ordering (class/method permutations) and repetition strategies to surface OD failures with minimal wall-clock cost, inspired by iDFlakies configurations [2].

4. Exploit coverage and change information. We incorporate change-vs-coverage reasoning—if a newly failing test did not cover changed code, prefer the flakiness hypothesis (DeFlaker principle) and route to OD/NOD checks [3].

5. Predict flakiness before re-runs. We train a light-weight classifier on readily available artefacts (recent pass/fail streaks, duration variability, historical environment signals, basic static metrics) to prioritise suspect tests; this complements BFS and reduces confirmation runs [5].

6. Optimise re-run and quarantine policy. We cast re-run decisions as a cost-minimisation problem, balancing build latency, developer time, and the probability of masking a genuine fault. A constrained "quarantine-with-expiry" is used sparingly, with automatic re-admission gates.

7. Codify minimisation and automatic fixes. We provide a remediation playbook that enforces hermeticity, fixed seeds, virtual clocks, strict timeouts, deterministic mocks, resource cleanup, and concurrency isolation. For OD, we add state-reset checks and teardown guards; for async timing, we replace sleeps with condition waits; for network/IO, we virtualise endpoints.

Essence of the Proposed Approach.

1. Statistical Backbone. For a test t with a stream of outcomes on unchanged code, we model pass/fail as Bernoulli(pt); the posterior $P(pt>\theta|data)$ (e.g., with a Beta prior and project-level hyper-prior) yields BFS. A high BFS indicates likely flakiness; a low BFS suggests a fault. This unified score governs: (i) when to re-run; (ii) when to schedule OD re-ordering; and (iii) when to open an automated remediation ticket. (No formulas shown per requirements.)

2. Order-Dependency Discovery. We apply bounded randomisation of class/method orderings and an original-order repetition budget. OD likelihood rises if a failure toggles with order under constant code; otherwise, the test proceeds to NOD diagnostics (timing, concurrency, resources). This mirrors the effectiveness of controlled re-ordering in prior work [2].

3. Coverage- and Change-Aware Heuristics. If a failing test covers no modified code regions, a flakiness hypothesis gains prior weight [3]. We cache coverage snapshots and intersect with diffs to gate re-runs cheaply before expensive complete suites.

4. Learning-Based Prediction. A pipeline-friendly classifier (e.g., gradient-boosted trees) uses: short-horizon pass/fail windows, execution time variance, retry history, environment jitter (CPU pressure, clock skew, network), and basic static test metrics. Unlike heavyweight static analysis, features are inexpensive to collect and align with ICSE-grade predictors [5].

5. Cost-Aware Re-run Policy. We model the expected utility of re-runs vs immediate fail/quarantine. The policy allocates a flakiness budget per build, preferring re-runs on tests with high BFS but high failure impact (broad coverage, gate tests). Quarantine, if used, is time-boxed with automatic re-evaluation to avoid coverage erosion.

6. Minimisation and Automated Fixes. We treat flakiness as an environmental non-determinism leak. Pipeline measures include: fully hermetic containers; pinned dependencies; fixed seeds; virtualised time; deterministic network stubs; file-system sandboxes; aggressive resource cleanup; per-test process isolation for concurrency; and teardown checks to reset shared state. For OD tests, we add isolation of global/static state and enforce idempotent setup/teardown hooks. These align with industrial experience, which shows that focusing on async waits, concurrency, and order yields the highest payoff [1,4].

НТБОНТУ

Results in Context (What the Literature Implies).

Empirical evidence shows (i) async waits, concurrency, and order dependency dominate root causes [1]; (ii) OD/NOD rates are near-even in large Java ecosystems, validating the need for re-ordering checks [2]; (iii) change-vs-coverage reasoning is practical for triage [3]; and (iv) at Google-scale, dedicated tooling can reliably localise root causes and improve adoption when integrated into developer workflows [4]. ML-based predictors reduce re-run costs and can prioritise suspect tests before execution churn [5], while surveys and multivocal reviews catalogue effective responses and pitfalls [6,7]. These insights motivated our combined statistical–structural learning design.

Conclusions.

We contribute a pipeline-native framework to detect and minimise flakiness without losing the defect-revealing value of unreliable tests. The BFS-driven triage, OD discovery, coverage-aware heuristics, and ML prediction form a coherent decision layer that curbs needless re-runs and guides automated fixes. Future work targets (a) failure-focused prediction at the build level (reducing missed faults), (b) generalisation beyond JVM ecosystems, and (c) continuous learning loops that adapt policies as projects evolve [2–7].

To ground our study in empirically established baselines, we reference three widely used anchor figures. First, within the iDFlakies corpus of 422 flaky tests, order-dependent and non-order-dependent cases appear in approximately equal proportions (50.5% versus 49.5% [2]), which motivates treating both classes symmetrically in our data collection and model design. Second, industrial root-cause localisation at Google reports 82% accuracy across large-scale codebases [4], providing a realistic upper bound for diagnostic precision in practice. Third, live deployment of DeFlaker on 96 open-source Java projects surfaced 87 previously unknown flaky tests at an approximate false-positive rate of 1.5% [3], illustrating the practical trade-off between coverage and noise in CI settings. In our work, these anchors serve strictly as external reference points rather than as claims of novelty; we use them to calibrate thresholds (e.g., for order-sensitivity detection), to select evaluation metrics (precision and false-positive rate), and to frame any observed improvements in relative terms. When reporting results, we therefore contrast our measured outcomes against these baselines and, in the Conclusions, include a concise statement that qualifies any gains with explicit citations to [2], [4] and [3].

References:

[1] Q. Luo, F. Hariri, L. Eloussi, and D. Marinov, “An Empirical Analysis of Flaky Tests,” in Proc. 22nd ACM SIGSOFT Int. Symp. Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE), 2014, pp. 643–653. doi:10.1145/2635868.2635920.

[2] W. Lam, R. Oei, A. Shi, D. Marinov, and T. Xie, “iDFlakies: A Framework for Detecting and Partially Classifying Flaky Tests,” in 2019 IEEE 12th Int. Conf. Software Testing, Verification and Validation (ICST), Xi’an, China, 2019, pp. 312–322. doi:10.1109/ICST.2019.00038.

[3] J. Bell, O. Legunsen, M. Hilton, L. Eloussi, T. Yung, and D. Marinov, “DeFlaker: Automatically Detecting Flaky Tests,” in Proc. 40th Int. Conf. Software Engineering (ICSE), 2018, pp. 433–444. doi:10.1145/3180155.3180164.

[4] C. Ziftci and D. Cavalcanti, “De-Flake Your Tests: Automatically Locating Root Causes of Flaky Tests in Code at Google,” in 2020 IEEE Int. Conf. Software Maintenance and Evolution (ICSME), 2020, pp. 736–745.

[5] A. Alshammari, C. Morris, M. Hilton, and J. Bell, “FlakeFlagger: Predicting Flakiness Without Rerunning Tests,” in 2021 IEEE/ACM 43rd Int. Conf. on Software Engineering (ICSE), 2021, pp. 1572–1584. doi:10.1109/ICSE43902.2021.00140.

[6] O. Parry, G. M. Kapfhammer, M. Hilton, and P. McMinn, “A Survey of Flaky Tests,” ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., vol. 31, no. 1, 2022. doi:10.1145/3476105.

[7] A. Tahir, S. Rasheed, J. Dietrich, N. Hashemi, and L. Zhang, “Test flakiness’ causes, detection, impact and responses: A multivocal review,” Journal of Systems and Software, vol. 206, art. 111837, 2023. doi:10.1016/j.jss.2023.111837.

УДК 519.876.5

ІНКРЕМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЛІЄНТСЬКОЇ ПОВЕДІНКИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ЛОЯЛЬНІСТЮ

Бабіч І.К., Орловський Д.Л.
(Ihor.Babich@cs.khpi.edu.ua, Dmytro.Orlovskyi@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі представлено дослідження можливостей інкрементального (uplift) моделювання *для підвищення ефективності програм лояльності клієнтів. Розкрито сутність показника uplift score, його роль у вимірюванні реального впливу маркетингових дій на поведінку. Описано підходи до побудови uplift-моделей. Наведено інтерпретацію результатів моделювання через сегменти клієнтів — «лояльні», «переконувані», «втрачені» та «не турбувати». Розглянуто практичне застосування підходу для запобігання відтоку клієнтів, підвищення точності таргетингу та ефективності маркетингових кампаній. Проаналізовано технічні вимоги, ризики та обмеження впровадження uplift-аналітики в системах управління лояльністю. Окреслено перспективи подальших досліджень.*

В задачах управління лояльністю клієнтів аналітику іноді треба спрогнозувати ймовірність настання деякої події, наприклад, визначити ймовірність відтоку або наступної покупки. Ця інформація буде врахована особою, що приймає рішення, в наслідок чого будуть заплановані і впроваджені механізми стимулювання для підвищення (якщо мова про ймовірність наступної покупки) або зменшення (якщо досліджується відток клієнтів) ймовірності настання події. Uplift-моделювання дозволяє виділити клієнтів, на яких стимулювання (дія) дійсно вплине.

Показник Uplift score визначає на скільки зміниться ймовірність події залежно від того чи виконувалося її стимулювання у порівнянні з відсутністю стимулювання. Напряму спостерігати за цим показником аналітик не може, але є можливість його оцінити за результатами експерименту. Для цього з клієнтської бази випадковим чином (це важливо) обирається два набори клієнтів: тестовий та контрольний. Оцінюючи відмінності відгуку у цих групах модель прогнозує наскільки втручання змінить ймовірність бажаної дії.

Для оцінки показника uplift існують такі групи алгоритмів:

- мета-навчальні фреймворкі: використання алгоритмів машинного навчання (логістична регресія, нейронні мережі) для підходів з однією моделлю (S-learner) та з двома моделями (T-learner);
- метод трансформації класу;
- метод прямої оцінки.

Таким чином, завдання uplift-моделювання зводиться до знаходження

$$\text{Uplift}_i = P(Y_i = 1 \mid X_i, \text{W}_\text{i} = 1) - P(Y_i = 1 \mid X_i, \text{W}_\text{i} = 0),$$

де $P(Y_i = 1 \mid X_i, \text{W}_\text{i} = 1)$ – ймовірність отримання відповіді $\text{Y}_i = 1$ від клієнта i з характеристиками X_i при умові здійснення на нього впливу $\text{W}_\text{i} = 1$, $P(Y_i = 1 \mid X_i, \text{W}_\text{i} = 0)$ – ймовірність отримання відповіді $Y_i = 1$ від клієнта i з характеристиками X_i при умові здійснення на нього впливу $\text{W}_\text{i} = 0$ (вплив не здійснюється), $\text{Y} \in \{0, 1\}$ − змінна класу: $\text{Y} = 1$ − позитивна реакція об’єкту, $\text{Y} = 0$ − негативна реакція об’єкту; $\text{W} \in \{1, 0\}$ − змінна впливу на об’єкт: $\text{W} = 1$ − показник того, що об'єкт потрапив в цільову (тестову) групу, де був вплив, $\text{W} = 0$ − показник того, що об'єкт потрапив в контрольну групу, де впливу не було.

Інтерпретація цього показника є ключем до прийняття рішень:

- позитивний uplift ідентифікує клієнтів, на яких вплив має позитивний ефект;
- Uplift, близький до нуля, вказує на клієнтів, чия поведінка не зміниться від впливу;
- негативний uplift виявляє клієнтів, для яких вплив є контрпродуктивним.

Як результат, отримуємо 4 сегменти клієнтів (рис. 1):

1. Лояльний: здійснять дію незалежно від того, чи отримають вони вплив (пропозицію). Спрямування уваги на них є тратою ресурсів через надання непотрібних знижок;
2. Втрачений: не здійснять дію при будь-якому впливі, комунікація з ними невиправдана;
3. Переконуваний: здійснюють цільову дію під впливом стимулу, на таку групу варто зосередити зусилля;
4. Не турбувати: вплив на таку групу призводить до зворотного ефекту, негативна реакція.

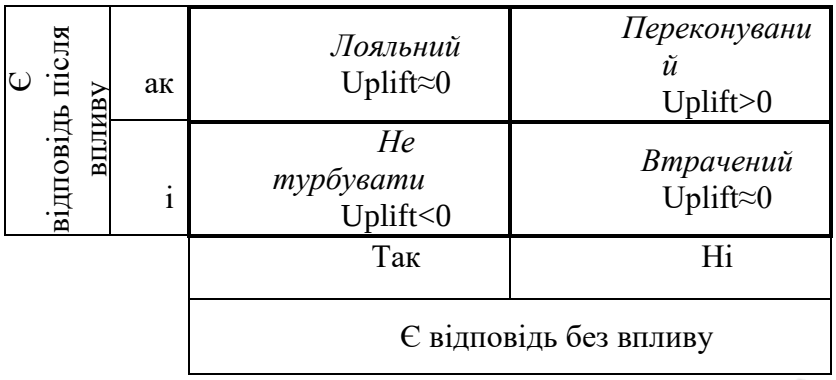


Рис. 1 Розподілення груп клієнтів від їх реакції на вплив

Існування сегменту «Не турбувати» (або «Сплячі собаки») переконує в необхідності впровадження uplift-моделювання. Тоді як сегмент «Переконуваний» схильний до впливу на маркетингові акції, має високу ймовірність конверсії.

Однією з стратегічних задач управління лояльністю є проактивне запобігання відтоку та утримання клієнтів. Реакція на втрату клієнта може бути запізньою, тож заздалегідь виявляються схильні до відтоку клієнти і вживаються заходи на їх утримування. Персоналізовані знижки, бонуси або спеціальна пропозиція можуть як спонукати клієнта до бажаної дії (розміщення замовлення), так і прискорити його рішення піти від компанії. Навчена uplift-модель прогнозує на кого з клієнтів пропозиція матиме найбільший позитивний вплив та виділяє сегмент клієнтів «переконувані», на яких цей вплив спрямовується. До того ж uplift-моделювання зможе підказати маркетологу який саме вплив (email, телефонний дзвінок або поштова розсилка) допоможе утримати клієнта від відтоку.

У реальному кейсі у фінансовій галузі було показано [1], що модель churn uplift (для утримання клієнтів) перевершує традиційну модель прогнозування відтоку за точністю фокусування на потрібних клієнтах, що призводить до зростання прибутковості кампанії з утримання. Орієнтація саме на «переконувані» клієнтів, а не просто на тих, хто має найвищий ризик відтоку, значно підвищує ефективність програм лояльності.

Uplift-модель корисна не тільки для стимулювання клієнтів, що мають тенденцію до відтоку, але й для проведення прямих маркетингових кампанії. Розсилки спеціальних пропозицій чи купонів здійснюються лише тим покупцям, які без цього стимулу не здійснили б покупку.

Однією з головних переваг uplift-моделювання в управлінні лояльністю є підвищення ефективності та рентабельності маркетингових заходів через оптимізацію розподілення ресурсів. Дослідження [1] демонструє зростання прибутку кампаній з утримання клієнтів, побудованих на основі моделювання інкрементального ефекту (uplift-моделювання). Такі моделі виявилися ефективнішими за традиційні підходи прогнозування відтоку.

Uplift-підхід допомагає уникнути нецільових контактів, відсікаючи зайві чи нав’язливі пропозиції клієнтам, які б і так зробили покупку. Зменшується ризик роздратування споживачів надмірною увагою та підвищується їхня лояльність до бренду. Клієнтоорієнтований підхід, коли зусилля зосереджуються тільки на тих клієнтах, яких справді потрібно переконати, підвищує ефективність програм лояльності та довіру клієнтів.

Разом з тим треба враховувати певні ризики та обмеження. Побудова справді значущих uplift-моделей потребує даних про поведінку клієнтів як за наявності впливу, так і без нього. Тобто необхідно приділяти увагу не тільки наповненню тестової групи, а й контрольної. Слід забезпечити достатню репрезентативність вибірки, прагнучі охопити різноманітний сегмент клієнтів. Рандомізовані експерименти є надійним способом збору даних для uplift-моделювання, забезпечуючи порівнянність тестової та контрольної групи за всіма характеристиками. Для коректного моделювання бажані стабільні умови проведення кампанії, виключення сезонних або зовнішніх факторів впливу.

Існують ризики некоректного таргетингу, коли неправильно побудована чи застосована модель «пробуджує» «сплячих собак». Такі клієнти ймовірно залишилися б з компанією, але зайва увага дратує або нагадує про можливість піти, що у підсумку провокує відток. Контактуючи

незадоволених клієнтів компанія може загострити їх негатив, результат впливу матиме негативний результат.

Впровадження uplift-моделей потребує технічних та організаційних передумов. Організація повинна мати систему збирання та зберігання детальних даних про клієнтів і результати маркетингових кампаній. Необхідно фіксувати, хто з клієнтів отримував вплив, а хто ні, який саме був вплив. Важливим є подальше спостереження за поведінкою всіх клієнтів.

Застосування uplift-аналітики вимагає співпраці між маркетологами, аналітиками та IT-спеціалістами. Відділ маркетингу повинен усвідомлювати важливість експерименту та можливість не охоплювати частину клієнтів, що матиме ефект у довгостроковій перспективі. Бізнес-процеси дещо змінюються: цикли кампанії повинні включати етап експерименту, етап навчання моделі, етап розгортання на більшу аудиторію з урахуванням рекомендацій моделі.

Вбудовування інкрементального моделювання у систему лояльності підприємства рекомендується розпочинати з окремого сегменту для оцінки результатів та корегування моделі. Так буде зрозуміла практична віддача перед тим, як розширювати цю методологію на усю базу клієнтів. Важливо постійно переглядати ефективність промо-кампанії на прогнозований показник. Наявність відхилень може потребувати перегляду моделі, перевірки якості даних або настроїв клієнтів. Стимули для «переконуваних» клієнтів повинні відповідати інтересам клієнта, це підвищить ймовірність позитивної відповіді. Не менш важливим є уникання комунікацій з сегментом «не турбувати».

Для подолання статичних обмежень uplift-моделей ведуться дослідження в напрямку врахування динамічної складової. Класичні моделі оцінюють ефект разового впливу у фіксований момент часу, проте у реальному житті взаємодія з клієнтом носить довгостроковий характер і включає послідовність дій. Нещодавні роботи [2] пропонують інтегрувати методи причинного машинного навчання та навчання з підкріпленням, щоб оптимізувати серії маркетингових інтервенцій з часом. Це відкриває шлях до нового покоління систем управління лояльністю, що будуть проактивно вирішувати, коли і яку саме пропозицію зробити конкретному клієнту протягом усього його життєвого циклу.

Uplift-моделювання – це потужний інструмент стратегічного управління лояльністю. Його застосування дозволяє змістити акцент з кількості на якість – зосередити маркетингові зусилля там, де вони справді змінюють поведінку клієнта. Попри наявні виклики (необхідність експериментальних даних, складність моделей, організаційні зміни), тенденція до більш персоналізованих і основаних на даних програм лояльності робить uplift-моделі все більш затребуваними.

Список використаної літератури

[1] F. Devriendt, J. Berrevoets, and W. Verbeke, “Why you should stop predicting customer churn and start using uplift models”, *Information Sciences*, vol. 548, Dec. 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.12.075.

[2] J. Wang, Y. Tan, B. Jiang, B. Wu, and W. Liu, “Dynamic Marketing Uplift Modeling: A Symmetry-Preserving Framework Integrating Causal Forests with Deep Reinforcement Learning for Personalized Intervention Strategies”, *Symmetry*, vol. 17, no. 4, p. 610, Apr. 2025, doi: https://doi.org/10.3390/sym17040610.

НТБОНТУ

УДК 37.02:004.94

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ДІМ» ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Березенська С. М., Печеневська О. О.
(berezsvet@gmail.com, olganevsk2404@gmail.com)
Харківський радіотехнічний фаховий коледж (Україна)

Розглянуто використання комп'ютерного моделювання системи «Розумний дім» як ефективного засобу формування професійних компетентностей здобувачів. Представлено послідовність етапів створення моделі – від сценарію роботи до реалізації програмного коду та тестування. Зазначено переваги використання симуляційного середовища як безпечного простору для експериментів, що стимулює навчання через практику та інженерне мислення.

Стрімкий розвиток технологій, пов'язаних з Інтернетом речей (IoT), сприяє появі «розумних» середовищ, серед яких особливе місце посідає система «Розумний дім». Ця система поєднує електронні пристрої, сенсори та мікроконтролери для автоматизації освітлення, енергоспоживання, безпеки, підтримки кліматичних умов тощо.

Математичне й комп'ютерне моделювання таких систем є необхідним етапом перед їх фізичним впровадженням, оскільки дозволяє оптимізувати логіку роботи пристроїв, перевірити алгоритми керування та оцінити ефективність взаємодії компонентів. Крім того, моделювання таких систем є потужним дидактичним інструментом для підготовки майбутніх фахівців у галузі комп'ютерної інженерії, електроніки та програмування. Воно сприяє формуванню практичних компетентностей здобувачів освіти – від розробки алгоритмів до налагодження інтерактивних схем.

У процесі навчання здобувачі освіти створюють власні модифікації «розумних систем» – це можуть бути моделі охоронної сигналізації, автоматизованого поливу, розумного освітлення лабораторії. Це дозволяє:

- поєднати теоретичні знання з практичними навичками у сфері програмування, електроніки та автоматизації;
- навчитися мислити системно, проєктуючи взаємодію між сенсорами, модулями і програмним кодом;
- розвивати компетентності STEM-напряму – зокрема, алгоритмічне мислення, технічну творчість і міждисциплінарну інтеграцію знань;
- моделювати командну роботу, розподіляючи завдання за ролями: аналітик, схемотехнік, програміст, тестувальник;
- використовувати середовище моделювання як безпечне середовище для помилок і експериментів, що стимулює навчання через практику.

Комп'ютерне моделювання виконується в хмарному середовищі Tinkercad Circuits, яке надає інструменти для побудови електронних схем і симуляції їх роботи без фізичного обладнання. В процесі моделювання відбувається знайомство з функціональними можливостями окремих пристроїв, розробка схеми для моделі «Розумного дому» з використанням мікроконтролера Arduino Uno, реалізація програмної логіки для керування пристроями, а також тестування та аналіз ефективності роботи системи.

У проєкті майбутньої системи в середовищі Tinkercad Circuits є можливість використовувати:

- Arduino Uno, як основний контролер;
- датчики різного функціонального призначення: температури, освітленості, відстані, задимлення, вологості тощо для організації системи безпеки;
- світлодіоди та серводвигуни для візуалізації процесів керування.

Програмна логіка реалізується мовою C++ (Arduino IDE) у вигляді скетчу, що містить умовні оператори, таймери та функції опитування датчиків.

Робота з проєктом розпочинається з розробки сценарію роботи майбутньої системи «Розумний дім». На основі розробленого сценарію необхідно підібрати компоненти (деталі та пристрої) з бібліотеки Tinkercad. На цьому етапі може виникнути певна проблема – той чи інший

необхідний пристрій може бути відсутнім у бібліотеці. В такому випадку, необхідно буде проаналізувати розроблений сценарій та внести необхідні зміни у роботу «Розумного дому». Після підбору компонентів будується функціональна та принципова схеми системи. На останньому етапі формується лістинг програмного коду для управління пристроями системи та організації їх взаємодії.

На рис. 1 наведено приклад системи «Розумний дім», змодельованої здобувачем освіти в середовищі Tinkercad під час виконання завдань навчальної практики.

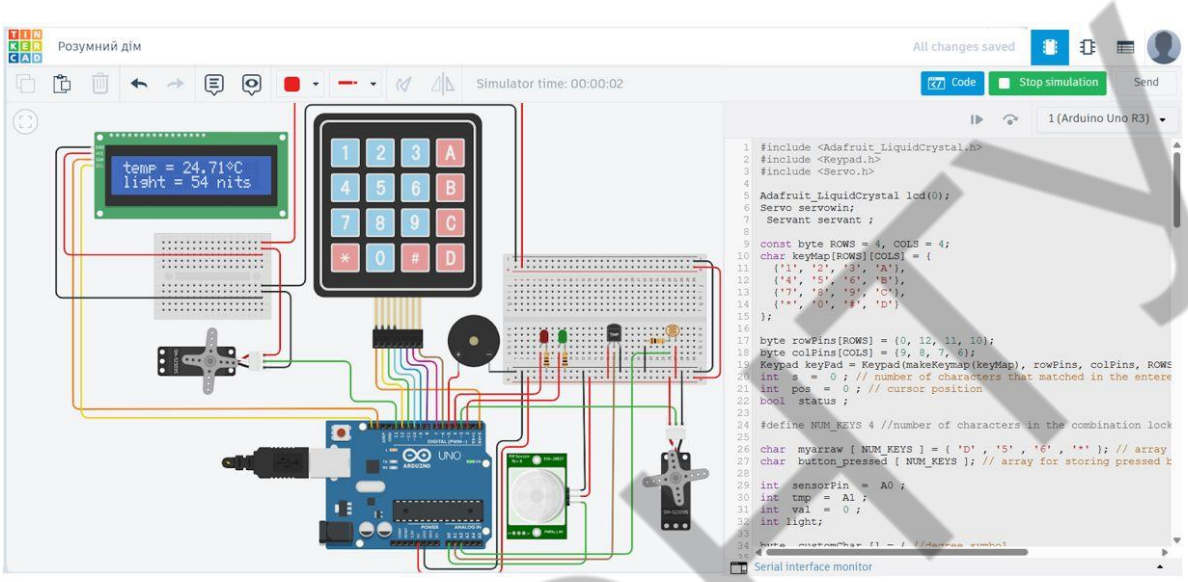


Рис. 1 - Візуалізована схема з’єднання пристроїв при моделюванні системи «Розумний дім»

Наведена модель системи «Розумний дім» містить:

- датчик світла, який керує сервоприводом (припускається, що він використовується для відкриття/закриття штор), а також забезпечує роботу ПІР-сенсора та п’єзоелемента;
- ПІР сенсор та п'єзоелемент, завдяки яким при певному значенні яскравості відбувається реєстрація присутності об’єкта та звукове оповіщення;
- датчик температури для фіксації температурних коливань;
- кодовий замок в комплексі з сервоприводом для моделювання системи відкривання дверей;
- LCD дисплей та декілька світлодіодів для візуалізації процесів системи (відображення числових параметрів з різних датчиків, виведення попереджувальної інформації тощо).

Проєктна діяльність у форматі створення власних моделей «Розумних систем» розвиває критичне та алгоритмічне мислення, сприяє набуттю міждисциплінарних компетентностей STEM-напряму. Крім того, використання моделювання як навчального методу створює умови для безпечного експериментування, помилок і їх усвідомленого виправлення, що підвищує якість освітнього процесу. Тож, застосування концепції «Розумного дому» у навчанні сприяє підготовці конкурентоспроможних фахівців, здатних до інноваційної діяльності в умовах цифрової трансформації суспільства.

Список використаної літератури

[1] Волк М. О. Розподілене комп'ютерне моделювання в системах хмарних обчислень // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2024. – №. 1 (88). – с. 211-217.

[2] Постова С. А. Stem-освіта як ключ до розвитку лідерів майбутнього: формування ключових навичок // Наукові інновації та передові технології. – 2024. – № 39. – с. 486-1498.

УДК 004.94:621.316

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ НАВАНТАЖЕННЯ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Борщевський В.В., Ушкаренко О.О. (maestrotees@gmail.com)
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)

Розроблено програмну модель процесів комутації навантаження в судновій електроенергетичній системі, що враховує стохастичний характер роботи споживачів і паралельну роботу генераторних агрегатів. Отримано діаграму навантаження СЕЕС шляхом композиції діаграм роботи окремих споживачів та проведено її статистичний аналіз.

Сучасні автономні електроенергетичні системи (АЕЕС), до яких також відносяться суднові електроенергетичні системи (СЕЕС), характеризуються високим рівнем структурної та функціональної складності, що зумовлено значною кількістю споживачів із непостійним характером енергоспоживання, наявністю циклічних режимів роботи та необхідністю забезпечення узгодженої паралельної роботи генераторних агрегатів (ГА). Крім того, в більшості режимів виділяються часові послідовності, тривалості етапів яких – випадкові величини, статистично розподілені в часі.

Аналіз літературних джерел показує, що сучасні дослідження у сфері моделювання суднових електроенергетичних систем орієнтовані переважно на підвищення точності відтворення процесів зміни навантажень та оптимізацію керування ними. У роботі [1] запропоновано ефективний гібридний підхід, проте він зосереджений переважно на імпульсних навантаженнях і не охоплює стохастичну природу більшості суднових споживачів. Дослідження [2] відзначається високою часовою роздільною здатністю моделі, однак її застосування обмежене переважно стаціонарними режимами. Робота [3] має вагоме значення для розробки систем керування в умовах невизначеності, але не розглядає структурну організацію навантажень на рівні окремих споживачів. У роботі [4] обґрунтовано доцільність використання автоматних та ймовірнісних моделей, однак відсутні практичні засоби їх інтеграції в спеціалізовані середовища моделювання. Отже, створення стохастичної моделі комутації навантаження, здатної поєднати автоматну логіку з часовими розподілами роботи споживачів для адекватного опису реальних режимів СЕЕС, є актуальним завданням. Це дозволить моделювати процеси комутації навантаження з урахуванням випадковості тривалості етапів і переходів між станами для аналізу та прогнозування зміни потужності СЕЕС, можливих провалів напруги і попередженню виникнення аварійних ситуацій.

Метою роботи є створення програмної моделі процесів комутації навантаження в СЕЕС, що дозволяє відтворювати реальні режими роботи споживачів з урахуванням їх випадкової природи, а також досліджувати вплив змін навантаження на роботу ГА.

Для більшості типів суден характерним є поділ споживачів електроенергії на групи, для яких часові параметри роботи, перерв і рівні потужності визначаються фазою робочого циклу судна. Оскільки кожен споживач у будь-який момент часу перебуває в одному з двох можливих станів – «увімкнений» або «вимкнений», доцільно моделювати його поведінку у вигляді кінцевого автомата. Перехід між станами здійснюється після завершення випадкового інтервалу часу, згенерованого відповідно до емпірично визначеного закону розподілу. Аналогічно, добовий цикл функціонування судна може бути представлений як кінцевий автомат, де кожен етап циклу відповідає певному стану, а тривалість перебування в ньому є випадковою величиною з рівномірним розподілом у межах, визначених для цього етапу.

Оскільки зміна етапів циклу та робота окремих споживачів відбуваються одночасно, застосовано підхід паралельної декомпозиції суперстанів, де кожен автомат реалізує окремий процес. Сукупність таких паралельно з’єднаних автоматів формує Stateflow-модель функціонування суднових споживачів електроенергії. Вхідним сигналом для неї є імпульс тактового генератора, який ініціює перевірку умов переходів між станами, тоді як вихідними сигналами виступають значення потужності споживачів, нормовані відносно їхніх номінальних рівнів.

У межах моделі розглядається суднова електроенергетична система, що включає три генераторні агрегати різної номінальної потужності (100 кВт, 250 кВт і 150 кВт), дев’ять споживачів зі змінним навантаженням та один споживач із постійною потужністю. Керування підключенням агрегатів до паралельної роботи здійснюється відповідно до поточного значення сумарної споживаної потужності:

при навантаженні до 100 кВА працює один агрегат, у межах 100-350 кВА – два, а за перевищення 350 кВА – усі три. У разі одночасної роботи декількох генераторів розподіл активної та реактивної потужностей між ними виконується пропорційно їх номінальним значенням.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритму програми, що реалізує статистичний аналіз процесу зміни потужності навантаження в СЕЕС.

Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму програми статистичного аналізу навантаження СЕЕС

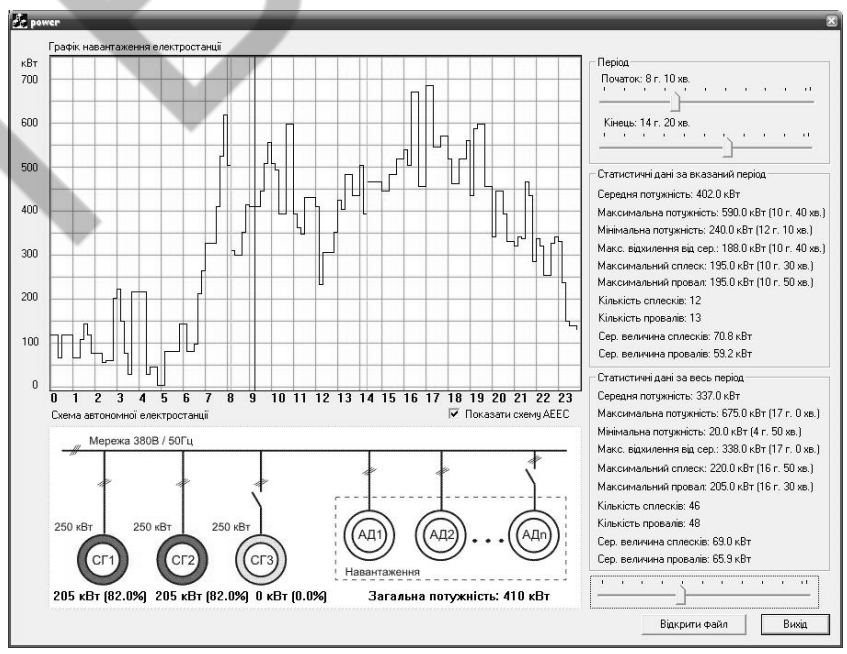


Рисунок 2 – Інтерфейс програми моделювання зміни навантаження в СЕЕС та статистичного аналізу діаграми навантаження

На рис. 2 представлений діалоговий інтерфейс розроблених програмних засобів моделювання зміни навантаження в СЕЕС та розрахунку статистичних параметрів отриманої добової діаграми навантаження.

Розроблене програмне забезпечення для моделювання процесів комутації навантаження в СЕЕС дозволяє відтворювати стохастичний характер зміни режимів роботи різних груп споживачів. Завдяки використанню підходу на основі кінцевих автоматів у моделі враховано випадковість у часі ввімкнення та вимкнення обладнання, а також їх вплив на сумарне навантаження системи. Крім того, реалізована можливість аналізу взаємодії споживачів із генераторними агрегатами, що працюють у паралельному режимі, що забезпечує більш реалістичне відтворення роботи суднової електростанції. Такий підхід створює передумови для подальшої оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності функціонування СЕЕС.

Список використаної літератури

[1] Zhu Wanlu, Chunpeng Jin and Zhengzhuo Liang, “Hybrid Modeling and Simulation for Shipboard Power System Considering High-Power Pulse Loads Integration,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 10, 1507, pp. 1-16, Oct 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2077-1312/10/10/1507 [Accessed: October 14, 2025]

[2] Schwager P., Bekebrok H., Gehrke K. and Vehse M., “A probabilistic bottom-up modelling approach for synthetic load profiles within the energy efficiency management of cruise ship cabins,” *Journal of Marine Engineering & Technology*, vol. 22, no. 6, pp. 304-312, Jul 2023. [Online]. Available: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20464177.2023.2241313 [Accessed: October 14, 2025]

[3] Mohamed A. Mohamed, Hossein Chabok, Emad Mahrous Awwad, Ahmed M. El-Sherbeeny, Mohammed A. Elmeligy and Ziad M. Ali, “Stochastic and distributed scheduling of shipboard power systems using MθFOA-ADMM,” *Energy*, vol. 206, Article 118041, Sep 2020. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220311488 [Accessed: October 17, 2025]

[4] Doerry Norbert and Amy John, “Electric Plant Load Analysis for shipboard power systems,” *IEEE Electric Ship Technologies (Virtual) Symposium (ESTS 2021)*, Jul 2021. DOI:10.13140/RG.2.2.33594.11208 [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/353741554_Electric_Plant_Load_Analysis_for_shipboard_power_systems [Accessed: October 22, 2025]

УДК 538.9

МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОСТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У НАНОПОЛІМЕРАХ

Вавринюк А. М. (artemvm03@gmail.com)
Криворізький державний педагогічний університет (Україна)

Представлено результати моделювання фотоструктурних перетворень у нанополімерах із використанням методів машинного навчання та моделювання складних систем. Основну увагу приділено полімерній системі на основі акрилат-епоксидованої соєвої олії (AESO) з додаванням ваніліндиметакрилату (VDM) та фотоініціатора (DMPA), що демонструє високу фоточутливість і стабільність структури. Використання універсальних машинно-навчених міжатомних потенціалів (U-MLIP), таких як MACE-OFF23, дало змогу відтворити енергетичні бар’єри релаксаційних процесів і простежити еволюцію локальних орієнтаційних дефектів, які визначають оптичні й діелектричні властивості фотополімерів.

Фотоструктурні полімери, здатні змінювати свої властивості під дією світлового випромінювання, становлять основу новітніх фотонних, сенсорних та енергетичних технологій [1]. Одним із найперспективніших серед них є полімерна система на основі акрилат-епоксидованої соєвої олії (AESO), яка привернула увагу завдяки своєму потенціалу для розробки стійких

матеріалів, з додаванням ваніліндиметакрилату (VDM) та фотоініціатора диметоксифенілацетофенону (DMPA). Її фотоструктурні перетворення відбуваються за вільнорадикальним механізмом і супроводжуються утворенням нових міжланцюгових зв'язків, які визначають макроскопічні діелектричні та механічні властивості матеріалу [2].

Для моделювання цих процесів використано універсальні потенціали машинного навчання (U-MLIP). Застосування моделей сімейства MACE-OFF23 дозволило відтворити енергетичні бар'єри релаксаційних процесів, пов'язаних із обертанням бічних функціональних груп і сегментів полімерного ланцюга, простежити еволюцію локальних орієнтаційних дефектів у полімерній мережі (рис.1).

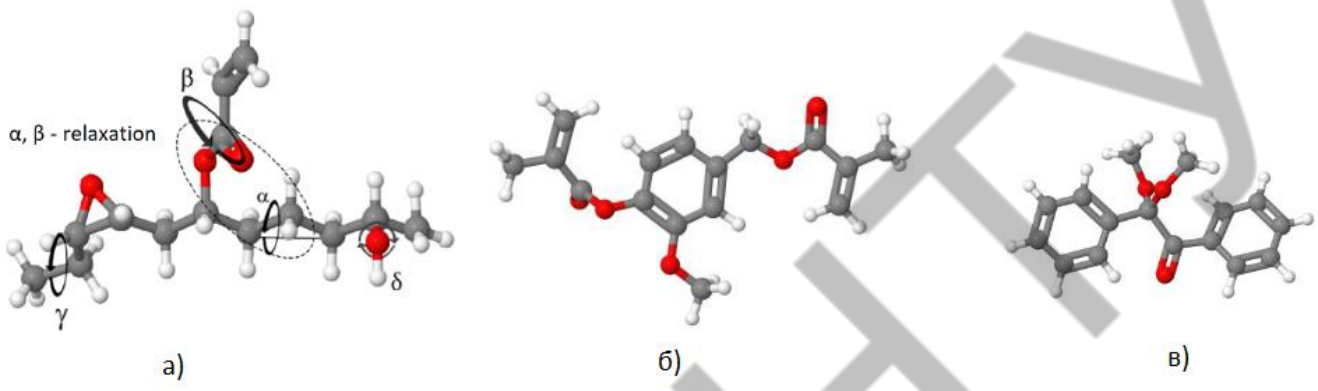


Рис.1. а) Фрагмент (AESO) із орієнтаційними дефектами α-, β-, αβ-, δ-, та γ-релаксаційними областями. б) VDM в) DMPA

Орієнт дефектами, ми називаємо локальні зміни розподілу електронної густини, що впливають на обертання атомних або молекулярних груп у полімерній матриці.

Для аналізу локальних релаксаційних процесів у полімерній системі AESO:VDM:DMPA проведено моделювання енергетичних профілів обертання функціональних груп (α-, β-, α/β- та γ-типів) відносно головного ланцюга полімеру. Порівняння результатів, отриманих методом (DFT) та за допомогою потенціалів машинного навчання, отримано високу узгодженість між двома підходами. Зокрема, моделі MACE точно відтворюють положення локальних мінімумів і бар'єри обертання, що відповідають обраним релаксаційним дефектам (рис. 2).

Отримані результати підтверджують доцільність використання U-MLIP для моделювання фотоструктурних процесів у полімерних системах. Такий підхід дозволяє ідентифікувати процеси структурних трансформацій різного ступеня колективності [3] та прогнозувати властивості фотополімерів без проведення дорогих експериментів, відкриваючи перспективи створення нових адаптивних матеріалів із керованими оптичними характеристиками.

НТБОНТУ

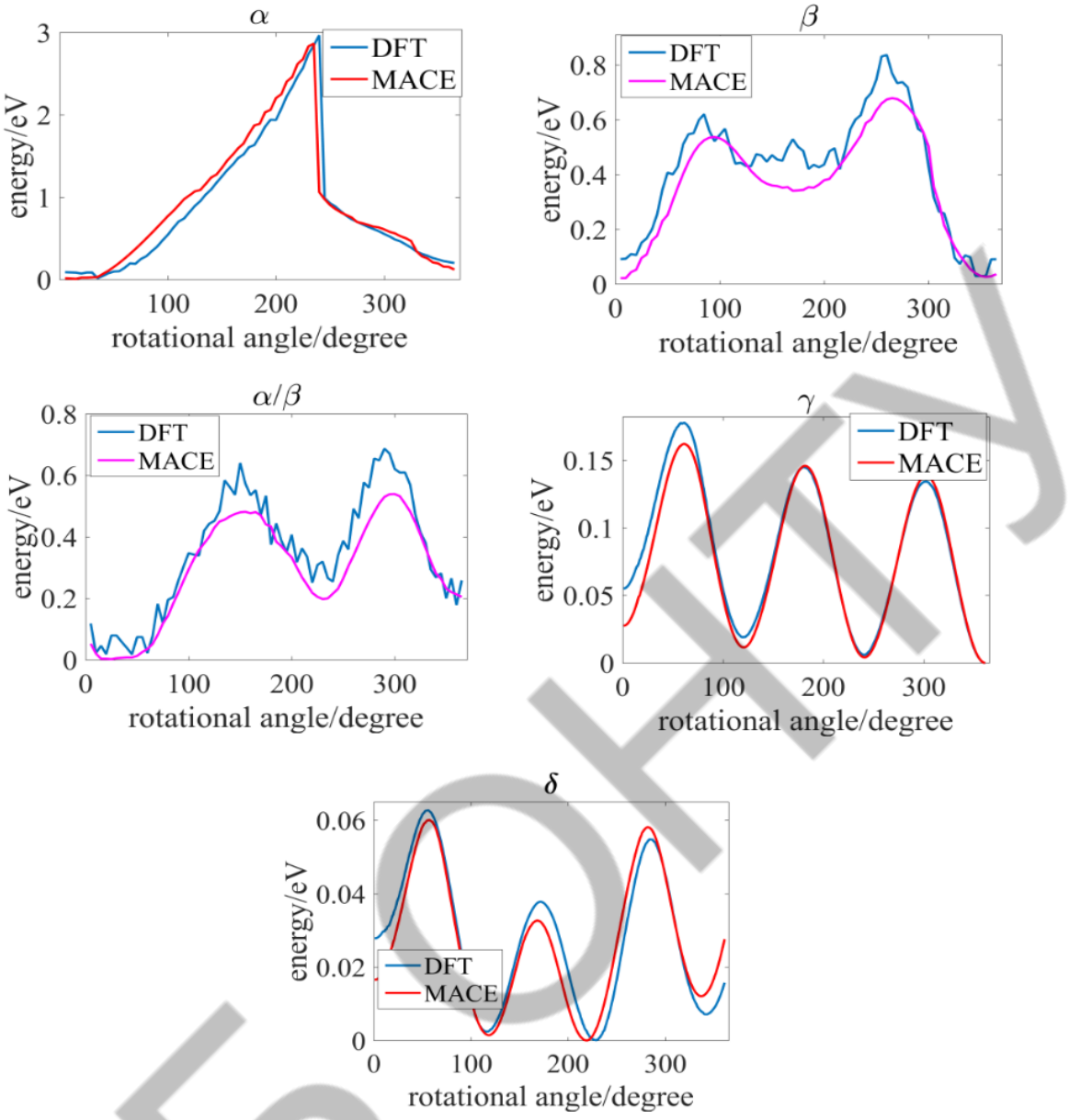


Рис.2. Профілі енергії ротацій AESO. Опорні дані DFT та прогнози MACE показані як функція двогранного кута

Список використаної літератури

[1] S. Bouchareb and R. Doufnoune, "Effect of UV post-curing on the mechanical properties of photopolymer resin in stereolithographic 3D printing," *Materials Letters*, vol. 394, art. 138587, 2025. doi: 10.1016/j.matlet.2025.138587.

[2] D. P. Královič, K. Cifraničová, H. Švajdlenková, D. Tóthová, O. Šauša, P. Kalinay et al., "Effect of aromatic rings in AESO-VDM biopolymers on the local free volume and diffusion properties of polymer matrix," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 32, pp. 2336–2349, Nov. 26, 2023. doi: 10.1007/s10924-023-03097-1.

[3] A. E. Kiv, V. N. Soloviev et al., "Machine learning interatomic potentials and orientational defects in polymers," In *NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics*. Springer Netherlands, 2025. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2316-7_6.

[4] A. Jangizehi, F. Schmid, P. Besenius, K. Kremer, and S. Seiffert, "Defects and defect engineering in soft matter," *Soft Matter*, vol. 16, pp. 10809–10827, 2020. doi: 10.1039/d0sm01371d.

[5] N. N. Nyangiwe, "Applications of density functional theory and machine learning in nanomaterials: A review," *Next Materials*, vol. 1, art. 100683, 2025. doi: 10.1016/j.nxmate.2025.100683.

НТБОКТУ

УДК 004.424:519.6:004.738.5

ПАРАЛЕЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ СТЕПЕНЕВОГО МЕТОДУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ Web-СТОРІНОК

Вербіцький В.В., Корнійчук І. Г.
(v.verbitskyi@onu.edu.ua, ivan.korniichuk@stud.onu.edu.ua)
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)

Найпопулярнішою сучасною схемою ранжування є алгоритм PageRank, розроблений засновниками Google Ларрі Пейджем та Сергієм Бріном та впроваджений Google для багатьох інструментів веб-пошуку. Алгоритм PageRank вимагає обчислення домінуючого власного вектора Google-матриці, який можна обчислити степеневим методом. Нами запропоновано матрично-векторне множення, на яке приходиться більша частина обчислень степеневого методу, реалізувати паралельно з використанням обчислень на GPU-процесорах.

Веб-пошук став невід'ємною частиною сучасного доступу до інформації, що створює багато цікавих задач у розробці ефективних та результативних стратегій ранжування результатів пошуку. Одним з найвідоміших алгоритмів ранжування, специфічних для Інтернету, є PageRank – метод обчислення авторитетності сторінок за допомогою графа гіперпосилань в Інтернеті[1,3,4,5]. Хоча PageRank – це значною мірою офлайн-обчислення, що виконується під час попередньої обробки та індексації веб-сканування до того, як будуть видані будь-які запити, стає дедалі більш бажаним пришвидшити це обчислення. Швидко зростаючі репозиторії сканування, збільшення частоти сканування та бажання генерувати кілька векторів PageRank на основі тем для кожного сканування – все це мотивуючі фактори для досліджень щодо пришвидшення обчислення PageRank.

PageRank обчислює домінуючий власний вектор Google-матриці A, яка визначається так: $A=\alpha P+(1-\alpha)ve^{T}$, де P – стовпцево-стохастична матриця (тобто висячі вузли вже замінені стовпцями з $1/n$), $\alpha \in (0,\ 1)$ — коефіцієнт демпфування, $e=(1,1,\dots,1)^{T}\in R^{n}$, $v=1/v$, n – розмірність P. Більше деталей можна знайти в [4,5]. PageRank-вектор x задовільняє $Ax=x$. Задачу обчислення PageRank-вектора x можна розглядати як задачу про обчислення найбільшого власного значення та відповідного власного вектора Google-матриці A. Цю задачу зазвичай розв'язують степеневим методом. Степеневий метод [2,3] вперше було запропоновано для обчислення PageRank Пейджем та Бріном[4]. Однак степеневий метод вимагає багато обчислень та збігається дуже повільно, особливо коли коефіцієнт демпфування близький до 1. Нами запропоновано матрично-векторне множення, на яке приходиться більша частина обчислень степеневого методу, реалізувати паралельно з використанням обчислень на GPU-процесорах.

Список використаної літератури

[1] Gu Ch., Jiang X., Shao Ch., Chen Z. A GMRES-Power algorithm for computing PageRank Problems. Journal of Computational and Applied Mathematics. 2018 . Vol. 343. pp. 113–123.
[2] Golub G.H. , Loan C.V. Matrix Computations, third ed., The Johns Hopkins University Press, Baltimore, London, 1996.
[3] Stewart D. E. Numerical Analysis: A Graduate Course / Springer, 2022. 632 p.
[4] Page L. , Brin S., Motwani R. , Winogrnd T. The PageRank citation ranking: Bring order to the web / Stanford Digital Libraries Working Paper, 1998.
[5] Bianchini M., Gori M., Scarselli F. Inside PageRank / ACM Trans. on Inter. Tech., 2005. Vol. 5. pp. 92–128.

НТБОНТУ

УДК 519.85

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ

Власенко О.В., Рябова Є.В.
(oleg@ztu.edu.ua, ipzm241_ryev@student.ztu.edu.ua)
Державний університет «Житомирська політехніка» (Україна)

У роботі здійснено порівняльний аналіз трьох метаевристичних алгоритмів — генетичного, колонії мурах та табу-пошуку — для оптимізації маршрутів доставки з урахуванням обмежень на вантажомісткість. Проведено експериментальне дослідження їх ефективності на реальних географічних даних та визначено умови доцільного застосування кожного методу.

Проблема вибору ефективного алгоритму для оптимізації маршрутів доставки постає щоразу, коли необхідно забезпечити мінімальні витрати часу або відстані за складних умов транспортної мережі. Такі задачі належать до класу комбінаторних, де кількість можливих рішень зростає експоненційно зі збільшенням кількості точок. Традиційні точні методи, засновані на повному переборі або математичному програмуванні, швидко втрачають ефективність при масштабуванні, тому в практиці дедалі частіше застосовуються метаевристичні підходи.

Мета дослідження полягає у порівнянні ефективності найпоширеніших метаевристичних алгоритмів — генетичного, алгоритму колонії мурах і табу-пошуку — у контексті задачі маршрутизації транспорту з обмеженням на вантажомісткість.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання: проаналізувати принципи роботи кожного з алгоритмів і виявити їхні сильні та слабкі сторони; розробити моделі реалізації методів і провести експериментальні обчислення на основі реальних географічних даних; порівняти результати за показниками якості маршрутів і часу виконання; а також сформулювати висновки щодо доцільності застосування кожного алгоритму та можливостей їх комбінування в межах гібридних систем.

Метаевристичні алгоритми дозволяють знаходити близькі до оптимальних рішення за обмежений час, що робить їх придатними для використання в умовах реального часу або при роботі з великими наборами даних. Вони застосовуються тоді, коли традиційні точні методи втрачають ефективність через експоненційне зростання кількості можливих комбінацій. Залежно від структури задачі обираються різні типи алгоритмів, кожен з яких має власні особливості та переваги.

Генетичний алгоритм (GA) належить до класу еволюційних методів і базується на імітації процесів природного добору [1]. Множина можливих рішень задачі представлена у вигляді популяції, яка еволюціонує завдяки застосуванню операторів відбору, схрещування та мутації. Кожне рішення оцінюється за функцією пристосованості, що визначає його якість відносно поставленої мети. У межах проведеного дослідження генетичний алгоритм використовувався для побудови маршрутів доставки на основі матриці відстаней, сформованої сервісом OpenRouteService. Представлення рішень здійснювалося у вигляді послідовності точок маршруту, а для вибору найкращих рішень застосовувався турнірний відбір, що забезпечував збереження найперспективніших комбінацій.

Алгоритм колонії мурах (Ant Colony Optimization, ACO) відноситься до роєвих методів і моделює колективну поведінку агентів, які шукають найкоротший шлях між точками. Кожен агент (мураха) досліджує можливі маршрути та залишає феромонний слід, інтенсивність якого пропорційна якості знайденого рішення [2]. Інші агенти орієнтуються на ці сліди, що призводить до колективного узгодження результатів і поступового формування оптимального маршруту. У дослідженні алгоритм колонії мурах використовувався для задачі маршрутизації транспортних засобів із обмеженням на вантажомісткість, де параметри випаровування феромонів контролювали баланс між дослідженням нових шляхів і закріпленням уже вдалих.

Метод табу-пошуку (Tabu Search) належить до локальних методів оптимізації, однак має у своїй структурі елемент пам’яті, який підвищує ефективність пошуку [3]. Алгоритм поступово переходить від одного рішення до іншого, обираючи найкраще з-поміж сусідніх, проте уникає повторного відвідування вже розглянутих варіантів завдяки використанню списку «заборонених» ходів (табу). На відміну від GA та ACO, цей метод не працює з популяцією рішень, а вдосконалює

поточний маршрут шляхом локальних перестановок точок, що робить його стабільним і придатним для задач середньої складності.

Для оцінки ефективності розглянутих метаевристичних алгоритмів проведено експериментальне дослідження задачі маршрутизації транспортних засобів із обмеженням на вантажомісткість. Тестування виконувалося на основі географічних даних міста Києва з використанням дорожньої мережі, отриманої через бібліотеку OSMnx та сервіс OpenRouteService, який забезпечував формування матриці відстаней відповідно до реальної топології вуличної мережі.

Згідно табл. «Порівняння методів оптимізації маршрутів», генетичний алгоритм продемонстрував високу швидкодію— середній час виконання становив близько 0.06 секунди, проте отримані маршрути мали найбільшу загальну довжину (≈208 800 одиниць), що свідчить про нижчу точність результатів. Алгоритм колонії мурах забезпечив кращу якість розв'язку — довжина маршруту становила ≈183 300 одиниць, але потребував більше часу для обчислень (1.03 секунди) через складність колективного механізму пошуку. Метод табу-пошуку показав найкращий результат за якістю — ≈177 600 одиниць при мінімальному часі виконання (0.06 секунди), що вказує на його ефективність у задачах середнього масштабу, де важливий баланс між точністю та швидкістю.

Порівняння методів оптимізації маршрутів

	Метод	**Загальна довжина маршруту**	**Час виконання (с)**	**Кількість машин**
	Генетичний алгоритм	208797.46	0.06	3
	Мурашиний алгоритм	183312.99	1.03	3
	Табу пошук	177558.90	0.06	3

Отримані результати засвідчили наявність компромісу між точністю рішень і швидкодією обчислень, що зумовлює необхідність вибору алгоритму відповідно до специфіки задачі. У ході дослідження було реалізовано три метаевристичні алгоритми в однакових експериментальних умовах, проведено їх тестування на реальних просторових даних, здійснено оцінку якості маршрутів і продуктивності обчислень, а також проаналізовано вплив параметрів на ефективність пошуку оптимальних рішень.

Аналіз отриманих результатів показав, що жоден із методів не є універсальним, оскільки кожен має свої переваги та обмеження залежно від умов застосування. Водночас комбінування різних підходів у межах гібридних моделей дає змогу досягти збалансованих результатів, поєднуючи швидкість еволюційних методів із точністю локальної оптимізації. Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція метаевристичних алгоритмів із методами машинного навчання для динамічного налаштування параметрів і підвищення ефективності логістичних систем.

Список використаної літератури:

[1] C. Fernandes, "How to solve a Routing Problem with a Genetic Algorithm: A Practical Guide," Medium, Nov. 29, 2023. [Online]. Available: https://medium.com/data-and-beyond/how-to-solve-a-routing-problem-with-a-genetic-algorithm-a-practical-guide-a0f0f8aa36db.

[2] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stützle, "Ant Colony Optimization," IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006, doi: 10.1109/MCI.2006.329691.

[3] S. Wang, Y. Xiong, and Z. Wang, "A Study on the Taboo Search Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows," in Proceedings of the 2012 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2012), Atlantis Press, 2012, pp. 415–418, doi: 10.2991/iccasm.2012.104.

УДК **544.3**

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОЗПЛАВІВ, ЩО МІСТЯТЬ Mn, Fe, Co, Ni І Cu

Гончаров І.О.[1], Міщенко Д.Д.[1], Богаченко О.Г.[1], Судавцова В.С.[2]
(sud.materials@ukr.net)
[1]Інститут електрозварювання імені Євгена Патона НАНУ (Україна)
[2]Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ (Україна)

Олововмісні сплави можуть бути використані для одержання безсвинцевих припоїв низько- і тугоплавких матеріалів. Термодинамічні властивості розплавів системи Sn–La досліджено зі сторони Sn, тому щоб прогнозувати властивості потрійних систем, що містять олово, необхідно було дослідити ці характеристики для розплавів збагачених лантаном, довелось визначити їх металічну ізоперіболічну калориметрію. Власні і літературні термохімічні властивості розплавів системи La–Sn спільно оброблені. Встановлено, що ці дані корелюють між собою і свідчать про сильну взаємодію між різнойменними атомами, а ΔH_{min} ~−50 кДж/моль і припадає на x_{Sn} = 0,44. Це корелює з діаграма стану системи Ln–La згідно якої самою тугоплавкою є сполука La_5Ln_4.

Що стосується рідких сплавів системи La–Sn–3d-Me, то вони досліджені добре нами і іншими дослідниками і їх можна критично проаналізувати і вивести найбільш достовірні.

Видно, що по зростанню енергії міжчасткової взаємодії їх можна розмістити в такій послідовності:

La–Fe → La–Sn → Mn–La → Cu–Sn → Mn–Sn → La–Cu → La–Sn.

Термодинамічні властивості рідких сплавів систем La–Sn–3d-Me до цього часу не вивчено, а для бінарних обмежуючих підсистем вони відомі, ми спробували обчислити аналогічні дані для потрійних за різними моделями. Результати деяких розрахунків, які ми вважаємо найбільш точними приведено на рис.1.

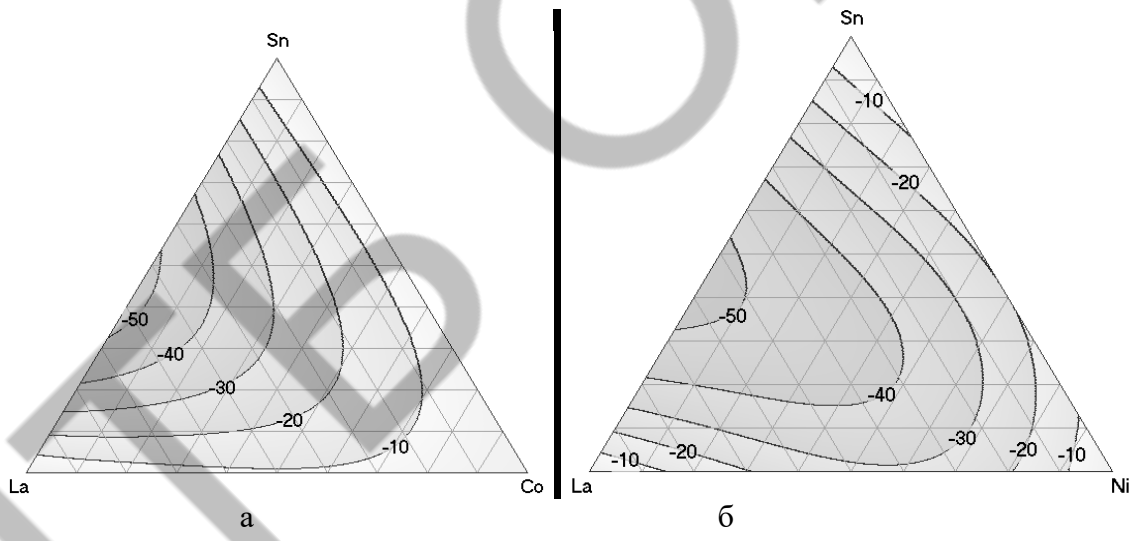


Рис. 1. Ізоентальпії змішування розплавів системи La–Sn–Co (а) і La–Sn–Ni (б) розраховані за моделлю Редліха–Кістера–Муджіану без потрійного внеску при 1300 К (в кДж/моль).

Ясно, що спільним для всіх розглянутих потрійних розплавів є те, що найбільший внесок обумовлено підсистемою La–Sn. Причому хід ізоентальпій змішування рідких розчинів La–Sn–3d-Me суттєво відрізняються і це впливає на значення ентальпій змішування в потрійних системах.

Щоб підтвердити достовірність виконаних розрахунків, ми спробували відшукати інформацію по фазовим рівновагам в сплавах вказаних вище систем. Виявилось, що на даний час побудовано ізотермічний переріз систем La–Ni–Sn [1], згідно якого в цій системі утворюються ~10 тернарних проміжних фаз. Але так як вони не проявляються на поверхні ентальпій змішування, це свідчить про їх низьку термічну стійкість та їх інконгруентний характер плавлення.

Сподіваємось в найближчий час перевірити надійність прогнозованих характеристик дослідження методом калориметрії.

Список використаної літератури:

1. Yinghong Zhuang, Haixia Deng, Jingqi Liu, Qingrong Yao The 673 K isothermal section of the La–Ni–Sn ternary system. *Journal of Alloys and Compounds*. 2004. V.363 p. 223–226

УДК 004.8:519.876.5:502.3

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ЯК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СКЛАДОВА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Гуджуманюк К.С., Подорожняк А.О., Баленко О. І.
(kseniia.hudzhumaniuk@cit.khpi.edu.ua,
andrii.podorozhniak@khpi.edu.ua,
oleksii.balenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"(Україна)

В тезах розглянуто гібридну модель оптимізації PSO–GWO–DE як інтелектуальну складову системи екологічного моніторингу. Запропонований підхід поєднує глобальний пошук, адаптивність і стабільність еволюційних алгоритмів для підвищення точності оцінки концентрацій забруднювачів та локалізації їхніх джерел. Подальші дослідження спрямовані на інтеграцію моделі з IoT-сенсорними мережами й нейромережевими системами для прогнозування динаміки забруднення.

Кліматичні зміни, інтенсивний розвиток промислового виробництва та транспортної інфраструктури зумовлюють формування складних інтермітентних і нелінійних потоків викидів. Актуальність проблеми визначається не лише загальним обсягом забруднювальних речовин, а й просторово-часовими особливостями їх розподілу.

Метою роботи є розробка гібридного алгоритму оптимізації, що поєднує Particle Swarm Optimization (PSO), Grey Wolf Optimizer (GWO) і Differential Evolution (DE) для задачі:

– моніторингу концентрацій забруднювачів повітря;

– локалізації джерел забруднення.

Розрахунок швидкості та позиції PSO представлено наступними рівняннями [1]:

$$v_i(t+1) = w * v_i(t) + c_1 r_1 \left(pbest_i - x_i(t)\right) + c_2 r_2 (gbest - x_i(t))$$
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

$v_i(t)$ – швидкість частинки і на ітерації t;
$v_i(t+1)$ – нова швидкість частинки і після оновлення на наступній ітерації;
$x_i(t)$ – поточне положення частинки і на ітерації t;
$x_i(t+1)$ – нове положення частинки після оновлення;
w – коефіцієнт інерції;
c_1 – коефіцієнт когнітивного компонента;
c_2 – коефіцієнт соціального компонента;
r_1, r_2 – випадкові числа з інтервалу [0,1];
$pbest_i$ – найкраще положення частинки і;
gbest – найкраще положення всіх частинок у рої на даний момент.

Алгоритм GWO [2]:

$$A = 2a * r_1 - a,$$
$$D = \left|\vec{C} * \overrightarrow{X_p}(t) - \overrightarrow{X_t}\right|,$$
$$\vec{C} = 2\overrightarrow{r_2}$$
$$\overrightarrow{X_1} = \overrightarrow{X_\alpha} - \overrightarrow{A_1} * \overrightarrow{D_\alpha},$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\overrightarrow{X_1}+\overrightarrow{X_2}+\overrightarrow{X_3}}{3}.$$

Тут t відповідає поточній ітерації алгоритму, A і C є векторами коефіцієнтів, Xp – вектором координат здобичі, а X – вектором координат сірого вовка.

Формули алгоритму DE [3]:

$$v = x_{r1,G} + F \cdot (x_{r2,G} - x_{r3,G})$$

Цілі числа r1, r2 та r3 обираються випадковим чином з інтервалу [0, NP-1] і відрізняються від поточного індексу i. F – дійсне та стале значення, яке контролює підсилення диференційної варіації (X_G).

Таким чином, гібридний алгоритм буде мати вигляд:

$$X_i^{NEW} = w_1 \cdot X_i^{PSO} + w_2 \cdot X_i^{GWO} + w_3 \cdot X_i^{DE}$$
$$w_1 + w_2 + w_3 = 1,$$

де:

– X_i^{PSO} – позиція, запропонована PSO-кроком;

– X_i^{GWO} – позиція з GWO-оператора;

– X_i^{DE} – рішення, утворене через DE-мутацію/кросовер;

– ваги w_1,w_2,w_3 можуть бути адаптивними або фіксованими.

Функція помилки:

$$RMSE(\theta) = \sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)\sum_{s=1}^{m}\left(C_{model}(x_s, y_s; \theta) - C_{obs,s}\right)^2},$$

де C_{model} – концентрація від моделі розсіювання;

$C_{obs,s}$ – виміряна концентрація.

Розроблений гібридний алгоритм PSO–GWO–DE забезпечить підвищену ефективність розв'язання складних екологічних задач, пов'язаних із моніторингом якості атмосферного повітря та локалізацією джерел забруднення завдяки інтеграції глобальної пошукової здатності алгоритму PSO, адаптивних механізмів GWO та стабільності еволюційного підходу DE.

Таким чином, алгоритм PSO–GWO–DE може слугувати базовим компонентом інтелектуальної системи екологічного моніторингу. Розроблена гібридна модель, що поєднує алгоритми Particle Swarm Optimization (PSO), Grey Wolf Optimizer (GWO) та Differential Evolution (DE), демонструє підвищену ефективність у задачах моніторингу атмосферного повітря та локалізації джерел забруднення. Її перевага полягає у здатності до глобального пошуку, адаптації до складних динамічних умов і зменшенні похибки моделювання (RMSE) завдяки ефекту поєднаннюя еволюційних підходів. Отримані результати підтверджують, що запропонована гібридна система може стати основою для створення інтелектуальних екологічних моніторингових платформ, здатних до самонавчання й автономного прийняття рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на реалізацію гібридної моделі у реальному часі з використанням IoT і безпілотних дронових сенсорних мереж та нейромережевих структур для адаптивного налаштування вагових коефіцієнтів. Перспективним є також поєднання гібридного оптимізаційного ядра з методами глибокого навчання для прогнозування поширення забруднень і розробки інтегрованих систем підтримки екологічних рішень.

Список використаної літератури:

1.Bai, Q. (2010). Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm. Computer and Information Science, 3 (1), pp. 180 – 184. DOI: https://doi.org/10.5539/cis.v3n1p180.

2.Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., and Lewis A. (2014). Grey Wolf Optimizer. Advances in Engineering Software, 2014, vol. 69, pp.46-61. DOI: https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.

НТБОНТУ

3.Storn, R., Price, K. (1997) Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization, 1997, vol. 11, pp. 341–359. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1008202821328.

УДК 004.94:005.5

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДОПОМОГИ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Денисюк С. С. (sstdenysyuk@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі запропоновано інформаційну модель управління потоками допомоги в умовах обмежених ресурсів. Модель спрямована на підвищення ефективності розподілу матеріально-технічних засобів між підрозділами шляхом інтеграції даних про запаси, запити та логістичні маршрути. Використано принципи багатокритеріальної оптимізації та адаптивного балансування, що враховують пріоритетність потреб, часові обмеження та витрати на транспортування. Розроблений алгоритм забезпечує автоматизоване прийняття рішень у реальному часі та дозволяє динамічно змінювати маршрути і обсяги постачання залежно від актуальної ситуації. Отримані результати підтверджують доцільність застосування інформаційних моделей з адаптивним управлінням у логістичних системах та платформах ресурсного забезпечення підрозділів.

Постановка проблеми. В умовах воєнного часу та кризових ситуацій постачання ресурсів для підрозділів і цивільних структур набуває складного, багатофакторного характеру. Обсяги зовнішньої допомоги — гуманітарної, технічної чи матеріальної — часто не відповідають поточним потребам, а процеси розподілу супроводжуються нестачею інформації, дублюванням запитів і неефективним використанням обмежених запасів. Традиційні підходи до планування логістичних потоків базуються на централізованих моделях і не враховують динамічних змін у середовищі: появи нових запитів, затримок у транспортуванні чи зміни пріоритетів. Це знижує оперативність реагування, викликає дисбаланс між потребами та постачанням і ускладнює координацію донорських та внутрішніх ресурсів.

Тому актуальним є розроблення інформаційної моделі управління потоками допомоги, яка забезпечує балансування зовнішніх і внутрішніх джерел постачання на основі даних у реальному часі, критеріїв критичності потреб та обмежень ресурсів.

Метою дослідження є розроблення інформаційної моделі управління потоками допомоги в умовах обмежених ресурсів, що забезпечує оптимальний розподіл матеріально-технічних засобів між підрозділами шляхом інтеграції даних про запаси, маршрути та донорську підтримку з використанням методів багатокритеріальної оптимізації.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати існуючі моделі ресурсного планування та логістики гуманітарної допомоги, визначивши їхні обмеження щодо гнучкості та адаптивності.
2. Формалізувати ключові параметри інформаційної моделі — типи ресурсів, джерела постачання, запити споживачів і часові обмеження.
3. Розробити алгоритм балансування потоків допомоги з урахуванням пріоритетів, ризиків затримок і ступеня критичності запитів.
4. Реалізувати схему інтеграції інформаційних потоків між підрозділами, складами та донорами для підтримки оперативного прийняття рішень.
5. Провести експериментальне моделювання ефективності запропонованої системи при різних сценаріях розподілу ресурсів.

Суть дослідження. Інформаційна модель управління потоками допомоги базується на принципі балансування попиту і пропозиції в умовах обмежених ресурсів. Вона передбачає

HTPOFTY

інтеграцію даних із кількох джерел — внутрішніх складів, донорських організацій, логістичних маршрутів і запитів від підрозділів.

На першому етапі дослідження було проведено **аналіз існуючих моделей ресурсного планування та логістики гуманітарної допомоги**. Серед основних підходів розглянуто класичні моделі типу *Linear Programming (LP)*, *Vehicle Routing Problem (VRP)*, *Supply Chain Optimization* та *Agent-Based Logistics Simulation*. Результати аналізу показали, що більшість із них характеризуються низьким рівнем гнучкості при різкій зміні параметрів середовища — наприклад, появі нових запитів, зміні пріоритетів або пошкодженні маршрутів. Крім того, вони мають обмежену здатність інтегрувати оперативні дані з сенсорів, ERP-систем і зовнішніх джерел моніторингу, що знижує ефективність реагування у реальному часі. Ці обмеження визначили необхідність створення адаптивної інформаційної моделі управління потоками допомоги, здатної динамічно балансувати ресурси залежно від ситуаційного контексту.

Запропонована модель ґрунтується на принципах багаторівневої організації управління, де поєднуються аналітичні, прогнозні та оптимізаційні компоненти. Кожен елемент моделі описується трійкою:

$$N_i = \langle D_i, Q_i, T_i \rangle,$$

де D_i — джерело або пункт призначення,

Q_i — кількість ресурсу (у натуральних або фінансових одиницях),

T_i — часовий інтервал доставки або потреби.

Процес управління представлений циклічною схемою (рис. 1), що включає етапи збору даних із систем моніторингу запитів і складів, аналітичного оцінювання стану ресурсів, формування оптимальних маршрутів і планів доставки, а також зворотного зв’язку для коригування дій у реальному часі.

Схема інформаційного управління потоками допомоги відображає логіку інформаційних потоків: від збору даних про ресурси та запити — до аналітичного аналізу й автоматизованого прийняття рішень. Такий підхід дає змогу динамічно перебалансовувати обсяги допомоги при зміні ситуації на місцях.

У центрі моделі реалізовано алгоритм динамічного балансування, який оптимізує розподіл ресурсів між споживачами за критеріями пріоритетності, часу доставки та вартості логістики. На стратегічному рівні застосовується багатокритеріальна оптимізація за методом зваженого Парето, тоді як на тактичному рівні реалізовано евристичний алгоритм адаптивного балансування, що враховує поточну завантаженість маршрутів, часові вікна доставки та стан запасів.

Для перевірки працездатності моделі створено симуляційне середовище, у якому змодельовано 20 джерел постачання, 50 споживачів та 8 типів ресурсів (паливо, медикаменти, продовольство, обладнання тощо). Дані надходили у вигляді потоків запитів з різною пріоритетністю та часовими вікнами доставки.

Порівняння з базовою централізованою схемою розподілу показало такі результати:

- середній час узгодження постачань зменшився з 96 до 68 хвилин (–29 %);
- коефіцієнт збалансованості ресурсів (ratio supply/demand) зріс із 0,72 до 0,89;
- кількість дублювань у маршрутах доставки зменшилася на 17 %;
- рівень задоволення критичних запитів першої черги зріс до 94 %.

Для візуалізації результатів було побудовано теплову карту розподілу ресурсів, що показала зменшення навантаження на вузли доставки у пікові години.

Таким чином, експериментальне моделювання підтвердило, що впровадження запропонованої інформаційної моделі дозволяє суттєво підвищити ефективність управління потоками допомоги, зменшити час реагування та покращити збалансованість між джерелами і споживачами ресурсів.

Висновки. Запропонована інформаційна модель управління потоками допомоги в умовах обмежених ресурсів забезпечує цілісну координацію між донорами, логістичними структурами та споживачами. Її особливістю є використання адаптивного балансування, яке дозволяє автоматично змінювати маршрути й обсяги поставок залежно від критичності запитів та змін у наявних запасах.

Експериментальне моделювання показало, що впровадження запропонованої моделі дає змогу знизити середній час узгодження поставок на 25–30 %, а рівень надлишкових або дубльованих доставок — до 15 %. Модель може бути впроваджена у системах логістичного

управління, військових і гуманітарних платформах, що працюють у реальному часі, забезпечуючи підвищення прозорості, ефективності та керованості процесів постачання.

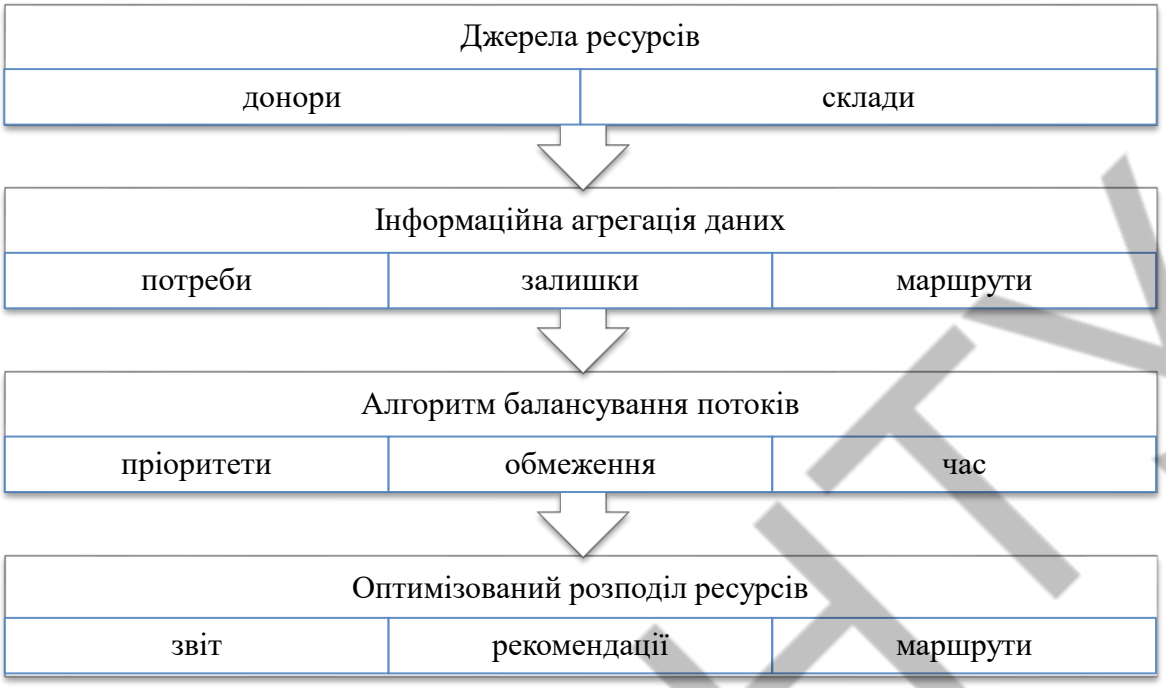


Рисунок 1 - Узагальнена схема інформаційного управління потоками допомоги

Список використаної літератури

[1] ISO 22316:2017. *Security and resilience — Organizational resilience — Principles and attributes.* Geneva : ISO, 2017.

[2] ENISA. *Supply Chain Cybersecurity — Good Practices for Resilience.* European Union Agency for Cybersecurity, 2023.

[3] Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management.* 6th ed. London : Pearson, 2022.

[4] Поперешняк С. В. Моделі інформаційної взаємодії у системах управління ресурсами в умовах невизначеності // *Математичні машини і системи.* — 2022. — № 3. — С. 45–54.

УДК 004.89 : 681.518

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КООРДИНАЦІЇ ГРУПИ БПЛА В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Дерев'янко Є.М. (evg.derevianko@gmail.com)

Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

Робота присвячена розробленню моделі інформаційної підтримки прийняття рішень при координації групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у реальному часі. Запропоновано трирівневу архітектуру, що поєднує локальне управління окремими апаратами, горизонтальний обмін телеметрією між БПЛА та централізовану аналітичну координацію на основі розподіленої обробки даних. Основою підходу є багатокритеріальна оптимізаційна модель, яка враховує затримку обміну, енергоспоживання та відхилення траєкторій, а також механізм адаптивного коригування керувальних дій за принципом зворотного зв'язку. Імітаційне моделювання підтвердило, що запропонована система дозволяє знизити середню затримку обміну на 25–30%, підвищити узгодженість дій БПЛА на 15–20% і забезпечити стабільність траєкторій навіть при короткочасних порушеннях зв'язку. Отримані результати можуть бути використані для

НТБОНТУ

підвищення ефективності управління роями БПЛА в оборонних, моніторингових і рятувальних системах.

Постановка проблеми. Сучасні системи управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) усе частіше переходять від індивідуального до групового (роєвого) керування, що вимагає нових підходів до прийняття рішень у режимі реального часу. У процесі виконання спільних місій — розвідки, моніторингу, пошуку чи доставки — виникає потреба швидкої обробки великого обсягу телеметричних, навігаційних і сенсорних даних, синхронізації дій та забезпечення стійкого зв'язку між апаратами.

Традиційні централізовані системи координації мають обмежену масштабованість і схильні до затримок при обміні даними, що знижує ефективність рішень у динамічних умовах. Тому актуальним є розроблення інформаційно-аналітичної моделі, здатної забезпечити адаптивну координацію групи БПЛА на основі розподіленої обробки даних, прогнозного аналізу та багатокритеріального прийняття рішень.

Мета дослідження — розроблення моделі інформаційної підтримки прийняття рішень для координації групи БПЛА в реальному часі, яка забезпечує ефективну взаємодію між апаратами, зниження затримок обміну даними та підвищення точності колективних дій у змінних умовах середовища.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати існуючі архітектури систем керування групами БПЛА та визначити їх обмеження щодо швидкодії й масштабованості.
2. Сформувати набір інформаційних параметрів і показників стану БПЛА, необхідних для прийняття рішень у реальному часі.
3. Розробити узагальнену інформаційно-аналітичну модель, що включає модулі збору, фільтрації, оцінки достовірності та агрегації даних.
4. Побудувати алгоритм координації групи БПЛА на основі принципів розподіленого управління та прогнозної оптимізації.
5. Провести імітаційне моделювання процесу прийняття рішень у групі БПЛА з оцінкою часової затримки, узгодженості дій і стабільності траєкторій.

Суть дослідження. У процесі координації групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) основною задачею є узгодження дій окремих елементів системи на основі оперативного аналізу інформаційних потоків. Кожен апарат генерує великий обсяг даних — телеметричних, навігаційних, сенсорних — які необхідно обробляти у режимі реального часу для прийняття рішень щодо зміни траєкторій, розподілу завдань та уникнення колізій.

У цьому контексті доцільним є побудова розподіленої моделі інформаційної підтримки, що дозволяє поєднати локальну автономність окремих БПЛА із централізованим прогнозним аналізом даних на рівні групи.

Інформаційна структура системи. Інформаційна модель системи координації ґрунтується на багаторівневій архітектурі, де виділяються три рівні управління:

- **локальний рівень** — прийняття рішень кожним БПЛА на основі поточних сенсорних даних;
- **рівень обміну** — координація між апаратами шляхом передачі агрегованих параметрів стану;
- **глобальний рівень** — аналітична обробка даних у центрі управління або на провідному вузлі рою.

Загальна схема інформаційної підтримки наведена на рис.1:

Представлена структурна схема відображає основні рівні функціонування системи — від локального управління окремими апаратами до централізованої аналітики. На нижньому рівні відбувається обробка сенсорних даних і формування локальних рішень для кожного БПЛА, тоді як середній рівень забезпечує обмін узагальненими параметрами стану між апаратами.

Верхній рівень — центр аналітики та координації — реалізує прогнозування маршрутів, динамічний розподіл завдань і оптимізацію групових дій у режимі реального часу. Така ієрархічна організація дозволяє досягти балансу між автономністю окремих БПЛА та узгодженістю рою в цілому.

НТБОНТУ

Рисунок 1. Інформаційна структура системи координації групи БПЛА

Інформаційні потоки між рівнями формують замкнену петлю зворотного зв'язку, що є основою для адаптивного керування, підвищення живучості системи та стійкості до затримок у каналах зв'язку.

Алгоритмічна основа прийняття рішень. Процес координації описується як багатокритеріальна задача мінімізації функції ризику:

$$J = \alpha \cdot T_{delay} + \beta \cdot E_{cons} + \gamma \cdot D_{dev},$$

де T_{delay} — середня затримка інформаційного обміну,

E_{cons} — енергетичні витрати на передачу даних,

D_{dev} — відхилення траєкторій від оптимального плану;

α, β, γ — вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети цілей.

Для підвищення стабільності системи використовується **адаптивне оновлення параметрів рішень** за принципом зворотного зв'язку:

$$u_{t+1} = u_t - \eta \cdot \nabla J(u_t),$$

де u_t — вектор керувальних дій (координати, швидкість, напрям), η — коефіцієнт навчання системи.

У таблиці 1 наведено ключові параметри, що впливають на якість прийняття рішень у системі.

Таблиця 1. Інформаційні параметри та метрики ефективності

Позначення	**Параметр**	**Одиниця вимірювання**	**Значення для аналізу**
t_{com}	Затримка передачі повідомлення	мс	≤ 150
r_{loss}	Частка втрат пакетів	%	≤ 5
p_{sync}	Імовірність синхронізації дій	відн. од.	≥ 0.9
E_{node}	Середнє енергоспоживання вузла	Дж	$\leq 10^3$
C_{coop}	Коефіцієнт кооперації рою	відн. од.	≥ 0.85

Ці метрики використовуються для оцінки ступеня узгодженості дій БПЛА, надійності обміну та стійкості системи при зовнішніх впливах.

Попередні результати імітаційного моделювання показали, що використання запропонованої системи інформаційної підтримки дозволяє:

- скоротити середню затримку обміну на 25–30% у порівнянні з централізованими схемами;
- підвищити стабільність траєкторій руху на 15%;
- забезпечити відновлення синхронізації після втрати зв'язку протягом 2–3 секунд.

Висновки. Розроблено модель інформаційної підтримки прийняття рішень при координації групи БПЛА, яка поєднує розподілену обробку даних, адаптивну оптимізацію та механізми зворотного зв'язку. Вона забезпечує баланс між швидкодією, енергоефективністю та узгодженістю дій апаратів у динамічному середовищі.

Отримані результати моделювання підтверджують ефективність запропонованого підходу, що може бути використаний при створенні систем управління роями БПЛА, оборонних та пошуково-рятувальних комплексах.

Список використаної літератури

[1] Zhang, J., Wang, Y., & Chen, X. (2023). *A distributed decision-making framework for multi-UAV cooperative missions in dynamic environments.* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 59(4), 3127–3142. https://doi.org/10.1109/TAES.2023.3261745

[2] Al-Sa'd, M. F., Al-Ali, A., & Rehman, A. U. (2022). *Real-time coordination of unmanned aerial vehicle swarms using edge intelligence.* Sensors, 22(15), 5692. https://doi.org/10.3390/s22155692

[3] Poperechnyak, S. V., & Fedorychenko, O. D. (2024). Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи. *Проблеми програмування*, № 2–3, 334–342. https://doi.org/10.15407/pp2024.02-03.334

[4] Yang, S., Liu, H., & Ren, Z. (2021). *Adaptive control and communication architecture for UAV swarm collaboration.* Journal of Intelligent & Robotic Systems, 102(3), 71. https://doi.org/10.1007/s10846-021-01441-0

УДК 519.8:378

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ МАЛЬМКВІСТА

Долгіх Я.В. (gjanadolgich@gmail.com)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

В тезах запропоновано методологію кількісної оцінки динаміки ефективності цифрової трансформації регіонів України та їх аналізу за допомогою індексу Мальмквіста. Використання індексу Мальмквіста як аналітичного інструменту дозволяє виявляти джерела неефективності.

Індекс цифрової трансформації регіонів України розраховується за низкою ключових показників, які охоплюють різні аспекти цифровізації. Щорічно перелік показників для оцінювання індексу змінюється, – тому порівнювати результати цифрової трансформації регіонів в Україні по роках за індексом не є коректним. Проаналізувати динаміку цифрової трансформації регіонів України та виявити джерела неефективності можливо через аналіз зміни ефективності цифровізації, визначеної за допомогою індексу Мальмквіста [1]. Оцінка зміни ефективності цифровізації регіону (далі – DMU, $Decision\ Making\ Unit$) відносно попереднього періоду за індексом Мальмквіста здійснюється за формулою [1]:

$$Mind = TCng \cdot \frac{E_1^1}{E_0^0}, \quad (1)$$

де $TCng = \sqrt{\frac{E_1^0}{E_1^1} \cdot \frac{E_0^0}{E_0^1}}$ – технічний зсув межі; E_0^0, E_1^1 – ефективність DMU_k $(k = \overline{1;K})$, що аналізується в період T_0 та T_1 відповідно; E_0^1, E_1^0 – ефективність DMU_k $(k = \overline{1;K})$ з показниками в період T_0 відносно межі ефективних DMU_k у період T_1 та з показниками в період T_1 відносно межі ефективних DMU_k у період T_0 відповідно.

Ефективність DMU розраховується методом *DEA* за моделями *VRS* (для аналізу ефективності за умови їх неоднорідності за розміром та рівнем розвитку) та *CRS* (для аналізу масштабної ефективності). Вхідними параметрами для оцінки ефективності цифровізації можуть

бути: 1) % співробітників сектору інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у загальній кількості зайнятих; 2) обсяг витрат на ІКТ. Вихідні параметрами можуть бути: 1) % домогосподарств, які мають доступ до Інтернету; 2) % населення, яке має принаймні базові цифрові навички; 3) обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг), отриманий від електронної торгівлі у % до загального обсягу реалізованої продукції (товарів, послуг); 4) % підприємств, які використовують соціальні мережі; 5) % населення, яке використовує Інтернет для взаємодії з органами державної влади. Сформовані вектори вхідних та вихідних параметрів задовольняють умові невиродженості [1].

Якщо *Mind* =1, – ефективність досліджуваного DMU_k не змінилась, якщо *Mind* >1, – збільшилась, *Mind* <1, – зменшилась. Індекс Мальмквіста (1) розкладається на компоненти, які відображають зміни технологічного прогресу (*TCng*) та ефективності (E_1^1/E_0^0), що дозволяє проаналізувати, наскільки змінилась ефективність завдяки оптимізації використання ресурсів, впровадженню нових технологій і зміни масштабів цифровізації.

Список використаної літератури

[1] W. W. Cooper , L. M. Seiford , K. Tone *Data envelopment analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Second Edition. New York: Springer Science&Business Media, 2007.

УДК 519.6

NEURAL NETWORK MODELING IN PYTHON FOR APPROXIMATING COMPLEX FUNCTIONAL DEPENDENCIES

Doroshenko D. (dsniil2727@gmail.com)
"Gymnasium 12" Kamianske, Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)

Introduction. In modern scientific research and applied problems, there is often a need to approximate complex functional dependencies that cannot be described in the form of simple formulas. Examples are forecasting economic indicators, describing nonlinear physical processes, and processing experimental data.

One of the most powerful tools for this is artificial neural networks. Due to their flexible architecture, they are able to approximate almost any continuous function. The Python programming language provides convenient libraries (TensorFlow, PyTorch, Keras, scikit-learn) that allow you to easily build and train neural networks for tasks of this type.

Mathematical formulation of the problem. Let the unknown function $y = f(x),\ x \in [a, b]$, which describes a certain complex process (for example, a nonlinear dependence between the input parameters and the output results of an experiment.

The goal is to find an approximation $\hat{f}(x)$ that minimizes the error

$$E = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(f(x_i) - \hat{f}(x_i))^2$$

where $x_i -$ are experimental data or model points.

Approximation example. Consider the approximation of the function:

$f(x) = \sin(x) + 0{,}3x^2, x \in [-2, 2]$.

This function combines a periodic and a quadratic component, which makes it interesting for approximation.

Python implementation. Below is an example of a neural network implementation in Python using TensorFlow/Keras:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense
# Generate data
```

```
x = np.linspace(-2, 2, 200)
y = np.sin(x) + 0.3 * x**2
# Form training set
x_train = x.reshape(-1, 1)
y_train = y
# Create neural network
model = Sequential([
Dense(16, activation='relu', input_dim=1),
Dense(16, activation='relu'),
Dense(1)
])
model.compile(optimizer='adam', loss='mse')
# Train the model
history = model.fit(x_train, y_train, epochs=200, verbose=0)
# Forecast
y_pred = model.predict(x_train)
# Visualization
plt.scatter(x, y, label='Real function')
plt.plot(x, y_pred, color='red', label='NN approximation')
plt.legend()
plt.show()
```

Results. During the computational experiment, an artificial neural network was built with two hidden layers of 16 neurons each and a ReLU activation function. The training was performed using the Adam optimization method with a mean square error (MSE) loss function. After 200 training epochs, the network was able to reproduce the general form of the complex functional dependence

$f(x) = \sin(x) + 0{,}3x^2$.

The obtained approximation practically coincided with the initial values, which is confirmed by the low error value and the visual proximity of the predicted curve to the real one.

It is important to note that even the relatively simple architecture of the neural network provided high approximation accuracy. This demonstrates the power of neural networks in reproducing complex nonlinear dependencies, which are often difficult or cumbersome to describe using traditional methods (e.g., polynomial approximation). The results obtained confirm that neural network approaches can be effectively applied not only to work with large data sets or complex systems, but also for local problems of mathematical modeling of functions.

Conclusions. The conducted research demonstrates that Python is an extremely convenient tool for implementing neural networks and applying them to problems of approximation of functional dependencies. Thanks to the TensorFlow and Keras libraries, the process of building, training and testing a model becomes intuitive even for users with a basic level of training. The neural network has shown the ability to reproduce both periodic and nonlinear component functions, which emphasizes the versatility of this method.

The promising approach lies in the possibility of extending such modeling to more complex processes in economics, biology, engineering and physics. The use of neural networks opens up new opportunities for researchers in cases where traditional mathematical methods are ineffective or require significant simplification of the original model. Thus, the results of the work confirm that the use of neural networks in Python is a powerful tool for modeling and studying complex processes, which makes this direction particularly relevant in modern science and practice.

References

1. Donald M. Machine learning, neural and statistical classification / M. Donald, D. J. Spiegelhalter, C. C. Taylor. – New York : Ellis Horwood, 1994. – 298 p.

2. Looney C. G. Pattern recognition using neural networks: theory and algorithms for engineers and scientists / C. G. Looney. – Oxford : Oxford University Press, 1997. – 480 p.

3. Zhang Y., Wang X., Wu L. A Survey on Hybrid Recommender Systems. Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 165. P. 113722

УДК 004.272

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Зощак Л.М. (lilya2707@gmail.com)
Івано-Франківська філія Університету «Україна» (Україна)

В тезах розглядаються сучасні підходи до паралельної реалізації алгоритмів навчання штучних нейронних мереж для моделювання складних нелінійних динамічних систем. Актуальність дослідження обумовлена зростаючою складністю обчислювальних задач та необхідністю обробки великих обсягів даних у реальному часі. Представлено аналіз архітектур паралельних і розподілених систем, методів декомпозиції нейромережевих обчислень та стратегій оптимізації міжпроцесорної взаємодії. Висновки підтверджують значне прискорення процесу навчання та підвищення точності моделювання при використанні паралельних обчислювальних платформ.

Нелінійні динамічні системи характеризуються складною поведінкою з численними взаємозалежними параметрами та часовими залежностями. Моделювання таких систем за допомогою нейронних мереж вимагає значних обчислювальних ресурсів, особливо при роботі з високорозмірними даними та глибокими архітектурами. Традиційні послідовні обчислення часто неспроможні забезпечити прийнятний час виконання для складних задач, що робить актуальним застосування паралельних і розподілених обчислювальних систем.

Паралелізм у нейронних мережах може бути реалізований на різних рівнях. Паралелізм за даними передбачає розподіл навчального набору між обчислювальними вузлами, де кожен вузол обробляє власну підмножину даних і обчислює градієнти, які потім агрегуються для оновлення загальної моделі. Цей підхід особливо ефективний при навчанні на великих датасетах та добре масштабується при збільшенні кількості обчислювальних ресурсів.

Паралелізм за моделлю застосовується для дуже великих нейронних мереж, які не вміщуються в пам'ять одного обчислювального пристрою. Мережа розбивається на частини, які розміщуються на різних процесорах або GPU. Конвеєрний паралелізм дозволяє обробляти різні шари мережі на різних обчислювальних вузлах одночасно, створюючи обчислювальний конвеєр для ефективної утилізації ресурсів.

Графічні процесори стали основною обчислювальною платформою для навчання нейронних мереж завдяки своїй масово-паралельній архітектурі. Тисячі ядер GPU дозволяють ефективно виконувати матричні операції, які становлять основу обчислень у нейронних мережах. Сучасні фреймворки глибокого навчання оптимізовані для роботи на GPU та підтримують багатопроцесорні конфігурації, забезпечуючи майже лінійне прискорення при масштабуванні.

Для моделювання нелінійних динамічних систем особливо важливою є ефективна реалізація рекурентних нейронних мереж. РНМ мають послідовні залежності, що ускладнює їх паралелізацію. Однак сучасні методи, такі як truncated backpropagation through time та паралельне обчислення незалежних послідовностей, дозволяють значно прискорити навчання. LSTM та GRU мережі можуть бути ефективно реалізовані на GPU шляхом оптимізації операцій з тензорами та використання спеціалізованих бібліотек.

Розподілені системи дозволяють масштабувати обчислення на кластери та хмарні платформи. Фреймворки розподіленого навчання, такі як Horovod та TensorFlow Distributed, реалізують ефективні протоколи комунікації між вузлами кластера. Алгоритми синхронного та асинхронного оновлення параметрів мають різні переваги залежно від характеристик мережі та даних. Синхронний підхід забезпечує детерміновану поведінку, але може страждати від проблеми повільних вузлів. Асинхронний підхід більш стійкий до затримок, але може призводити до розбіжностей у навчанні.

Для моделювання великомасштабних динамічних систем застосовуються гетерогенні обчислювальні архітектури, що поєднують CPU, GPU та спеціалізовані акселератори. Ефективний розподіл обчислювальних задач між різнотипними процесорами дозволяє максимізувати продуктивність системи. Динамічне балансування навантаження забезпечує оптимальну утилізацію всіх доступних ресурсів навіть при неоднорідності обчислювальних задач.

Комунікаційні накладні витрати є критичним фактором при паралельному навчанні нейронних мереж. Оптимізація міжпроцесорної взаємодії включає використання колективних операцій, таких як all-reduce, градієнтну компресію та локальне накопичення градієнтів перед синхронізацією. Топологія зв'язків між обчислювальними вузлами також суттєво впливає на ефективність паралельних обчислень.

Для моделювання нелінійних динамічних систем у реальному часі паралельні обчислення є критично важливими. Системи прогнозування погоди, моделювання турбулентних потоків, аналіз фінансових ринків та управління складними технологічними процесами потребують швидкої обробки великих обсягів даних. Паралельні нейронні мережі дозволяють досягти необхідної швидкості обробки при збереженні високої точності моделювання.

Енергоефективність є важливим аспектом паралельних обчислень. Спеціалізовані нейропроцесори та TPU оптимізовані для виконання операцій глибокого навчання з мінімальним енергоспоживанням. Квантизація моделей та прунінг дозволяють зменшити обчислювальну складність без суттєвої втрати точності, що особливо важливо для edge computing та мобільних пристроїв.

Федеративне навчання представляє новий підхід до розподіленого навчання нейронних мереж, де дані залишаються на локальних пристроях, а синхронізуються лише параметри моделі. Цей підхід забезпечує приватність даних та дозволяє використовувати розподілені обчислювальні ресурси без централізації даних, що особливо актуально для задач моделювання у медицині, фінансах та інших галузях з чутливими даними.

Масштабованість паралельних алгоритмів є ключовим показником їх ефективності. Слабка масштабованість характеризує здатність системи обробляти пропорційно більші задачі при збільшенні кількості процесорів. Сильна масштабованість показує, наскільки швидше може бути розв'язана фіксована задача при додаванні обчислювальних ресурсів. Для нейронних мереж типово досягається хороша слабка масштабованість, тоді як сильна масштабованість обмежується комунікаційними накладними витратами.

Відмовостійкість розподілених систем навчання нейронних мереж забезпечується механізмами checkpointing та відновлення. Періодичне збереження стану моделі дозволяє продовжити навчання після збоїв окремих вузлів. Реплікація обчислень на різних вузлах підвищує надійність системи, особливо критичну для довготривалих обчислень на нестабільній інфраструктурі.

Висновки. Паралельні та розподілені обчислювальні системи є необхідним інструментом для ефективного застосування нейронних мереж до моделювання складних нелінійних динамічних процесів. Сучасні паралельні архітектури та алгоритми дозволяють досягти значного прискорення навчання при збереженні або навіть покращенні якості моделей. Найбільшою проблемою залишається оптимізація комунікаційних накладних витрат та забезпечення ефективної масштабованості при зростанні розміру кластера. Перспективним напрямком є розробка гібридних паралельних стратегій, що адаптивно комбінують різні види паралелізму залежно від характеристик задачі та доступної обчислювальної інфраструктури, а також інтеграція спеціалізованих апаратних акселераторів для специфічних типів нейронних мереж та задач моделювання.

Список використаної літератури

[1] В. В. Бараннік, Ю. М. Рябінін, та С. С. Шульгін, Паралельні та розподілені обчислення. Харків, Україна: ХНУРЕ, 2020.

[2] С. О. Субботін, А. О. Олійник, та О. О. Олійник, Нейронні мережі: теорія та практика застосування. Запоріжжя, Україна: ЗНТУ, 2021.

[3] С. Ф. Теленик та О. М. Ролік, Високопродуктивні обчислювальні системи. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

[4] Є. В. Бодянський та О. Г. Руденко, Штучні нейронні мережі: архітектури, навчання, застосування. Харків, Україна: СМІТ, 2019.

[5] Є. Б. Шаповалов та О. В. Коваль, Розподілені системи обробки інформації. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2021.

УДК 004.855, 519.86

АНСАМБЛЕВА ІНТЕГРАЦІЯ РІШЕНЬ В МОДЕЛІ РЕСУРСНОГО ІНДИКАТОРУ БЕЗПЕКИ ІНТЕРЕСІВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОЇ МЕТРИКИ ЯКОСТІ

Ільїна О.П., Скибик С.Я. (ilyina.elena1@ukr.net, sskybyk@gmail.com)
Інститут програмних систем НАН України (Україна)

В тезах описано алгоритм адаптивної інтегрованої класифікації ресурсних станів організаційної системи при використанні ансамблю класифікаторів. Надано обгрунтування доменно-обумовлених переваг алгоритму.

Підтримка прийняття рішень в організаційних системах високого рівня потребує засобів оперативного моніторингу ресурсних загроз стратегічним інтересам. Апарат побудови індикатору ресурсної безпеки, запропонований в [1], грунтується на ML-класифікації ресурсних станів з використанням ансамблю моделей (Байєсівський класифікатор; SVM; Дерева рішень; Випадковий ліс (RF); Метод найближчих сусідів; Логістична регресія). Інтеграція результатів R_i класифікаторів CL_i здійснюється в [1] зваженим дискретним голосуванням, при якому ваговий коефіцієнт для R_i має вигляд

$$P_i = 1/4 \sum_{j=1}^{4} ((1 - KD_{ij}) \cdot KI_{ij}) \cdot Q_i$$

де KD_{ij} – рівень критичності j-ї вимоги від i-го класифікатора до властивостей вхідних даних; KI_{ij} (0 або 1) – індекс наявності порушення j-ї вимоги у навчальній вибірці; Q_i – коефіцієнт якості класифікації, на роль якого був обраний критерій Каппа Коена.

Аналіз специфіки ресурсних даних індикатору та вимог до його використання виявив низку факторів, що становлять аргументи для створення адаптивного механізму інтеграції. Він повинен забезпечувати відповідь на виклики цих факторів при роботі з конкретним набором спостережень.

Множина факторів має наступний склад:

Ф1. Різнорідність ознак за типами та шкалами;
Ф2. Складність розподілів (обмеженість області, скупченість, правий «хвіст»);
Ф3. Можлива залежність від ресурсної передісторії;
Ф4. Високий дисбаланс на користь позитивного класу;
Ф5. Критичність гіподіагностики незадовільних станів (FP помилок);
Ф6. Наявність нефіксованих зовнішніх факторів впливу;
Ф7. Неоднорідність умов спостережень;
Ф8. Епізоди оцінювання цільової змінної за відмінними моделями;
Ф9. Обмежений обсяг даних;
Ф10. Різні типи моделей класифікації (імовірнісна, логічна, геометрична) в ансамблі;
Ф11. Вимога придатності результатів для підтримки рішень організаційної системи.

Побудова адаптивного механізму інтеграції грунтувалася на таких засадах:

- створення динамічної метрики якості класифікації, яка відображує різні аспекти якості за рахунок композиції кількох критеріїв та адаптується згідно з характеристиками їх поведінки при навчанні моделей на основі конкретного набору спостережень;
- заміна процедури дискретного голосування класифікаторів CL_i на процедуру зваженого імовірнісного (м'якого) голосування [2];
- використання такої моделі робочих даних та набору їх перетворень, які відповідають викликам Ф1-Ф11 та забезпечують співмірність та зіставність результатів між усіма використовуваними парадигмами.

Запропонований алгоритм побудови та навчання індикатору становить наступну послідовність етапів та дій.

E1. Підготовка даних

$$DSN \rightarrow LS,\ TS$$

де DSN − первинний масив спостережень, LS, TS-відповідно навчальна й тестова вибірка.

E1.1 Структуризація системи ознак. E1.2 Обробка пропусків. E1.3 Масштабування.

E2. Навчання моделей ансамблю

$$M_i,\ LS \rightarrow UP_i(LS),\ M^T{}_i,\ KQ_i,\ i = 1,...,6$$

де $M^T{}_i$ –тренована на даних LS калібрована модель M_i ; UP_i (LS)-результат класифікації в точках LS від моделі M_i , поданий як калібрована імовірність позитивного класу; KQ_i –значення трикомпонентної (критерії F1, MCC, Каппа) метрики якості класифікації.

E2.1 Організація циклу крос-валідації на LS. E2.2 Параметризація процедури навчання за допомогою метрики якості. E2.3 Реалізація навчання M_i з використанням крос-валідації та уніфікованого калібрування результуючих імовірностей (крос-валідаційне калібрування за методом Платта [3]).

E3. Визначення апріорних коефіцієнтів довіри до елементів ансамблю

$$D,\ S,\ M_i \rightarrow KDR_i$$

де D − вимоги до статистичної моделі даних, що визначають вразливості моделі M_i; S − ризики порушення вимог у використовуваних даних; KDR − експертна оцінка коефіцієнту довіри.

E4. Побудова динамічної метрики якості класифікації

$$UP^{MCC}{}_i(LS), UP^{KAPPA}{}_i(LS), UP^{F1}{}_i(LS),\ KQ_i \rightarrow COR_i,\ W^{KQD}{}_i$$

де $UP^{MCC}{}_i(LS), UP^{KAPPA}{}_i(LS), UP^{F1}{}_i(LS)$ − результати класифікації, отримані аналогічно Етапу 3, але з використанням метрики якості тільки з одним із трьох елементів-критеріїв; COR − коефіцієнт кореляції вхідних масивів; W^{KQD} − ваговий коефіцієнт відповідного критерію в складі динамічної метрики якості KQD_i .

E5. Прогнозна інтегрована класифікація для спостережень тестової вибірки

$$TS,\ \{\ M^T{}_i\ ,\ W^{KQD}{}_i\ ,\ KDR_i\ \},\ TRP \rightarrow UP_i(TS),\ DP_i(TS)$$

де $M^T{}_i$ –треновані на етапі E2 моделі; W^{KQD} − вагові коефіцієнти критеріїв в метриках KQD моделей; KDR − коефіцієнти довіри до моделей; TRP − множина значень імовірності, одне з яких буде обрано як поріг для проеціювання неперервних значень імовірності класу на бінарну шкалу (0, 1); $UP_i(TS)$ − імовірнісний прогноз; $DP_i(TS)$ − дискретизований прогноз.

E5.1. Розрахунок ваги моделей. E5.2. Імовірнісний прогноз від $M^T{}_i$ в точках TS.

E5.3. Зважене усереднення прогнозу. E5.4. Дискретизація прогнозу.

В таблиці надано обгрунтування основних положень пропонованого алгоритму.

Для аналізу ефективності алгоритму в умовах, що відповідають викликам Ф1-Ф11, був використаний синтетичний набір даних із 4 ресурсними ознаками, що мають логнормальний розподіл із різними параметрами, 2 лаговими ознаками, що дозволяють фіксувати послідовності спостережень зі сталим значенням мітки, та 5 неінформативними ознаками. При генерації відсоток негативного класу становив 20.

Генерація мітки здійснювалася з додаванням шуму (3%). Ресурсні ознаки генерувалися з імітацією впливів передісторії та використанням м’якого скорингу. Таким чином, були створені складні умови для роботи класифікаторів у межах впливу реальних викликів.

Проведений експеримент включав 5 серій з обсягами вибірки, відповідно, 3000, 1500, 840, 364, 140 (обмеженість об’єму даних), при 10 повтореннях. Отримані середні значення метрики KQ для ансамблю перевищували результат кращої моделі (всюди RF) в усіх серіях. В межах вибірки всіх повторень стабільність складала 98%.

Таким чином, запропонований алгоритм можна вважати перспективним для реалізації ресурсного індикатору безпеки інтересів розподіленої системи організаційного управління [1]. В першу чергу, це стосується воєнної сфери національної безпеки та процесів оборонного планування, на аналізі яких грунтувалося встановлення пріоритетних викликів.

Подальші дослідження плануються стосовно стабільності актуальних метрик якості класифікації відносно рівню дисбалансу класів, об’ємів даних, характеристик розподілу, ефектів шуму.

НТБОНТУ

Таблиця – Основні положення алгоритму

Етап	Виклики	Втілені в алгоритмі методичні рішення	Аргументація доцільності
Е1.1	Ф1	Розрізняння ресурсних та лагових ознак	Різний препроцесинг
Е1.2	Ф1, Ф3	Видалення спостережень з пропуском лагів та kNN доповнення ресурсних	Збереження послідовностей
Е1.3	Ф1,Ф2, Ф6,Ф10	Робастне масштабування ресурсних ознак в LR, kNN, SVM (без зважування класів та видалення корельованих ознак)	Стійкість до викидів, збереження передісторії й потенційно важливих ознак
Е2.1	Ф4, Ф6, Ф7, Ф8	5 фолдів з почерговим використанням в ролі тестового	Стабільність оцінки якості
Е2.2	Ф4, Ф5	Апріорна метрика якості KQ_i для моделі M_i: зважена сума адаптованих критеріїв F1 (з інверсією класів), MCC та Каппа (перенормованої)	Акцент на виявленні негативних станів, баланс аспектів якості, зіставність
Е2.3	Ф10	Навчання M_i з крос-валідаційним калібруванням ймовірностей за методом Платта [3]	Гарантована суміжність та незалежність результатів
Е3	Ф2, Ф3, Ф6,Ф10	Вагові коефіцієнти довіри до моделей M_i класифікаторів	Регуляція впливу моделей згідно вразливості до властивостей спостережень
Е4	Ф3, Ф4, Ф5	Урахування фактичної корельованості елементів KQ_i для динамічної вагової параметризації з отриманням KQD_i для M_i	Адаптованість метрики якості до навчальних даних для наступного прогнозу
Е5.1	Ф2, Ф3, Ф5,Ф10	Вагові коеффіцієнти моделей M_i для наступного використання в голосуванні	Інтеграція вразливості M_i з продемонстрованою якістю
Е5.2	Ф10	Прогноз індивідуальних (від M_i) імовірностей класів для тестових точок	Зіставність M_i - прогнозів завдяки попереднім крокам
Е5.3	Ф2, Ф4, Ф6, Ф7, Ф8, Ф9	Інтеграція індивідуальних прогнозів для точок тестової вибірки зваженим м’яким голосуванням [2]	Підвищення впливу переваг, запобігання переоцінці більшого класу, агрегація розмитих рішень при складних розподілах ознак
Е5.4	Ф11	Оптимальна порогова дискретизація результатів класифікації (границя між класами встановлюється як значення ймовірності, яке максимізує *KQD* в точках тестової вибірки)	Створення можливості порівняння прогнозу класу з фактичними значеннями для тестової вибірки з метою наступної оцінки властивостей індикатору

Список використаної літератури

1. Ільїна О.П., Скибик С.Я. Моделювання ресурсного індикатору безпеки інтересів розподіленої системи організаційного управління з використанням класифікаційних методів машинного навчання // *Інформаційні технології і автоматизація – 2024*: матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 31 жовтня – 1 листопада 2024 р.). – Одеса: Видавництво ОНТУ, 2024. – С. 69–72. – 847 с.

2. A. Niculescu-Mizil and R. Caruana, “Predicting good probabilities with supervised learning,” *Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning*, pp. 625–632, 2005. doi: 10.1145/1102351.1102430

3. J. Large, J. Lines, and A. Bagnall, “A probabilistic classifier ensemble weighting scheme based on exponentially weighting the probability estimates,” *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2019. doi: 10.1007/s10618-019-00638-y.

УДК 004.056.5:004.93’1:004.421.2

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ДЕТЕКЦІЇ НЕВІДОМИХ АТАК У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Ісмагілов А. І. (ismagilov@ukr.net)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто проблему виявлення невідомих кібератак у реальному часі на основі інтелектуального аналізу телеметричних даних. Сучасні сигнатурні системи виявлення вторгнень (IDS) мають обмеження у реагуванні на загрози типу «нульового дня», що зумовлює потребу у поведінкових підходах, здатних адаптуватися до змін середовища. Запропоновано комбіновану модель обробки телеметрії, яка поєднує онлайн-кластеризацію потоків подій (модифікований алгоритм K-Means з DBSCAN-фільтрацією) та оцінку аномальностей за поведінковими ознаками. Модель функціонує у реальному часі, забезпечуючи адаптивне оновлення кластерів і контекстну кореляцію подій, що підвищує точність детекції без необхідності попереднього навчання на повному наборі даних. Запропоновані методи можуть бути інтегровані у SIEM/SOAR-платформи або модулі User Behavior Analytics (UBA) для підвищення рівня кіберстійкості інформаційних систем.

Постановка проблеми. Зростання складності сучасних кіберзагроз, зокрема атак типу *«нульового дня»*, призводить до необхідності переходу від сигнатурних методів детекції до інтелектуальних підходів, що базуються на аналізі поведінкових і телеметричних даних у реальному часі. Традиційні системи виявлення вторгнень (IDS) не здатні ефективно реагувати на невідомі шаблони атак, оскільки спираються на заздалегідь визначені сигнатури. Натомість сучасні підходи інтегрують методи машинного навчання, кластеризації та кореляційного аналізу для формування динамічних моделей нормальної поведінки системи. Проблема полягає у розробленні моделі комбінованої обробки телеметричних потоків, яка дозволить виявляти аномальні події без потреби в попередньому навчанні на повному наборі даних атак.

Метою дослідження є розроблення інтелектуальної моделі обробки телеметричних даних для виявлення невідомих атак у реальному часі з використанням методів кластерного аналізу та поведінкової аналітики.

Для досягнення мети передбачено розв’язання таких завдань:

1. Проаналізувати існуючі підходи до детекції атак на основі телеметрії та визначити їхні обмеження щодо виявлення загроз «нульового дня».
2. Розробити комбіновану модель кластерного аналізу, що враховує часову динаміку та кореляцію між потоками даних.
3. Реалізувати алгоритм онлайн-кластеризації з механізмом самонавчання для ідентифікації відхилень від нормальної поведінки.
4. Провести експериментальне моделювання з використанням реальних телеметричних даних систем моніторингу.
5. Оцінити точність і швидкодію запропонованого методу порівняно з класичними IDS-рішеннями.

Суть дослідження.

Сучасні інформаційно-комунікаційні системи генерують величезні обсяги телеметричних даних — логів, системних подій, мережевих метрик і журналів доступу. Ці потоки інформації містять приховані закономірності, що можуть свідчити про підготовку або початок кібератаки.

Традиційні системи аналізу подій безпеки (SIEM) здатні фіксувати інциденти, однак не завжди виявляють нові або складні багатоступеневі загрози через відсутність механізмів контекстної інтерпретації.

Для підвищення ефективності аналізу пропонується **інтелектуальна модель комбінованої обробки телеметрії**, яка поєднує кластеризацію потоків подій з алгоритмами оцінки аномалій на основі поведінкових патернів.

Модель розглядає систему моніторингу як багатошарову структуру

$$M = \langle C, F, A, D \rangle$$

де: C — джерела даних (сенсори, агенти, мережеві пристрої); F — функції попередньої обробки (нормалізація, агрегація, векторизація); A — аналітичне ядро кластеризації; D — модуль детекції та прийняття рішення.

Для формалізації процесу аналізу телеметричних потоків необхідно визначити основні параметри моделі, що характеризують часові, структурні та вагові аспекти обробки даних. Ці параметри дозволяють описати поведінку системи моніторингу в реальному часі, забезпечити адаптивність до зміни інтенсивності подій і зберігати стабільність кластеризаційних процесів. У таблиці 1 наведено ключові показники, які використовуються для побудови моделі інтелектуальної обробки телеметрії.

Таблиця 1.

Основні параметри моделі обробки телеметричних даних

Позначення	Параметр	Опис	Одиниця вимірювання
τ_t	Інтервал надходження телеметрії	Середній час між подіями	мс
f_i	Ознаковий вектор події	Нормалізовані параметри запиту	відн. од.
δ_c	Порогове відхилення кластера	Визначає появу потенційної аномалії	%
α	Коефіцієнт оновлення центроїда	Відповідає за адаптивність кластеру	0–1
ω	Вага потоку	Визначає пріоритет джерела даних	відн. од.

Як видно з таблиці, параметри моделі охоплюють як часові характеристики (інтервал надходження даних τ_t), так і структурні показники кластеризації (δ_c, α) та контекстні пріоритети джерел (ω). Таке поєднання дозволяє системі забезпечувати збалансованість між швидкодією, точністю та стабільністю виявлення аномалій. Отримані параметри надалі використовуються в аналітичному модулі для обчислення метрик відхилення та оновлення центроїдів кластерів у процесі онлайн-аналізу.

Для динамічної кластеризації використовується модифікований алгоритм K-Means з ковзним вікном, який оновлює центроїди кластерів у реальному часі без потреби повного перерахунку.

Додатково застосовується DBSCAN-фільтрація для вилучення шумових точок і PCA-зниження розмірності ознак, що підвищує швидкодію системи при обробці високочастотних потоків.

На аналітичному рівні реалізується оцінка аномальності

$$A(f_i) = \frac{\|f_i - \mu_c\|}{\delta_c},$$

де μ_c і δ_c — статистичні параметри активного кластера. Події, для яких $A(f_i) > \delta_c$, позначаються як потенційно небезпечні й передаються в модуль кореляційного аналізу.

Розглянемо схему, що відображає послідовність етапів роботи системи виявлення аномалій на основі потоків телеметрії. На першому рівні здійснюється збір даних із різнорідних джерел (системні логи, мережеві агенти, модулі SIEM). Далі відбувається попередня обробка, що включає фільтрацію, нормалізацію та агрегацію подій.

Запропонована структура дозволяє автоматично адаптувати моделі поведінки до нових даних, мінімізуючи хибнопозитивні спрацьовування та скорочуючи час виявлення інцидентів.

Результати експериментального тестування показали, що застосування комбінованої кластеризації знижує середню кількість пропущених аномалій на 23–28% порівняно з базовими статистичними методами.

НТБОНТУ

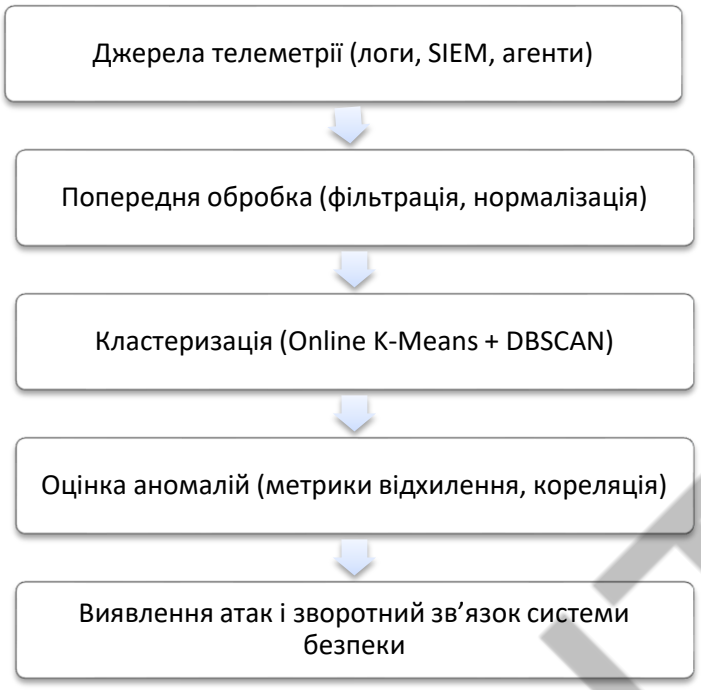


Рисунок 1. Узагальнена схема інтелектуальної обробки телеметричних даних

Висновки. Розроблено інтелектуальну модель реального часу для виявлення невідомих атак на основі кластерного аналізу телеметричних даних. Модель забезпечує адаптивне оновлення структур кластерів і контекстну кореляцію подій, що підвищує точність детекції аномалій у динамічних мережевих середовищах. Результати дослідження підтверджують, що використання гібридних кластеризаційних підходів дозволяє покращити ефективність аналізу телеметрії без істотного зростання обчислювальних витрат. Запропонована методика може бути впроваджена у сучасні системи безпеки типу SIEM/SOAR або у фреймворки машинного моніторингу поведінки користувачів (*User Behavior Analytics, UBA*).

Список використаної літератури

[1] Blázquez-García A., Conde A., Mori U., Lozano J. A. A review on outlier and anomaly detection in time series data. *ACM Computing Surveys*. 2021. 54(3). Art. 56. DOI: https://doi.org/10.1145/3444690.

[2] Han S., Ding W., Liu H., et al. ADBench: Anomaly Detection Benchmark. *Advances in Neural Information Processing Systems* (NeurIPS 2022). 2022. arXiv:2209.01683. URL: https://arxiv.org/abs/2209.01683.

[3] Mirsky Y., Doitshman T., Elovici Y., Shabtai A. Kitsune: An Ensemble of Autoencoders for Online Network Intrusion Detection. *Network and Distributed Systems Security Symposium (NDSS)*. 2018. DOI: https://doi.org/10.14722/ndss.2018.23358.

[4] Montiel J., Halford M., Mastelini S. M., et al. River: Machine Learning for Streaming Data in Python. *Journal of Machine Learning Research*. 2021. 22(110). P. 1–7. URL: http://jmlr.org/papers/v22/20-1380.html.

[5] Cloud Native Computing Foundation (CNCF). OpenTelemetry Specification. 2023. URL: https://opentelemetry.io/docs/specs/ (дата звернення: 23.10.2025).

УДК 536.421:519.688:669.018.95

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ЛІКВІДУСУ І СОЛІДУСУ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ Fe-Mn-Si-Ti ТА ЇЇ ПІДСИСТЕМ

Каверинський В. В., Судавцова В.С. (insamhlaithe@gmail.com, sud.materials@ukr.net)
Інститут проблем матеріалознавства НАН України (Україна)

Розроблено алгоритм розрахунку поверхонь ліквідусу і солідусу з використанням PyCALPHAD. Реалізовано програмний модуль на Python для побудови багатовимірних термодинамічних проекцій. Отримано 2D та 3D поверхні для потрійних підсистем Fe–Mn–Si–Ti.

Дослідження фазових рівноваг є ключовими для розуміння поведінки матеріалів і лігатур при високих температурах. При цьому, саме визначення поверхонь ліквідусу і солідусу у широкому інтервалі концентрацій має велике значення для розробки нових сплавів і оптимізації існуючих технологій. Одним з основних методів дослідження у зазначеній сфері на даний час лишаються експериментальні роботи, наприклад, металографічні дослідження литих сплавів, що дозволяє визначити первинні фази та фази, які утворюються в останній стадії кристалізації. Такі дослідження у системі Fe-Mn-Si-Ti дали можливість побудувати часткову проекцію поверхні ліквідусу для концентрацій до 30 ат.% Ti. Термодинамічне моделювання також є важливим інструментом для вивчення фазових діаграм [1, 2]. Роботи, присвячені термодинамічній оптимізації системи Fe-Mn-Ti, продемонстрували ефективність CALPHAD методу для побудови фазових діаграм [3]. У теоретичних дослідженнях, часто використовуються методи розрахунку термодинамічних властивостей фаз. Важливим аспектом є моделювання енергетичних характеристик фазових переходів, що дозволяє передбачати поведінку систем при зміні складу та температури. Цей підхід був застосований у дослідженні системи Ti-Cr-Mn.

Проте, не дивлячись на значну прикладну важливість, поверхні ліквідуса і солідуса четверної системи Fe-Mn-Si-Ti досліджені недостатньо, також не повністю доступна інформація про відповідні дані для деяких її потрійних підсистем, зокрема Ti-Mn-Si, Fe-Mn-Ti та Fe-Mn-Si (для потрійних складів багатих Si та Mn). Розрахункові результати у наявній роботі спрямовані на надання інформації щодо температур ліквідуса і солідуса для окремих складів четверної системи Fe-Mn-Si-Ti вздовж всього інтервалу концентрацій, а також побудови проекцій поверхонь ліквідуса і солідуса для чотирьох потрійних її підсистем: Fe-Mn-Si, Ti-Mn-Si, Ti-Fe-Mn та Ti-Fe-Si.

З метою визначення поверхонь ліквідусу і солідусу (в тому числі багатовимірних) було створено програмі компоненти на мові Python, із застосуванням інтстументів бібліотеки PyCALPHAD [3] та відповідні бази термодинамічних даних. Загальна побудова програмної системи зображена на рисунку 1 (а) у вигляді C4 діаграми. Робота алгоритму обчислення схематично спрощено показано на рисунку 1 (б) у вигляді UML діаграми.

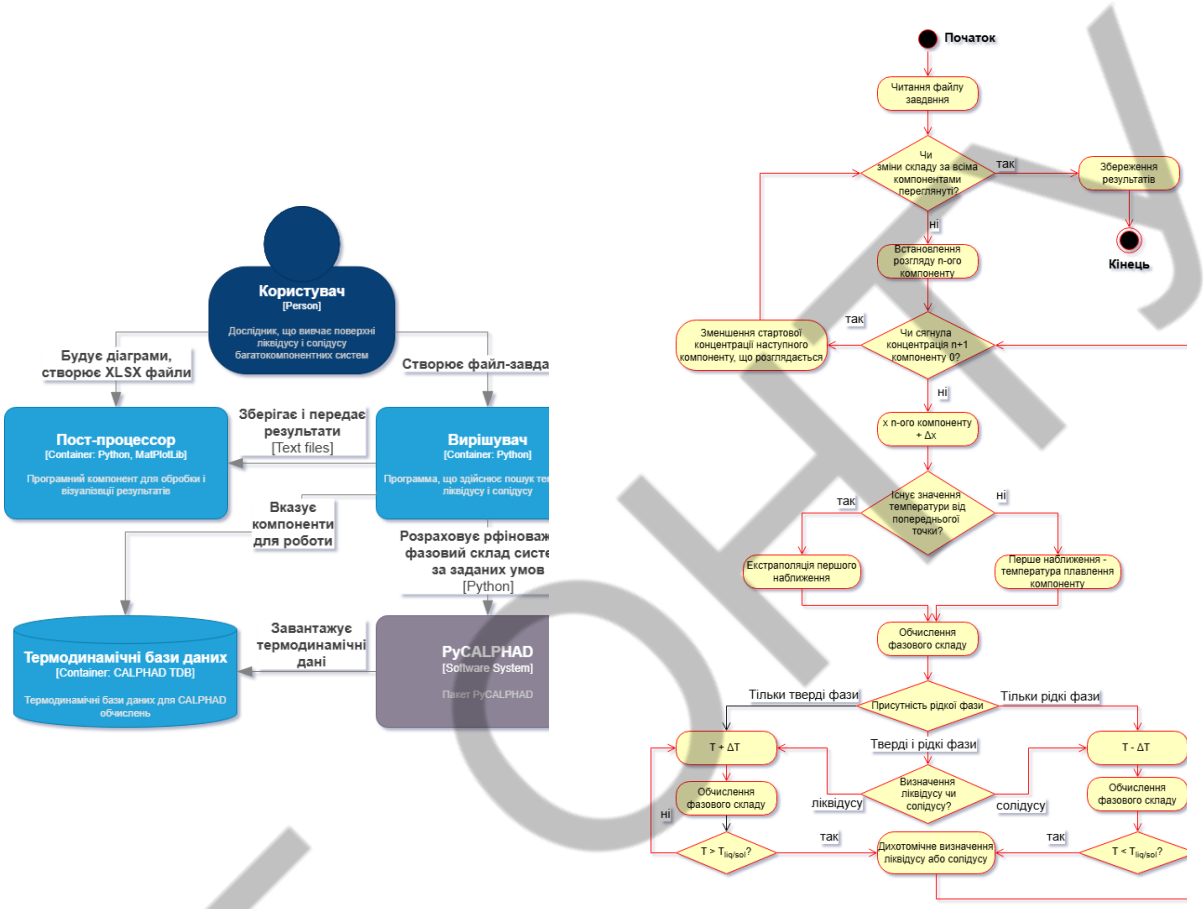
Початковою точкою обчислень є 100 % концентрація одного з компонентів системи, температура плавлення в даному разі є відомою довідниковою величиною, що створює ефективне перше наближення. Далі здійснюється ітерація складу за одним із компонентів на при фіксованому значенні другого компоненту; кількість третього (та інших, за наявності) компонентів обчислюється виходячи з умови, що сума усіх концентрацій має дорівнювати одиниці. Для першого наближення, яким стає температура плавлення заданого компоненту, CALPHAD методом визначається рівноважний фазовий склад.

Якщо визначення фазового складу показує присутність тільки рідкої фази (що відповідає знаходженню вище як ліквідусу, так і солідусу), стартує ітерація за температурою у напрямку зниження із відповідним перерахунком фазового складу. У випадку, коли розрахункова температура опиняється нижче визначуваної характерної температури (ліквідус, або солідус), відбувається ітерація на підвищення температури. Умовою завершення ітерації є або присутність твердої фази (якщо відшукується ліквідус) або зникнення рідкої фази (при знаходженні солідуса). Так отримується інтервал, у якому знаходиться характерна цільова температура, що може бути знайдена із застосуванням дихотомічного алгоритму із заданою точністю.

Для першого наближення температури для наступних складів виконується екстраполяція за як мінімум двом попередніми точками, що дозволяє суттєво знизити кількість «важких» обчислень фазових рівноваг. Фактично, аналіз рухається вздовж поверхні ліквідусу або солідусу і

лише виконує меншу кількість термодинамічних обчислень лише уточнення значення отриманого з екстраполяції в невеликому діапазоні.

При ітерації за хімічним складом концентрація третього компоненту збільшується на заданий крок і фіксується. Потім розраховуються концентрації перших двох компонентів. Граничні значення визначаються умовою, що сума всіх компонентів дорівнює 100 %. Розраховані температури ліквідусу і солідуса протоколюються для подальшого аналізу та побудови поверхонь фазових рівноваг.



а) б)

Рисунок 1 – Схема розробленої програмної системи:
а) C4 діаграма структури програмної системи
б) UML-діаграма дій, що описує загальний алгоритм роботи програми

Після завершення розрахунків на основі серіалізованих даних, реалізовано можливість візуалізації поверхонь ліквідусу або солідусу як проекцій на трикутник Гіббса, або у вигляді 3D зображення із за допомогою інструментів пакету Matplotlib. Для більш наочного і зрозумілого представлення результатів реалізовано додаткове створення анімації відповідних знайдених поверхонь зі збереженням у форматі GIF.

На Рисунку 2 наведено приклад візуального відображення результатів обчислень для важливої в області металургії і ливарного виробництва системи Fe–Mn–Si: картування поверхні ліквідусу (а) та солідусу (б) і їх аксонометричні зображення (в) і (г).

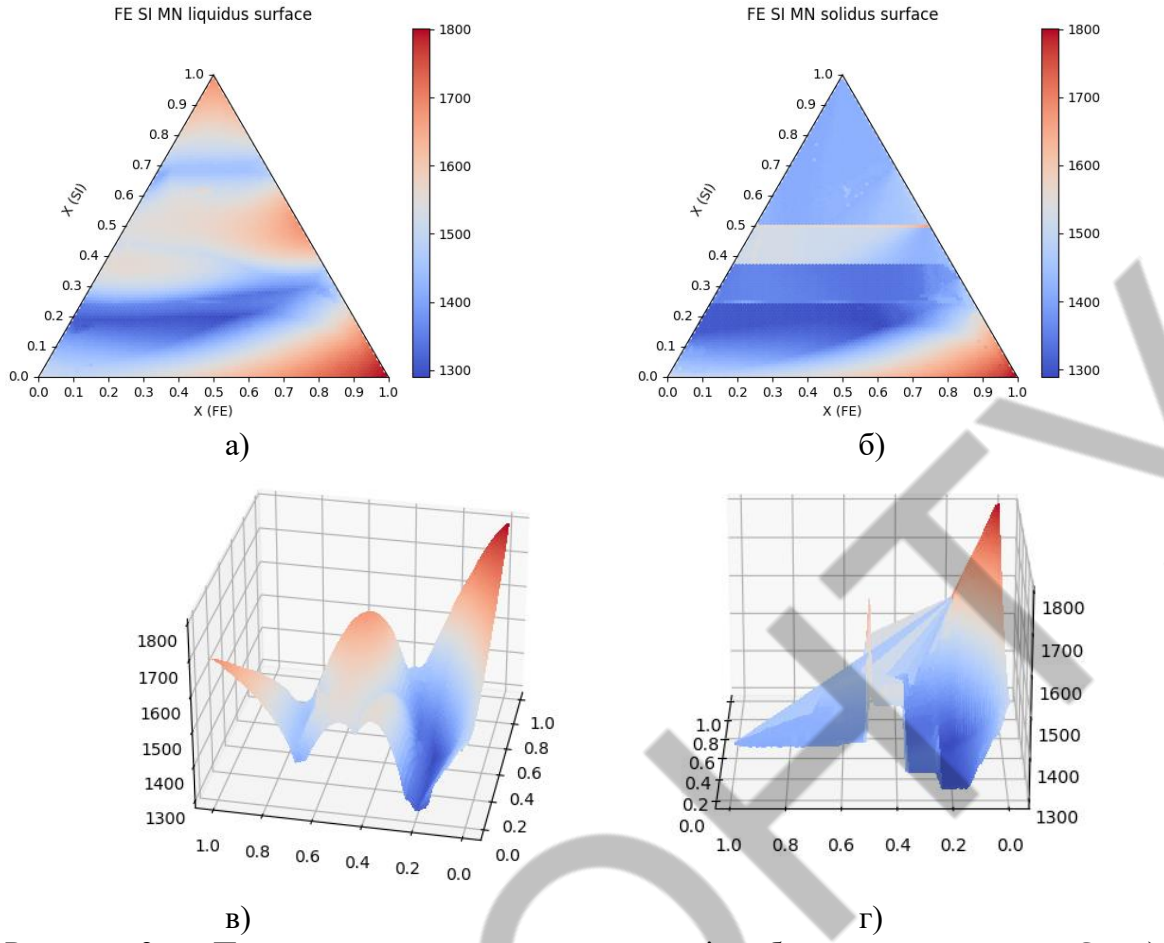


Рисунок 2 – Приклад представлення результатів обчислень для Fe-Mn-Si: а) проекція ліквідусу на трикутник Гіббса; б) проекція солідусу на трикутник Гіббса; в) аксонометричне зображення поверхні ліквідусу; в) аксонометричне зображення поверхні солідусу.

Результати, наведені як приклад, ясно вказуються також на положення проміжних фаз (сполук), евтектик, у формі їх характерного впливу на вигляд поверхонь ліквідусу і солідусу. Крім того, аналіз набору розрахованих перерізів фазової діаграми дозволив припустити наявність області незмішуваності у ділянках потрійних складів із високим вмістом кремнію [3]. Слід зауважити, що на даний момент це є лише припущення, що ґрунтується на розрахунках і потребує експериментальної верифікації, тому зазначена особливість може бути лише обчислювальним «артефактом».

Список використаної літератури

[1] U. R. Kattner, “The CALPHAD method and its role in material and process development,” *JOM*, vol. 68, no. 11, pp. 2757–2766, 2016. [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4912057/

[2] Z. Liu, X. An, and W. Sun, “The High-dimensional Phase Diagram and the Large CALPHAD Model,” *arXiv preprint* arXiv:2311.07174 [cond-mat.mtrl-sci], 2023. doi: 10.48550/arXiv.2311.07174

[3] В. В. Каверинький, А. І. Троцан, та З. П. Сухенко, «Розрахунок поверхонь ліквідусу і солідусу у системах Fe–Mn–Si та Ti–Mn–Si з використанням CALPHAD методу,» *Литво. Металургія*, матеріали 20-ї, 13-ї Ювілейної Міжнародної наук.-практ. конф., Харків–Київ, 28–30 травня 2024 р., с. 118–122.

[4] R. A. Otis and Z.-K. Liu, “PyCALPHAD: CALPHAD-based computational thermodynamics in Python,” *Journal of Open Research Software,* vol. 5, no. 1, p. 140, 2017. [Online]. Available: https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.140/

УДК 37.091.33:519.876.5]:004.45

ВИКОРИСТАННЯ WOLFRAMALPHA ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОШУКУ ЕКСТРЕМУМІВ У ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Карнашенко А.С., Франчук Н.П.
(artem.karnash@gmail.com, n.p.franchuk@udu.edu.ua)
Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)

У тезах розглянуто застосування обчислювальної системи WolframAlpha як ефективного інструменту для автоматизації знаходження екстремумів функцій. Проаналізовано переваги використання даної системи, зокрема її здатність опрацьовувати запити природною мовою та виконувати складні обчислення. Наведено приклад розв'язування класичної задачі з математичного аналізу про знаходження максимального об'єму тіла, що демонструє процес постановки задачі та отримання результату. Показано, що інтеграція WolframAlpha в дослідницький процес значно спрощує розв'язування оптимізаційних задач, зменшує час на обчислення та мінімізує ризик аналітичних помилок.

Вступ. Пошук екстремумів функцій є фундаментальною задачею математичного аналізу, що лежить в основі багатьох прикладних проблем. Традиційні аналітичні методи (наприклад, метод першої та другої похідної, метод Лагранжа, метод вищих похідних, аналіз знаку похідної) вимагають глибоких теоретичних знань та є досить трудомісткими. Виконання складних перетворень, знаходження частинних похідних та розв'язання систем рівнянь вручну пов'язане з високим ризиком механічних помилок [1]. Це створює потребу в інструментах, що дозволяють автоматизувати цей процес.

Постановка проблеми. Розв'язування складних математичних задач у сучасному світі нерозривно пов'язане із застосуванням систем комп'ютерної алгебри (СКА). Такі засоби, як: Maple, Mathematica та Maxima є визнаними лідерами у цій сфері, пропонуючи глибокий інструментарій для символьних і чисельних розрахунків. Однак їх потужність тісно пов'язана з необхідністю опанування відповідних мов програмування, що може стати суттєвим бар'єром для користувачів, чия основна спеціалізація не належить до ІТ. На цьому тлі окреме місце посідає хмарна обчислювальна система WolframAlpha [3], архітектура якої базується на опрацюванні запитів природною мовою. Такий підхід докорінно змінює парадигму взаємозв'язку: замість написання коду, користувач може формулювати завдання у звичайній математичній формі. Ця доступність, як зазначається у праці [2], робить платформу особливо ефективною не лише для професійних науковців, але й для використання в освітньому процесі.

Метою написання роботи є дослідити та продемонструвати на конкретному прикладі переваги використання системи WolframAlpha для автоматизації пошуку екстремумів, а також порівняти цей підхід із класичним аналітичним розв'язуванням.

Подання основного матеріалу. В основі роботи WolframAlpha лежить принципово інший підхід, ніж той, що є в класичних СКА. Засіб функціонує як обчислювальна система знань, що звільняє користувача від необхідності написання програмного коду та вивчення складного синтаксису. Замість цього, через запити природною мовою, можна формулювати математичну проблему в її звичній, майже «словесній формі». Це дає змогу користувачеві повністю сконцентруватися на математичній суті задачі, а не на технічних аспектах її реалізації. Ключовою технологічною перевагою системи є її здатність до символьних обчислень. На відміну від чисельних методів, які оперують наближеними значеннями, символьний підхід дозволяє знаходити точні аналітичні розв'язки. У контексті пошуку екстремумів це означає, що за допомогою WolframAlpha можна не просто знаходити координати точки, а автоматично виконувати весь ланцюжок математичних операцій: аналітичне знаходження критичних точок через диференціювання функції та перевірку умов другого порядку для визначення характеру екстремуму. Це гарантує максимальну точність результату та виключає помилки округлення, властиві чисельним алгоритмам.

Розглянемо практичну задачу. Дослідити функцію $f(x,y) = 2x^2 + 3y^2 - 4xy + 2x - y$ на глобальні екстремуми в області D, заданій нерівністю $x^2 + y^2 \leq 1$.

Традиційне аналітичне розв'язування вимагає виконання послідовного алгоритму, що передбачає знаходження критичних точок всередині області, дослідження функції на межі (часто

за допомогою методу множників Лагранжа) та подальшого порівняння отриманих значень. Цей багатоетапний процес є громіздким і несе в собі ризик помилок на кожному кроці. На противагу цьому в WolframAlpha можна сформулювати всю задачу цілком, що відповідає її початковій математичній постановці. Замість розбиття на окремі кроки, можна виконати комплексний аналіз за допомогою єдиного запиту. Для знаходження глобальних екстремумів функції $f(x,y)$ на замкненому крузі D достатньо ввести команду, що повністю описує задачу (рис. 1):

extrema of 2x^2 + 3y^2 - 4xy + 2x - y on x^2 + y^2 <= 1.

Рис. 1 - Результат пошуку глобальних екстремумів за допомогою єдиного запиту

У системі автоматично виконується повний аналіз, включаючи перевірку внутрішніх точок та дослідження на межі, і виводиться кінцевий результат: глобальний максимум (Global maximum): ≈ 6.62555 в точці $(x,y) \approx (0.68644, -0.727187)$. Глобальний мінімум (Global minimum): ≈ -0.743643 в точці $(x,y) \approx (-0.903725, -0.428114)$.

Невіддільною частиною відповіді є графічна візуалізація. Побудова графіків функції є не просто ілюстрацією, а потужним інструментом аналізу. Завдяки візуалізації можна миттєво побачити характер поведінки функції, перевірити аналітичні результати та відрізнити локальні й глобальні екстремуми. Це не просто доповнення до обчислень, а потужний інструмент розуміння, який перетворює числовий результат на цілісний аналітичний звіт (рис. 2).

Підписані координати та значення функції полегшують інтерпретацію отриманих аналітичних результатів. Крім того зберігаються у вигляді високоякісних зображень. В освітньому контексті візуалізація сприяє формуванню інтуїції здобувачів освіти щодо геометричної інтерпретації екстремумів та стимулює моделювання власних варіантів задачі (зміна коефіцієнтів, зміна області дослідження тощо). За допомогою таких візуалізацій можна: унаочнити топологію функції (висоти, западини та гребені), що полегшує виявлення локальних і глобальних екстремумів; перевірити розташування знайдених критичних точок відносно області D; візуально співставити значення функції в критичних точках із значеннями на межі – це набагато швидше,

ІТБОНТУ

ніж ручне поетапне порівняння; виявити особливі випадки (наприклад, майже плоскі ділянки або вузькі жолоби), де чисельні методи можуть давати неточності.

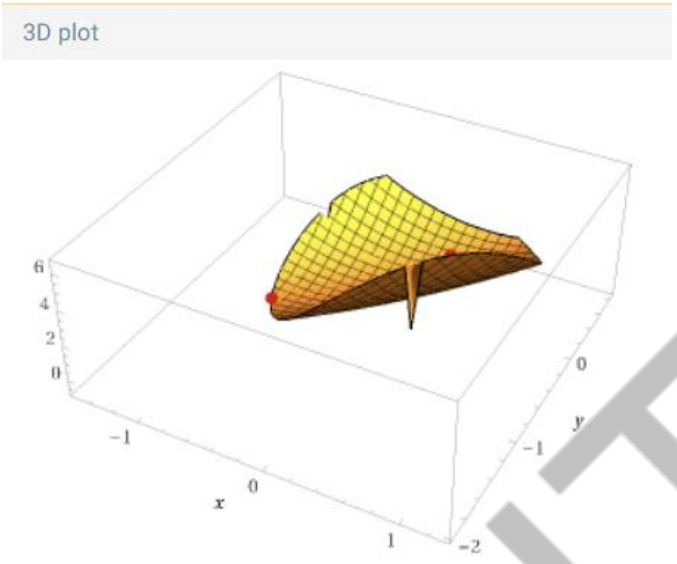


Рис.2 - . Візуалізація поверхні функції $(x, y) = 2x^2 + 3y^2 - 4xy + 2x - y$

Висновки. Інтеграція символьного аналізу з графічною візуалізацією значно підвищує довіру до отриманих результатів: візуальні перевірки (тривимірні поверхні, ізолінії, графіки на межі області) дають можливість миттєво виявити аномалії або підтвердити характер екстремуму. Таким чином, інтеграція цього інструменту у дослідницький та освітній процеси дозволяє змістити акцент з рутинних обчислень на ключові етапи роботи: математичну постановку проблеми та інтерпретацію отриманих результатів. Перспективи подальших досліджень мають на меті розроблення методичних рекомендацій для навчання теми «пошук екстремумів» з використанням хмарних обчислювальних сервісів, а також інтеграцію автоматизованої візуалізації у вправи та лабораторні роботи з математичного аналізу для покращення практичних навичок здобувачів освіти.

Список використаної літератури

1. Жалдак М. І., Михалін Г. О., Деканов С. Я. Математичний аналіз. Функції багатьох змінних: навчальний посібник. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2007. 430 с. [Online]. Available: https://shron1.chtyvo.org.ua/Zhaldak_Myroslav/Matematychnyi_analiz_Funktsii_bahatokh_zminnykh.pdf?PHPSESSID=pbd311l0gjueh5ivgkhmhbiot1. [Accessed: Oct. 08, 2025].

2. An Elementary Introduction to the Wolfram Language by Stephen Wolfram. [Online]. Available: https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/3rd-ed/ [Accessed: Oct. 08, 2025].

3. Wolfram|Alpha Examples: Calculus & Analysis. [Online]. Available: https://www.wolframalpha.com/examples/mathematics/calculus-and-analysis/ [Accessed: Oct. 08, 2025].

НТБОНТУ

УДК 004.94:005

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ БАГАТОРІВНЕВИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ

Коваленко К. А., Гладченко О. В.
(karinakovalenko2711@gmail.com, gov_2016-2017ns@ukr.net)
Державний податковий університет (Україна)

У тезах розглядається поняття системного аналізу та комп'ютерного моделювання складних динамічних систем, визначається їхня роль у дослідженні, прогнозуванні та оптимізації процесів. Описуються основні принципи системного підходу, структура багаторівневих ієрархічних систем управління та методи їх математичного опису.

Комп'ютерне моделювання — це спосіб дослідження, який полягає у створенні за допомогою комп'ютера моделей об'єктів або процесів з метою їх аналізу, прогнозування та вдосконалення. Цей метод активно застосовується в науці, техніці, медицині, економіці та інших сферах, адже дозволяє отримувати точні результати без необхідності проведення реальних експериментів [1].

Основні визначення та поняття охоплюють ключові елементи комп'ютерного моделювання та системного аналізу.

Модель — це спрощене відображення реального об'єкта, системи чи процесу, що передає їхні основні властивості [1].

Важливим є поняття симуляції. Після створення моделі використовується комп'ютерна програма, яка дозволяє віртуально відтворити об'єкт або систему. Завдяки цьому можна досліджувати, аналізувати й проводити експерименти у цифровому середовищі.

Комп'ютерне моделювання широко використовується для дослідження та аналізу. Воно допомагає вивчати поведінку об'єктів у різних умовах, здійснювати експерименти та аналізувати отримані результати. Наприклад, учені застосовують моделі клітин для дослідження біологічних процесів, а інженери — для вдосконалення проєктів.

Також важливим напрямом є прогнозування. Моделі використовуються для передбачення майбутніх подій або результатів. Зокрема, метеорологи застосовують погодні моделі для складання прогнозів.

Оптимізація у бізнесі та техніці моделювання допомагає знаходити найкращі рішення, покращувати продукти або підвищувати ефективність процесів [2].

Окреме місце посідає системний аналіз. Системний аналіз — це науковий підхід до дослідження, який полягає у поетапному виявленні та визначенні взаємозв'язків між елементами чи змінними певної системи. Його основою є застосування комплексу загальнонаукових, експериментальних, природничих, статистичних і математичних методів.

Єдиної універсальної методики системного аналізу в науковій практиці поки не існує. Проте на практиці він реалізується через такі підходи:

- методи теорії дослідження операцій, які дозволяють кількісно оцінювати досліджувані об'єкти;
- аналіз систем в умовах невизначеності, що допомагає приймати обґрунтовані рішення при нестачі даних;
- системотехніку, яка охоплює процеси проєктування, синтезу та оцінювання ефективності складних систем, зокрема автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Системний аналіз відіграє важливу роль у сфері управління персоналом [3].

Сучасний етап розвитку автоматизації виробництва відзначається активним упровадженням складних систем керування, які функціонують на основі багаторівневих ієрархічних структур та комп'ютерних мереж різного рівня й призначення. Підґрунтям створення таких систем є ієрархія підзадач (функцій), які виконує система. Кожна з них має власні об'єкти, критерії ефективності та методи реалізації. Ця ієрархічність відображається не лише у структурі математичних моделей з певними обмеженнями, а й у побудові технічних засобів, що забезпечують їхнє функціонування.

Ієрархічні системи управління характеризуються такими ключовими ознаками:

- послідовне вертикальне розміщення підсистем, які утворюють єдину систему (вертикальна декомпозиція);
- пріоритет дій або право втручання за підсистемами вищого рівня;
- чітке підпорядкування та взаємозв'язок між рівнями управління.

Зазначені особливості складних систем управління потребують використання спеціальних підходів до їх математичного опису. Такий опис дає змогу визначити залежність показників ефективності від параметрів системи, характеристик зовнішнього середовища, її структури та алгоритмів взаємодії окремих елементів. Математичні моделі відіграють ключову роль у вирішенні головної системотехнічної задачі — синтезу оптимальної структури системи. Це можливо лише за умови багаторівневого ієрархічного опису, що ґрунтується на використанні різних формальних мов. Такий підхід дозволяє:

- розглядати систему як частину більшої надсистеми;
- аналізувати її як єдине ціле;
- визначати структуру з необхідним рівнем деталізації.

Для забезпечення точності, зручності аналізу та врахування численних характеристик системи застосовують різні рівні опису:

1. Інформаційний рівень — розкриває інформаційні зв'язки системи із зовнішнім середовищем, а також її функції щодо збору, обробки й передачі інформації.
2. Функціональний рівень — визначає множину функціональних елементів системи та взаємозв'язки між ними.
3. Системотехнічний рівень — описує технічну структуру системи та засоби її реалізації.

Багаторівневий опис системи має низку характерних властивостей:

- вибір рівня опису залежить від мети дослідження, при цьому моделі різних рівнів можуть розроблятися паралельно й незалежно;
- умови роботи підсистем верхнього рівня виступають як обмеження для нижчих рівнів;
- на нижчих рівнях забезпечується деталізація, тоді як зміст і призначення системи розкриваються переважно на верхніх рівнях [4].

Системний аналіз і комп'ютерне моделювання є важливими інструментами для вивчення, прогнозування та оптимізації складних систем. Вони забезпечують можливість глибокого розуміння процесів і пошуку найкращих управлінських рішень у різних сферах діяльності.

Список використаної літератури

[1] Комп'ютерне моделювання об'єктів і процесів URL: https://naurok.com.ua/komp-yuterne-modelyuvannya-ob-ektiv-i-procesiv-455177.html

[2] Основи комп'ютерного моделювання: поняття та методи URL: https://optima.college/news/osnovi-komp-yuternogo-modelyuvannya-ponyattya-ta-metodi

[3] Системний аналіз URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7

[4] Системний аналіз процесу управління в складних системах URL: https://studfile.net/preview/5196472/

УДК 004.94

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Ковальчук Д.М. (kovalchuk.d.n@ukr.net)
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)

У роботі запропонована комп'ютерна модель прогнозування енергоспоживання промислових підприємств. Метою дослідження є створення інструменту, здатного підвищувати точність

передбачення споживання електроенергії та підтримувати управлінські рішення в енергоменеджменті. Запропонована модель використовує історичні дані про енергоспоживання, виробничі навантаження та кліматичні показники, а також методи машинного навчання, зокрема штучні нейронні мережі типу LSTM. Розробка передбачає етапи збору та попередньої обробки даних, навчання мережі, оцінку точності прогнозів за показниками MAE і RMSE та інтеграцію з аналітичними інструментами для візуалізації результатів. Експериментальна перевірка на даних машинобудівного підприємства за 2021–2024 роки показала, що модель забезпечує покращення точності прогнозування на 19–23% порівняно з класичними методами ARIMA та лінійної регресії.

Промисловість є ключовим сектором національної економіки України, який споживає значну частку енергетичних ресурсів країни. Зростання цін на енергоносії, старіння обладнання та вимоги до енергоефективності створюють потребу у впровадженні нових підходів до управління енергоспоживанням. Особливо актуальною стає розробка комп'ютерних моделей, здатних прогнозувати споживання енергії промисловими підприємствами на основі аналізу історичних даних, зовнішніх умов та виробничих показників. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни навантаження, оптимізувати роботу обладнання та планувати закупівлі електроенергії за вигідними тарифами. Об'єктом дослідження є процес прогнозування енергоспоживання промислових підприємств, а предметом – методи, алгоритми та комп'ютерні моделі прогнозування із застосуванням аналітичних та нейронних підходів. Метою дослідження є створення комп'ютерної моделі, що забезпечує підвищення точності передбачення споживання енергії й підтримку управлінських рішень у сфері енергоменеджменту.

Енергоспоживання промислових підприємств має складну структуру і залежить від багатьох факторів – технологічних, кліматичних, економічних та організаційних. Традиційні статистичні підходи, такі як лінійна регресія, методи ковзних середніх чи ARIMA-моделі, показують прийнятні результати лише за умов стаціонарних процесів та лінійних залежностей. У реальній виробничій практиці енергоспоживання є нелінійним, містить сезонні коливання, технологічні піки, випадкові збої, тому ефективніше використовувати методи машинного навчання. Математично задача прогнозування може бути описана як знаходження невідомої функції зв'язку між набором вхідних змінних $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$ і вихідною змінною Y_t, що характеризує споживання енергії в момент часу t:

$$Y_t = f(X_t) + \varepsilon_t,$$

де ε_t – випадкова похибка.

Найбільш ефективним інструментом для апроксимації складних нелінійних залежностей є штучні нейронні мережі, зокрема архітектури типу LSTM (Long Short-Term Memory), які враховують часову послідовність даних. Принцип їх роботи полягає у поступовому оновленні вагових коефіцієнтів w_{ij} між входами x_i та нейронами шару h_j, що описується рівнянням

$$h_j = \varphi\left(\sum_{i=1}^{n} w_{ij} x_i + b_j\right),$$

де φ – активаційна функція, а b_j – зміщення. Навчання мережі здійснюється шляхом мінімізації функції втрат

$$L = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(Y_t - Y_t\right)^2,$$

що забезпечує поступове підвищення точності прогнозу.

Розроблена комп'ютерна модель базується на послідовності етапів: збір історичних даних про енергоспоживання, температурні показники та виробничі навантаження; попередня обробка даних (нормалізація, усунення пропусків, побудова лагових змінних); навчання нейронної мережі; оцінка точності за показниками MAE і RMSE. Модель реалізована у середовищі Python із використанням бібліотек TensorFlow і Scikit-learn, а результати прогнозів візуалізуються у Power BI для зручності аналітики та управлінських рішень.

Під час експериментальних досліджень модель було протестовано на даних машинобудівного підприємства за 2021–2024 роки. Для порівняння використовувалися класичні методи – ARIMA та множинна лінійна регресія. Результати показали, що запропонована нейронна модель забезпечує

підвищення точності прогнозування: середньоквадратична похибка зменшилася на 23%, а середня абсолютна – на 19% порівняно з традиційними підходами. Найбільший вплив на споживання енергії мали температура навколишнього середовища (приблизно 60% варіації), рівень виробничого навантаження (25%) і випадкові фактори (15%). Модель формує прогнози на різні часові горизонти – від добових до місячних – і дає змогу імітувати сценарії зміни технологічних режимів або впровадження енергозберігаючих заходів.

Отримані результати доводять доцільність застосування машинного навчання для прогнозування енергоспоживання промислових підприємств. Висока адаптивність моделі дає змогу використовувати її як складову системи енергетичного моніторингу або як частину цифрового двійника підприємства. Інтеграція з енергетичними інформаційними системами дозволяє автоматично коригувати графіки роботи обладнання, знижувати пікові навантаження та економити енергоресурси. З практичної точки зору, впровадження такої моделі забезпечує не лише економію витрат, а й зменшення екологічного навантаження завдяки зниженню викидів від енергогенерації.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що розроблена комп'ютерна модель прогнозування енергоспоживання промислових підприємств є ефективним інструментом енергетичного менеджменту. Вона поєднує математичну точність, гнучкість адаптації до нових даних та можливість інтеграції з інформаційними системами підприємства. Подальші дослідження доцільно спрямувати на поєднання прогнозних моделей із алгоритмами оптимізації, що дозволить не лише передбачати, а й автоматично регулювати енергоспоживання у режимі реального часу. Перспективним є також використання технологій Інтернету речей для оперативного збору даних із сенсорів та застосування глибинних моделей, таких як CNN-LSTM, для підвищення стійкості прогнозу. Таким чином, створення та впровадження інтелектуальних систем прогнозування енергоспоживання є важливим кроком до цифрової трансформації промисловості та підвищення її енергоефективності, що відповідає стратегічним завданням сталого розвитку економіки України.

Список використаної літератури

[1] S. Baluta, V. Jovbak, L. Kopilova, and O. Sokolova, "Intelligent electricity management of industrial enterprise," Scientific Works of National University of Food Technologies, no. 1, pp. 128–138, 2019. DOI: 10.24263/2225-2924-2019-25-1-14

[2] R. Mathumitha, P. Rathika, and K. Manimala, "Intelligent deep learning techniques for energy consumption forecasting in smart buildings: A review," Artificial Intelligence Review, vol. 57, p. 35, 2024. DOI: 10.1007/s10462-023-10660-8

[3] A. Tevyashev, N. Sizova, V. Tkachenko, and D. Kostaryev, "A systems approach to proactive management in Ukrainian industrial enterprises," European Science, vol. 1, no. sge21-01, pp. 8–53, 2023. DOI: 10.30890/2709-2313.2023-21-01-004

УДК 004.92

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ АНТИАЛІАСИНГУ

Колодій В.В. (vladkolodiy2014@gmail.com), **Романюк О.В.**
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Розглянуто методи оцінки антиаліасингу в комп'ютерній графіці, їх переваги та недоліки. Запропоновано комплексний підхід, що поєднує візуальні, об'єктивні методи та методи аналізу зображень для отримання оцінки якості згладжування.

Вступ

Антиаліасинг відіграє важливу роль у формуванні візуальної якості графічних зображень, зокрема у комп'ютерному моделюванні та візуалізаційних системах. Його основне завдання це забезпечити плавність переходів між пікселями різної яскравості й кольору, усуваючи різкі переходи, які роблять контури об'єктів «зламаними» [1,2]. Однак при розробці нових алгоритмів антиаліасингу постає питання – як об'єктивно оцінити їхню ефективність. Різні методи можуть по-

різному впливати на продуктивність системи, спотворювати деталі або створювати побічні артефакти. Тому необхідно мати чіткі критерії, які дозволять кількісно і якісно порівняти результати згладжування. З часом сформувалися кілька основних підходів до оцінки антиаліасингу – від простих візуальних спостережень до складних алгоритмів аналізу зображень. Їхній розвиток відображає еволюцію комп'ютерної графіки від ручного суб'єктивного оцінювання до автоматизованого об'єктивного вимірювання.

Основна частина

Методи оцінки антиаліасингу можна умовно розділити на такі категорії (рисунок 1).

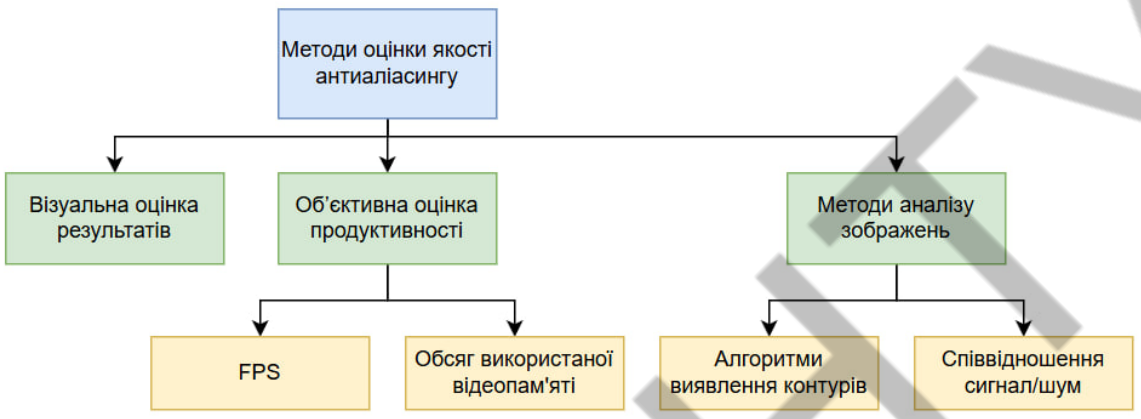


Рисунок 1 – Класифікація методів оцінки якості антиалісингу

Першим і найбільш інтуїтивним способом оцінювання ефективності антиаліасингу стала візуальна оцінка. Її сутність полягала у порівнянні пар зображень – одного з увімкненим згладжуванням і одного без нього. Таке оцінювання проводили користувачі або експерти, які визначали, яке зображення виглядає приємніше, природніше чи має менше «сходинок».

Перевагою цього підходу є простота реалізації та швидке отримання результатів. Проте метод має суттєві недоліки: він залежить від якості монітора, умов освітлення, особливостей зору спостерігачів і не дає можливості отримати кількісні результати. Через це суб'єктивна оцінка не забезпечує відтворюваності та формалізації результатів, що робить її непридатною для наукового аналізу, але корисною для початкової перевірки візуального сприйняття.

Подальший розвиток оцінки антиаліасингу зумовив появу технічних методів, спрямованих на вимірювання продуктивності системи. У центрі уваги таких досліджень були кількість кадрів за секунду (FPS) та обсяг використаної відеопам'яті [3]. Ці параметри давали змогу визначити, наскільки застосування антиаліасингу впливає на роботу графічного процесора та швидкодію системи.

Такий підхід забезпечував точні, об'єктивні результати, однак оцінював лише технічний аспект, не враховуючи естетичну якість. Зображення могло бути оброблене з високою частотою кадрів, але при цьому залишатися нечітким або надмірно розмитим. Отже, оцінка лише за FPS чи використанням пам'яті не відображає справжньої ефективності алгоритму згладжування.

Суттєвий прорив у дослідженнях антиаліасингу став можливим завдяки розвитку комп'ютерного зору. З'явилися методи, які дозволяють аналізувати самі зображення з метою об'єктивного вимірювання якості згладжування. Одним із напрямів такого підходу став аналіз країв, що передбачає використання алгоритмів виявлення контурів – зокрема оператора Собеля або Кенні [4]. Порівнюючи контури зображення до і після антиаліасингу, можна оцінити ступінь згладженості ліній: чим плавніше переходи градієнтів, тим ефективніше спрацював алгоритм.

Крім того, у практиці досліджень активно використовується співвідношення сигнал/шум (SNR – Signal-to-Noise Ratio) [5]. Воно характеризує, наскільки корисна деталі зображення переважають над шумом, який утворюється під час рендерингу. Високе значення SNR свідчить про ефективність алгоритму згладжування, що мінімізує артефакти пікселізації без втрати чіткості.

Застосування комп'ютерних методів має низку переваг: можливість автоматизації, формалізація процесу оцінки, незалежність від людського фактора та висока точність. Однак ці

методи потребують значних обчислювальних ресурсів, що ускладнює їх використання у реальному часі.

Висновок

У результаті проведеного аналізу було з'ясовано, що ефективність антиаліасингу неможливо оцінити єдиним методом. Суб'єктивні підходи забезпечують початкову оцінку з позиції користувача. Об'єктивні методи продуктивності показують технічний вплив згладжування на систему. Лише методи комп'ютерного аналізу зображень дозволяють здійснювати формалізовану та відтворювану оцінку візуальної якості, проте вони вимагають значних обчислювальних ресурсів. Визначено ключові напрямки удосконалення процесу оцінки, серед яких використання градієнтного аналізу зображення, поєднання формалізованих метрик якості з інтерактивною візуалізацією результатів, а також оцінка впливу методів згладжування на продуктивність системи. Сучасна практика оцінки антиаліасингу має базуватися на комплексному підході, що дозволяє досягти балансу між точністю, об'єктивністю та реалістичністю візуального результату.

Список використаної літератури

1. В. В. Колодій, О. В. Романюк, «Аналіз методів згладжування,» Матеріали LIII Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінниця, 2024. [Online]. Available: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2024/paper/view/20739

2. J. W. Goodman, «Introduction to Fourier Optics», 3rd ed. New York, NY, USA: Roberts & Company Publishers, 2005. [Online]. Available: https://visionbook.mit.edu/sampling_and_aliasing.html

3. Measuring Performance [Online]. Available: https://unrealartoptimization.github.io/book/process/measuring-performance [Accessed: 17-Oct-2025].

4. Sobel Operator [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/d2/d2c/tutorial_sobel_derivatives.html. [Accessed: 17-Oct-2025].

5. SNR [Online]. Available: https://uk.wikipedia.org/wikiСпіввідношення_сигнал/шум. [Accessed: 14-Oct-2025].

УДК 004.415.2 : 004.052.42

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ ХИБНО ЗАХИЩЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Колчин О.В., Руденко Д.Б.
(kolchin_av@yahoo.com, dasharudenko1902@gmail.com)
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (Україна)

В тезах розглядається патологія хибно захищених обчислень, її специфікація та автоматичні методи її ідентифікації на основі статичного аналізу коду програм. Ця патологія може призводити до неочікуваної поведінки програми, неправильних результатів обчислень а також до аварійних зупинок або використанню кібервразливостей у програмному забезпеченні. Наведено приклади, а також узагальнена специфікація проблеми у вигляді шаблону потоку даних.

Надійна перевірка вхідних даних є основою безпечного програмного забезпечення та слугує критичним захистом, що запобігає потраплянню некоректних або неочікуваних даних до вразливих операцій. Неповні або неправильно розміщені перевірки вхідних параметрів можуть призводити до неочевидних дефектів та непередбачуваних наслідків.

У даній роботі розглядається ситуація, коли під час виконання перевірки певної умови її частина не виконується (або навіть залишатися необробленою), але тим не менш повна умова задовольняється. В таких випадках цю частину називають «замаскованою». Сама по собі замаскована умова не є помилкою; проблема виникає у випадках, коли всередині блоку виконується обчислення із змінною, яка залишилася замаскованою під час перевірки цієї умови. Розглянемо приклад коду на мові С:

```
if (p != NULL || flagP == true)
  *p = 42;
```

Хоча на перший погляд використання покажчика захищено відповідною передумовою, де явно перевіряється валідність покажчика, насправді існує потенційна аварія: якщо змінна p дорівнює NULL, але flagP == true, вираз *p = 42 призведе до небезпечної операції з нульовим покажчиком. У наступному прикладі змінна idx з від'ємним значенням може бути використана у індексації масиву INFO:

```
void access(int user, int idx, bool flag) {
   if (idx >=0 || is_valid(user)) {
      if (flag)
         INFO[idx] = user; // potential out-of-bounds indexing
   }
}
```

Звертаємо увагу, що для даного випадку патологія може залишатись невиявленою навіть за допомогою тестових наборів, які задовольняють таким вибагливим критеріям покриття як MC/DC [1] та all-uses [2]: MC/DC зосереджується на незалежному впливі кожної підумови на загальний результат рішення, але одноосібний вплив предиката idx>=0 можна перевірити відповідною парою тестів, де значення прапорця flag є хибним:

Test#1: { !is_valid(user), idx>=0, flag=false }
Test#2: { !is_valid(user), !(idx>=0), flag=false }

У першому тестовому випадку перша умова виконується, а в другому, який відрізняється тільки значенням змінної idx, не виконується. Фактично, значення flag у другому тесті може бути довільним, оскільки воно не належить до першої умови. Щоб охопити покриття другої умови, набір тестів може додатково включати третій тест, який в парі з першим тестом також перевірятиме одноосібний вплив предиката is_valid(user):

Test#3: { is_valid(user), idx>=0, flag=true }

Цей набір тестів також буде достатнім і для критерію all-uses, який гарантує виконання кожної пари визначення-використання: всі пари для всіх змінних покриваються. Але для виявлення неправильної індексації потрібно додати ще один тест:

Test#4: { is_valid(user), !(idx>=0), flag=true }

Виявлення патології з неправильно захищеним використанням змінної вимагає її специфікації. Нехай програма P представлена як граф керування потоком (CFG) з вузлами, що відповідають програмним операторам або предикатам. Розглянемо змінні $V=\{v_1,v_2,\ldots,v_n\}$ та предикати C, де кожен предикат $c\in C$ є булевим виразом над змінними та, можливо, іншими предикатами. Ми визначаємо **складений предикат** $C=P_1\circ P_2\circ\cdots\circ P_m$, де кожен P_i — це підпредикат, з'єднаний логічними операціями (кон'юнкція ∧, диз'юнкція ∨). Замаскований предикат — це підпредикат P_j зі складеного предиката C, такий, що значення істинності P_j саме по собі не визначає значення C через вплив інших підпредикатів $P_{i\neq j}$. **Замасковане незадовільне використання (masked unsatisfiable use)** виникає, коли певне обчислення *F* над змінною *v* синтаксично охороняється складеним предикатом C, який задовольняється на певному шляху виконання, але підпредикат P_j, що перевіряє припустимість значення змінної *v* для використання у *F*, не виконується (або є хибним) у цьому шляху. Це ефективно **маскує перевірку безпечності обчислення** *F*. Наприклад, у виразі: $C=(P_1\vee P_2)$ на деякому шляху P_1=true, P_2=false, і змінна *v* охороняється P_2. У такому разі спостерігається замасковане незадовільне використання: перевірка P_2, що мала гарантувати безпечність *v*, повернула false (або могла навіть не виконуватись взагалі), натомість P_1=true забезпечив загальну позитивну умову C, що призвело до виконання обчислення $F(v)$ попри те, що локальна перевірка на безпечність не пройшла. Таким чином, шаблон потоку даних може бути записаний як ланцюжок def-use пар [2] у вигляді (спрощено): def – maksed unsat use – computational-use.

Можливі різні сценарії автоматизації пошуку такої патології. Її можна виявляти за допомогою символьного моделювання (аналізу шляхів у просторі предикатів [3]), регулярних виразів або правил на рівні вихідного коду (для швидкого виявлення підозрілих структур умов) [4] або

комбінованими підходами статичного аналізу, що поєднують досяжність вузлів CFG із відстеженням залежностей між умовами та використаннями змінних.

Висновки. Описана патологія не завжди призводить до аварійних станів, використання підходу має стосуватись в першу чергу критичних обчислень. Методи автоматизації пошуку мають класичні проблеми пов'язані з ефективністю, об'ємом, генерацією хибно-позитивних або хибно-негативних результатів. Слід зауважити, що наслідки описаної патології можуть призводити до неналежної валідації вхідних даних, неправильної індексації тощо — вразливостей, які належать до топ-списку CWE [5].

Список використаної літератури

1. J. J. Chilenski, Investigation of Three Forms of the Modified Condition Decision Coverage (MC/DC) Criterion, U.S. Federal Aviation Administration, Office of Aviation Research, Tech. Rep. DOT/FAA/AR-01/18, 2001.
2. S. Rapps and E. Weyuker, "Data flow analysis techniques for test data selection," in *Proc. Int. Conf. Software Engineering (ICSE)*, 1982, pp. 272–277.
3. Kolchin and S. Potiyenko, "Extending data flow coverage to test constraint refinements," in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13274, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-07727-2_17
4. G. Piskachev, J. Späth, I. Budde, and others, "Fluently specifying taint-flow queries with FLUENTTQL," *Empirical Software Engineering*, vol. 27, no. 104, 2022. doi: 10.1007/s10664-022-10165-y
5. Common Weakness Enumeration (CWE), "2024 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses." [Online]. Available: https://cwe.mitre.org/top25/archive/2024/2024_kev_list.html

ПРИНЦИП РОБОТИ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ ІНТЕРНЕТ-ТРАФІКУ

Корецький В.А. (koretckiyvasily@gmail.com)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

Постановка проблеми. В умовах зростаючої складності мережевих інфраструктур (гібридні хмари, шифрування трафіку, високі швидкості) та постійних кіберзагроз постійно зростає необхідність забезпечення ефективного, комплексного та деталізованого аналізу інтернет-трафіку. Отже ця тема є актуальною.

Викладення основного матеріалу. Засоби для аналізу інтернет-трафіку (або мережевого трафіку) можна розділити на дві основні категорії: аналізатори мережевих пакетів (сніфери) і засоби для аналізу потоків даних (flow-based analysis), а також окрему категорію інструментів для аналізу веб-трафіку (відвідуваності сайтів).[1]

Аналізатори мережевих пакетів (Сніфери) — це програма чи пристрій, який перехоплює та записує мережеві пакети, що проходять через мережевий інтерфейс. Принцип його роботи можна розділити на три основні етапи: захоплення пакетів, фільтрація, декодування та аналіз.

В етапі захоплення пакетів сніфер переводить мережеву карту у нерозбірливий режим. У звичайному режимі мережева карта ігнорує всі пакети, адресовані іншим пристроям. У нерозбірливому режимі вона приймає та передає на обробку операційній системі всі пакети, які фізично проходять через сегмент мережі (це особливо актуально в застарілих мережах з хабами). У сучасних комутованих мережах (з використанням світчів) для захоплення трафіку, призначеного іншим пристроям, адміністратори використовують функцію дзеркалювання портів (SPAN/Port Mirroring) на комутаторі.[2]

На етапі фільтрації через великий обсяг трафіку, сніфери застосовують фільтри захоплення (Capture Filters), щоб зберегти лише потрібні пакети (наприклад, тільки HTTP-трафік або пакети з певної IP-адреси).

Під час декодування та аналізу сніфер розбирає вміст кожного пакета, застосовуючи знання про мережеві протоколи згідно з моделлю TCP/IP або OSI (канальний, мережевий, транспортний,

прикладний рівні). Він відокремлює заголовки протоколів (Ethernet, IP, TCP/UDP) від даних і відображає їх у зручному для читання форматі.[3]

Засоби для аналізу потоків даних (Flow-Based Analysis) є більш високорівневим і масштабованим порівняно з пакетним аналізом. Він базується на концепції потоків. Принцип його роботи можна розділити на три основні етапи: Визначення потоку (Flow Definition), Генерація записів (Flow Export), Аналіз на колекторі (Collector Analysis).[4]

Потік (Flow) — це односпрямована послідовність пакетів між двома кінцевими точками, які мають спільний набір ключових параметрів (так званий "ключ потоку"). Стандартний ключ NetFlow v5 включає 7 основних значень: вхідний інтерфейс (Ingress interface), IP-адреса джерела, IP-адреса призначення, протокол IP (TCP, UDP, ICMP тощо), порт джерела, порт призначення, тип обслуговування (ToS).

Генерація записів (Flow Export) ведется за допомогою мережевого пристрою (маршрутизатор, комутатор, міжмережевий екран), який з підтримкою протоколу (наприклад, NetFlow, sFlow, IPFIX) веде облік усіх активних потоків. Коли потік завершується (за таймаутом або за пакетами TCP FIN/RST), пристрій генерує запис потоку (flow record) — метадані, що містять статистику (обсяг трафіку, кількість пакетів, час початку/завершення), але не містять фактичного вмісту даних. Цей запис експортується на колектор потоків (Flow Collector).[5]

У наступному етапі колектор отримує величезну кількість зведених записів від різних мережевих пристроїв.Колектор агрегує та аналізує ці дані для: визначення найбільш завантажених хостів і додатків ("пожирачі" пропускної здатності), побудови матриці трафіку (хто з ким спілкується), виявлення аномалій, які можуть свідчити про атаки (наприклад, SYN flood або високий відсоток коротких сесій).

Засоби для аналізу веб-трафіку (Веб-аналітика) орієнтовані на маркетинговий аналіз та вивчення поведінки користувачів на веб-сайті, а не на низькорівневий мережевий аналіз. Принцип його роботи можна розділити на три основні етапи: збір даних (Tracking Code), ідентифікація та сесія, аналіз ключових метрик.

Під час збору даних на кожну сторінку сайту додається невеликий фрагмент JavaScript-коду (наприклад, код Google Analytics). Коли користувач завантажує сторінку, цей код виконується і відправляє інформацію про відвідувача та його дії (так званий хіт або подія) на сервери аналітичної системи.[6]

На етапі ідентифікації та сесії система використовує файли cookie для ідентифікації унікальних відвідувачів та відстеження їхніх дій протягом однієї сесії (періоду активності на сайті). Аналітична система обробляє зібрані дані для розрахунку ключових показників:
кількість унікальних та загальних відвідувачів, джерела трафіку, показник відмов, середній час на сторінці, сторінки за сесію, досягнення цільових дій (купівля, підписка, заповнення форми), поведінка користувачів.

Аналіз інтернет-трафіку є критично важливим для забезпечення безпеки, діагностики мережі та оптимізації бізнес-процесів. Жоден із представлених вище засобів не є універсальним. Ефективний і всебічний аналіз інтернет-трафіку вимагає комплексного індивідуального підходу, що залежить від мети аналізу трафіку.

Список використаної літератури

[1] Jakkani A. K. Real-Time Network Traffic Analysis and Anomaly Detection to Enhance Network Security and Performance: Machine Learning Approaches. June-July 2024. 2024. No. 44. P. 32–44. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.55529/jecnam.44.32.44 [date of access: 07.10.2025].

[2] Alserhani F. Analysis of Encrypted Network Traffic for Enhancing Cyber-security in Dynamic Environments. Applied Artificial Intelligence. 2024. Vol. 38, no. 1. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.1080/08839514.2024.2381882 [date of access: 07.10.2025].

[3] Artificial Intelligence-Based Approaches for Anomaly Detection / A. K. Cherukuri et al. Encrypted Network Traffic Analysis. Cham, 2024. P. 73–99. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.1007/978-3-031-62909-9_5 [date of access: 07.10.2025].

[4] Koumar J., Hynek K., Čejka T. Network Traffic Classification Based on Single Flow Time Series Analysis. 2023 19th International Conference on Network and Service Management (CNSM), Niagara Falls, ON, Canada, 30 October – 2 November 2023. 2023. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.23919/cnsm59352.2023.10327876 [date of access: 07.10.2025].

[5] Coutinho A. C., Araújo L. V. d. Network Data Flow Collection Methods for Cybersecurity: A Systematic Literature Review. Computers. 2025. Vol. 14, no. 10. P. 407. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.3390/computers14100407 [date of access: 07.10.2025].
[6] ML-Based Traffic Classification in an SDN-Enabled Cloud Environment / O. Belkadi et al. Electronics. 2023. Vol. 12, no. 2. P. 269. [Online]. Avaliable: https://doi.org/10.3390/electronics12020269 [date of access: 07.10.2025].

УДК 004.415.2:004.42:004.89

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ CASE-СИСТЕМ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ ПЛАТФОРМ

Корнієнко О. О. (oleksiikorniienko@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто проблему підвищення ефективності проєктування інформаційно-аналітичних платформ шляхом оптимізації функціонування CASE-систем (Computer-Aided Software Engineering). Сучасні CASE-засоби забезпечують підтримку життєвого циклу програмних систем, проте їх продуктивність і узгодженість моделей значною мірою залежать від рівня автоматизації процесів оновлення, інтеграції та контролю змін. Недоліком більшості комерційних CASE-систем є статичність структур, дублювання артефактів та відсутність зворотного зв'язку між бізнес-вимогами і технічними моделями.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифрової трансформації організацій спостерігається зростання вимог до швидкості, якості та гнучкості розробки інформаційно-аналітичних систем. Одним із ключових інструментів, що забезпечують ці властивості, є CASE-системи (Computer-Aided Software Engineering), які підтримують життєвий цикл програмного забезпечення — від формування вимог до тестування й супроводу.

Однак ефективність CASE-засобів суттєво залежить від рівня їх інтеграції з бізнес-процесами, узгодженості моделей проєктування та оптимальності обробки вимог. Традиційні CASE-системи часто мають обмеження у продуктивності, надмірну формалізацію моделей і недостатню підтримку автоматичного аналізу взаємозв'язків між артефактами. Це знижує ефективність розробки складних інформаційно-аналітичних платформ, особливо у великих корпоративних середовищах.

Тому актуальним є завдання розроблення методів оптимізації CASE-систем, спрямованих на підвищення продуктивності, гнучкості та аналітичної здатності інструментів при проєктуванні інформаційно-аналітичних платформ.

Метою дослідження є розроблення методів оптимізації CASE-систем, що забезпечують підвищення ефективності процесів проєктування інформаційно-аналітичних платформ шляхом автоматизації аналізу вимог, оптимізації моделей та зниження трудомісткості етапів розробки.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати сучасні підходи до використання CASE-засобів у проєктуванні інформаційно-аналітичних систем та визначити їхні обмеження.
2. Визначити критерії ефективності CASE-систем — продуктивність, узгодженість моделей, час обробки вимог, глибину інтеграції з бізнес-процесами.
3. Розробити модель оптимізації CASE-середовища на основі аналізу зв'язків між артефактами розробки, сценаріями змін і залежностями між компонентами.
4. Провести експериментальну перевірку ефективності запропонованих методів на прикладі корпоративної платформи управління аналітичними даними.

Суть дослідження. CASE-системи (Computer-Aided Software Engineering) виступають ключовим інструментом у процесі створення інформаційно-аналітичних систем, забезпечуючи підтримку всіх етапів життєвого циклу — від збору вимог до супроводу.

НТБОНТУ

Таблиця 1.Критерії ефективності CASE-систем

№	Критерій ефективності	Опис показника	Тип оцінювання
1	Продуктивність	Середній час обробки моделей та оновлення артефактів	Кількісний
2	Узгодженість моделей	Відсоток автоматично синхронізованих зв'язків	Якісний
3	Адаптивність до змін	Швидкість реакції системи на оновлення вимог	Часовий
4	Інтегрованість	Рівень зв'язку між моделями бізнес-процесів і технічними компонентами	Аналітичний

Попри значний прогрес у цій галузі, більшість комерційних рішень залишаються недостатньо гнучкими у динамічному середовищі проєктів, де вимоги та бізнес-процеси змінюються майже безперервно.

Основними обмеженнями сучасних CASE-засобів є:

- обмежена адаптивність до змін моделей;
- відсутність наскрізного контролю узгодженості між артефактами;
- дублювання даних при внесенні змін;
- висока трудомісткість ревізій і тестування.

Це призводить до зниження продуктивності проєктування, уповільнення оновлень та втрати актуальності моделей у процесі розробки великих аналітичних платформ.

Для оцінки ефективності оптимізації CASE-середовища було сформовано чотири основні критерії (Табл. 1).

У процесі дослідження оцінювався не лише рівень технічної ефективності, а й здатність системи зберігати структурну узгодженість при великій кількості паралельних змін.

Запропонована модель оптимізації CASE-системи розглядає її як динамічне середовище взаємопов'язаних артефактів: діаграм, специфікацій, тестів, кодових модулів і вимог.

Кожен елемент у цій системі має власний стан і впливає на інші об'єкти під час модифікацій. Для візуалізації взаємозв'язків між компонентами використано структурну схему (рис. 1).

Рисунок 1. Узагальнена структура оптимізованої CASE-системи

Система функціонує за принципом зворотного зв'язку: будь-яка зміна на рівні вимог або моделей автоматично ініціює оновлення зв'язаних артефактів і тестів. Це дозволяє мінімізувати кількість ручних дій, запобігти помилкам синхронізації та підвищити узгодженість у командній розробці.

Результати оптимізації узагальнюються у таблиці 2.

Таблиця 2. Результати експерименту

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Час оновлення моделей, с	14,8	9,3	–37,2
Узгодженість артефактів, %	81,4	95,6	+17,5
Час реакції на зміну вимог, хв	27,5	17,1	–37,8
Інтегрованість із бізнес-рівнем	0,68	0,91	+33,8

Для оптимізації процесів у CASE-середовищі використано комбінацію трьох механізмів:

1. Модуль трасування змін, який автоматично відстежує залежності між артефактами та сигналізує про конфлікти.
2. Система пріоритизації оновлень, що визначає важливість елементів залежно від їх впливу на бізнес-вимоги.
3. Аналітичний плагін — модуль, який аналізує історію змін і рекомендує оптимальні послідовності оновлень.

Під час експериментів оптимізована CASE-система демонструвала стабільне скорочення часу проєктування та тестування приблизно на 35–40 %.

Команди розробників відзначили покращення в узгодженості документації та модулів, а також у зниженні кількості помилок при змінах моделей.

Особливо ефективним виявився механізм автоматичного оновлення UML-діаграм після зміни бізнес-вимог, що скоротив витрати часу на ручну ревізію моделей майже на третину.

Отримані результати підтвердили, що оптимізація CASE-середовищ на основі ситуаційного аналізу зв’язків і автоматизованого оновлення моделей дозволяє значно підвищити ефективність розробки складних інформаційно-аналітичних систем.

Модель може бути впроваджена у сучасні корпоративні платформи (наприклад, DevOps або CI/CD), забезпечуючи **адаптивне керування артефактами** та безперервне вдосконалення проєктної документації.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено підхід до оптимізації CASE-систем, що базується на аналізі структурних зв’язків між артефактами розробки та автоматичному оновленні моделей у режимі реального часу. На відміну від традиційних статичних CASE-засобів, запропонована модель забезпечує зворотний зв’язок між бізнес-рівнем, процесними моделями та технічними компонентами системи. Це дозволяє зменшити дублювання даних, скоротити час реакції на зміни вимог і підвищити узгодженість між етапами розробки.

Список використаної літератури

[1] Pressman, R. S., & Maxim, B. R. *Software Engineering: A Practitioner’s Approach.* 9th ed. — New York: McGraw-Hill Education, 2020. — 928 p.

[2] Sommerville, I. *Software Engineering.* 10th ed. — Harlow: Pearson Education Limited, 2016. — 832 p.

[3] Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. *The Unified Modeling Language User Guide.* 2nd ed. — Boston: Addison-Wesley, 2005. — 496 p.

УДК 538.9

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ У ГРАФЕНОВИХ КВАНТОВИХ ТОЧКАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Коротиш В.О., (lesnikivka220@gmail.com)

Криворізький державний педагогічний університет (Україна)

Проведено теоретичне моделювання точкових дефектів (вакансій, дивакансій, Стоуна-Вельса) в графенових квантових точках (ГКТ) різного розміру, форми та стану на краях. При цьому замість обчислювально-вартісних методів типу функціонала електронної густини

застосовано міжатомні потенціали машинного навчання, що поєднують точність квантово-механічних методів зі швидкодією емпіричних моделей. Енергії формування точкових дефектів отримані як для окремо взятого атома структури ГКТ, так і карта енергій для усіх атомів ГКТ. Побудовані функції розподілу енергій формування, проаналізовано їх залежність від геометрії ГКТ. Виявлено, що при зменшені розмірів ГКТ енергії формування дефектів зростають в результаті конфайнмент ефекту. Отримані результати створюють підґрунтя для цілеспрямованого керування дефектами в наноматеріалах і розширюють можливості їх практичного використання.

Сучасні нанотехнології активно розвиваються завдяки використанню математичного та комп'ютерного моделювання, що дає змогу досліджувати складні процеси на атомному рівні з високою точністю. Завдяки моделюванню на атомному рівні дослідники можуть не лише інтерпретувати експериментальні результати, а й передбачати властивості матеріалів ще до їх синтезу. Це особливо важливо для двовимірних структур, таких як графен, де навіть незначні порушення симетрії чи дефекти можуть суттєво змінювати електронну поведінку системи. Графенові квантові точки (ГКТ) — це нанорозмірні фрагменти графену, у яких проявляються квантові ефекти та крайові стани, що визначають їхні електронні й оптичні властивості. Завдяки розмірам, порівнянним із довжиною когерентності електронів, ГКТ характеризуються дискретизацією енергетичних рівнів, подібною до атомних, що робить їх перспективними для застосування у квантовій електроніці, сенсориці та фотовольтаїці.

Вплив дефектів на такі системи є критичним: навіть одинична вакансія може змінити розподіл електронної густини та провідність нанокластера, тоді як дивакансії та перебудови типу Стоуна–Вельса формують стійкі топологічні конфігурації, які впливають на стабільність та енергію зв'язків у матеріалі [1].

Враховуючи критичний вплив дефектів на електронні й оптичні властивості ГКТ, для їх точного моделювання застосовують комбіновані підходи, що поєднують квантово-хімічні розрахунки, моделі машинного навчання та алгоритми чисельної оптимізації. Це дозволяє не лише відтворювати енергетичні характеристики наноматеріалів з високою точністю, а й передбачати стабільність різних дефектів та їхній вплив на локальні властивості системи [2, 3].

Основним інструментом квантово-хімічного моделювання є теорія функціонала густини (DFT), що спирається на розв'язання рівнянь Кона–Шема, які описують електронну густину системи через одночастинкові орбіталі. Метод DFT забезпечує високу точність у визначенні енергетичних, електронних і структурних характеристик наноматеріалів, проте його головним недоліком є висока обчислювальна складність, що зростає з кількістю атомів у системі. Для структур, які містять сотні або тисячі атомів, таких як ГКТ, виконання повних DFT-розрахунків потребує значних ресурсів, особливо з урахуванням структурних дефектів і крайових ефектів [2].

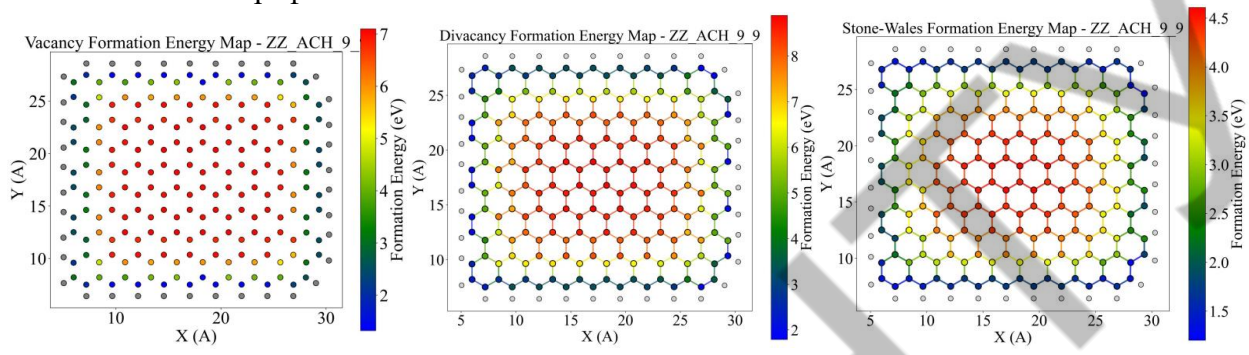
З огляду на це, активно розвиваються гібридні методи, у яких результати DFT використовуються для навчання моделей машинного навчання, здатних відтворювати поверхню потенціальної енергії з точністю квантово-механічних розрахунків, але зі швидкодією класичних моделей. Найбільш поширеними є міжатомні потенціали машинного навчання (MLIP), що апроксимують поверхню потенціальної енергії (PES) на основі квантових даних за виразом: $E(R) = \sum_i f(r_i)$, де E — повна енергія системи, а $f(r_i)$ - внесок атома, що залежить від його оточення.

Для побудови та оптимізації структур графенових квантових точок використовуються спеціалізовані інструменти, що забезпечують комплексний підхід — від генерації атомних конфігурацій до аналізу енергетичних характеристик. Найбільш поширеним є Atomic Simulation Environment (ASE) — модульна Python-бібліотека, яка інтегрується з квантово-механічними та класичними методами (VASP, Quantum ESPRESSO, LAMMPS, GPAW). Вона дає змогу автоматизувати побудову початкових структур, проводити оптимізацію геометрії та визначати стабільні конфігурації атомів. Пакет orb-models використовується для побудови й навчання нейронних міжатомних потенціалів, що поєднують точність DFT із швидкодією методів машинного навчання. Для візуалізації та контролю геометричних перетворень застосовується Jmol, який дозволяє аналізувати міжатомні відстані, кути та симетрію наноструктур. Оптимізація координат здійснюється алгоритмом FIRE (Fast Inertial Relaxation Engine), який забезпечує швидку

збіжність і точне визначення рівноважного стану навіть для великих кластерів графену з дефектами [2].

Математичне моделювання враховує різні типи дефектів — точкові (вакансії, дивакансії) та орієнтаційні (дефекти Стоуна–Вельса). Енергія їх утворення визначається співвідношенням: $E_f = E_{def} - E_{ideal} + n\mu$, де E_{def} — енергія системи з дефектом, E_{ideal} — енергія ідеальної структури, n — кількість вилучених або доданих атомів, μ — хімічний потенціал атома.

Детальне моделювання енергетичних характеристик основних типів дефектів — моновакансій, дивакансій та дефектів Стоуна–Вельса (див. рис.) — дає змогу простежити, як порушення цілісності гексагональної решітки графену та кристалічної симетрії впливає на локальні властивості графенових квантових точок.



(a) (b) (c)

Рис. 1 - Карти енергій утворення одиничної вакансії (a), дивакансії (b) та (c) дефекту Стоуна-Вельса у структурі графена

Після проведення геометричної релаксації та розрахунку енергій формування дефектів були побудовані енергетичні карти дефектоутворення для графенових квантових точок розміром 9×9 атомів. Вони відображають просторову стабільність різних конфігурацій та дозволяють визначити енергетично вигідні області утворення вакансій, а також оцінити вплив крайових ефектів і квантового конфайнменту.

Карта енергій для одиничної вакансії (рис. 1a) демонструє, що найменші енергетичні бар'єри формування спостерігаються поблизу країв квантової точки. У центральній області кластера, де кристалічна симетрія та σ-зв'язки більш стабільні, енергія утворення вакансії зростає. Така неоднорідність розподілу є прямим проявом ефекту конфайнменту, коли зменшення розміру наночастинки підсилює вплив країв на локальні енергетичні характеристики.

Для дивакансій (рис. 1b) спостерігається складніша енергетична картина: утворення двох сусідніх порушень решітки супроводжується локальною перебудовою зв'язків і формуванням п'яти- та восьмичленних кілець. Найенергетично вигідніші зони розташовані ближче до центральної області точки, де міжатомна взаємодія дозволяє стабілізувати нову топологію. Це свідчить про те, що дивакансії можуть відігравати роль центрів релаксації напруг у графенових наноструктурах, знижуючи загальну енергію системи.

Дефект Стоуна–Вельса (рис. 1c) характеризується обертанням одного C–C зв'язку на 90°, унаслідок чого чотири шестиатомні кільця перетворюються на комбінацію двох п'яти- та двох семичленних. Карта енергії показує, що формування такого дефекту менш ймовірне на периферії, де еластичні деформації гірше компенсуються, і більш стабільне у внутрішніх ділянках решітки. Наявність таких орієнтаційних дефектів призводить до локальної деформації структури графену, що впливає на електронну густину станів, оптичні переходи та створює потенційні центри рекомбінації носіїв заряду.

Отримані результати підтверджують, що структурні дефекти суттєво впливають на стабільність, електронну структуру та енергетичні властивості графенових квантових точок. Карти енергій утворення дефектів демонструють залежність стабільності від їхнього положення в межах кластера та виражений вплив квантового конфайнменту на енергетичні характеристики системи.

Проведене моделювання дозволяє не лише пояснити механізми утворення дефектів, а й визначити умови керованої стабільності, типу та просторового розташування дефектів у графенових наноструктурах, створюючи основу для практичного застосування у дефектній

інженерії, де контроль над мікроскопічними порушеннями структури визначає макроскопічні властивості матеріалу — провідність, магнітну сприйнятливість та фотонні характеристики.

Поєднання методів глибокого навчання (MLIP, MACE) з квантово-механічними та чисельними підходами (DFT, ASE, orb-models, FIRE) забезпечує високу точність відтворення енергетичних поверхонь і кристалічної топології, відкриваючи перспективи прогнозування типів дефектів, оптимізації їхнього розташування та налаштування електронних і оптичних властивостей графенових квантових точок.

Отже, результати дослідження формують наукове підґрунтя для раціонального проєктування квантових матеріалів із заданими характеристиками, що є ключовим напрямом сучасної нанотехнології та дефектної інженерії.

Список використаної літератури

[1] R. Rabeya, S. Mahalingam, A. Manap, M. Satgunam, M. Akhtaruzzaman, and C. H. Chia, “Structural defects in graphene quantum dots: A review,” Int. J. Quantum Chem., Mar. 5, 2022. DOI: 10.1002/qua.26900.

[2] A. Tuzyhkov, A. Kiv, V. Soloviev, A. Bielinskyi, T. Kavetskyy, M. Slusarenko, and V. Korotych, “Artificial Intelligence Methods in Quantum Chemistry,” in *Nanotechnological Advances in Environmental, Cyber and CBRN Security*, P. Petkov, M. E. Achour, and C. Popov, Eds., Springer, 2025, pp. 67–83. DOI: 10.1007/978-94-024-2316-7_4.

[3] C. Schattauer, L. Linhart, T. Fabian, T. Jawecki, W. Auzinger, and F. Libisch, “Graphene quantum dot states near defects,” Phys. Rev. B, vol. 102, no. 15, p. 155430, 2020. DOI: 10.1103/PhysRevB.102.155430.

УДК 004.891.3.032.26:355.45

ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ОБОРОННОГО ПЛАНУВАННЯ

Лактіонов О.І. (itm.olaktionov@nupp.edu.ua)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Україна)

Пропонуються результати напрацювань, де обґрунтовується необхідність розробки інтегрованої методології діагностики оборонного планування, що включатиме числові методи діагностики ракетних ударів, небезпечних об’єктів, інформаційної безпеки, оптимізації прогнозування ефективності складних систем. Додатково враховується використання інструментів комп’ютерного зору. Вихідні оцінки числових методів використовуються як вхідні оцінки гібридної нейронної мережі для прогнозування. Для групування оцінок використовується кластеризатор, а для прийняття рішень, – система підтримки прийняття рішень. Об’єднання всіх наведених складових являє собою інтегровану методологію діагностики оборонного планування.

Оборонне планування є складовою системи національної безпеки України та включає багато складових. Наразі оборонне планування потребує нових комплексних рішень, зокрема використання інтегрованих моделей стратегічного планування [1].

Протягом 2020-2023 років активно вивчався існуючий досвід щодо комплексного вирішення питань оборонного планування. У 2023 році запропоновано перший робочий прототип концепції визначення рівня готовності систем до виконання завдань [2]. Відповідно до задуму, концепція включає ряд складових, зокрема вхідні дані, сценарії та моделі дій і прогнозування результатів. Але така концепція нагадує систему прийняття рішень, що не є комплексним вирішенням проблеми.

Лише у 2025 році запропоновано ідею щодо комплексного вирішення проблеми забезпечення оборонного планування, що являє собою використання інтегрованої методології діагностики оборонного планування, рис. 1.

Як видно з Рис. 1, інтегрована методологія оборонного планування побудована на принципах ієрархічності та багатокритеріальності. Методологія включає ряд моделей, на основі яких розроблено відповідні числові методи діагностики ракетних ударів, небезпечних об’єктів, інформаційної безпеки, оптимізації прогнозування ефективності складних систем. Невід’ємною частиною інтегрованої методології є метод трекінгу об’єктів складних форм. Запропоновані методи дозволяють здійснювати оцінювання та отримувати локальні прогнози.

Для здійснення глобальних прогнозів, пропонується нейронна мережа. На вхід мережі подаються оцінки, визначені числовими методами. Також розглядається можливість групування оцінок.

	Запропонована інтегрована методологія діагностики оборонного планування	
	Принципи ієрархічності, багатокритеріальності	
	Моделі діагностики масованих ракетних ударів, небезпечних об’єктів, інформаційної безпеки, оптимізації прогнозування ефективності складних систем, трекінгу об'єктів складних форм	Методи діагностики масованих ракетних ударів, небезпечних об’єктів, інформаційної безпеки, оптимізації прогнозування ефективності складних систем, трекінгу об'єктів складних форм
	Гібридна модель оптимізації прогнозування на основі оцінок числових методів масованих ракетних ударів, небезпечних об’єктів, інформаційної безпеки, оптимізації прогнозування ефективності складних систем	
	Метод кластеризації на основі оцінок числових методів	
	Система підтримки прийняття рішень	

Рис. 1 - Складові запропонованої інтегрованої методології діагностики оборонного планування

Інтегрована методологія також включає систему прийняття рішень, що містить набір правил, критеріїв за якими приймаються рішення. Таким чином, запропонована методологія дозволяє комплексно вирішувати питання оборонного планування та рекомендуватиметься до використання, як доповнення до існуючих методологій.

Можливості інтегрованої методології діагностики оборонного планування

1. Автоматизація процесу діагностики, прогнозування, оптимізації ефективності складних систем.

2. Використання нейронних мереж для гібридного прогнозування та методу кластеризації для групування об’єктів.

3. Кількісні та якісні прогнози інтегровані у систему підтримки прийняття рішень з багаторівневим аналізом.

Станом на жовтень 2025 року проведені теоретичні та частково експериментальні дослідження складових запропонованої інтегрованої методології діагностики оборонного планування. У наступних напрацюваннях варто з’ясувати ефективність розробленої методології. Також варто акцентувати увагу на практичну складову запропонованих напрацювань.

Список використаної літератури

[1] Б. Ворович, “Підходи до розроблення інтегрованої моделі стратегічного планування в Міністерстві оборони України, Збройних Силах України та інших складових сил оборони”, *Зб. наук. пр. Центру воєн.-стратег. дослідж. НУОУ ім. Ів. Чернях.*, с. 25–31, черв. 2023. Дата звернення: 11 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.33099/2304-2745/2023-1-77/25-31

[2] О. Лактіонов та Н. Педченко, “Концепція визначення рівня готовності робототехнічних систем до виконання бойових завдань”, *Вісн. Хмельн. нац. ун-ту*, т. 1, № 5, с. 160–165, 2023.

УДК 004.94:519.85

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЛОБАЛЬНИХ ТА ЛОКАЛЬНИХ ОПТИМУМІВ У ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Литвиненко О. Є., Кашкевич С.О.
(svitlana.kashkevych@npp.kai.edu.ua)
Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)

У роботі розглядаються підходи до моделювання унімодальних та мультимодальних функцій в задачах оптимізації. Окрему увагу приділено визначенню глобальних і локальних оптимумів, а також стаціонарних точок. Проведено комп'ютерне моделювання функцій та здійснено аналіз їх властивостей. Результати можуть бути використані для дослідження складних процесів у технічних та інформаційних системах.

Одним із важливих напрямів сучасного математичного та комп'ютерного моделювання є дослідження оптимізаційних задач. Особливу складність становлять задачі з мультимодальними функціями, які мають декілька локальних оптимумів. У таких випадках необхідно застосовувати не лише класичні методи (градієнтний спуск, метод Ньютона), але й глобальні підходи (генетичні алгоритми, ройові методи, модифікації методу гілок і меж).

Унімодальною називається функція $f(x)$, яка в області допустимих рішень (ОДР) має єдиний оптимум (мінімум або максимум). Якщо таких оптимумів в ОДР декілька, то функція є мультимодальною.

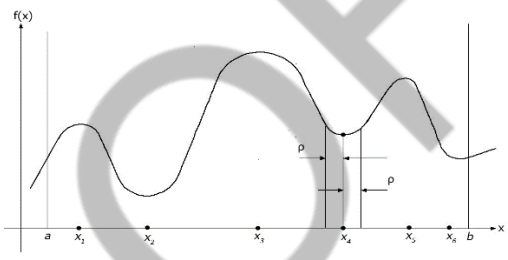


Рис.1. Мультимодальна функція

Для ілюстрації властивостей унімодальних функцій було проведено чисельне моделювання. Для проведення чисельних експериментів було використано мову програмування Python та бібліотеки NumPy і Matplotlib.

Рис.2. Унімодальна функція

Глобальним мінімумом називають мінімальне значення функції $f(x)$ на всій області допустимих розв'язків *R*:

$$f(x^*) = f_{\min} = \min\{ f(x); x \in R\},$$

НТБОНТУ

де x^* – вектор значень незалежних змінних, який надає функції $f(x)$ мінімальне значення на R:

$$x^* = \arg\min_{x \in R} f(x).$$

Локальним мінімумом називають мінімальне значення функції $f(x)$ в околі R_0 деякої точки $x \in R$:

$$f'(x^*) = f'_{\min} = \min\{ f(x); x \in R_0 \}, \text{ де}$$

$$x^* = \arg\min_{x \in R_0} f(x);$$

$$R_0 = \{ x \in R : |x^* - x| \le \rho \};\ \rho \text{ – радіус околу } R_0.$$

Стаціонарні точки. Вектори незалежних змінних, де функція досягає екстремальних значень, утворюють множину стаціонарних точок. Вивчення цих точок дозволяє побудувати карту можливих оптимальних рішень.

Висновки. В роботі було проведено дослідження властивостей унімодальних та мультимодальних функцій в задачах оптимізації. Показано, що унімодальні функції характеризуються наявністю єдиного глобального оптимуму, що спрощує процес їх аналізу та розв'язання класичними методами. Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило доцільність застосування чисельних експериментів у дослідженні складних процесів. Отримані результати можуть бути використані для подальших теоретичних досліджень і в прикладних задачах, зокрема у сфері технічних та інформаційних систем.

Список використаної літератури

1. Kashkevich, S., Litvinenko, O., Shyshatskyi, A., Salnyk, S., Velychko, V. The method of self-organization of information networksin the conditions of the complex influence of destabilizing factors. Сучасні інформаційні системи. 2024. Т. 8, № 3. С. 59–79. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07 .

2. Olexander Litvinenko, Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Serhii Neronov, Ganna Plekhova. The method of self-organization of information networks in the conditions of destabilizing influences . Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 3–34. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7.ch1.

3. Методи оптимізації рішень: навч. посіб. / О. Є. Литвиненко, О. М.Супрун. – К.: НАУ, 2024. – 184 с.

4. Литвиненко О. Є. Декомпозиційний метод обчислення ваго¬вих коефіцієнтів бінарної нейронної мережі / О. Є. Литвиненко, Д. П. Кучеров, М. М. Глибовець. – Кібернетика та системний аналіз, 2022. – Т. 58, № 6. С. 45–53.

5. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 202. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9.

УДК 004.94:519.876

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВАРТОСТІ АКЦІЙ НА ОСНОВІ LSTM-МЕРЕЖ ТА СЕНТИМЕНТ-АНАЛІЗУ НОВИН

Маковій А.С., Лютенко І.В.
(alina.makovii@cs.khpi.edu.ua, iryna.liutenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У тезах досліджується гібридний підхід до прогнозування вартості акцій, що ґрунтується на інтеграції числових і текстових даних. Обґрунтовано актуальність застосування моделей глибокого навчання (LSTM і FinBERT) для аналізу емоційного забарвлення фінансового новинного фону. Основна мета полягає в експериментальному підтвердженні того, що врахування поведінкового фактора (сентименту) підвищує точність прогнозування за метрикою RMSE. Запропоновано архітектуру, реалізовану на базі Node.js і TensorFlow.js, яка поєднує LSTM для аналізу часових рядів та донавчену трансформерну модель (BERT) для класифікації тональності. Очікується, що такий комплексний підхід дозволить отримувати більш надійні прогнози в умовах ринкової волатильності [1,2].

Вступ. Фондові ринки характеризуються високою динамічністю, а також високою чутливістю до зовнішнього середовища. Прогнозування цін на акції є складним завданням, оскільки на них впливають не тільки показники минулої ціни, але й інформаційне поле: новини, чутки, висловлювання впливових людей, настрої мас.

Традиційні моделі, які використовуються для прогнозування, базуються виключно на часових рядах (ARIMA, Prophet, GARCH) та не завжди справляються з поставленим завданням, оскільки спираються тільки на історичні дані, ігноруючи новинний фон, який формує ринкову динаміку [1]. У той же час, останні досягнення в галузі машинного навчання – зокрема, рекурентні нейронні мережі (LSTM) та трансформери (BERT, FinBERT) – відкривають можливість комплексного моделювання таких факторів [2, 4].

Постановка задачі. Все вищезазначене призводить до необхідності створення гібридної моделі, яка буде аналізувати різнорідні дані, що дозволить збільшити точність та надійність очікуваного прогнозу.

Метою роботи є розробка концепції гібридної моделі, яка враховуватиме як числові історичні дані фінансових показників, так і сентимент новинного потоку з метою поліпшення якості прогнозу вартості акції.

Методологія вирішення задачі.

Запропонований підхід включає два основних модулі.

1. LTSM модуль для аналізу часових рядів котирувань і формування прогнозу майбутнього значення. Математична основа LSTM базується на гейтах забуття, входу та виходу, наприклад, гейт забуття описується наступною формулою:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

де σ – сигмоїдальна функція активації, W_f – матриця ваг, h_{t-1} – попередній прихований стан, x_t – вхідні дані, b_f – зсув.

2. Модуль сентимент-аналізу для аналізу новинних заголовків і статей із застосуванням FinBERT моделі, попередньо навченої на фінансових текстах. Індекс сентименту обчислюється як середнє значення тональності за формулою:

$$S_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} s_i$$

де s_i – оцінка тональності для i-ї новини (від -1 до +1), N – кількість новин за день.

Модель планується реалізувати у середовищі Node.js із використанням бібліотек TensorFlow.js для побудови нейронних мереж. Такий вибір технологічного стеку дозволяє виконувати обчислення як на серверній, так і на клієнтській стороні, що є корисним для подальшої інтеграції в аналітичні веб-додатки.

Вимоги до ПЗ. Розроблюване програмне забезпечення повинно обробляти великі обсяги даних у режимі реального часу, бути сумісним із веб-платформами, мати високу обчислювальну ефективність для нейронних мереж і підтримку інтеграції з API джерел новин. Використання

Node.js і TensorFlow.js передбачає легкість розгортання на клієнтській і серверній стороні, а також потребу в оптимізації для роботи з великими наборами текстових і числових даних.

Архітектура моделі включає:

1) вхідний шар із часових рядів (ціни, обсяги) та текстових даних (новини),
2) попередню обробку з FinBERT для генерації індексу сентименту S_t,
3) інтеграцію S_t як додаткового входу до LSTM,
4) вихідний шар із прогнозованим значенням ціни.

Ця структура адаптована до реального часу з урахуванням волатильності ринку.

Очікувані результати. На основі подібних досліджень [1, 2] гібридна модель може покращити точність прогнозування цінових коливань порівняно з традиційними LSTM-моделями, які використовують лише ринкові дані.

Ефективність планується оцінювати за метриками RMSE, MAE, Accuracy та F1-score, де RMSE обчислюється за формулою:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2},$$

де y_i– реальне значення, $\hat{y}_i$– прогнозоване значення.

Ефективність даної роботи буде підтверджено шляхом порівняння результатів гібридної моделі та базовою з одним LTSM модулем.

Висновки. Інтеграція методів аналізу текстів у моделі прогнозування часових рядів дозволяє врахувати емоційний та поведінковий контекст ринку [3]. Запропонований підхід демонструє потенціал для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття інвестиційних рішень. У майбутньому планується розширити дослідження шляхом додавання даних із соціальних мереж (Twitter, Reddit) і тестування моделі на різних секторах ринку.

Список використаної літератури

[1] P. Sethi, R. Kumar, S. K. Singh, S. Verma, and A. Kumar, "A Hybrid Framework Using PCA, EMD and LSTM Methods for Stock Market Price Prediction with Sentiment Analysis," Applied Sciences, vol. 12, no. 21, Art. no. 10823, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/10823.

[2] P. Kumar and A. Agrawal, "Stock price prediction using BERT and GAN," arXiv preprint arXiv:2107.09055, 2021. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2107.09055.

[3] J. Lee, H. Lee, and J.-H. Kim, "A Hybrid Long Short-Term Memory with a Sentiment Analysis System for Stock Market Forecasting," Electronics, vol. 14, no. 14, Art. no. 2753, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2079-9292/14/14/2753.

[4] O. Shobayo, S. Adeyemi-Longe, O. Popoola, and B. Ogunleye, "Innovative Sentiment Analysis and Prediction of Stock Price Using FinBERT, GPT-4 and Logistic Regression: A Data-Driven Approach," arXiv preprint arXiv:2412.06837, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2412.06837.

УДК 123.45

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГРУП СТУДЕНТІВ У ОСВІТНІХ ДАНИХ

Матвійчук О., Мамчич Т. І. (tetyana.mamchych@gmail.com)
Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)

У дослідженні описано використання методів чіткої та нечіткої кластеризації для групування поведінки студентів за опитуванням ENAPE 2021. Традиційні методи кластеризації часто припускають, що кожен учень строго належить до однієї групи, що може надмірно спрощувати складність реальних освітніх процесів. Натомість, метод нечітких С-середніх (FCM) дозволяє більш гнучко групувати інформацію, де учні можуть одночасно належати до кількох кластерів з різним ступенем належності. Результати дослідження описують та інтерпретують знайдені кластери та можливості використання алгоритмів на аналогічних даних в українському контексті.

Постановка проблеми. У сучасних дослідженнях освіти дані часто мають багатовимірну структуру, високу варіативність та невизначеність, що ускладнює їхній аналіз традиційними методами. Чіткі алгоритми кластеризації, як k-means, не завжди здатні адекватно описати поведінку студентів, оскільки останні можуть одночасно проявляти ознаки кількох груп — наприклад, мати середні академічні результати, але високий рівень мотивації чи доступу до ресурсів. Це створює потребу у використанні гнучкіших методів, здатних враховувати «проміжну» належність об'єктів до кількох кластерів.

Перелік вирішених завдань. У дослідженні було проаналізовано метод нечіткої кластеризації Fuzzy C-Means (FCM) [14] як інструмент виявлення прихованих структур у складних освітніх даних. На основі набору даних ENAPE 2021 (National Survey on Educational System Access and Retention in Mexico) [5] було здійснено: кластеризацію студентів за соціально-економічними, мотиваційними та академічними характеристиками; порівняння нечіткого підходу з традиційним методом k-means; побудову нечітких профілів студентів із урахуванням різного ступеня належності до груп; аналіз факторів, що впливають на ризик відсіву з навчання.

Суть дослідження. Метод Fuzzy C-Means дозволяє більш гнучко описати поведінку студентів, надаючи кожному з них певну міру належності до кількох груп. Це забезпечує точніше моделювання освітніх процесів, де відмінності між студентами не завжди є різкими. Для побудови моделі кластеризації було здійснено відбір релевантних змінних, що найбільш повно відображають освітні процеси та психоемоційний стан учнів. До переліку відібраних характеристик увійшли:

- способи оцінювання (ev_exam, ev_tareas, ev_asist, ev_nula) — іспити, домашні завдання, відвідуваність, відсутність оцінювання;
- формати навчання (med_plataform, med_clases_v, med_presencial, med_mail_RS) — традиційне, дистанційне, змішане навчання з використанням платформ чи електронної пошти;
- технології, використані для навчання (t_smartphone, t_laptop, t_PC, t_tablet, t_TV) — смартфони, ноутбуки, стаціонарні ПК, планшети, телевізори; психоемоційні стани (estres, depresion, desespero, antisocial) — рівень стресу, депресії, відчаю, соціальної дезадаптації;
- результативність і участь у навчанні (recursado, extraord, t_horas) — повторне проходження курсів, додаткові іспити, витрачений навчальний час.

Висновки. У результаті дослідження здійснено аналіз даних методом Fuzzy C-Means, проведено оцінювання якості кластеризації, визначено оптимальні параметри — k = 3 та рівень фазифікації m = 1.1. Інтерпретація кластерів показала три основні групи студентів:

1. Онлайн-відмінники під стресом. Мають високі оцінки за іспити та завдання, беруть активну участь в онлайн-навчанні, але мають підвищений рівень стресу, депресії та відчаю.
2. Спокійні та ефективні відмінники. Мають найвищі академічні результати, мінімальний рівень емоційних проблем, також ефективно використовують цифрові технології.
3. Традиційні відвідувачі занять із нижчими результатами. Орієнтуються на очне навчання, мають стабільний емоційний стан, але нижчі показники успішності.

Отже, методи кластеризації дозволили не лише структурувати освітні дані, але й виокремити групи студентів із різними навчальними профілями та емоційним станом. Це підтверджує потенціал використання нечіткої кластеризації для складних освітніх даних. У перспективі подібні підходи можуть бути застосовані до українських освітніх досліджень, що матиме велике практичне значення для покращення навчального процесу, підтримки студентів і розробки персоналізованих стратегій навчання.

Список використаної літератури

[1] "Fuzzy Clustering – MATLAB & Simulink," MathWorks. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-clustering.html.

[2] S. Miyamoto, Algorithms for Fuzzy Clustering: Methods in c-Means Clustering with Applications (Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol. 229). Springer, 2008, 258 p.

[3] N. Grover, "A study of various Fuzzy Clustering Algorithms," International Journal of Engineering Research, vol. 3, no. 3, pp. 177–181, 2014. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/288943313_A_study_of_various_Fuzzy_Clustering_Algorithms.
[4] М. К. Фалько and А. Ю. Шафроненко, “Нечіткий метод кластеризації даних з використанням еволюційної процедури,” in V Міжнародна наукова конференція «Інновації та науковий потенціал світу», 2024.
[5] R. Cardoso, “National Survey on School Dropout,” Kaggle. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/renecardoso/national-survey-on-school-dropout/data.

УДК 004.42:628.98

ЗАДАЧА ЗАСТОСУВАННЯ НИЗКИ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ ТА КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Мельников О. Ю., Малюкін О. В. (alexandr@melnikov.in.ua)
Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)

Сформульовано задачу розрахунку раціонального розміщення джерел світла як сукупності двох окремих задач: розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення, а також розрахунок рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Освітлення є ключовим фактором, що впливає на життя людей у різних середовищах. Правильний розрахунок рівнів освітлення є важливим для забезпечення оптимальних умов роботи, навчання та відпочинку. З цією метою автори проаналізували основні методи розрахунку рівнів освітлення, їх переваги та недоліки, а також сучасні підходи до оцінки освітлення [1–3].

Автори поставили та розв’язано задачу створення спеціалізованого додатка – інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення [4–6], у роботі [7] наведено три приклади використання розробленої системи: для «пустого» поля, для умовної квартири та для вулиці. Спочатку створена система використовувала тільки один метод, тому у роботі [8] було наведено низку м**етодів розрахунку освітленості: метод точкових джерел світла («поточковий метод»)**, який базується на використанні формули для розрахунку освітленості від точкового джерела світла; метод люмена, або метод «зональної порожнини», що є спрощеним методом для розрахунку освітлення в приміщенні; метод Сампнера, що підходить для обчислення як для прямого, так й непрямого освітлення, і базується на тому, що все світло, яке входить в простір, має або покинути його, або бути поглинутим однією з поверхонь простору; м**етоди розподілу світла**, який враховують не тільки точкові джерела, а й розподіл світла від лінійних або площинних джерел тощо. Після оновлення системи користувач має можливість обирати кращий метод, на його погляд, у кожному випадку.

Але перед розрахунком рівня освітлення потрібно здійснити розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла. Згідно з [9, 10], для розрахунку кількості джерел освітлення в приміщенні використовуються три основні методи: світловий потік (коефіцієнт використання); питома потужність; точковий. Метод світлового потоку зазвичай використовується для розрахунку потужності освітлювальної установки з рівномірним розподілом світильників загального освітлення по горизонтальній площині, коли немає великих об'єктів. Цей метод враховує як пряме, так і відбите світло. У цьому методі апроксимується перехід від середнього до мінімального освітлення. Метод питомої потужності використовується в тих самих випадках, що й метод світлового потоку. Цей метод вважається наближеним, оскільки простота розрахунків досягається ціною деякої втрати точності. Загальне місцеве освітлення, а також загальне рівномірне освітлення у випадках значного затінення слід розраховувати точковим методом. Цей же метод використовується для розрахунку освітленості похилих поверхонь та відкритих просторів, а також місцевого освітлення. У точковому методі відбита компонента освітлення враховується приблизно.

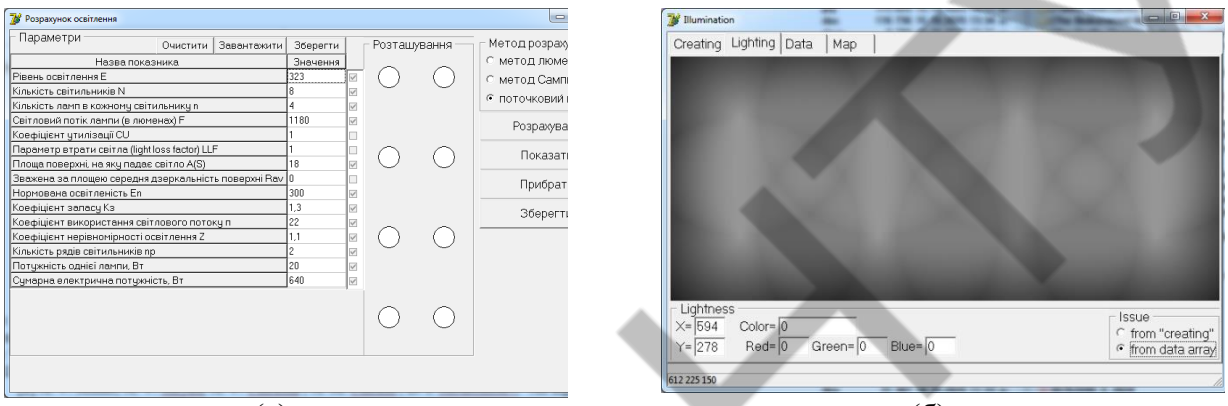
Сформульовано задачу розрахунку раціонального розміщення джерел світла як сукупності двох окремих задач:

– розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення;

– розрахунок рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Обидва розрахунки мають поєднатися в інформаційній системі – програмному застосунку, який би дозволив здійснити розрахунки кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення, а також рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Алгоритм дій користувача є наступним: спочатку здійснюється розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла у першому модулі системи, далі результати передаються у другий модуль системи, де користувача зможе як перевірити рівень освітлення у кожній точці приміщення, так і здійснити «переміщення» джерел, якщо це буде потрібно.



(а) (б)

Рисунок 1 – Приклад роботи системи: модулі розрахунку кількості (а) та освітленості (б)

Список використаної літератури

[1] Є. М. Глінська, “Метод та програмне забезпечення оптимального розміщення джерел світла в приміщенні: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»”, Київ, 89 с., 2019. URI: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3fadf3ca-c15b-41cc-b06d-02e0bc7c06d3/content

[2] A. V. Sender, A. V. Shiyan, A. V. Chirkina , A. M. Chirkin , D. I. Mouromtsev, “An algorithm for search automation of lighting sources optimal arrangement in urban environment”, *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, Vol. 18, No. 1, pp. 122–132, 2018. DOI: https://doi.org/10.17586/2226-1494-2018-18-1-122-132

[3] Д. А. Боровський, “Обґрунтування інформаційної системи адаптації вуличного освітлення: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Поліський національний університет”, Житомир, 40 с. 2023. — URI: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/14361/1/Borovsky_DA_KR_141_2023.pdf

[4] О. В. Малюкін, О. Ю. Мельников, “Задача створення інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення”, *Проблеми та перспективи розвитку освіти, науки та технологій в умовах воєнного стану: зб. наук. пр. за матеріалами IV Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. м. Бережани, 20 березня 2024 року*, Бережани: ВСП «Бережанський фаховий коледж НУБіП України», с. 199–202, 2024.

[5] О. Ю. Мельников, О. В. Малюкін, “Моделювання розрахунку рівня освітлення”, *Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції / М-во освіти і науки України; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв*, Київ: Видавничий центр КНУКіМ, с. 107–110, 2024.

[6] О. В. Малюкін, О. Ю. Мельников, “Проєктування інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення”, *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р.,* Одеса: Видавництво ОНТУ, с. 245–247, 2024.

[7] О. Ю. Мельников, О. В. Малюкін, “Інформаційна система для розрахунку рівня освітлення”, *Інформаційні технології та цифрова економіка: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції / М-во освіти і науки України; Державний університет інфраструктури та технологій,* Київ: Видавничий центр ДУІТ, с. 117–119, 2024.

[8] О. В. Малюкін, О. Ю. Мельников, “Аналіз методів розрахунку рівня освітлення”, *Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, Одеса, 17-18 квітня 2025 р.***,** Одеса: Видавництво ОНТУ, с. 24–26, 2025.

[9] Г. Л. Юсіна, Л. В. Дементій, “Організація роботи студентів з виконання розділу «Охорона праці» дипломних проектів”, Краматорськ: ДДМА, 88 с., 2009.

[10] Л. В. Дементий, Г. Л. Юсіна, “ Охорона праці в автоматизованому виробництві. Забезпечення безпечної праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів”, Краматорськ: ДДМА, 300 с., 2007.

UDC 004.9

APPLICATION OF SIR MODELS TO PREDICT THE SPREAD OF CONTENT ON SOCIAL NETWORKS USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES

Mysiuk I.V. (iruna.musyk8a@gmail.com)
Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

This paper analyses the application of epidemiological models, such as SIR, SEIR, and SIS, to the study of user behavior in social networks, identifies, studies, and reveals how parameters β and γ influence the spread and attenuation of content. The paper considers the dynamics of content virality, assesses the impact of different network structures and user interactions on information dissemination, and identifies the effectiveness of integrating machine learning techniques for parameter optimization and prediction accuracy.

In social networks, among the usual actions of users today, the process of disseminating information is becoming more and more noticeable, which has signs of the spread of the epidemic and traditional forecasting methods do not take into account complex interactions between users, while the SIR, SEIR and SIS models allow you to describe the dynamics of content virality and investigate the infection of systems. The main problem is to accurately determine the parameters of the user behavior model and adapt them to real data, which requires the use of machine learning methods.

The main goal of the work is to analyze the processes of dissemination of information "virality" in social networks using epidemiological models to predict the dynamics of user activity. The key aspect is to study the influence of β (probability of spread) and γ (probability of loss of interest) parameters on the speed of distribution and subsequent extinction of content. which allows you to adapt the models to the specifics of specific social platforms. An additionally important task is the application of machine learning methods to optimize parameters, take into account complex interactions between users and increase the accuracy of predictions regarding the likelihood of viral effects or attenuation of information flows.

The application of models such as SIR, SEIR and SIS to analyze behavior in social networks is a very interesting and relevant direction, since many processes in social networks (dissemination of information, rumors, ideas or even viral content) can be modeled using these epidemiological models. Thus, it is possible to investigate the spread of information or viral content using a SIR model with three agent (user) states: susceptible (S), infected (I), and recovered (R).

In this context, vulnerable users may be potentially interested in new content, infected users are those who actively share or react to content, and recovered users are those who have unfollowed or are no longer interested.

In addition, an intermediate exposure state (E) can be introduced into the SEIR model, which can be matched by people who have just begun to be interested in content or rumors, but are not yet actively

disseminating them. The SIS model is useful for modeling the behavior of people who may constantly switch between interests, making them susceptible to new rumors or ideas.

Regarding the popularity and relevance of this topic, it should be noted that the article [1] considers models of information dissemination in the context of information warfare, draws attention to the importance of modeling in the context of modern threats. Instead, the article[2] applies epidemiological models to the analysis of the spread of information on Twitter, in particular in the context of rumors and information viruses. Similarly, [3] the research focuses on the SIR model for estimating the dissemination of awareness information among users, using mathematical analysis to improve understanding of diffusion dynamics. The paper [4] emphasizes the importance of the social network for the accuracy of epidemiological models, pointing out the need to take into account the structure of connections when modeling the dynamics of user activity.

An analysis of popularity dynamics is carried out, using these models to model and predict the popularity of certain content or campaign over time. Parameters such as the probability of infection (beta) and the probability of recovery (gamma) can be adapted to the specific characteristics of the network (how quickly users will actively distribute this or that content and how long they will remain interested).

Another type of task using SIR models is to spread rumors or fake news. In particular, it is possible to build a model for spreading fake news, where the "infected" are users who have already spread fake news, and the "recovered" are users who have stopped spreading it or believing it.

Predicting the level of network activityallows you to explore how the number of active users on the network will change over time, whether the news or campaign will become "viral", whether it will quickly stop spreading.

The algorithm consists of several steps. The first of them is a description of the user's interaction (likes, reposts, comments) directly to social networks. Using the real data obtained in [5] with user actions, publication texts, and the time of posting users from social networks Facebook and Instagram, it is possible to predict how the number of active users (infected) will change in the future, as well as optimize the model parameters to better describe the real dynamics. The final step is to improve accuracy using optimization techniques (minimizing error).

According to Fig.1, we see the selection of Beta and Gamma parameters in the content distribution model is an important stage in accurately predicting the dynamics of distribution in social networks, and for this it is necessary to take into account both real data and theoretical aspects. One of the effective methods is the empirical approach, where the optimization of parameters is carried out by minimizing the error between real data and simulation results, which allows you to adjust the model based on real user activity. Modeling using network statistics, such as the average number of connections between users or the degree of nodes, allows for a more accurate estimate of the beta version based on network density and gamma based on the speed at which users stop distributing content. Analysis of user behavior in social networks, in particular the study of examples of news or rumors, allows you to assess the speed of content distribution and clarify the parameters of beta and gamma, according to specific conditions. For more accurate parameter selection, machine learning techniques such as neural networks or decision trees can be applied, which allow a large number of factors and interactions between users to be taken into account, increasing the accuracy of the simulation.

Technologies such as NumPy and SciPy for calculations and numerical methods, as well as Matplotlib and Seaborn for visualization of results, are used to solve the problem of modeling content distribution in social networks. The Pandas library is used for data processing, and Scikit-learn is used for parameter optimization and machine learning, with the ability to use TensorFlow/PyTorch for deep learning.

Thus, the analysis confirms that epidemiological models, in particular the SIR framework, are an effective tool for studying and predicting the dynamics of content distribution in social networks. The parameters of β and γ play a decisive role in the formation of the trajectory of information dissemination: β determines the intensity of acceptance and distribution, and γ characterizes the rate of user withdrawal. It depends on their interaction whether the information acquires viral properties or quickly loses its relevance. The results demonstrate that higher β values accelerate the growth of active users, which corresponds to the rapid viral spread of news, rumors, or campaigns. Conversely, increased γ values shorten the life cycle of information on the network by accelerating the transition of users to an inactive state. This indicates that the effectiveness of information campaigns strongly depends not only on the attractiveness of the content, but also on the structural and behavioral features of the network.

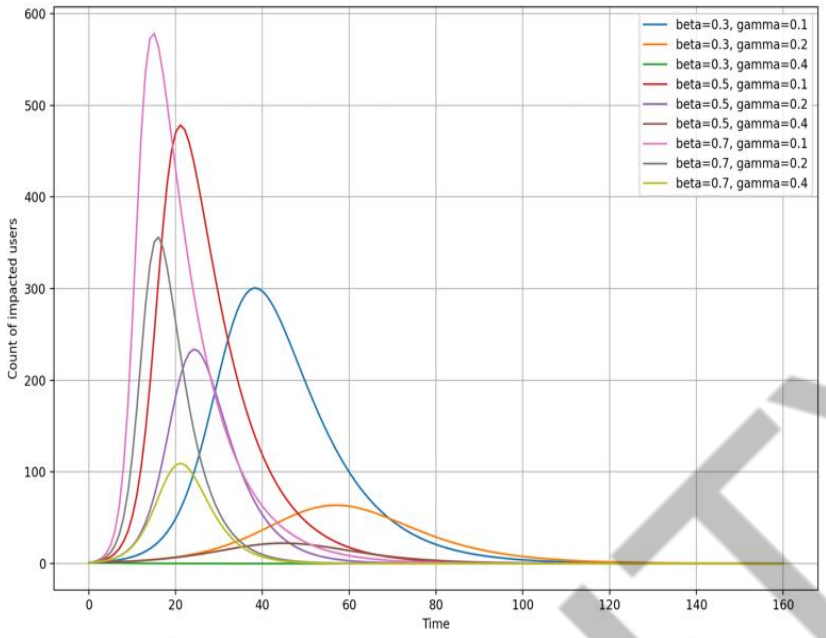


Fig. 1 – Beta and Gamma parameters in the content distribution model

In addition, the integration of data on real user activity in SIR-type models, combined with optimization and machine learning techniques, greatly improves the accuracy of prediction. This approach allows you to identify critical thresholds β and γ at which information acquires viral potential, as well as evaluate scenarios related to the spread of fake news or targeted information campaigns.

Thus, the proposed methodology allows not only to model the dynamics of content distribution, but also to develop practical recommendations for managing information flows in social networks. This can be especially valuable for marketing strategies, countering misinformation, and analyzing social media user engagement patterns.

References

[1] A. I. Gizun and V. S. Hriha, “Analysis of some well-known models of information spread in social networks in the aspect of information warfare,” National Aviation University Journal, vol. 1, no. 77, p. 18651, 2024, doi: 10.18372/2073-4751.77.18651.

[2] N. K. Sivaraman, S. Baijal, and S. B. Muthiah, “On the usage of epidemiological models for information diffusion over twitter,” Social Network Analysis and Mining, vol. 13, no. 133, 2023, doi: 10.1007/s13278-023-01130-8.

[3] K. M. A. Kabir, K. Kuga, and J. Tanimoto, “Analysis of SIR epidemic model with information spreading of awareness,” Chaos, Solitons & Fractals, vol. 119, pp. 118–125, 2019, doi: 10.1016/j.chaos.2018.12.017.

[4] S. Johnson, “Epidemic modelling requires knowledge of the social network,” Journal of Physics: Complexity, vol. 5, no. 1, p. 01LT01, 2024, doi: 10.1088/2632-072X/ad19e0.

[5] I. Mysiuk, “Evaluation of user activity parameters in social networks using machine learning tools,” Stuc. Intelekt., vol. 29, no. 4, pp. 228–232, 2024, doi: 10.15407/jai2024.04.228.

УДК 651.3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАПОВНЕННЯ РІДИНОЮ РЕЗЕРВУАРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ

Михайлов А. Г. (nirsxai@bigmir.net)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

В тезах розглядається проведення числового моделювання нелінійних процесів управління заповненням резервуарів рідиною та забезпечення точності заповнення при використанні дискретних вимірювачів. Отримані результати дозволили дати оцінки збігу процесу управління заданим рівнем рідини; встановлені параметри, що забезпечують задану стійкість системи.

Завдання дослідження_полягає в проведенні числового моделювання дискретних процесів заповнення спарених резервуарів з рідиною і оцінка забезпечення точності і швидкості заповнення при використанні дискретних вимірювачів в нелінійній системі управління. Поставлене завдання вирішується шляхом створення математичних моделей і аналізу результатів числового моделювання. Отримані результати: розроблена структурна схема моделювання і дана оцінка збігу процесу управління заданим рівнем рідини; встановлені коефіцієнти посилення, що забезпечують задану стійкість системи. Створена дискретна математична модель процесу заповнення резервуарів. Проведені числові експерименти з дослідження часу заповнення резервуарів при заданій точності. Моделювання виконувалося з використанням програмного середовища MatLab/Simulink. Отримані результати досліджень дозволяють провести дослідження параметрів застосовуваних дискретних вимірювальних пристроїв. з різними рівнями дискретизації. Як показали результати, вимірювачі з відносною дискретністю більше десяти одиниць, достатні для сталої роботи системи. Наведені графіки, що показують збіжність процесу контролю і управління рівнем рідини в спарених резервуарах.За результатами моделювання можна зробити висновок про те, що розроблена схема моделювання дозволяє отримувати коефіцієнти управління для забезпечення точності рівня заповнення резервуарів.

Постановкою проблеми. На сьогоднішній день процес управління рівнем рідини в резервуарах зазвичай використовує нелінійні клапани, тому моделювання процесів заповнення рідиною резервуарів є актуальною задачею для технічних систем .

Контроль і вимірювання рівнів рідини в резервуарах є класичною задачею при управлінні процесами заповнення заданого об'єму [1]. Більшість технічних процесів передбачає почергове заповнення рідиною пустих резервуарів, витрачання рідини з вибраного резервуара, перекачування рідини між цими об'ємами і повторне заповнення першого резервуара [2].

Перелік вирішених завдань. Дослідженню підлягає дискретний процес заповнення резервуарів з рідиною який може бути проведений шляхом числового моделювання та оцінювання точності заповнення резервуарів при використанні дискретних вимірювачів в нелінійній системі управління. Поставлене завдання вирішується створенням функціональних діаграм на основі математичних моделей та моделювання за допомогою програмного середовища Simulink або аналогічного середовища.

Необхідно виконати моделювання роботи нелінійної системи в якій є резервуар, що заповнюються за допомогою джерела рідини. Резервуари сполучаються дискретним вентилем. Вимірювання рівня здійснюється дискретними датчиками.

Моделювання роботи заповнення резервуарів пропонується виконати в системі *Simulink.*

Схему моделювання можна представити так (рис. 1.).

Настройка параметрів системи управління дозволила отримати стійку модель, результати якої представлені на графіках.

Таким чином, отримані результати моделювання по дослідженню параметрів дискретних вимірювальних пристроїв з різними рівнями дискретизації.

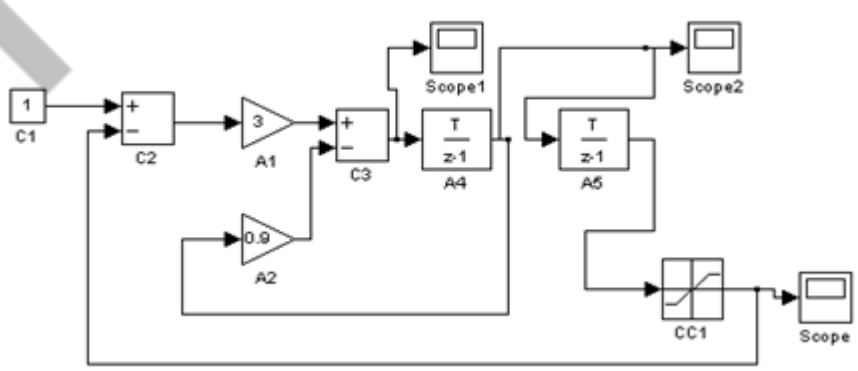


Рис. 1 - Блок-діаграма моделювання

Побудова стійкої моделі системи є важливим результатом, що дозволяє виконувати подальші дослідження. На рис. 2 наведений графік збіжності процесу контролю і управління рівнів рідини в резервуарі.

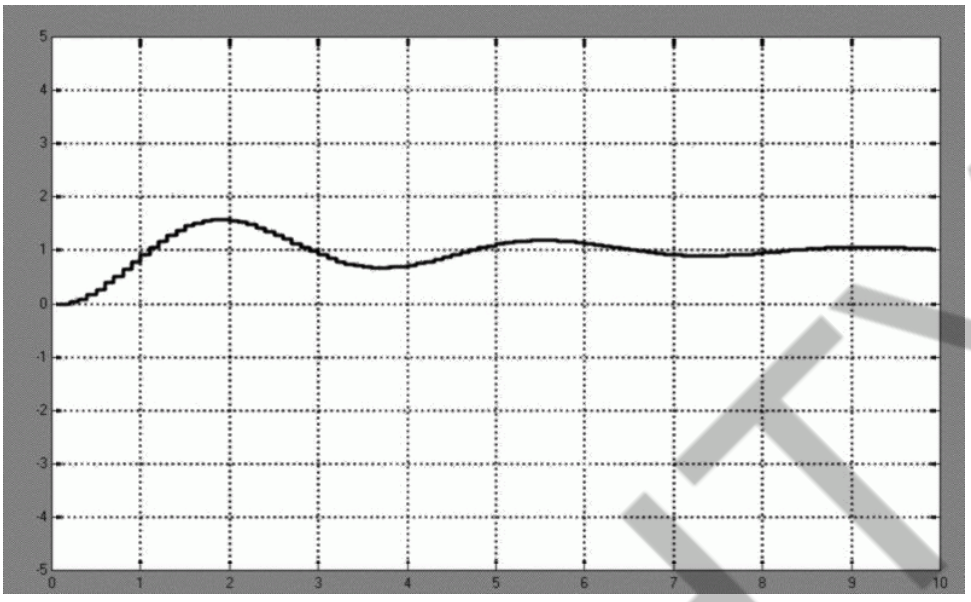


Рис 2 - Моделювання процесу наповнення наповнення резервуару

Список використаної літератури

[1] Bhagyashri, Gurjar. Parameter estimation based robust liquid level control of quadruple tank system — Second order sliding mode approach [Text] / Bhagyashri, Gurjar, Vinit, Chaudhari, Shailaja, Kurode// Journal of Process Control. – 2021.– Volume 104. – P. 1-10. - 2021.05.009.

[2] Vadym, Stupnytskyy. Modeling and simulation of machined surface layer microgeometry parameters [Text]/ Vadym, Stupnytskyy, Egidijus, Dragašius, Saulius, Baskutis, She, Xianning //Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2022. – Volume 8. – No 1. – pp. 1-11. - 2022.01.001.

УДК 62.64

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІКИ FPV-ДРОНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB GUI ТА КВАТЕРНІОННОГО ІНТЕГРАТОРА

Нікулін С. С., Заболотний О. В. (s.s.nikulin@khai.edu, o.zabolotnyi@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

У роботі представлено MATLAB-комплекс для моделювання та інтерактивного дослідження обертальної динаміки FPV-дронів. Модель враховує рушійні моменти від двигунів, гіроскопічні ефекти та демпфування. Для уникнення сингулярностей орієнтації застосовано кватерніонне представлення, а чисельне інтегрування виконується методом Рунге–Кутти 4-го порядку. Інтерактивний GUI дозволяє змінювати параметри дрона, керувати тягами двигунів у реальному часі, спостерігати часові ряди кутів Ейлера, кутових швидкостей і тяг. Проведено моделювання типових режимів польоту та аналіз впливу геометрії рами й маси батареї на динаміку. Розроблений комплекс є основою для створення HIL-стендів та відлагодження алгоритмів стабілізації.

Постановка проблеми

Розробка точних і наочних моделей динаміки FPV-дронів є актуальним завданням сучасної аерокосмічної інженерії. Реальні експерименти пов'язані з ризиками пошкодження техніки й витратами часу, тому розроблення віртуального дослідницького стенду є способом синтезу безпечного та відтворюваного середовища для перевірки алгоритмів керування [1-4].

Мета і завдання

Метою роботи є створення інтерактивного програмного комплексу для моделювання обертальної динаміки квадрокоптера в середовищі MATLAB [5].

Основні завдання:

а) побудова нелінійної моделі обертального руху із урахуванням моментів двигунів, гіроскопічних та демпфувальних ефектів [6];
б) реалізація інтегратора Рунге–Кутти 4-го порядку та кватерніонного опису орієнтації;
в) створення інтерактивного GUI для зміни параметрів та керування в реальному часі [7];
г) перевірка моделі з використанням реальних конфігурацій FPV-дронів.

Суть дослідження

FPV-дрон розглядають як жорстке тіло з розподіленими масами. Рух описують системою рівнянь Ейлера:

$$\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{I}\boldsymbol{\omega}) = \boldsymbol{\tau},$$

де $\mathbf{I}$— тензор інерції, $\boldsymbol{\omega}$— вектор кутової швидкості, $\boldsymbol{\tau}$— сумарний момент.

Кватерніонна кінематика:

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{1}{2}\boldsymbol{\Omega}(\boldsymbol{\omega})\mathbf{q},$$

забезпечує стійке обчислення орієнтації без сингулярностей.

Для інтегрування застосовано метод Рунге–Кутти 4-го порядку з нормуванням кватерніонів на кожному кроці, що забезпечує чисельну стійкість та високу точність.

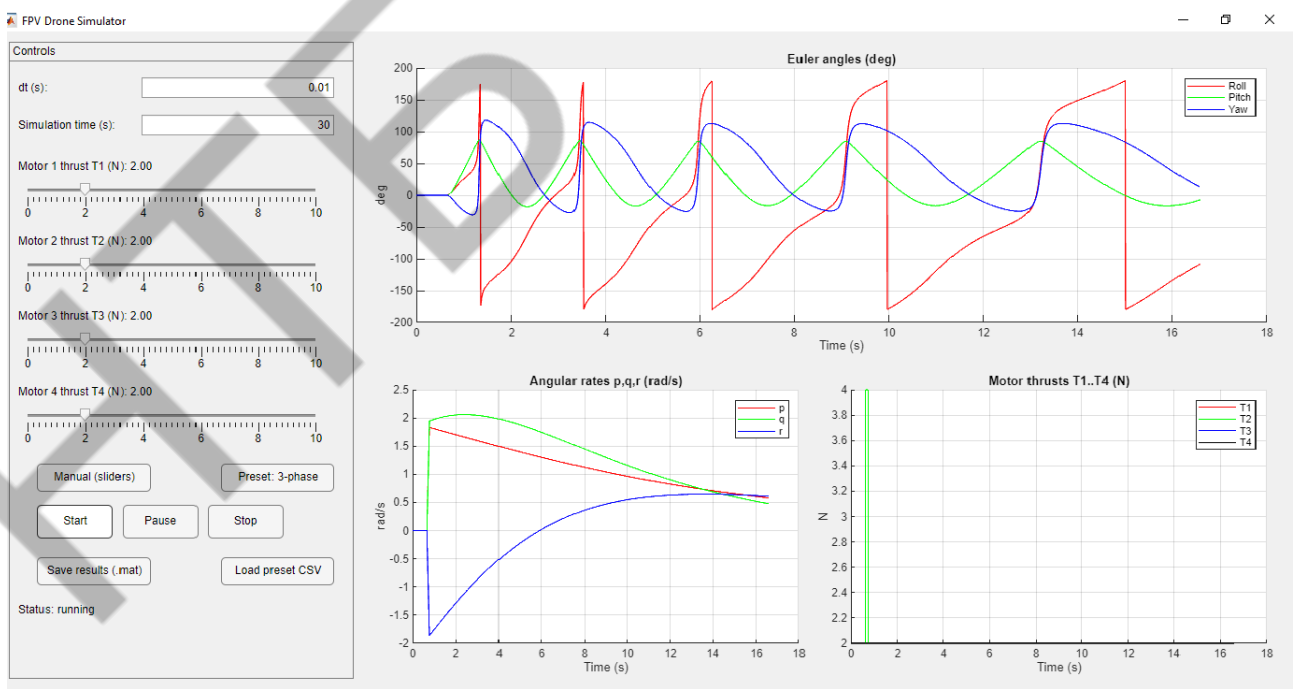
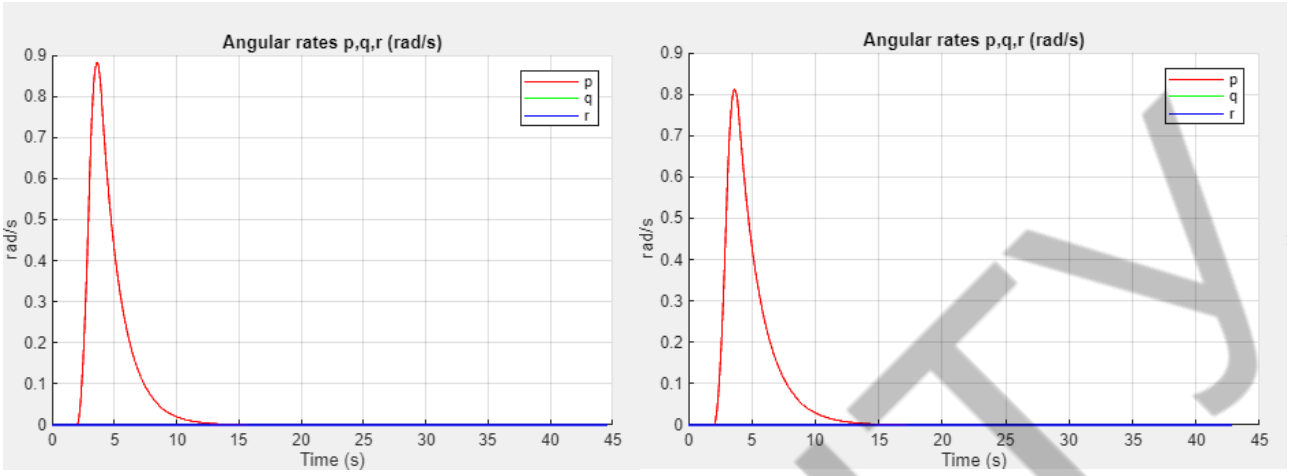


Рисунок 1 – Інтерфейс модуля FPV drone simulation

Інтерфейс створено в MATLAB App Designer (рис. 1). Він містить слайдери керування тягою двигунів, графіки кутів Ейлера та кутових швидкостей, а також режими симуляції (Manual, Preset). Панель праворуч відтворює в реальному часі три графіки: кути Ейлера (крен, тангаж,

рискання), кутові швидкості (p, q, r) та значення тяги для двигунів. Ліва панель містить: слайдери для незалежного задавання значень тяги для кожного з чотирьох двигунів, поля уведення кроку і часу інтегрування, кнопки для обрання режиму керування (Manual або Preset), кнопки для керування симуляцією (Start, Pause, та Stop), елементи для збереження / завантаження даних.



а) б)

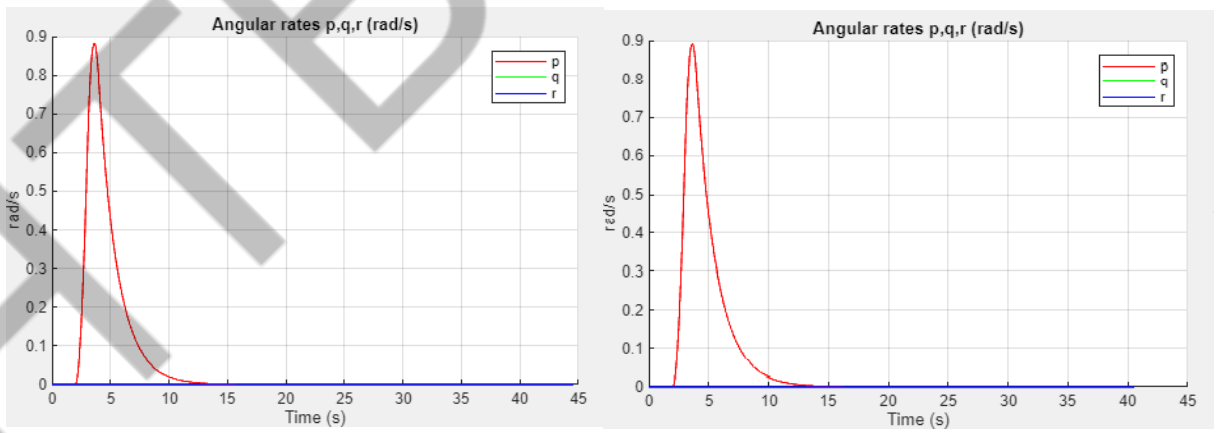
Рисунок 2 – Зміна реакції системи на керівний вплив по крену за умови збільшення маси батареї з 910 г (а) до 1200 г (б)

Результати

Результати моделювання показали:

а) адекватність реакції моделі на диференціальні тяги (крен, тангаж, рискання);
б) вплив маси батареї на інерційність руху: збільшення маси зменшує кутове прискорення (рис. 2);
в) збільшення плеча двигунів (довжини променів рами) підвищує маневровість дрона (рис. 3);
г) збільшення коефіцієнтів демпфування призводить до згладження перехідних процесів.

Імітація реальних маневрів підтвердила стабільність алгоритму інтеграції та відсутність накопичення помилок. Система демонструє реалістичну динаміку в широкому діапазоні кутів, включно з акробатичними перевертаннями.



а) б)

Рисунок 3 – Зміна реакції системи на керівний вплив за креном зі збільшенням відстані від двигунів до центру мас для базової рами (а) і при збільшенні довжини променів на 5 мм (б)

Висновки

Розроблений MATLAB-комплекс дозволяє досліджувати динаміку FPV-дронів у реальному часі та слугує інструментом для інженерних і навчальних цілей. Він поєднує фізичну модель з інтерактивним середовищем керування та візуалізації. Подальший розвиток передбачає інтеграцію

з Arduino та IMU для створення апаратного HIL-стенду та впровадження контролерів стабілізації на рівні GUI.

Список використаної літератури

[1] Нікулін С. С., Заболотний О. В. Технічні аспекти реалізації апаратно-програмного комплексу для тестування fpv дронів мультироторного типу. Automation of technological and business processes. 2025. Т. 17, № 1. С. 70–77. URL: https://doi.org/10.15673/atbp.v17i1.3045 (дата звернення: 26.08.2025).

[2] Study of quadcopter flight dynamics and reactions to controls and disturbances using dedicated test bench / O. V. Zabolotnyi et al. Lecture notes in networks and systems. Cham, 2025. P. 311–324. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94845-9_26 (date of access: 26.08.2025).

[3] Zabolotnyi O. V., Siroklyn V. P., Nikulin S. S. Development of a hardware-software complex for combat quadcopters testing: improving reliability and efficiency in modern military technology. Scientific notes of taurida national V.I. vernadsky university. series: technical sciences. 2024. No. 4. P. 83–90. URL: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/13 (date of access: 26.08.2025).

[4] H. Djizi, Z. Zahzouh та A. Lakehal, “Quadcopter prototype stability analysis using matlab simscape library”, Scientific Bull. Elect. Eng. Fac., т. 22, № 2, с. 38–43, груд. 2022. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.2478/sbeef-2022-0018

[5] V. Alexandrov, I. Rezkov та D. Shatov, “Finite-frequency identification of the quadcopter translation dynamics”, у 2020 24th Int. Conf. System Theory, Control Comput. (ICSTCC), Sinaia, Romania, 8–10 жовт. 2020. IEEE, 2020. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.1109/icstcc50638.2020.9259751

[6] Y. Liu, “Modelling and simulation of quadcopter UAV based on PID control”, Appl. Comput. Eng., т. 75, № 1, с. 202–210, лип. 2024. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.54254/2755-2721/75/20240539

[7] E. Saif та İ. Eminoğlu, “Modelling of quad-rotor dynamics and Hardware-in-the-Loop simulation”, J. Eng., серп. 2022. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.1049/tje2.12152

УДК 004.94+655.5

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Оліярник Т. І. (taras.i.oliiarnyk@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Розглянуто метод оцінювання якості цифрових зображень на основі нечіткої логіки. Показано, що поєднання класичних та нейронних показників із лінгвістичними правилами дає можливість узгодити об’єктивні метрики з суб’єктивним сприйняттям. Представлено структуру нечіткого висновку (фазифікація — база правил — дефазифікація), а також варіант калібрування параметрів за допомогою ANFIS (адаптивна нейро-нечітка система формування висновків). Окреслено переваги для практичних застосувань, зокрема в медіа та ігровій індустрії.

Об’єктивні метрики якості (PSNR, SSIM, VIF) доцільно використовувати у лабораторних умовах, однак вони не завжди корелюють із людським сприйняттям при змішаних спотвореннях. На практиці висновок про якість формується через кілька взаємопов’язаних ознак (різкість, шум, контраст, ступінь компресії), а підсумкове судження має лінгвістичний характер («висока», «середня», «низька» якість). Нечітка логіка природно моделює неточні й контекстні оцінки, дозволяючи агрегувати різнорідні показники.

Метою є побудова узгодженого підходу до оцінювання якості цифрових зображень на основі нечіткої логіки з:

– добором інформативних вхідних ознак (структурні/інформаційні [1], [2] та статистичні [3]);

– заданням функцій належності та лінгвістичних правил;

– вибором схеми логічного висновку (метод **Мамдані**) і методу дефазифікації (центроїд);

– можливістю автоматичного налаштування параметрів через **ANFIS** [5], [6].

Автоматизований аналіз візуального контенту важливий у багатьох галузях. У дизайні та медіа він оптимізує відбір матеріалів, автоматизує контроль якості та скорочує час виходу продукту. В ігровій індустрії подібні системи пришвидшують оцінювання ассетів, класифікацію сцен і персонажів та інтегруються з інструментами геймдизайну. Це полегшує роботу з великими бібліотеками ресурсів.

Важливою перевагою є зменшення суб'єктивного чинника. Якщо раніше аналіз базувався на експертних оцінках дизайнерів або тестових груп, то поєднання глибинних моделей з нечіткими правилами забезпечує стабільність і відтворюваність результатів, зберігає пояснюваність рішень [4], [8].

Додатково актуальною є масштабованість: зі зростанням обсягів даних потрібні архітектури, здатні працювати у реальному часі, забезпечуючи високу точність і продуктивність. Це суттєво для потокових платформ, інтерактивних ігор та VR/AR, де затримки безпосередньо впливають на користувацький досвід.

Нехай вектор ознак x містить: SSIM (індекс структурної подібності), VIF (візуальна інформаційна достовірність), BRISQUE (безеталонний оцінювач просторової якості зображення), показники різкості (градієнтні ознаки, напр. Sobel/Scharr) та оператор Лапласа (Laplace), оцінку шуму (σ), контраст (локальний/глобальний), насиченість кольорів. Для кожної ознаки задаються 2–3 функції належності (трикутні/трапецієподібні або ґаусові), наприклад «низька — середня — висока різкість». База правил: IF (різкість — висока) ∧ (шум — низький) ∧ (BRISQUE — низький) THEN (якість — висока).

Формування логічного висновку виконується за методом Мамдані з агрегуванням правил (max–min, t-норми). Підсумкову оцінку якості Q отримуємо дефазифікацією (метод центроїда):

$$Q = defuzz\{FIS(x)\}. \quad (1)$$

Для адаптації під конкретні домени (медичні зображення, ігрові ассети, рендери) параметри функцій належності та ваг правил може налаштовувати ANFIS — гібридна нейро-нечітка модель, що навчається за MOS (середній суб'єктивний бал якості) / DMOS (диференціальний середній суб'єктивний бал) [5], [6]. Для апаратно обмежених сценаріїв відомі FPGA-реалізації нечіткого оцінювання [7]. Узагальнену структуру системи наведено на рис. 1.

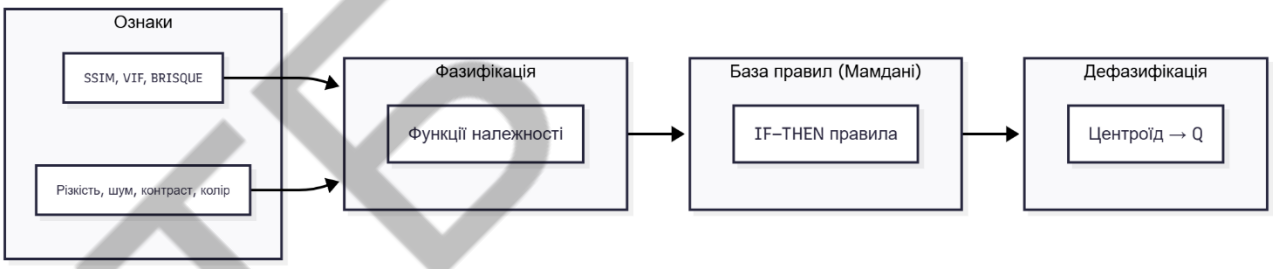


Рис. 1 - Структура системи нечіткого оцінювання якості

Висновок. Нечітка логіка дозволяє звести різнотипні показники якості (SSIM, VIF, BRISQUE, різкість, шум, контраст) до однієї інтерпретованої оцінки, що краще узгоджується з MOS. Поєднання правил Мамдані, дефазифікації та ANFIS-калібрування забезпечує стійкість на змішаних спотвореннях і зберігає пояснюваність рішень. Модель легко масштабувати (у т.ч. апаратно), що робить її придатною для медіа й ігрової індустрії у близьких до реального часу режимах. На практиці це зменшує вплив людського фактору при відборі контенту та пришвидшує виробничі цикли. Подальша адаптація функцій належності під конкретні домени дає можливість швидко переносити систему між проєктами без повного перенавчання.

Список використаної літератури

1. Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 13. no. 4. Pp. 600–612. 2004. https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861

2. H. R. Sheikh and A. C. Bovik. Image information and visual quality. *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 15. no. 2. Pp. 430–444. 2006. https://doi.org/10.1109/TIP.2005.859378

3. A. Mittal, A. K. Moorthy, and A. C. Bovik. No-reference image quality assessment in the spatial domain. *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 21. no. 12. Pp. 4695–4708. 2012. https://doi.org/10.1109/TIP.2012.2214050

4. I. De and J. Sil. No reference image quality assessment using fuzzy relational classifier. *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. *LNCS 7002. Springer*, 2011. Pp. 551–558. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23881-9_71

5. E. S. M. El-Alfy. Image quality assessment using ANFIS approach. *Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)*. 2014. Pp. 169–177. https://doi.org/10.5220/0004823901690177

6. E. S. M. El-Alfy and M. R. Riaz. Full-reference predictive modeling of subjective image quality assessment with ANFIS. *Agents and Artificial Intelligence. LNCS 8946. Springer*. 2015. Pp. 274–289. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25210-0_18

7. G. T. Tchendjou, E. Simeu, and R. Alhakim. Fuzzy logic based objective image quality assessment with FPGA implementation. *Journal of Systems Architecture*. vol. 82. Pp. 24–36. 2018. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2017.12.002

8. W. Lu, N. Mei, F. Gao, L. He, and X. Gao. Blind image quality assessment via semi-supervised learning and fuzzy inference. *Informatics*. vol. 2. Art. 9, 2015. https://doi.org/10.1186/s40535-015-0010-x

УДК 004.588

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ХІМІЧНОМУ АНАЛІЗІ ТА РОЗПІЗНАВАННІ РЕАКТИВІВ

Павленко Р.О. (alinka0179@ukr.net)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

*У роботі розглянуто сучасні методи та алгоритми розпізнавання об'єктів у хімічному аналізі, зокрема в автоматизації лабораторних процесів, ідентифікації хімічних структур та реактивів. Визначено основні підходи на основі класичних алгоритмів комп'ютерного бачення й сучасних методів глибинного навчання. Узагальнено результати останніх досліджень і показано перспективи інтеграції штучного інтелекту у сфері лабораторної автоматизації та аналітичної хім*ії.

Автоматизація хімічних досліджень вимагає високоточної ідентифікації об'єктів: лабораторного обладнання, посуду, реактивів і молекулярних структур. Традиційні методи візуальної перевірки є трудомісткими та схильними до людських помилок. В умовах розвитку концепції «розумних лабораторій» актуальним є застосування алгоритмів комп'ютерного бачення та штучного інтелекту для розпізнавання і класифікації об'єктів і дій у хімічних експериментах.

Останні роки позначені інтенсивним розвитком систем розпізнавання хімічних структур (OCSR). Rajan та ін. [2] здійснили ґрунтовний огляд інструментів, що поєднують методи бінаризації, сегментації та оптичного розпізнавання символів. Натомість новітні роботи Kalinin [3] та Stiehler [4] акцентують на використанні глибинних нейронних мереж, які здатні відтворювати молекулярні графи без необхідності жорстких правил.

Водночас у сфері детекції лабораторного обладнання Tiong та співавтори [1] запропонували модель DenseSSD, що показала високу точність при розпізнаванні прозорого скляного посуду. Дослідження Mozaffari [5] демонструють ефективність використання згорткових нейронних мереж у спектральному аналізі, зокрема для класифікації сумішей за раманівськими спектрами.

Методи розпізнавання об'єктів у хімічному аналізі можна умовно поділити на три групи:

Класичні алгоритми комп'ютерного бачення. Вони ґрунтуються на виділенні ознак (SIFT, SURF, HOG), морфологічних операціях, контурному аналізі й подальшій класифікації за допомогою SVM чи Random Forest. Метод опорних векторів є класичним алгоритмом машинного навчання для задач класифікації та регресії. У розпізнаванні об'єктів він використовується переважно як другий етап після виділення ознак. SVM намагається знайти у просторі ознак

гіперплощину, яка максимально розділяє класи (наприклад, типи посуду чи фрагменти молекулярних структур). Завдяки використанню ядерних функцій метод добре працює у високорозмірних просторах і може відокремлювати навіть нелінійно роздільні класи [3]. Перевагами SVM є висока точність на невеликих наборах даних, стійкість до перенавчання та здатність працювати із шумними ознаками. Недоліками є потреба в ретельному виборі ядра та параметрів і обмежена масштабованість для великих датасетів.

Ансамблевий алгоритм Random Forest об'єднує велику кількість дерев рішень, кожне з яких навчається на випадковій підмножині ознак і прикладів. Остаточний прогноз формується голосуванням дерев, що зменшує ризик перенавчання й підвищує узагальнювальну здатність. У задачах розпізнавання об'єктів у хімічних зображеннях цей підхід ефективний для класифікації спектральних профілів пікселів, для виявлення контурів посуду чи відмінностей між фонами та реагентами [4]. Перевагами Random Forest є відносна простота налаштування, висока точність на гетерогенних даних і здатність оцінювати важливість ознак а серед недоліків відзначаємо порівняно більші витрати пам'яті та нижча інтерпретованість окремих рішень ансамблю.

У лабораторній автоматизації обидва алгоритми використовують переважно у комбінації з класичними ознаковими дескрипторами (HOG, LBP, кольорові гістограми), де вони забезпечують базову класифікацію об'єктів до впровадження нейронних мереж. SVM і Random Forest залишаються цінними для побудови легких, швидких і відтворюваних прототипів у середовищах із обмеженими обчислювальними ресурсами. Такі підходи ефективні для простих зображень, але малостійкі до шуму та складних фонів.

Глибинне навчання. Використання згорткових нейронних мереж забезпечує значно вищу точність детекції об'єктів. Наприклад, DenseSSD дозволяє надійно ідентифікувати прозорі ємності у складних лабораторних сценах [1]. У сфері хімічного аналізу нейронні мережі MolGrapher та ChemGrapher показали переваги графових нейронних мереж для відновлення хімічних структур із зображень [3], [4].

Спектральний аналіз. Автоматичне розпізнавання реагентів за спектрами здійснюється за допомогою 1D-CNN та інших моделей глибинного навчання. RaMixNet показав здатність класифікувати та кількісно оцінювати компоненти сумішей [5].

Окремий напрямок досліджень стосується розпізнавання дій у лабораторних відео. Sasaki та співавторів [6] запропонували поєднання об'єктної детекції та аналізу дій, що дозволяє автоматично вести електронні журнали експериментів та контролювати безпеку процесів.

Розробка інформаційної системи підтримки процесу розпізнавання хімічних реактивів має базуватися на поєднанні класичних і сучасних алгоритмів комп'ютерного бачення. На початкових етапах доцільно застосовувати методи попередньої обробки зображень — фільтрацію шумів, сегментацію об'єктів і виділення дескрипторів (HOG, SIFT, колірні гістограми). Подальша класифікація цих ознак може виконуватися за допомогою SVM або Random Forest, що дозволяє забезпечити швидке й надійне розпізнавання стандартних лабораторних посудин, етикеток на реактивах та різних типів тари навіть на невеликих обсягах навчальних даних.

На вищому рівні система може інтегрувати згорткові нейронні мережі (CNN) для детекції складніших об'єктів, таких як рідини в колбах чи молекулярні структури на схемах, а також застосовувати графові нейронні мережі для відновлення хімічних зв'язків і структури сполук. Поєднання SVM і Random Forest із глибинними моделями дозволяє побудувати багаторівневу архітектуру, де класичні алгоритми відповідають за попередній відбір і класифікацію простих об'єктів, а нейромережі — за інтерпретацію складних сцен і хімічних зображень. Такий підхід сприятиме створенню адаптивної та масштабованої інформаційної системи для автоматизації лабораторних процесів і цифрового контролю реагентів.

Таким чином, алгоритми розпізнавання об'єктів у хімічному аналізі проходять трансформацію від класичних методів обробки зображень до глибинних моделей із застосуванням графових мереж і трансформерів. Сучасні дослідження доводять їхню ефективність у задачах ідентифікації обладнання, структур та реагентів. Основними викликами залишаються потреба у великих розмічених вибірках, адаптація до реальних лабораторних умов та забезпечення обчислювальної ефективності, а перспективним напрямом є інтеграція комп'ютерного бачення та інтелектуального аналізу дій для створення повністю автономних лабораторних систем.

Список використаної літератури

[1] J. Tiong, et al., “DenseSSD: Robust object detection of transparent laboratory glassware,” npj Computational Materials, vol. 10, no. 15, 2024.

[2] K. Rajan, et al., “A review of optical chemical structure recognition tools,” Journal of Cheminformatics, vol. 12, no. 65, 2020.

[3] D. Kalinin, et al., “MolGrapher: Robust deep learning for molecular graph reconstruction from images,” arXiv preprint, arXiv:2308.12234, 2023.

[4] H. Stiehler, et al., “ChemGrapher: A deep learning-based approach for chemical image recognition,” arXiv preprint, arXiv:2002.09914, 2020.

[5] A. Mozaffari and L. Tay, “RaMixNet: Convolutional neural networks for Raman spectroscopy-based mixture analysis,” arXiv preprint, arXiv:2106.05316, 2021.

[6] T. Sasaki, et al., “Object detection and action recognition for automated monitoring of chemical experiments,” Digital Discovery, vol. 3, no. 1, pp. 35-47, 2024.

УДК 004.588

МЕТОД ІНТЕРЛІНАЦІЇ ДЛЯ 3D РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЯЖКИХ МЕТАЛІВ: МОДЕЛЬ, ВАЛІДАЦІЯ ТА ПОРІВНЯННЯ З МЕТОДАМИ ШЕПАРДА

Першина Ю.І.[1,2], Ковтун А.В.[2]

[1]Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
[2]Харківський національний університет радіоелектроніки

У роботі побудовано математичну модель, яка описує розподіл забруднення ґрунту важкими металами на основі обмежених неруйнівних вимірювань. Для цього розроблено оператор інтерлінації функції трьох змінних за відомими слідами на наборі вертикальних свердловин. Точність методу оцінено порівняно з 3D інтерполяцією Шепарда, що демонструє конкурентну середню похибку та стійкість до помірного шуму.

Важкі метали накопичуються у ґрунті та навіть у малих концентраціях є токсичними для живих організмів [1]. Це призводить до їх надходження в рослини, харчові продукти і зрештою в організм людини, спричиняючи хронічні захворювання [1][2]. Забруднення ґрунтів важкими металами також погіршує родючість і порушує екосистеми [3]. Основними джерелами такого забруднення є металургія, хімічна промисловість, транспорт, агрохімікати, відходи тощо [4]. Додатково, воєнні дії спричиняють значні викиди важких металів на полях бою [5], що ускладнює ситуацію. Отже, актуальною задачею є математичне моделювання розподілу забруднення ґрунту за обмеженими, безконтактно отриманими даними [6]. Для цієї мети доцільно застосувати методи інтерлінації, які використовують дані вздовж ліній та забезпечують вищу точність відновлення [7].

Нехай невідома функція $f(x,y,z)$ описує просторовий розподіл концентрації забруднення важкими металами. Відомі її значення лише на множині вертикальних свердловин (ліній) в дискретних точках: на *i*-й свердловині задано профіль $g_i(z) = f(x_i, y_i, z)$ [6,7]. Інтерлінація дозволяє відновити $f(x,y,z)$ у всьому об’ємі за цими слідами. Для кожної внутрішньої точки (x,y,z) обчислюються ваги, об’єднуючи вплив усіх свердловин, і формується наближене значення $f^*(x,y,z)$ як зважена сума профілів [6,7]. Крім стандартної інтерлінації, розглядається “часткова” інтерлінація – окреме інтерполювання профілів вище та нижче глибини $z = 0.5$ для урахування стрибка в середині шару [6,7]. Також для порівняння використано класичну 3D інтерполяцію Шепарда (обернені ваги на основі повної відстані) та її модифікацію з анізотропним масштабуванням відстаней [6,7].

Для обчислення наближення вводяться горизонтальні ваги для кожної свердловини *i* за формулою (1):

$$w_i(x,y) = \frac{1}{\left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + l_{2D}\right)^{b_{2D}}} \qquad (1)$$

У формулі (1) параметри обрано рівними $l_{2D} = 0.1, b_{2D} = 2$ – ці значення забезпечують оптимальну точність інтерполяції за результатами чисельних експериментів [8]. Невелике додатне l_{2D} усуває особливість при нульовій відстані та обмежує вплив найближчих свердловин. Показник $b_{2D} = 2$ (обернений квадрат відстані) обрано як базовий, оскільки він дав найменшу похибку наближення. Обчислені ваги нормуються (приводяться до суми 1), після чого вздовж кожної свердловини інтерполюються значення профілів $g_i(z)$ на висоту z та усереднюються з цими ваговими коефіцієнтами [6,7].

Для перевірки методики використано синтетичний розподіл концентрації, що містить гладку коливальну складову та стрибок на рівні $z = 0.5$ [6,7]. Розглянуто $m = 9$ свердловин, на яких задано різні типи вертикальних профілів $g_i(z)$. Зокрема, використано функції:

$$g_1(z) = e^{-4z} + 0.1\sin(3\pi z)$$

$$g_2(z) = 0.8\cos(2\pi z) + 0.2z$$

$$g_3(z) = 0.5 + 0.4\sin(5z)e^{-z}$$

$$g_4(z) = 1.2e^{-3z} - 0.1z^2$$

$$g_5(z) = 0.6 + 0.3\cos(4\pi z)$$

$$g_6(z) = e^{-2.5z} + 0.05\sin(8z)$$

Наведені вище профілі охоплюють типові форми розподілу забруднення з глибиною: експоненційне згасання, синусоїдальні коливання навколо базового рівня, наявність квадратичного тренду тощо. Цей набір дозволяє перевірити роботу методів як на гладких, так і на розривних ділянках (стрибок на рівні $z = 0.5$ імітує різку зміну концентрації між двома шарами ґрунту).

Для кожного з методів обчислено максимальну **(max err)** і середню **(mean err)** абсолютні похибки, а також ці похибки окремо для верхнього шару $(z < 0.5)$ та нижнього шару $(z \geq 0.5)$. Результати наведено в табл. 1 [8]. Інтерлінація демонструє меншу середню похибку (0.161 проти 0.232 у Шепарда) [8], хоча класична інтерполяція Шепарда має трохи нижчу максимальну похибку у верхньому шарі. У нижньому шарі інтерлінація забезпечує суттєво менший максимум похибки (0.519 проти 0.757), ніж Шепард [6,7]. Модифікований метод Шепарда дає найменшу середню похибку (0.156) завдяки анізотропному масштабу, але його максимальна похибка в глибокому шарі перевищує показник інтерлінації. Часткова інтерлінація майже не відрізняється від стандартної, оскільки врахування стрибка не вплинуло на точність у цьому випадку.

Таблиця 1. Максимальні та середні похибки методів $(№\{\text{test}\} = 10)$.

Метод	max err	mean err	max err $(z < 0.5)$	mean err $(z < 0.5)$	max err $(z \geq 0.5)$	mean err $(z \geq 0.5)$
Інтерлінація	0.9044	0.1610	0.9044	0.2046	0.5189	0.1174
Покращена інтерлінація (часткова)	0.9044	0.1610	0.9044	0.2046	0.5189	0.1174
Шепард 3D	0.7924	0.2316	0.7924	0.2362	0.7567	0.2270
Модифікований Шепард	0.8526	0.1563	0.8526	0.1879	0.6230	0.1247

Висновки. Розроблений метод інтерлінації функцій трьох змінних ефективно відновлює просторовий розподіл концентрації важких металів за даними вимірів на обмеженій кількості

свердловин. Показано, що запропонований підхід забезпечує точність наближення на рівні сучасних 3D методів інтерполяції та є стійким до впливу помірного шуму. Отримані результати можуть бути використані для побудови карт забруднення ґрунтів; у подальшому планується апробація моделі на реальних експериментальних даних з урахуванням неоднорідності розподілу забруднення [6,7].

Список використаної літератури:

[1] Balyuk S.A., Medvedev V.V., Miroshnychenko M.M., Skrylnyk E.V., Tymchenko D.O., Fateyev A.I., A.O. Khrystenko, Tsapko Y.L. Ecological state of soils of Ukraine. // *Ukrainian Geographical Journal*. – 2012. – No. 2. – P. 38–42.

[2] Zherebna L.O. The influence of high levels of lead and cadmium contamination of podzolized and typical chernozems on the intake of these elements in barley and corn plants: Abstract of dissertation … candidate of biological sciences. – Kharkiv, 2003.

[3] Roshko V.G., Grabovsky O.V. Assessment of heavy metal contamination of agrocenoses bordering highways // *Bulletin of UzhNU*, Biology series. – 1999. – No. 6. – P. 259–262.

[4] Tverdokhlebova N.E., Yevtushenko N.S. Regional ecological safety in martial law conditions // *Modern technologies in industrial production: materials of the 10th All-Ukrainian scientific-technical conference*, April 18–21, 2023. – Sumy: SumDU, 2023. – P. 177–178.

[5] Gichka M.M. Remote sensing in the system of soil monitoring of Ukraine // *Bulletin of Agrarian Science*. – 2005. – No. 12. – P. 72–75.

[6] Pershyna I.I. Restoration of discontinuous functions by discontinuous interlineation splines // *Radioelectronics, Informatics, Control*. – 2022. – No. 4. – P. 29–39.

[7] Sergienko I., Zadiraka V., Lytvyn O.M. Interlineation of Functions // In: *Elements of the General Theory of Optimal Algorithms*. Springer, 2021. – P. 75–176.

УДК 621.3:629.4

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ КОНВЕЄРНОГО ПОЇЗДА

Поляков В. О. (pva78125@gmail.com)
Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)

Проведено дослідження керованого поздовжнього руху конвеєрного поїзда. Виявлено основні можливі шляхи цілеспрямованих впливів на цей рух. Враховано можливу динаміку зміни структури та параметрів таких впливів як внаслідок руху об'єкта розгляду, так і через можливі несправності приводів поїзда. Обстановка синтезованого руху вважається непередбачуваною. Отримано систему лімітуючих співвідношень, глобальний безперервний контроль дотримання яких дозволяє будувати необхідні рухи поїзда в ситуаціях, що складаються, з точністю, не гіршою, ніж та, яка апріорі задається. Така побудова може бути досягнута внаслідок реалізації розробленого у дослідженні алгоритму комутації двигунів приводів поїзда.

Постановка проблеми. Радикальне вирішення транспортної проблеми підприємств гірничодобувної промисловості України можливе лише на основі докорінного перегляду стратегії формування її видобувних комплексів та, насамперед, їхніх транспортних підсистем [1,2]. Дуже перспективними, щодо цього, є конвеєрні поїзди [3,4]. Порівняно з іншими видами гірського транспорту, вони мають ряд істотних переваг: пристосованість до завантаження великокускової скельною гірською масою; можливість руху по колії з великими ухилами та малими радіусами кривих у плані та профілі; безперервність вантажопотоку; велика гнучкість керування та універсальність можливого застосування, а також ряд інших. Будучи складними електромеханічними системами, для гарантованого забезпечення високої ефективності транспортування гірничої маси такі поїзди вимагають включення їх до складу досить досконалих, але, по можливості, простих і надійних систем керування рухом. Це, своєю чергою, викликає нагальну потребу у проведенні досліджень таких систем.

Сучасний стан досліджень із проблеми. З огляду на ряд причин як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру, наукові дослідження транспортних систем з конвеєрними поїздами в

Україні, незважаючи на їхню високу, широко визнану в багатьох розвинених країнах світу актуальність, практично не проводяться протягом вже кількох десятиліть [5].

Суть дослідження. Безпосередні керуючі впливи на руху конвеєрного поїзда можуть надавати тягові приводи, які встановлені на його трасі, а також протиаварійні стопори. У штатних експлуатаційних ситуаціях виконавчими органами керування є лише приводи. Тому зміна стану поїзда можлива у взаємодії з ними, а також у режимі вибігу. У тяговому режимі результуюча сила впливу приводів на поїзд

$$\tilde{U}(t) = \tilde{U}_r(t) \cdot \delta^r \quad \forall r \in [\overline{1, P(t)}], \tag{1}$$

де δ^r – одиничний вектор-стовпець; $t, \tilde{U}_r(t), P(t)$ – поточний час, значення поздовжньої складової сили взаємодії поїзда з r-ым приводом, а також кількість цих проводів, що активно взаємодіють з ним в поточний момент часу.

Виходячи з сучасних техніко-економічних умов експлуатації комплексів з конвеєрними поїздами, в їх приводах можливе досить часте використання двигунів з некерованими крутними моментами (тяговими зусиллями) [6,7]. У такому разі, як випливає із співвідношення (1), єдиним прийнятним методом наближення $\tilde{U}(t)$ до його необхідного значення $U(t)$ впливу на поїзд є регулювання $P(t)$. Якщо при цьому кінематичні параметри системи стаціонарні, то миттєве значення числа приводів, що перекриваються поїздом, у фіксований момент часу не є керованим. Тоді найбільш прийнятним способом регулювання $P(t)$ є переведення частини приводів у пасивний стан шляхом відключення їх двигунів від мережі живлення. При такому способі керування рухом поїзда, $\tilde{U}(t)$, яке реалізується, змінюється ступінчасто і точне відстеження необхідного його значення $U(t)$ не можливе. Виходячи з цього, на виконання цільової рівності

$$\tilde{U}(t) = U(t) \quad \forall t \in [0, \Theta], \tag{2}$$

де Θ – значення часу повного циклу руху поїзда (від попереднього завантаження до наступного), повинен бути накладений допуск ζ, а як мета реалізації алгоритму комутації силових ланцюгів двигунів приводів поїзда, прийнято забезпечення справедливості співвідношень

$$\tilde{U}(t) \le U(t) + \zeta \quad \wedge \quad \tilde{U}(t) \ge U(t) - \zeta \qquad \forall t \in [0, \Theta]. \tag{3}$$

Рішення щодо необхідності первинного, на даному робочому циклі руху поїзда, включення двигунів γ-го приводу має прийматися, на підставі результатів контролю дотримання співвідношень (3) у момент ϑ, після першої фіксації виконання умови

$$\eta_G(\vartheta) \ge d_r, \tag{4}$$

де $\eta_G(\vartheta), d_r$ – значення координат, відносно точки начала відліку путі поїзда, його цільової точки G в момент такої фіксації ϑ, а також умовного центру r-го приводу.

При цьому для розрахунку $\tilde{U}(\vartheta)$ приймається значення числа приводів, виключаючи контрольований r-ый, який активно взаємодіє з поїздом, у припущенні дотримання рівності

$$\eta(\vartheta) = d_r. \tag{5}$$

Якщо, в результаті згаданого контролю, виявлено дотримання співвідношень (3), або виникнення ситуації, коли

$$\tilde{U}(\vartheta) > U(\vartheta) + \zeta, \tag{6}$$

то приймається рішення про відсутність необхідності первинного включення двигунів r-го приводу. І лише у разі фіксації співвідношення виду

$$\tilde{U}(\vartheta) < U(\vartheta) - \zeta, \tag{7}$$

двигуни r-го приводу підключаються до мережі живлення. Отже, рішення про необхідність первинного включення двигунів кожного приводу приймається заздалегідь, виходячи з контролю виконання співвідношень (3) – (7), ще до реальної можливості взаємодії із ним поїзда, голова якого має досягти геометричного центру цього приводу через час Δ. Нормальне відключення двигунів кожного приводу відбувається після сходження з нього поїзда.

Обстановка конструйованого руху, у загальному випадку, є непередбачуваною. Будучи погіршене ступінчастістю реалізації керування, це значно актуалізує необхідність якнайчастішого його замикання. Іншими словами, інтервали часу, через які, з одного боку, визначається необхідне значення примусів системи $U(t)$ і, з іншого боку, контролюється знаходження їх фактично реалізованих значень $\tilde{U}(t)$ в $2\cdot\zeta-$околиці щодо $U(t)$, повинні бути мінімально можливими. Виходячи з цього, зокрема, контроль за дотриманням умов (3) повинен здійснюватися не тільки епізодично – у процесі вирішення питання про необхідність первинного включення двигунів приводу, а й регулярно, з певною періодичністю μ. У процесі такого контролю, при обчисленні $\tilde{U}(t)$ має враховуватися реальне значення числа приводів, що активно взаємодіють з поїздом у момент ϑ. При виявленні надмірності тягового зусилля, що характеризується співвідношеннями виду (6), послідовно, починаючи з приводів, найближчих до хвоста поїзда і далі – для дедалі більше від нього віддалених, відключаються двигуни, які виявилися ним увімкнуті. Так відбувається до тих пір, поки, при черговому циклі контролю, або в процесі вирішення питання про необхідність включення двигунів чергового приводу, до якого наближається поїзд, буде констатовано дотримання співвідношень (3). Аналогічно, при виявленні нестачі тяги, що ідентифікується за дотриманням умови (7), послідовно, починаючи з приводів, найбільш близьких до голови поїзда і далі – для дедалі більше від неї віддалених, включаються їх двигуни, які, на даний момент, виявилися не включеними. Цей процес припиняється лише після відновлення справедливості умов (3). Таким чином, комутація силових ланцюгів двигунів приводів забезпечує реалізацію керування системою $\tilde{U}(t)$, з похибкою, яка не перевищує ζ, яке копіює примус $U(t)$, необхідний для збереження цілеспрямованості руху поїзда. При цьому у якості компонентів для отримання $\tilde{U}(t)$ приймаються $\tilde{U}_\gamma(t)$ лише для тих приводів, двигуни та інші елементи яких знаходяться у працездатному стані. Несправні приводи ігноруються.

Висновки за наслідками дослідження. В результаті проведення дослідження розроблено алгоритм комутації двигунів приводів розглянутого конвеєрного поїзда. Натурна реалізація цього алгоритму дозволить будувати його бажані поздовжні рухи в непередбачуваній обстановці з точністю, яка не гірша за ту, що задається апріорно. Це, з одного боку, забезпечить безперебійне виконання перевізного процесу гірничої маси, раціонально враховуючи зазначену непередбачуваність і, з іншого боку, не вимагатиме для цього невиправданих витрат енергетичних, матеріальних та фінансових ресурсів.

Список використаної літератури

[1] Перегудов В. В., Протасов В. П. Оцінка сучасного стану та перспективного розвитку гірничо-видобувного комплексу України. *Гірничий вісник.* 2022. Вип. 110. С. 37–45. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2022_110_9

[2] Коваленко М.О. Стан і перспективи розвитку гірничої промисловості України. *Науковий Вісник ХДУ*. 2017. Випуск 22. Ч. 2. С. 170–172.

[3] Тартаковский Б. Н. Конвейерные поезда в горной промышленности. Киев: Наукова думка, 1974. 200 с.

[4] Carr M. J., Wheeler C. A., Robinson P. W., Chen B. Reducing the energy intensity of overland conveying using a novel rail-running conveyor system. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment.* 2020. Vol. 35, № 3, P. 1–16. DOI: 10.1080/17480930.2020.1788199.

[5] Вілкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.О. Сучасний стан гірничодобувної промисловості України. *Гірничий вісник.* 2022. Вип. 110. Doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-3-9. URL: https://mining-

journal.com.ua/web/uploads/pdf/Mining%20Journal%20of%20Kryvyi%20Rih%20National%20University,%20Vol%2020,%20No%201-3-8,%202022.pdf

[6] Гірничорудна промисловість України, *Інтернет-сайт «Укррудпром».* URL: http: //www.ukrrudprom.ua/reference/industry/gmk.html

[7] Комплекс ресурсо- та енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління та оптимізації гірничорудних виробництв/ Азарян О.О., Вілкул Ю. Г., Колосов В. О.,Моркун та ін. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. 261 с

УДК 004.8: 681.324.067

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНТРОПІЇ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СЕНСОРНИХ ДАНИХ

Поперешняк С.В. (spopereshnyak@gmail.com)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У статті представлено підхід до побудови генератора псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) на основі фізичних сенсорів, який є перспективним напрямом для забезпечення надійності та безпеки в різних галузях, таких як криптографія, Інтернет речей (IoT), ігрова індустрія та кіберфізичні системи. Сенсори різних типів, зокрема датчики температури, звуку, світла, гіроскопи та магнітометри, демонструють високу надійність як джерела ентропії завдяки природним флуктуаціям та непередбачуваним характеристикам, які вони реєструють. Фізичні явища, що вимірюються цими датчиками, генерують значний рівень непередбачуваності, що є критичним для побудови надійних генераторів псевдовипадкових чисел, стійких до передбачуваності. У роботі детально описано процес цифрової обробки сигналів від сенсорів, який включає кілька етапів: фільтрацію шумів, нормалізацію сигналів, квантування та бінаризацію для отримання випадкових бітів.

Постановка проблеми. У сучасному світі псевдовипадкові числа відіграють ключову роль у багатьох сферах, включаючи криптографію, комп'ютерне моделювання, статистичні методи та ігрову індустрію. Однак традиційні алгоритмічні генератори псевдовипадкових чисел мають певні обмеження, зокрема повторюваність та передбачуваність, що може стати серйозною проблемою для додатків, які вимагають високого рівня безпеки та ентропії [1, 2].

З огляду на це, виникає нагальна потреба у створенні більш надійних джерел ентропії. Одним з перспективних підходів є використання датчиків для генерації псевдовипадкових чисел, які можуть використовувати природні випадкові флуктуації фізичних процесів [3, 4]. Датчики, що вимірюють температуру, шум, рух, освітлення та інші параметри навколишнього середовища, забезпечують високий рівень ентропії, що робить їх привабливими для побудови апаратних генераторів псевдовипадкових чисел.

Метою дослідження є розробка альтернативних шляхів до побудови генератора псевдовипадкових чисел на основі датчиків, що використовують випадкові фізичні явища для забезпечення високого рівня ентропії і непередбачуваності.

Завдання дослідження

1. Розробка математичної моделі генерації псевдовипадкових чисел на основі вимірювань датчиків. Вивчення процесів нормалізації даних, квантування та обробки сигналів для перетворення фізичних вимірювань у послідовність бітів.
2. Реалізація цифрової обробки даних для забезпечення випадковості. Визначення методів фільтрації шумів, зменшення впливу детермінованих компонентів та побудова процесу отримання бітів.

НТБОНТУ

3. Розробка рекомендацій щодо практичної реалізації генератора на основі датчиків. Обговорення апаратних вимог та потенційних сценаріїв застосування таких генераторів у різних галузях.

Отже, у статті буде викладено концепцію побудови генератора псевдовипадкових чисел на основі фізичних явищ, що вимірюються датчиками, з використанням методів математичної обробки та оцінки випадковості отриманих чисел.

Суть дослідження. Датчики реального світу вимірюють сигнали, що складаються як з корисного сигналу, так і з випадкових шумів. Для виділення випадкової компоненти сигналу використовується фільтрація. Один із найпоширеніших підходів для фільтрації шуму — використання високочастотних фільтрів (наприклад, фільтри низьких частот), які дозволяють відсіяти довгострокові коливання (детерміновану компоненту).

Розглянемо способи фільтрації шумів:

- Медіанний фільтр: застосовується для зменшення пікових шумів у сигналів. Він працює, обчислюючи медіану певної кількості значень у ковзному вікні розміру n.

Припустимо, у нас є сигнал $x(t)$, що зчитується з датчика:

$$x_{\text{filtered}}(t) = \text{median}(x(t-n), \ldots, x(t+n))$$

Цей метод дозволяє зменшити вплив аномальних значень або викидів, зберігаючи основні коливання.

- Ковзне середнє: ще один спосіб згладити сигнал — це обчислення середнього значення в ковзному вікні розміру w:

$$x_{\text{smooth}}(t) = \frac{1}{w} \sum_{i=t-w/2}^{t+w/2} x(i).$$

Така фільтрація дозволяє згладити сигнал, зменшивши вплив короткочасних флуктуацій.

2. Зменшення впливу детермінованих компонентів

Щоб виділити дійсно випадкову частину сигналу, необхідно зменшити або повністю усунути детерміновані компоненти. Це можна зробити кількома способами:

- Віднімання середнього значення: Якщо детермінована компонента має стабільний тренд, її можна усунути, віднявши середнє значення сигналу:

$$x_{detrended}(t) = x(t) - \bar{x},$$

де $\bar{x}$ — середнє значення сигналу за певний період часу.

- Фур'є-аналіз: Для виявлення регулярних компонент сигналу, що повторюються з певною частотою, можна застосувати **перетворення Фур'є**. Після визначення основних гармонік (детермінованих частот) можна видалити їх зі спектру, залишивши лише високочастотні флуктуації (випадковий шум).

Перетворення Фур'є для сигналу $x(t)$:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, e^{-2\pi i f t} dt.$$

Після перетворення сигнал можна обробляти шляхом видалення низькочастотних гармонік, що відповідають регулярним коливанням, і виконати зворотне перетворення для отримання чистого випадкового сигналу.

3. Процес отримання бітів

Після обробки сигналу необхідно перетворити його на послідовність бітів, які використовуватимуться для генерації випадкових чисел.

Алгоритм квантування:

- Нормалізація сигналу: Спочатку сигнал нормалізується до діапазону від 0 до 1. Припустимо, що значення сигналу знаходяться в межах від $x_{\min}$ до x_{max}:

$$x_{norm}(t) = \frac{x(t) - x_{\min}}{x_{max} - x_{\min}}$$

- Бінаризація сигналу: Після нормалізації можна квантувати сигнал для отримання бітів. Для цього можна використовувати порогове значення, наприклад 0.5:

$$b(t) = \begin{cases} 1, if\ x_{\text{norm}}(t) \geq 0.5 \\ 0, if\ x_{\text{norm}}(t) < 0.5 \end{cases}.$$

Отримані біти можна зібрати у послідовність та використовувати як випадкові числа. Для побудови багаторозрядних чисел можна комбінувати кілька бітів у групи по k бітів:

$$R = \sum_{i=0}^{k-1} b(t+1) \cdot 2^i.$$

Це дозволить отримати псевдовипадкове число в діапазоні від 0 до $2^k - 1$.

Розглянемо деякі потенційні сценарії застосування генераторів на основі датчиків.

1. Криптографія та безпека. Найважливіший сценарій застосування таких генераторів — це криптографія. Використання ГПВЧ на основі датчиків дозволяє значно підвищити надійність і стійкість систем безпеки за рахунок генерації більш непередбачуваних ключів:

- Генерація криптографічних ключів для шифрування даних.
- Захист від атак на псевдовипадковість: фізична природа датчиків дозволяє захиститися від передбачуваних алгоритмічних схем.

2 Інтернет речей (IoT). ГПВЧ на основі датчиків може бути інтегрований у IoT-пристрої, де важлива стійкість до зламу і забезпечення унікальності комунікаційних сесій:

- Аутентифікація пристроїв через криптографічні алгоритми, що використовують випадкові числа для генерації унікальних токенів.
- Шифрування переданих даних для захисту конфіденційності в мережах IoT.

3 Ігрова індустрія. В ігрових додатках випадковість грає ключову роль у забезпеченні чесності гри та створенні непередбачуваного досвіду для користувачів. ГПВЧ на основі датчиків може використовуватися для:

- Генерації випадкових подій або чисел у ігрових процесах (наприклад, в азартних іграх, симуляціях або генерації ігрових карт).
- Захисту від маніпуляцій з боку гравців через використання складних фізичних процесів для генерації непередбачуваних чисел.

Висновки. У статті розглянуто один із перспективних шляхів побудови генератора псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) на основі фізичних сенсорів. Датчики різних типів, такі як датчики температури, звуку, світла, гіроскопи та магнітометри, були визнані надійними джерелами ентропії через їхні природні флуктуації та непередбачувані характеристики. Фізичні явища, виміряні цими датчиками, забезпечують високий рівень непередбачуваності, який необхідний для побудови надійних псевдовипадкових чисел.

Розроблено метод цифрової обробки сигналів від датчиків, що включає фільтрацію шумів, нормалізацію, квантування та бінаризацію для отримання випадкових бітів. Оцінка якості отриманих чисел за допомогою криптографічних і статистичних тестів показала, що генератори на основі датчиків можуть успішно забезпечувати високий рівень випадковості і стійкості до передбачуваності.

Практичні рекомендації включають вибір відповідного типу датчика на основі конкретних умов застосування та вимог до обладнання. Генератори цього типу можуть бути ефективно застосовані в галузях, де потрібна висока безпека, включаючи криптографію, Інтернет речей (IoT), ігрову індустрію та кіберфізичні системи.

Список використаної літератури

[1] Lv N., Chen T., Ma Y. Analysis on Entropy Sources based on Smartphone. *Sensors*. 2020. P. 21-31. doi:10.1145/3442520.3442528.

[2] Popereshnyak S. Technique of the testing of pseudorandom sequences, *International Journal of Computing*. 2020. 19(3). P. 387-398. doi:10.47839/ijc.19.3.1888

[3] Masol V., Popereshnyak S., Joint Distribution of Some Statistics of Random Bit Sequences. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2021. 57(1). P. 139–145. doi.org/10.1007/s10559-021-00337-x

НТБОНТУ

УДК 001.57: 004.94

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕГАУСІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ НОРМАЛІЗУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Приходько С.Б. (sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua, prykhodko.s.b@op.edu.ua)
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна),
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

Розглянуто метод побудови математичних моделей негаусівських випадкових процесів (НВП) у вигляді нелінійних стохастичних диференціальних рівнянь (СДР) із застосуванням нормалізуючих перетворень, як одновимірних так і багатовимірних. Наведені приклади побудови нелінійних СДР для деяких НВП: екстремального морського хвилювання, мовного сигналу, бортової хитавиці судна на нерегулярних хвилях. Здійснено комп'ютерне моделювання зазначених процесів за побудованими моделями. Виконано порівняння результатів моделювання НВП з експериментальними даними, яке показало їх задовільну якість. Зокрема відносна похибка за середнє квадратичним відхиленням ординат для усіх НВП менша 5%.

Як відомо, НВП – це випадкові процеси, розподіл яких відхиляється від гаусівського (нормального). Вони часто зустрічаються у океанології, фінансах, інформаційних технологіях та інших галузях. Математичне моделювання НВП вимагає побудови певних математичних моделей, що досі залишається складною задачею. У якості математичних моделей НВП часто застосовують нелінійні СДР в першу чергу тому, що ці рівняння дозволяють описати фізичні особливості цих процесів. В [1, 2] для побудови нелінійних СДР був запропонований метод структурної ідентифікація нелінійних стохастичних диференціальних систем (СДС) на основі нормалізуючих перетворень, суть якого є такою. За допомогою нормалізуючого перетворення, яке є оборотним (тобто має обернене перетворення), НВП перетворюють у гаусівські випадкові процеси (ГВП). Далі за методом формуючих фільтрів отримують лінійні СДР для ГВП або нормалізованих сигналів згідно [1]. Після чого застосовуючи обернене перетворення будують нелінійні СДР. Слід зазначити, що для побудови нелінійних СДР для НВП за вказаним методом бажано використовувати так звані бієктивні нормалізуючі перетворення (БНП), тобто такі, які є не тільки оборотними, а ще дозволяють отримувати ізоморфні множини.

За вказаним вище методом були побудовані нелінійні СДР для трьох НВП: екстремального морського хвилювання, мовного сигналу, бортової хитавиці судна на нерегулярних хвилях. Нелінійні СДР відповідно 4-го та 8-го порядків для перших двох НВП були отримані на основі одновимірного БНП Джонсона сім'ї S_U та дозволяють враховувати 2-х та 4-х пікову форму їх спектрів. Нелінійне СДР 2-го порядку для бортової хитавиці судна було побудовано на основі двовимірного перетворення Джонсона сім'ї S_B. За зазначеними СДР були отримані різницеві рівняння, за якими було здійснено комп'ютерне моделювання цих НВП. Виконане порівняння результатів комп'ютерного моделювання НВП з експериментальними даними показало їх задовільну якість. Так відносна похибка за середнє квадратичним відхиленням ординат для усіх трьох НВП менша 5%. Це, у тому числі, вказує на працездатність розглянутого методу.

Список використаної літератури

[1] С. Б. Приходько, «Структурна ідентифікація нелінійних стохастичних диференціальних систем на основі математичних моделей нормалізованих сигналів», *Вісник ВПІ*, вип. 3, с. 86–92, Листоп. 2010.

[2] С. Б. Приходько, «Методи ідентифікації нелінійних стохастичних диференціальних систем на основі нормалізуючих перетворень», дис. ... д-ра техн. наук : 01.05.02, Нац. акад. наук України, Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова, Київ, Україна, 2012.

НТБ ОНТУ

УДК 004.94

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Прищепа В.О., Задорожній А.О. (vladpryshchepa1@gmail.com, zaotroy@gmail.com)
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)

У роботі досліджено інтеграцію великих мовних моделей (LLMs) в агентне моделювання (ABM) як перспективний підхід до симуляції складних систем. Показано, що використання LLMs дозволяє динамічно формувати поведінку агентів на основі контекстних підказок, забезпечуючи більшу адекватнітсь моделей. Особлива увага приділяється інженерії підказок для досягнення чітких і відтворюваних результатів, що є критично важливим у сценаріях надзвичайних ситуацій. Розглянуто відмінності між маломасштабним і великомасштабним моделюванням: у першому необхідний детальний контроль кожного агента, тоді як у другому ефективно застосовуються архетипи поведінки, що знижують обчислювальні витрати. Як приклад наведено використання архетипів у фреймворку AgentTorch для моделювання пандемії COVID-19 у Нью-Йорку. Окреслено ключові виклики інтеграції LLMs, серед яких імовірнісна природа моделей, ризик генерації хибних відповідей та потреба у строгій валідації результатів. Зазначено, що поєднання ABM та LLM створює масштабовані, контекстно чутливі та реалістичні симуляції, які відкривають нові можливості для моделювання евакуацій, вимушеної міграції та управління надзвичайними ситуаціями.

Швидкий розвиток штучного інтелекту відкриває нові можливості для моделювання складних соціально-економічних та надзвичайних ситуацій. Одним із прикладів є інтеграція великих мовних моделей (LLMs) в агентне моделювання (ABM), що відкриває нові підходи до симуляції складних систем.

Агентно-орієнтоване моделювання (ABM) – це обчислювальний метод, який дозволяє дослідникам створювати, аналізувати та експериментувати з моделями, що складаються з автономних та гетерогенних агентів, які взаємодіють у середовищі, щоб визначити механізми, що викликають певне макроскопічне явище, що цікавить [1]. Агентно-орієнтоване моделювання дозволяє дослідникам досліджувати емерджентні явища, моделюючи взаємодії як на мікро-, так і на макрорівні. Традиційно ABM базується на попередньо визначених правилах і статичних шаблонах поведінки, де дослідники вручну задають рішення агентів, спираючись на предметно-орієнтовані знання. Хоча даний підхід добре працює для простих сценаріїв, він часто виявляється недостатнім для повноцінного відтворення реальних ситуацій, у яких значну роль відіграють людська поведінка, невизначеність та рішення, що залежить від контексту.

Завдяки швидкому розвитку великих мовних моделей виник новий перспективний напрямок – використання LLM для динамічного моделювання поведінки агентів, що дозволяє створювати більш адекватні моделі. Великі мовні моделі (LLM) є категорією базових моделей, навчених на величезних обсягах даних, що робить їх здатними розуміти та генерувати природну мову та інші типи контенту для виконання широкого кола завдань [2]. Простіше кажучи, LLM – це комп’ютерна програма, якій було надано достатньо прикладів, щоб вона могла розпізнавати та інтерпретувати людську мову або інші типи складних даних [3].

Поєднання LLMs з ABM надає можливість змінити підхід до визначення поведінки агентів. Замість ручного програмування правил прийняття рішень дослідники можуть надавати контекстні підказки (prompts), що описують середовище агента, його цілі та обмеження. На основі цих даних LLM генерує дії агентів у режимі реального часу. Це створює більш адаптивну структуру моделювання, здатну реалістично відображати реальні ситуації. Наприклад, для сценаріїв евакуації людей з будівлі підказки можуть містити інформацію про розташування виходів, наявність диму, щільність натовпу та рівень паніки агента. При цьому модель аналізує контекст і створює рішення, що відображають реалістичне людське мислення. Такий підхід забезпечує більшу гнучкість під час моделювання різноманітних ситуацій без потреби ускладнювати поведінкову логіку, що робить симуляції на основі LLM надзвичайно масштабованими.

Важливим аспектом використання LLMs для симуляції поведінки агентів є інженерія підказок (prompt engineering). Підказки необхідно формулювати таким чином, щоб отримувати чіткі, однозначні та відтворювані відповіді від моделі, особливо в ситуаціях, де навіть незначні

відхилення можуть суттєво вплинути на перебіг симуляції та її кінцеві результати. Наприклад, під час моделювання стратегій евакуації критично важливо забезпечити отримання детермінованих булевих рішень – на кшталт «рухатися ліворуч» чи «рухатися праворуч» – замість неоднозначних або розмитих відповідей. Ретельне проєктування підказок підвищує узгодженість результатів, знижує ризик помилкових інтерпретацій та забезпечує стабільність поведінки агентів у симуляції.

Водночас рівень контролю та деталізації поведінки агентів є ключовою відмінністю між використанням LLM у маломасштабному та великомасштабному моделюванні. У великомасштабних симуляціях, які охоплюють тисячі або навіть мільйони агентів, пріоритет зміщується від контролю індивідуальних дій до аналізу загальних тенденцій. У таких випадках LLM можуть ефективно працювати з агрегованими поведінковими патернами (архетипами), формуючи динамічні політики без суттєвої втрати точності. Це дозволяє групувати агентів за певними шаблонами поведінки, що дає змогу оптимізувати використання обчислювальних ресурсів, підвищити продуктивність моделювання та зменшити навантаження на LLM. Крім того, введення більшої стохастичності у поведінку агентів допомагає реалістичніше відображати варіативність у популяції та робить моделі більш гнучкими й адаптивними.

Натомість у маломасштабних сценаріях, де кожна дія окремого агента може суттєво впливати на перебіг симуляції та її кінцеві результати, необхідно моделювати поведінку кожного агента індивідуально. У таких випадках застосування узагальнених шаблонів поведінки є неефективним, оскільки індивідуальні рішення безпосередньо впливають на загальну динаміку. Це вимагає забезпечення максимальної точності відповідей LLM, ретельного формулювання підказок, використання високодетермінованих стратегій та постійної валідації результатів. Наприклад, під час моделювання евакуації окремої будівлі необхідно контролювати дії кожного агента, щоб уникнути небажаних стохастичних відхилень та забезпечити коректність результатів.

Показовим реальним прикладом застосування LLM-архетипів у ABM є моделювання пандемії COVID-19 у Нью-Йорку, виконане у рамках фреймворку AgentTorch. У цьому випадку дослідники симулювали поведінку приблизно 8,4 мільйона агентів, які репрезентують населення міста. Вони використовували архетипи – тобто узагальнені моделі поведінки для груп агентів із подібними характеристиками (демографія, геолокація, динаміка пандемії, економічна підтримка). Таким чином, LLM потрібно викликати лише для архетипу, замість того, щоб моделювати кожного агента окремо [4].

Архетипи дозволили моделювати поведінку агентів, наприклад, рішення щодо виходу на роботу, базуючись на вікових групах, статі, рівні захворюваності й наявності стимулюючих виплат. Результати симуляцій показали високу кореляцію з фактичними даними щодо рівня зайнятості та інфекцій у різних районах міста, причому додавання контексту (як-от інформація про виплати стимулів чи рівень захворюваності) покращувало прогностичну точність моделей [5].

Іншими словами, архетип у AgentTorch – це шаблон поведінки, призначений для груп агентів, які поділяють подібні характеристики або контекст, що дозволяє LLM обробляти їх не індивідуально, а групово. Такий підхід значно знижує обчислювальні витрати і забезпечує збереження виразності моделі при моделюванні дуже великих популяцій [4].

Попри значний потенціал, інтеграція LLMs у агентне моделювання (ABM) супроводжується низкою викликів. Одним із ключових завдань є забезпечення детермінованості результатів, особливо у критично важливих сценаріях, як-от планування евакуацій або управління надзвичайними ситуаціями. LLMs за своєю природою є ймовірнісними моделями, тому за однакових вхідних даних вони можуть повертати різні відповіді. Щоб підвищити стабільність і передбачуваність результатів, дослідники зазвичай налаштовують параметри генерації. Зокрема, параметр “temperature” визначає рівень “креативності” моделі: низькі значення роблять відповіді стабільними та однозначними, тоді як високі – збільшують варіативність і випадковість. Інший важливий параметр – “top-k sampling”, який контролює кількість варіантів слів, серед яких модель обирає на кожному кроці; менші значення забезпечують більшу контрольованість, тоді як більші – підвищують різноманітність. Водночас навіть із налаштованими параметрами LLMs здатні створювати правдоподібні, але помилкові відповіді (hallucinations), що може суттєво вплинути на точність симуляцій, особливо у сферах, де невірні результати мають критичні наслідки. Щоб мінімізувати ці ризики, інженерія підказок має поєднуватися зі строгими конвеєрами валідації результатів, використанням підкріплювального навчання з участю людини (RLHF) та спеціалізованим тонким налаштуванням моделей для конкретних сценаріїв.

Загалом інтеграція великих мовних моделей (LLMs) в агентне моделювання (ABM) дозволяє створювати масштабовані та реалістичні симуляції складних систем. Використання LLMs забезпечує гнучкість та адаптивність агентів, що значно зменшує потребу в ручному програмуванні. Для великомасштабних симуляцій можуть ефективно використовуються архетипи поведінки, що оптимізують обчислювальні витрати, зберігаючи при цьому адекватність результатів. Проте, для досягнення надійних результатів необхідно забезпечити ретельну інженерії підказок, налаштування моделей для конкретних умов, а також валідацію результатів. Таким чином, комбінація ABM та LLM відкриває нові можливості для моделювання різноманітних сценаріїв в умовах невизначеності, що робить його перспективним напрямом розвитку сучасних симуляцій.

Список використаної літератури

[1] Salgado, M. and N. Gilbert, "Agent Based Modelling," in Handbook of Quantitative Methods for Educational Research, T. Teo, Ed. Rotterdam: SensePublishers, 2013, pp. 207-221. doi: 10.1007/978-94-6209-404-8_12.
[2] “What are large language models (LLMs)?”, IBM, [Online]. Available: https://www.ibm.com/think/topics/large-language-models. [Accessed: Sep. 27, 2025].
[3] “What is a large language model (LLM)?”, Cloudflare, [Online]. Available: https://www.cloudflare.com/learning/ai/what-is-large-language-model. [Accessed: Sep. 27, 2025].
[4] B. D. Tech Talks, “AgentTorch: LLM-powered agent-based modeling,” *BD Tech Talks*, Oct. 2, 2024. [Online]. Available: https://bdtechtalks.com/2024/10/02/agenttorch-llm-agents. [Accessed: Sep. 27, 2025].
[5] A. Chopra, S. Kumar, N. Giray-Kuru, R. Raskar, and A. Quera-Bofarull, “On the limits of agency in agent-based models,” arXiv (Cornell University), Sep. 2024, doi: https://doi.org/10.48550/arxiv.2409.10568.
УДК 004.9:659.2

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДОМАШНЬОГО СЕРВІСУ З РЕЙТИНГОВОЮ СИСТЕМОЮ МАЙСТРІВ

Прищепа В.О., Кудерметов Р.К., Грушко С.С.
(vladoss.theboss@gmail.com, krk@zp.edu.ua, grushko@zp.edu.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

Досліджено проблему недостатньої прозорості ринку побутових послуг та систематизовано обмеження наявних онлайн-платформ для пошуку майстрів. Виконано порівняльний огляд міжнародних сервісних платформ з виявленням недоліків у механізмах формування рейтингів виконавців. Проведено класифікацію підходів до побудови рейтингових систем з аналізом методів запобігання маніпуляціям відгуками. Обґрунтовано доцільність використання документо-орієнтованої бази даних для зберігання гетерогенних профілів майстрів. Визначено критерії вибору технологічного стеку з урахуванням швидкості розробки та можливостей масштабування. Сформульовано вимоги до функціональних модулів платформи з розподілом на клієнтську та серверну частини. Розроблено математичний апарат для обчислення зваженого рейтингу з урахуванням історії виконання замовлень. Запропоновано алгоритм автоматичного виявлення підозрілої активності у системі відгуків на основі статистичного аналізу патернів.

Сучасний ринок побутових послуг потребує інструментів для встановлення довіри між замовниками та виконавцями. Наявні онлайн-платформи демонструють системні проблеми: відсутність багатофакторного оцінювання якості послуг, неефективні механізми верифікації компетенцій виконавців, обмежені інструменти для моніторингу виконання замовлень від створення заявки до завершення робіт.

НТБОНТУ

Метою роботи є дослідження методів проєктування веб-орієнтованих платформ для організації надання побутових послуг та обґрунтування технічних рішень для створення системи з об'єктивною оцінкою виконавців на основі верифікованих відгуків.

Систематичний огляд міжнародних платформ дозволив виділити чотири типи сервісів. Агрегатори широкого профілю (Angie's List, HomeStars) накопичують великі бази виконавців, однак використовують спрощені алгоритми ранжування без аналізу якісних характеристик виконаних робіт. Платформи з моделлю тендерних заявок (MyBuilder, Bark) дозволяють порівнювати пропозиції майстрів, проте не забезпечують контроль якості на етапі виконання. Сервіси з гарантованою оплатою (Taskrabbit, Handy) вирішують проблему фінансових ризиків, але обмежують самостійність виконавців у ціноутворенні. Локальні рішення для українського ринку характеризуються фрагментованістю та низьким рівнем цифровізації процесів. Виявлена необхідність інтегрованого підходу, що поєднує гнучкість взаємодії з механізмами об'єктивного оцінювання.

Проведено порівняльний аналіз архітектурних патернів для побудови веб-систем. Монолітний підхід передбачає єдину кодову базу з усією бізнес-логікою. До переваг належать швидкість початкової розробки та простота локального тестування, проте виникають проблеми при необхідності оновлення окремих функціональних блоків, є обмеження у виборі різних технологій для різних модулів, ускладнення паралельної роботи команди розробників. Мікросервісна організація забезпечує декомпозицію на автономні сервіси. Позитивними аспектами такої реалізації є технологічна незалежність компонентів, можливість точкового масштабування навантажених модулів, локалізація наслідків збоїв, але зростає складність організації взаємодії між сервісами та моніторингу системи. З огляду на обмежений обсяг MVP обґрунтовано застосування монолітної архітектури з модульною структурою для полегшення майбутньої декомпозиції.

Функціональну організацію системи представлено п'ятьма взаємопов'язаними модулями: підсистема ідентифікації з JWT-токенами для розмежування доступу клієнтів та майстрів, модуль профілювання для збереження атрибутів виконавців включно з переліком компетенцій та фінансовими умовами, підсистема обробки заявок для управління життєвим циклом замовлення через визначені стани, компонент збору відгуків з контролем можливості оцінювання лише після фактичного завершення робіт, аналітичний модуль для агрегації метрик активності та розрахунку інтегральних показників.

Технологічні альтернативи для серверної частини охоплюють кілька напрямків. Node.js з фреймворком Express забезпечує неблокуючу обробку запитів та використання JavaScript на всіх рівнях розробки. Python з Flask або FastAPI пропонує багатий інструментарій для математичних обчислень рейтингів та аналітики даних. Ruby on Rails відрізняється швидкістю прототипування завдяки конвенціям над конфігурацією. Вибір Node.js обґрунтовано високою ефективністю при великій кількості одночасних з'єднань, що характерно для платформ з багатьма активними користувачами, наявністю розвиненої екосистеми пакетів для автентифікації та обробки даних, можливістю використання спільних JavaScript-модулів на клієнті та сервері.

Аналіз варіантів організації збереження даних виявив дві парадигми. Реляційні СУБД (PostgreSQL, MySQL) гарантують цілісність через підтримку транзакцій ACID та забезпечують ефективність складних запитів з об'єднанням таблиць для формування звітності. Документо-орієнтовані NoSQL бази (MongoDB, Couchbase) оперують JSON-структурами з динамічною схемою, що спрощує еволюцію моделі даних. Обґрунтування вибору MongoDB базується на природній відповідності структур профілів майстрів документній моделі, де кількість категорій послуг є змінною, відсутності потреби в складних транзакціях для основних операцій читання профілів та створення замовлень, можливості горизонтального масштабування при зростанні обсягу даних.

Для розробки клієнтської частини проаналізовано три основні технології. React забезпечує компонентний підхід до створення інтерфейсів з високою продуктивністю рендерингу. Vue.js характеризується простішим освоєнням для початківців та вбудованою реактивністю даних. Svelte компілює компоненти безпосередньо в оптимізований JavaScript-код. Обрано React завдяки широкій екосистемі готових UI-компонентів для прискорення розробки, розвиненій підтримці спільноти з великою кількістю документації, зручній інтеграції з інструментами управління

станом користувача в додатку.Математична модель розрахунку репутації майстра враховує множину факторів. Базовий середній рейтинг обчислюється як:

$$R_mean = (1/N) \times \Sigma(i=1 \text{ to } N)\ r_i$$

де r_i — оцінка з i-того відгуку, N — кількість відгуків.

Сформульовано функціональні можливості системи: механізм реєстрації з диференціацією прав доступу для двох типів користувачів, конструктор профілів майстрів з динамічним додаванням категорій послуг, фільтраційний пошук виконавців за множинними критеріями включно з географічним розташуванням, механізм створення заявок з описом проблеми та прикріпленням фотоматеріалів, відстеження статусу замовлення через п'ять можливих станів від очікування до завершення, форма відгуку з комбінацією кількісної оцінки та текстового коментаря, автоматичне оновлення агрегованих метрик профілю при надходженні нового відгуку.

Алгоритм детектування аномальної активності аналізує відгуки за критеріями достовірності. Система ідентифікує підозрілі патерни: концентрація відгуків від новостворених акаунтів з мінімальною історією активності, текстова схожість коментарів понад 80% за метрикою косинусної подібності, аномальний розподіл часових міток публікацій відгуків. Для виявлених випадків застосовується зниження вагового коефіцієнта в розрахунку загального рейтингу, а критичні ситуації маркуються для ручної перевірки модераторами. Прозорість процесу забезпечується відображенням інформації про кількість верифікованих та неверифікованих відгуків у профілі майстра.

Виконане дослідження дозволяє визначити ефективні технічні підходи до створення веб-платформ для організації ринку побутових послуг. Запропонований математичний метод оцінювання створює теоретичну базу для практичної реалізації системи об'єктивного рейтингування виконавців на основі верифікованого зворотного зв'язку від замовників.

Список використаної літератури

[1] M. Barrett, E. Davidson, J. Prabhu, and S. L. Vargo, "Service innovation in the digital age: Key contributions and future directions," MIS Quarterly, vol. 39, no. 1, pp. 135-154, Mar. 2015, doi: 10.25300/MISQ/2015/39:1.03.

[2] R. Ramakrishnan, "ON-STEP SERVICES – Connecting experts on hands," International Scientific Journal of Engineering and Management, 2025.

[3] G. Kumar, D. Kumari, Q. Bux, M. Memon, and Z. Baloch, "Architectural framework for scalable on-demand service aid platform," International Journal of Innovations in Science and Technology, 2025.

УДК 004.8:004.932.2

3W-КЛАСИФІКАЦІЯ ДОРОЖНІХ СЦЕН НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ ГРАНУЛЯРНИХ ПРАВИЛ

Прус Б.В., Ракитянська Г.Б. (bohdan.prus.vntu@gmail.com, rakit@vntu.edu.ua)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У роботі запропоновано метод нечіткої 3W-класифікації дорожніх сцен, який оцінює рівень безпеки (Safe, Unsafe, Suspect) на основі просторового розташування об’єктів відносно напрямку руху автомобіля. Для класифікації використано систему нечітких правил типу IF–THEN, що враховують тип об’єкта, відстань і положення у сцені. Експерименти на 5000 зображеннях показали середню точність 96 %, що підтверджує ефективність моделі. Запропонований метод може бути використаний у системах інтелектуального відеоспостереження, допомоги водієві та аналізу безпеки дорожнього руху.

Системи аналізу вуличних сцен все частіше використовують системи комп’ютерного зору для аналізу дорожніх сцен у системах допомоги водієві, моніторингу руху та безпеки пішоходів.

Проте класифікація таких сцен ускладнюється наявністю невизначеності поведінки учасників руху, змін освітлення, перспективи камери та перекриття об'єктів.

У роботі [1] було запропоновано метод візуального розпізнавання відношень «об'єкт–суб'єкт» для аналізу дорожніх сцен, який дозволяв визначати характер взаємодії між учасниками руху на основі просторових відстаней і контексту сцени. Проте така модель мала обмеження у випадках, коли відстань між об'єктами не забезпечувала достатньої інформативності для оцінки ризику. Для вирішення цієї проблеми запропоновано метод 3W-класифікації дорожніх сцен (Safe / Unsafe / Suspect), який реалізовано на основі нечітких гранулярних правил [2, 3]. Цей підхід дозволяє оцінювати рівень безпеки сцени не тільки на основі чітких ознак, а й через ступінь впевненості у класифікаційному рішенні.

Метод нечіткої 3W - класифікації

Метод реалізує три рівні ризику дорожньої сцени:

– Safe (W_1) - ситуація без загроз;
– Unsafe (W_2) - наявна потенційна небезпека або конфліктна траєкторія;
– Suspect (W_3) - проміжний стан, який вимагає додаткової оцінки.

Кожен учасник дорожнього руху описується набором параметрів:

– тип об'єкта (Car, Person, Cyclist),
– відстань до об'єкта,
– напрямок розташування (зліва, по центру, справа),
– рівень перекриття та впевненість детекції.

Для кожного типу учасників руху (автомобілі, пішоходи, велосипедисти) формуються три нечіткі підкласи:

– Car_Safe, Car_Unsafe, Car_Suspect;
– Person_Safe, Person_Unsafe, Person_Suspect;
– Cyclist_Safe, Cyclist_Unsafe, Cyclist_Suspect.

Рішення ухвалюється за системою IF–THEN правил. Приклад:

IF *object = Pedestrian* AND *direction = center* AND *distance < 5 m* THEN *scene = Unsafe (0.9)*.

Таким чином формується 9-класова модель 3W-класифікації, що інтегрує просторову інформацію з оцінкою ризику.

Результати моделювання

Експерименти проведено на наборі з 5000 зображень вуличних сцен. Середня точність класифікації становила: 94–96 % для автомобілів, 96–98 % для пішоходів, 95–97 % для велосипедистів.

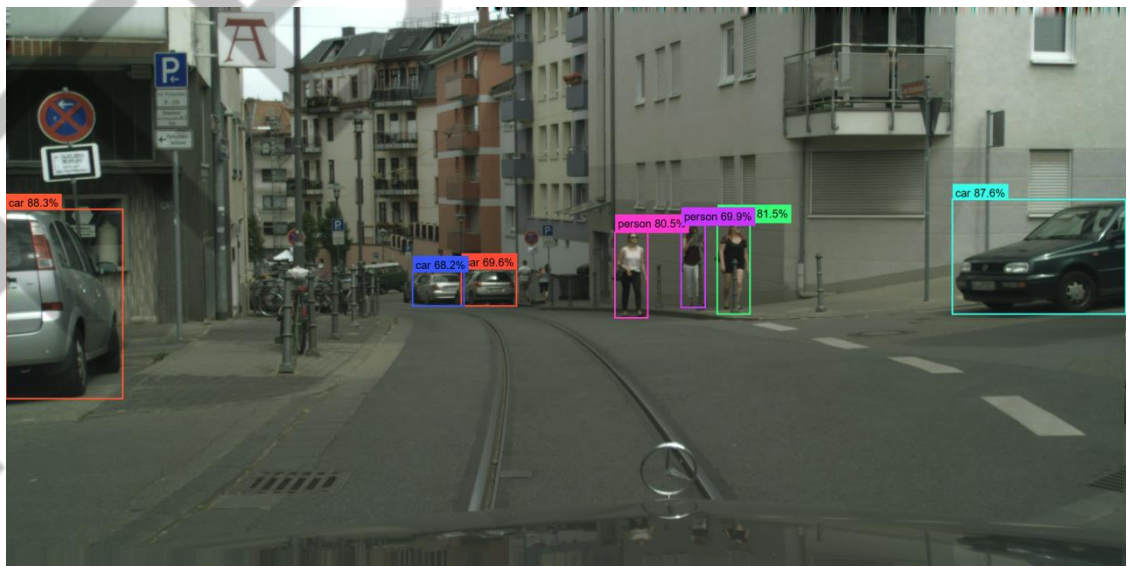


Рисунок 1 – приклад класифікації дорожньої сцени системою 3W

Основні помилки фіксуються між класами Unsafe і Suspect, де візуальні ознаки мають частковий збіг. Загальна точність системи — близько 96 %.

Отримані результати підтверджують, що нечітке представлення даних покращує стабільність класифікації порівняно з попереднім підходом об’єкт–суб’єкт [1].

Візуалізація роботи системи

На рисунку 1 показано приклад результату класифікації дорожньої сцени. Система виконує детекцію транспортних засобів і пішоходів та обчислює ймовірність належності кожного об’єкта до класу Safe / Unsafe / Suspect. На зображенні об’єкти обведені рамками з відповідними підписами.

Пішоходи праворуч класифікуються як Suspect, оскільки рухаються близько до проїжджої частини. Автомобіль біля бордюру також визначено як Suspect через зменшену оглядовість. Передній автомобіль зліва та авто в центрі вулиці належать до класу Safe, оскільки залишаються статичними або рухаються повільно та не створюють ризику.

Рішення формується у вигляді:

Scene = {Car: Safe, Person: Suspect, Cyclist: none, Overall: Suspect}.

Висновки

Нечітка 3W-класифікація забезпечує: інтерпретованість рішень і можливість пояснення класифікації, стійкість до часткових перекриттів і нечітких меж об’єктів, високу точність при низьких обчислювальних витратах.

Список використаної літератури

1. Прус Б. В., Ракитянська Г. Б. Метод візуального розпізнавання відношень «об’єкт–суб’єкт» для аналізу дорожніх сцен // Комп’ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2025: матеріали V Всеукр. наук.-техн. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (Одеса, 25–26 верес. 2025 р.). – Одеса : ОНТУ, 2025.
2. Pedrycz W. Granular Computing: Analysis and Design of Intelligent Systems. – CRC Press, Boca Raton, 2018. https://doi.org/10.1201/9781315216737.
3. Yao Y. Three-Way Decision and Granular Computing. – International Journal of Approximate Reasoning, 103, 107–123, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ijar.2018.09.005.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ IOT-СИСТЕМ РОЗУМНОГО ПАРКУВАННЯ

Расенко В.Ф., Грушко С.С., Тіменко К.І.
(rasenko2013@gmail.com, grushko@zp.edu.ua, timenko@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

У роботі проаналізовано проблематику паркування в урбанізованих середовищах та систематизовано наявні технологічні підходи до її вирішення. Проведено порівняльний аналіз п'яти типів систем розумного паркування з виявленням їх переваг та обмежень. Досліджено характеристики IoT технологій у контексті побудови систем управління паркувальними ресурсами через аналіз чотирьох ключових компонентів: сенсорів, підключення, обробки даних та користувацького інтерфейсу. Виконано класифікацію сенсорів для детекції транспортних засобів на інтрузивні та неінтрузивні типи з порівнянням технічних параметрів, економічної ефективності та умов застосування. Обґрунтовано вибір комбінації ультразвукових та інфрачервоних сенсорів для умов обмеженого бюджету через співвідношення ціна-якість. Визначено функціональні та нефункціональні вимоги до IoT-системи паркування з урахуванням критеріїв надійності, швидкодії та масштабованості. Запропоновано багаторівневу архітектуру системи з обґрунтуванням вибору апаратних компонентів Arduino UNO та Raspberry Pi для мікроконтролерного рівня, Django Framework для серверної частини. Розроблено концептуальні

алгоритми інтелектуального управління для прогнозування завантаженості та оптимізації потоків користувачів.

Проблема паркування в сучасних містах характеризується значними соціально-економічними наслідками. За статистичними даними, водії витрачають у середньому 20 хвилин на пошук паркувального місця, при цьому 30-45% міського трафіку генерується саме процесом пошуку. Економічні втрати включають непродуктивне використання часу, надмірне споживання палива та підвищені викиди шкідливих речовин.

Метою дослідження є аналіз наявних підходів до побудови IoT-систем розумного паркування та обґрунтування вибору оптимальних технологічних рішень з урахуванням технічних, економічних та експлуатаційних критеріїв.

На основі аналізу міжнародного досвіду виділено п'ять основних технологічних підходів до побудови систем розумного паркування. Експертні системи базуються на алгоритмах штучного інтелекту для обробки складних сценаріїв з множиною змінних параметрів. Системи самонавчання використовують підхід, аналогічний функціонуванню автомобільних систем управління. Бездротові сенсорні мережі складаються з недорогих вузлів, що самоорганізовуються в ad-hoc мережу. GPS-навігаційні системи інтегруються з існуючими навігаційними додатками. Автомобільні комунікаційні системи забезпечують навігаційні послуги безпосередньо в транспортний засіб.

IoT архітектура характеризується чотирма ключовими компонентами. Сенсори та пристрої забезпечують збір інформації з навколишнього середовища. Підключення реалізує з'єднання сенсорів з хмарними платформами через різні методи: GSM, Wi-Fi, Ethernet або спеціалізовані протоколи IoT. Обробка даних відбувається на хмарних серверах після передачі через інтернет. Користувацький інтерфейс забезпечує взаємодію через мобільні додатки, веб-портали або автомобільні системи.

Сенсори для детекції транспортних засобів класифіковано на дві категорії. Інтрузивні сенсори встановлюються в дорожнє покриття та включають індуктивні петлі з точністю >99%, магнітометри, п'єзоелектричні кабелі. Неінтрузивні сенсори монтуються без порушення покриття. Ультразвукові сенсори генерують акустичні хвилі >20 кГц та вимірюють час відбиття. Відстань розраховується за формулою

$$d = (v \times t) / 2,$$

де v – швидкість звуку (344 м/с), t – час повернення. Основні характеристики таких сенсорів - час відгуку 10-30 мс, вартість $8-12, дальність 2-400 см. Інфрачервоні сенсори детектують випромінювання 700 нм – 1 мм з точністю ±1 см, часом відгуку <10 мс, вартістю $5-10. Системи відеообробки забезпечують моніторинг багатьох місць однією камерою, але характеризуються високою вартістю та чутливістю до освітлення.

Порівняльний аналіз показав, що для умов обмеженого бюджету оптимальною є комбінація ультразвукових та інфрачервоних сенсорів, яка забезпечує точність детекції >95% при вартості $10-20 за паркувальне місце. Ультразвукові сенсори використовуються для відкритих зон через стійкість до змін освітлення, інфрачервоні – для закритих приміщень через високу точність. Гібридний підхід знижує помилкові спрацьовування до <5%.

Визначено функціональні вимоги до системи: автоматична детекція з точністю ≥95% та часом відгуку <5 секунд, передача даних з затримкою ≤10 секунд, надання інформації через мобільні додатки, резервування місць на 15-20 хвилин, GPS-навігація з пропонуванням альтернатив. Нефункціональні вимоги включають надійність з MTBF ≥8760 годин та коефіцієнтом готовності ≥99.5%, швидкодію з часом відгуку API <500 мс при навантаженні до 1000 користувачів, масштабованість від 10 до 10000+ місць, економічну ефективність з вартістю обладнання ≤$150-200 за місце та окупністю 2-3 роки.

Запропоновано багаторівневу архітектуру з чотирма функціональними рівнями. Рівень сенсорів включає інфрачервоні та ультразвукові пристрої з періодом опитування 100-500 мс. Рівень мікроконтролерів реалізовано через Arduino UNO з 14 цифровими та 6 аналоговими входами, мікроконтролером ATmega328P 16 МГц, вартістю $20-25. Arduino забезпечує швидку роботу з сенсорами в реальному часі. Raspberry Pi Model B+ з процесором Broadcom BCM2835 ARM 700 МГц, 512 МБ пам'яті, вартістю $25-35 використовується як шлюз для обробки даних та

мережевого з'єднання. Така комбінація ($45-50) дешевша за спеціалізовані IoT-контролери ($80-150).

Для серверного рівня обґрунтовано вибір Django Framework через MVT архітектуру з поділом бізнес-логіки, вбудовану ORM для абстракції баз даних, автоматичну адміністративну панель, Django REST Framework для RESTful API з токеновою автентифікацією. Архітектура включає модулі прийому даних від IoT пристроїв, зберігання історії, бізнес-логіки резервування та розрахунку вартості, API для клієнтів, адміністративного інтерфейсу.

Рівень клієнтських додатків включає три типи: мобільний додаток для водіїв з візуалізацією зон на карті, GPS-навігацією, резервуванням, історією платежів; додаток для операторів з ручним підтвердженням статусів, сповіщеннями про несправності, перевіркою резервувань; веб-панель адміністрування з моніторингом системи, аналітичними дашбордами завантаженості та часових патернів, управлінням користувачами, налаштуванням параметрів ціноутворення.

Розроблено концептуальні алгоритми інтелектуального управління. Алгоритм прогнозування завантаженості аналізує історичні дані з факторами: день тижня, час доби, погодні умови, спеціальні події. При прогнозі завантаженості >85% система пропонує альтернативні зони. Модель базується на методах часових рядів та машинного навчання. Алгоритм оптимального розподілу потоків враховує відстань до зон, вартість паркування, тривалість паркування, поточну та прогнозовану завантаженість для мінімізації загального часу пошуку. Концепція динамічного ціноутворення передбачає автоматичну корекцію вартості залежно від попиту для стимулювання вибору менш завантажених зон з обмеженнями на максимальний розмір коригування.

Обґрунтування технологічних рішень базується на комплексі критеріїв. Arduino оптимальна для роботи з сенсорами через архітектуру без операційної системи, Raspberry Pi необхідна для складних обчислень та стабільного мережевого з'єднання. Економічно комплект Arduino + Raspberry Pi ($45-50) вигідніший за спеціалізовані контролери. Експлуатаційні переваги включають велику спільноту розробників, можливість заміни компонентів від різних виробників, простоту налагодження. Django Framework забезпечує продуктивність через асинхронні операції та горизонтальне масштабування, безпеку через захист від SQL-ін'єкцій та XSS атак, розширюваність через модульну архітектуру.

Проведений аналіз дозволяє обґрунтувати оптимальні технологічні рішення для IoT систем розумного паркування. Розроблені алгоритми інтелектуального управління дозволяють підвищити ефективність на 15-25%. Результати формують науково-методичну основу для технічної реалізації систем управління міською інфраструктурою.

Список використаної літератури

[1] Data Bridge Market Research, "Global smart parking market - Industry trends and forecast to 2031," Apr. 2024. [Online]. Available: https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-smart-parking-market

[2] T.-L. Lin, H. Rivano, and F. Le Mouël, "A survey of smart parking solutions," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 18, no. 12, pp. 3229-3253, Dec. 2017.

[3] [2] V. Barone, T. Giuffrè, S. M. Siniscalchi, and G. Tesoriere, "Architecture for parking management in smart cities," IET Intell. Transp. Syst., vol. 8, no. 5, pp. 445-452, Aug. 2014.

[4] A. Khanna and R. Anand, "IoT based smart parking system," in Proc. Int. Conf. Internet Things Appl. (IOTA), Pune, India, Jan. 2016, pp. 266-270.

[5] B. Feng, W. Zhang, H. Cheng, and Z. Xiao, "Parking occupancy detection with ultrasonic sensor networks," Sensors, vol. 19, no. 2, p. 357, Jan. 2019, doi: 10.3390/s19020357.

[6] Y. Ma, D. Zhang, and C. Lou, "Vehicle detection under varying lighting with low-cost cameras," in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Expo (ICME), Turin, Italy, Jun. 2015, pp. 1-6.

УДК 377.1

ПОБУДОВА СХЕМ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ

Романовська І.О. (hrtkki.123@gmail.com)
Харківський радіотехнічний фаховий коледж (Україна)

В тезах розглядається необхідність використання моделюючих програм на прикладі етапів проєктування схеми операційних пристроїв (ОП) з використанням моделюючої програми AFDK.

Сучасна цифрова електроніка, від мікроконтролерів до складних процесорів, базується на бездоганній роботі логічних схем. Для студентів, майбутніх інженерів, програми моделювання є абсолютно критичним інструментом, що виконує кілька функцій:

- Наочне засвоєння теорії: Вони перетворюють абстрактні булеві рівняння та діаграми станів на реальні, функціонуючі схеми.
- Безпечне експериментування: Дозволяють тестувати складні, а іноді й небезпечні, конфігурації без ризику пошкодження фізичного обладнання.
- Економічність: Значно знижують вартість навчання та розробки, усуваючи необхідність багаторазового створення дорогих прототипів.

Навчальний та інженерний процес використовує широкий спектр інструментів, кожен із яких має свою спеціалізацію (табл. 1)

Таблиця 1 – Спеціалізація типових симуляторів

Програма	Призначення	Переваги	Недоліки
Logisim/Digital	Навчальні цілі, моделювання ЦП та архітектури	Простий, інтуїтивний інтерфейс, фокус на логіці, відкритий код/безкоштовність.	Обмежені можливості професійної верифікації; повільне моделювання великих схем; відсутність підтримки фізичних параметрів.
Logic.ly (Онлайн)	Швидке моделювання, початкове навчання	Доступність з будь-якого браузера, простота використання, ідеально для базових комбінаційних схем.	Не підходить для складних послідовнісних схем; обмежений набір компонентів.
NI Multisim	Аналогові, цифрові та змішані схеми, симуляція на основі SPICE.	Велика база реальних компонентів, інтеграція з вимірювальним обладнанням.	Висока вартість ліцензії; інтерфейс орієнтований більше на аналогову електроніку, ніж на архітектуру ЦП; складний для швидкої логіки.
AFDK (Automated Function Design Kit)	Графічне проектування	Швидке графічне введення схеми, інтеграція верифікації та синтезу для вузької галузі. Відкритий код/безкоштовність	Ймовірно, вузька спеціалізація та менша гнучкість порівняно з HDL-орієнтованими засобами; потенційна.

Моделювання операційних пристроїв є ключовим етапом у проектуванні цифрових систем. Воно дозволяє інженерам перевірити логіку роботи пристрою, виявити помилки на ранніх стадіях та оптимізувати схему до її фізичної реалізації. Програма AFDK (Automated Function Design Kit), як представник класу CAD-засобів, надає необхідний інструментарій для цього процесу (Табл. 2)

НТБОНТУ

Таблиця 2 - Переваги використання AFDK для моделювання

Перевага	Опис
Швидкість розробки	Графічний інтерфейс AFDK дозволяє швидко створювати та модифікувати складні схеми, значно прискорюючи етап проектування.
Економічність	Виявлення помилок на етапі моделювання дозволяє уникнути дорогих і тривалих ітерацій у виробництві друкованих плат або програмуванні FPGA.
Верифікація в реальних умовах	AFDK може підтримувати моделювання з урахуванням затримок поширення сигналів (timing simulation), що наближає модель до фізичної реальності.
Документування	Створена в AFDK схема є готовою проектною документацією, необхідною для подальшого виробництва чи інтеграції.

Сутність операційних пристроїв та їх моделювання

Операційний пристрій (ОП) — це частина цифрової системи (наприклад, процесора), що виконує певні операції над даними, такі як арифметичні, логічні перетворення, зсуви чи передача даних. Його побудова ґрунтується на принципах комбінаційної та послідовнісної логіки.

Моделювання ОП за допомогою AFDK включає:

1. Створення структурної схеми: Побудова логічної схеми з використанням стандартних елементів (мультиплексори, дешифратори, регістри, лічильники, АЛП, тригери, логічні вентилі).
2. Визначення функціональної поведінки: Призначення часових і логічних параметрів для вхідних сигналів.
3. Імітація роботи (симуляція): Запуск моделі для перевірки відповідності вихідних сигналів очікуваним результатам.

Етапи побудови схеми в AFDK

Процес проектування та моделювання операційного пристрою в AFDK, як правило, складається з наступних кроків:

1. Створення проекту та вибір бібліотек елементів

На початку роботи необхідно створити новий проект в AFDK та визначити, які бібліотеки логічних елементів будуть використовуватися. Це можуть бути бібліотеки стандартних TTL-мікросхем, елементів FPGA чи умовних графічних позначень.

2. Введення схеми (Схемотехнічний редактор)

Використовуючи графічний інтерфейс AFDK:

- Розміщення елементів: З бібліотеки вибираються необхідні логічні елементи (наприклад, 4-розрядний суматор, регістри) та розміщуються на робочому полі.
- З'єднання елементів (трасування): Елементи з'єднуються між собою за допомогою ліній (шин даних та керуючих сигналів), які представляють логічні зв'язки. Важливо правильно визначити ширину шин (кількість розрядів).
- Призначення входів/виходів: Визначаються зовнішні вхідні та вихідні порти пристрою.

3. Верифікація та налагодження логіки

Після побудови схеми настає найважливіший етап — симуляція в AFDK.

- Налаштування тестових впливів: Користувач задає послідовність вхідних даних та керуючих сигналів (тестовий вектор або діаграма) для перевірки всіх режимів роботи ОП (наприклад, операція додавання, зсуву, завантаження даних).
- Запуск симулятора: AFDK обчислює стани всіх внутрішніх вузлів схеми в часі згідно з поданими сигналами.
- Аналіз результатів: Результати симуляції відображаються у вигляді часових діаграм. Інженер порівнює фактичні вихідні сигнали з очікуваними. Якщо виявлено невідповідності, схема коригується в редакторі, і симуляція повторюється.

Наприклад, якщо при операції додавання виникає неправильний результат, AFDK дозволяє простежити по часовій діаграмі, на якому етапі (який елемент) виникла помилка логіки.

НТБОНТУ

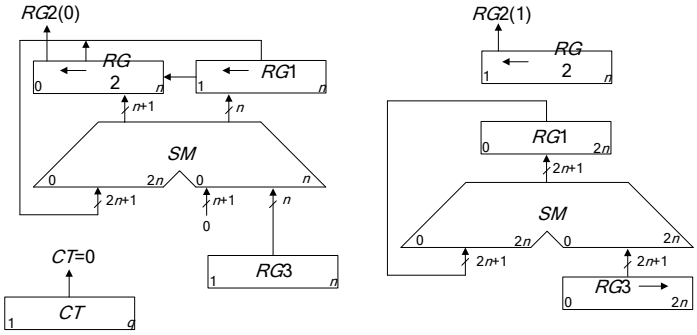


Рисунок 1 - Операційні схеми пристроїв

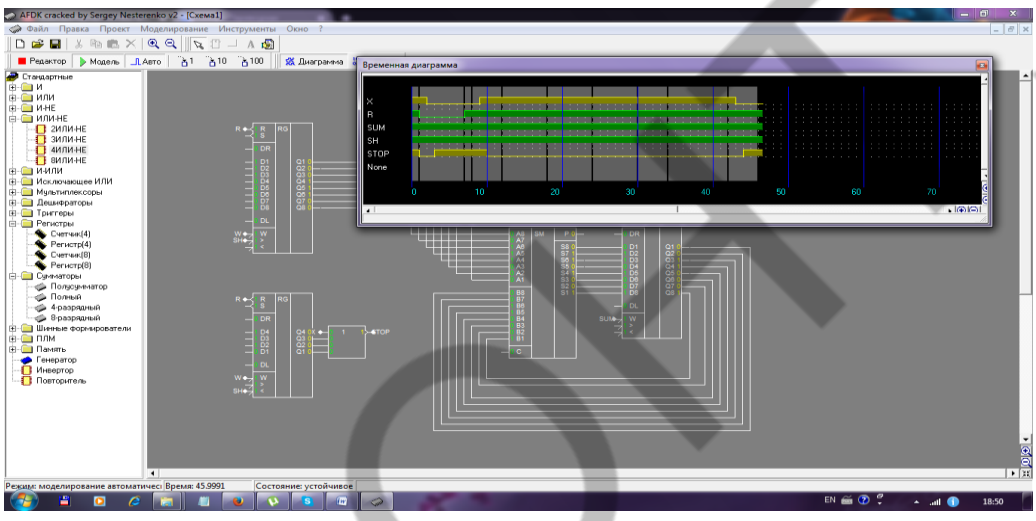


Рисунок 2 - Моделювання ОП за допомогою AFDK

Тож, програма AFDK є потужним інструментом у проектуванні операційних пристроїв. Вона перетворює абстрактні логічні функції на перевірену та оптимізовану структурну схему. Комплексний підхід, що включає графічне введення схеми, точне моделювання та візуальний аналіз часових діаграм, забезпечує високу надійність і ефективність розроблюваних цифрових систем. У сучасній електроніці та комп'ютерній техніці такі CAD-засоби, як AFDK, є незамінними для створення складних і високопродуктивних ОП.

Список використаної літератури

1. Logisim Evolution [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: https://github.com/logisim-evolution/logisim-evolution (дата звернення: 25.09.2025).
2. Logic.ly – Digital Logic Simulator [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://logic.ly/ (дата звернення: 25.09.2025).
3. National Instruments. NI Multisim – Circuit Design and Simulation Software [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.ni.com/multisim (дата звернення: 20.09.2025).
4. Пєтухова, Л. Є., Касьянова, Н. В. Цифрова електроніка: навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 256 с.
5. Семенов, О. М., Гриценко, В. М. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник. – Київ: Кондор, 2019. – 368 с.

УДК 004.89

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ, ПОБУДОВИ, ТЕСТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Рувінська В. М., Жупікова В.Є. (victoriya.ruvinskaya@gmail.com, zhupikovaaa@gmail.com)

Одеський національний політехнічний університет (Україна)

Проведено дослідження в області підтримки користувача при побудові та використанні регресійних моделей. При розробці таких моделей більшість існуючих рішень розраховано на досвідчених дослідників в області ШІ, а також не мають подальшої підтримки їх використання. Отже робота направлена на вирішення цих проблем.

В дослідженні йде річ про регресійні моделі для машинного навчання, що здійснюють прогнозування цільової кількісної ознаки об'єктів на підставі інших їх ознак.

Регресія [1] – це статичний метод, що використовується в машинному навчанні для отримання моделей, що надають залежності між спостереженням та ознаками. Регресійні моделі використовуються у прикладному машинному навчанні, вони позичені із статистики і отримали у машинному навчанні подальший розвиток [2].

Наразі є багато різних інструментів для побудови моделей регресії, але при їх використанні існують різні проблеми, а саме, для аналітика даних - великі витрати часу на вивчення інструментів та етапів побудови моделей. Тому рішенням є система, що буде вести розробника моделей по етапах їх побудови та тестування без необхідності специфічних знань мов програмування та тонкощів регресійного аналізу. Для кінцевих користувачів необхідна інтелектуальна система, що дає можливість на основі готових моделей лише отримати результат прогнозування за введеними даними. Аналітик прагне дати змогу кінцевому користувачу використовувати навчені моделі для прогнозування, тому бажано автоматичне розгортання створених моделей у систему для прогнозування.

Метою роботи є скорочення часу, витраченого на розробку, тестування моделей та підтримку їх використання в режимі кінцевого користувача на основі автоматизованого конструювання програми для прогнозування.

При проектуванні системи використано архітектурний шаблон «Клієнт-Сервер» (рис. 1). Клієнт представлений двома класами: UI (інтерфейс користувача) та Invoker (передача дій на серверну частину).

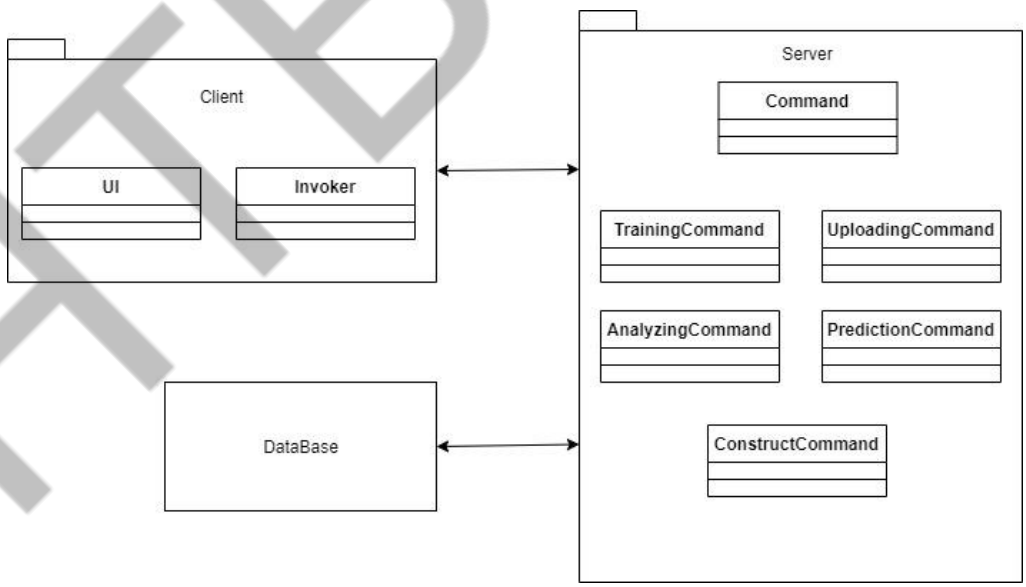


Рисунок 1 — Архітектура системи

НТБОНТУ

Сервер реалізує безпосередню реакцію на дії користувача: завантажує датасет, будує та оцінює моделі, конструює програму для користувача. Клас для БД реалізує взаємодію з нею та з сервером.

Функції системи у вигляді діаграми прецедентів представлено на рис. 2.

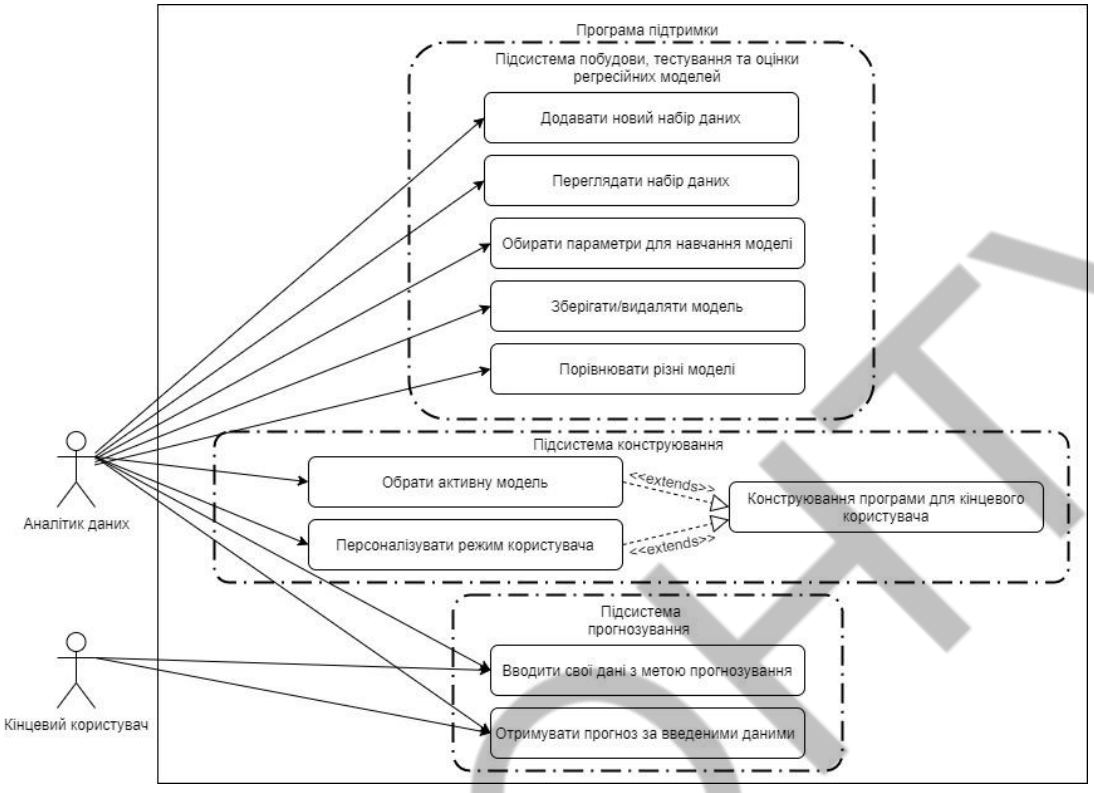


Рисунок 2 - Функції системи

Розроблено систему, що складається з трьох підсистем: побудова та тестування моделей, їх автоматичне розгортання у підсистему для кінцевого користувача, прогнозування на базі регресійних моделей (рис. 3).

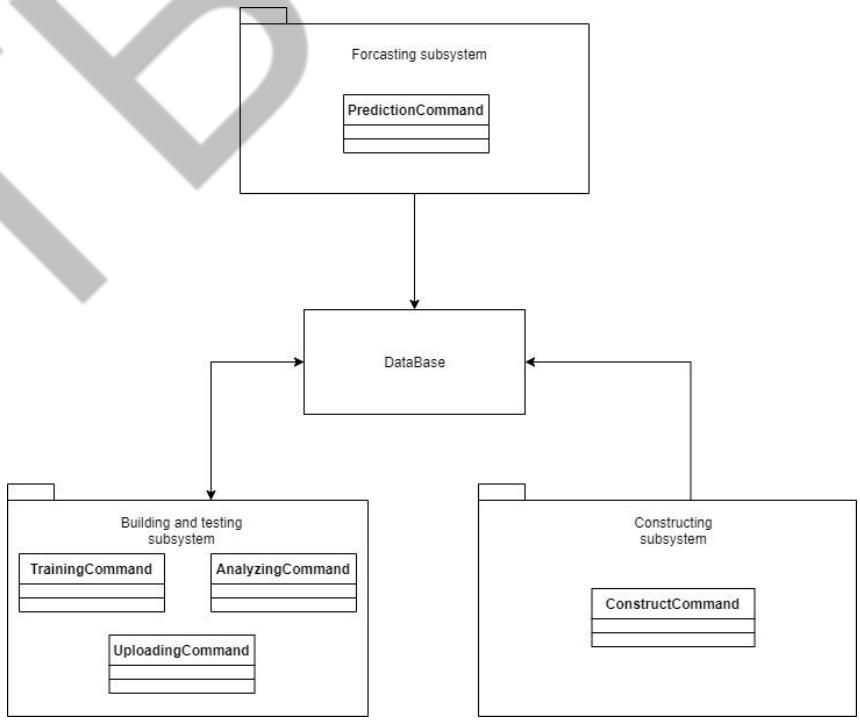


Рисунок 3 - Структура системи

Користувач-аналітик при роботі завантажую датасет, обирає тип моделей (лінійна регресія, поліноміальна або інші), методи побудови (метод найменших квадратів, найближчих сусідів, опорних векторів або інші), далі - цільову змінну та ознаки. Отримає автоматично моделі, переглядає їх, потім проводить тестування та обирає кращі з точки зору потреб користувачів та отриманних метрик якості, потім автоматично розгортає моделі в інтелектуальну систему. При цьому кінцевий користувач отримує список моделей з їх описами, після вибору моделі з'являється форма для введення значень ознак та автоматично розраховується прогноз цільової змінної.

Виявлено, що такий підхід, коли аналітики-початківці можуть проводити моделювання та набувати досвід впровадження їх в інтелектуальні системи, в рази скорочує час на формування моделей та їх впровадження в системи для кінцевих користувачів.

В перспективі можливо використання такого роду підходи для інших задач машинного навчання, таких як класифікація, кластеризація та інших.

Список використаної літератури

1. Лавренюк М.В. Алгоритми машинного навчання. Глибокі нейромережі в задачах механіки суцільних середовищ: Навчальний посібник. – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2024. – 100 с.

2. A Refresher on Regression Analysis. Amy Gallo. [Online]. Available: https://hbr.org/2015/11/a-refresher-on-regression-analysis. [Accessed: October 10, 2025]

УДК 004.414:336.76

РОЗРОБКА ПРОЕКТА МОДУЛЯ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ З ІНВЕСТИЦІЙ

Рудніченко М. Д., Шведов Д. В. (studylearner@gmail.com, nickolay.rud@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У тезах розглянуто проект модуля багатовимірного аналізу фінансових даних для виявлення інвестиційних ризиків у динамічному економічному середовищі. Запропонована архітектура складається з шести блоків що забезпечують інтеграцію джерел даних їхню очистку факторне моделювання оцінку ризиків інтерпретацію результатів і адаптивне навчання. У роботі обґрунтовано переваги використання методів багатовимірного аналізу для підвищення точності прогнозів і стійкості управлінських рішень. Показано можливості поєднання автоматизованих обчислювальних процедур з експертною оцінкою ризиків. Практична значущість модуля полягає у його здатності забезпечувати своєчасне виявлення загроз і підтримку прийняття інвестиційних рішень..

Вступ. Актуальність проблеми розробки модулів багатовимірного аналізу фінансових даних обумовлена зростаючою складністю фінансових ринків і необхідністю оперативного виявлення інвестиційних ризиків у мінливому економічному середовищі [1]. Сучасні інструменти інвестиційного аналізу повинні поєднувати можливості збору великих обсягів гетерогенних даних, застосування статистичних і машинних методів оцінки кореляційних та каузальних зв'язків і забезпечення користувача інтерпретованими сигналами про підвищення ризику [2]. У науковій літературі багатовимірний підхід розглядається як базис для формалізованої оцінки складних соціально економічних систем і фінансових процесів оскільки дозволяє врахувати взаємозв'язки між численними показниками і тим самим підвищити точність прогнозів та стійкість прийняття рішень [3].

У зв'язку з цим проектування модульного програмного забезпечення для багатовимірного аналізу набуває практичної значущості для інвесторів аналітичних підрозділів фінансових установ і науковців що працюють над проблемами управління ризиками.

Основна частина. Представлений для розгляду модуль багатовимірного аналізу фінансових даних має архітектуру з шести логічно взаємопов'язаних блоків кожен з яких виконує чітко

визначену функцію і разом утворює інтегровану платформу для виявлення інвестиційних ризиків (рис.1).

Рисунок 1 – Склад блоків модуля

Перший блок відповідає за інтеграцію джерел даних і забезпечує механізми підключення до зовнішніх потоків ринкових котирувань макроекономічних показників бухгалтерської звітності та альтернативних даних таких як новинні стрічки соціальні мережі і показники ланцюжків поставок. Основною метою цього блоку є уніфікація форматів і забезпечення високої частоти оновлення при збереженні цілісності і відстежуваності метаданих.

Другий блок реалізує процедурну очистку та підготовку даних і включає методи відновлення пропущених значень детекції та корекції аномалій приведення часових рядів до спільної частоти і масштабування ознак для подальшого аналізу. Особлива увага у цьому блоці приділяється збереженню інформації про невизначеність і побудові сценарних інтервалів що дозволяє уникати надмірної впевненості в результатах обробки.

Третій блок призначений для багатовимірної факторної декомпозиції і побудови моделей залежностей між ознаками. У його складі передбачено застосування методів головних компонентів факторного аналізу тензорних розкладів а також сучасних підходів на основі машинного навчання таких як автокодери і варіаційні представлення які дозволяють виділяти латентні фактори впливу.

Четвертий блок реалізує модулі оцінки ризику на основі поєднання симуляційних методів статистичної оцінки і стохастичного моделювання. Він включає механізми Монте Карло для оцінки розподілу можливих результатів портфеля сценарне моделювання при екстремальних шоках аналіз чутливості та оцінку кореляційних ризиків з урахуванням хвильової локалізації та часової залежності.

П'ятий блок відповідає за аналітику прийняття рішень і інтерфейс інтерпретації результатів. Він поєднує правила інформування про ризики сигнальні механізми раннього попередження і візуалізаційні компоненти що дозволяють аналітику швидко зрозуміти джерела ризику оцінити їхній внесок і сформувати рекомендації для управління портфелем.

Шостий блок забезпечує навчання системи і адаптацію моделей під впливом зворотного зв'язку від користувачів і зовнішніх подій. До його функцій належить автоматичний перехід моделей в режим дообучення виявлення деградації якості прогнозів і валідація оновлених моделей на відкладених вибірках з фіксацією метрик стабільності. Міжблокова взаємодія реалізована через стримінгову шину даних де підготовлені і нормалізовані ознаки передаються в аналітичні модулі результати оцінки ризику візуалізуються і одночасно записуються в підсистему навчання для оновлення параметрів моделей. Такий підхід гарантує цілісність конвеєра обробки даних і дозволяє зменшити затримки між появою нових інформаційних сигналів та генерацією індикаторів ризику.

Теоретична основа запропонованого модуля спирається на методи багатовимірного аналізу які доведено ефективні для соціально економічних систем і адаптовані для фінансового середовища з урахуванням властивостей часових рядів їхньої стохастичності і явної залежності між показниками. Практична реалізація передбачає модульну структуру що полегшує тестування і масштабування окремих компонентів і дозволяє інтегрувати нові алгоритми без необхідності повної перебудови системи. Особливістю архітектури є механізм інтерпретованості що забезпечує

відокремлення факторів ризику і надає аналітичні описи в термінах економічних показників а не лише чисельних індексів. Завдяки цьому модуль стає корисним не тільки для автоматичного моніторингу але й для глибокого експертного аналізу з метою розробки стратегії зниження ризиків. Безпека і надійність системи досягаються шляхом впровадження контрольних процедур аудиту даних журналювання змін моделей і застосування політик доступу що відповідають вимогам конфіденційності фінансової інформації.

Висновки. Запропонований проект модуля багатовимірного аналізу фінансових даних являє собою комплексний інструмент що поєднує інтеграцію гетерогенних даних підхід до їхньої підготовки методи факторного і стохастичного моделювання а також адаптивні механізми навчання і інтерпретації результатів. Така архітектура дозволяє підвищити точність виявлення інвестиційних ризиків і зменшити ймовірність помилкових сигналів за рахунок врахування багатовимірних взаємозв'язків і побудови сценаріїв в умовах невизначеності. Практична цінність системи полягає в її здатності поєднувати автоматизовані процеси з інструментами для експертного прийняття рішень що робить її корисною для інвестиційних аналітиків менеджерів ризиків і науковців. Подальші дослідження слід спрямувати на апробацію архітектури в реальних умовах на прикладі корпоративних портфелів і біржових індексів оцінку ефективності різних алгоритмів латентного факторного представлення і розробку процедур пояснюваного машинного навчання застосованих до фінансових ризиків. Впровадження запропонованого модуля сприятиме підвищенню стійкості інвестиційних рішень і розвитку методології багатовимірного аналізу в прикладних фінансових дослідженнях.

Список використаної літератури

[1] "Багатовимірний аналіз соціально-економічних систем", В. С. Пономаренко, Л. М. Малярець, Харків, 2009. [Online]. Available: https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/3113/1/ [Accessed: September 12, 2025]

[2] "Вибір інвестиційних проектів методом Монте Карло", М. Є. Сіницький, 2017. [Online]. Available: https://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvhastat_2017_1-2_15.pdf [Accessed: September 12, 2025]

[3] "Звіт за результатами секторальної оцінки ризиків використання ринку нерухомості для легалізації доходів", Державна служба фінансового моніторингу України, 2018. [Online]. Available: https://fiu.gov.ua/assets/userfiles/books/6_sektor_ozinka_zvit.pdf [Accessed: September 12, 2025]

УДК 004.932

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МУЗИЧНОГО СИНТЕЗАТОРА У ФОРМАТІ VST-ПЛАГІНУ

Сентюрін Є.Є.,Ткаченко О. М.
(yevhenii_sentiurin@ukr.net, alextk1960@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Проведено аналіз архітектур безкоштовних VST-інструментів для визначення ключових вимог до сегменту. Розроблено архітектурний прототип VST-синтезатора TapSynth на базі C++ та JUCE, з акцентом на модульність, FM-синтез та високу продуктивність. Визначено ключові переваги прототипу над аналогами, зокрема, закладення гнучкої основи для майбутнього розвитку. Прототип включає секції осцилятора з FM-модуляцією, дві ADSR-огинаючі та фільтр. Сформульовані висновки щодо подальшої трансформації прототипу у фінальний продукт із розширенням DSP-функціоналу та UX/UI.

Розвиток цифрової обробки аудіо (DSP) та постійне зростання вимог до музичних інструментів підкреслюють необхідність створення гнучких та ефективних програмних рішень. Сегмент безкоштовних віртуальних студійних технологій (VST) часто страждає від недостатньої функціональності, застарілого інтерфейсу або низької продуктивності, що обмежує його професійне використання.

Метою роботи є розробка прототипу VST-синтезатора, який слугуватиме основою для майбутньої, повнофункціональної версії в сегменті безкоштовних інструментів. Ключова

інновація полягає у закладенні модульної та оптимізованої архітектури для забезпечення масштабованості та низької затримки [1].

Проведено аналіз архітектур безкоштовних VST-синтезаторів для визначення вимог до розробки. Згідно з результатами, ключовими критеріями для конкурентоспроможності є: низьке навантаження на CPU, гнучка DSP-архітектура та сучасний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Розроблений прототип фокусується на демонстрації базових функцій синтезу та його готовності до розширення.

Ключові технічні характеристики та переваги архітектури:

1. Нативна розробка: Використання C++ та JUCE/VST3 API (рисунок 1) забезпечує високу продуктивність та мінімізацію навантаження на CPU, що є критичним для DSP-застосунків [1, 2].

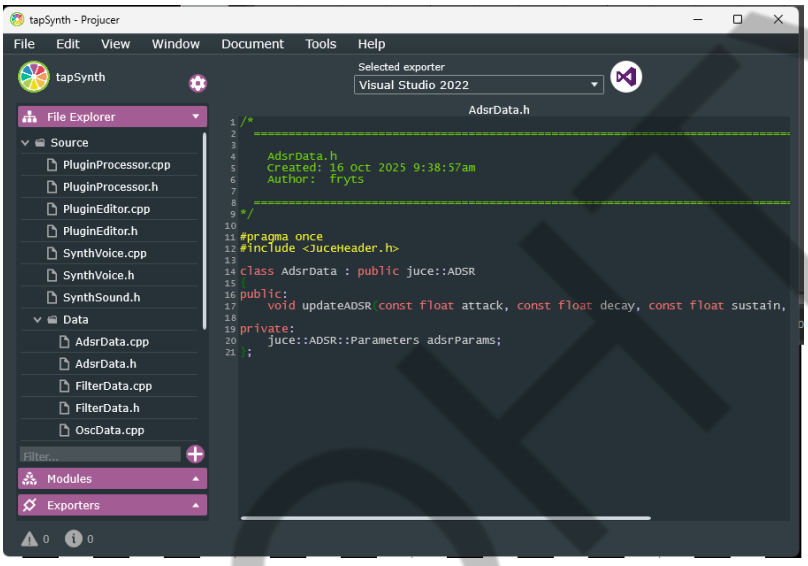


Рисунок 1 – Вікно проекту прототипу в Projucer

2. Модулі синтезу та керування: Прототип включає основні модулі, необхідні для реалізації гібридного синтезу (рисунок 2), зокрема:

- Секцію Осцилятора (Oscillator) з вибором форми хвилі та параметрами FM-модуляції (Frequency Modulation Frequency та Depth) [1, 3].
- Дві незалежні огинаючі ADSR (для амплітуди та модуляції).
- Керовану секцію Фільтра типу Low-Pass з регульованим резонансом (Filter Res).

3. Гнучка модульна основа: Внутрішня структура побудована на чітких класах (`OscData`, `SynthVoice`, `AdsrComponent`), які дозволяють легко замінювати та додавати нові модулі (осцилятори, фільтри, огинаючі) без переробки ядра плагіна [4].

Ця архітектура забезпечує масштабованість, необхідну для трансформації прототипу у повноцінний, конкурентоспроможний продукт.

4. Інноваційний підхід до генерації: Використовуються лямбда-функції для динамічного визначення математичних функцій осциляторів, що спрощує подальше впровадження таблично-хвильового синтезу [3].

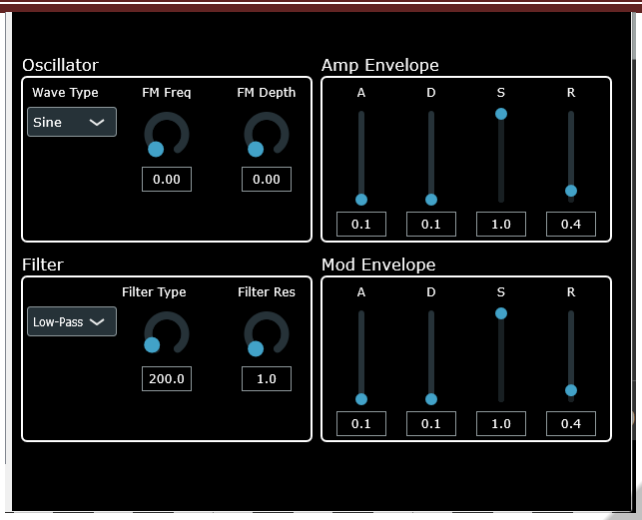


Рис. 2 – Графічний інтерфейс користувача прототипу

Висновок

Створений прототип успішно демонструє функціональну основу для майбутнього безкоштовного VST-синтезатора. Архітектурні рішення, закладені в ньому, забезпечують його конкурентоспроможність у довгостроковій перспективі.

Подальша робота буде зосереджена на трансформації прототипу у фінальний продукт шляхом: розширення бібліотеки осциляторів та модуляцій (LFO, FM), розробки повноцінного графічного інтерфейсу (UI/UX) та додавання поліфонії [1, 4]. Кінцевою метою є випуск якісного, інноваційного та доступного VST-плагіну, що забезпечить користувачів потужним інструментом для створення музики.

Список використаної літератури

1. Pirkle, W. 2019. Designing Audio Effect Plug-Ins in C++: With Digital Audio Signal Processing Theory. Routledge.
2. Robinson, M. 2015. Getting Started with JUCE. Packt Publishing.
3. Velardo, V. The Audio Programmer: C++ Audio Plugin Development. [Online]. Available: https://www.theaudioprogrammer.com/. [Accessed: October 15, 2024].
4. JUCE. 2024. JUCE Framework Documentation. [Online]. Available: https://juce.com/learn/documentation. [Accessed: October 15, 2024].

УДК 004.8:336.76

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТОРГОВИХ СТРАТЕГІЙ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МІКРОСТРУКТУРИ РИНКУ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Сербинов Я.С., Селіванова А.В.
(sacristier@gmail.com, alikasalvano@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі досліджено розробку алгоритмічних торгових стратегій шляхом поєднання аналізу мікроструктури ринку та методів машинного навчання. Проаналізовано недоліки традиційних моделей, що спираються на низькочастотні дані, та запропоновано комплексний підхід, що використовує гранулярну інформацію з книги ордерів та потоку угод. Особливу увагу приділено застосуванню парадигм керованого, некерованого навчання та навчання з підкріпленням для прогнозування ринкових рухів, ідентифікації ринкових режимів та оптимізації торгових рішень. Зазначено, що синергія цих методів у поєднанні з робастною методологією бектестування дозволяє створювати адаптивні та потенційно прибуткові торгові системи.

НТБОНТУ

Сучасні фінансові ринки трансформуються під впливом алгоритмічних та високочастотних торгових систем (HFT), де успіх залежить від здатності миттєво обробляти великі потоки даних. Це висуває на передній план дослідження мікроструктури ринку — механізмів, що регулюють взаємодію трейдерів на найнижчому рівні. Традиційні економетричні моделі, що використовують низькочастотні дані (наприклад, денні ціни закриття), ігнорують багатий інформаційний шар, що міститься в книзі ордерів, потоці угод та глибині ринку. Ці мікроструктурні дані містять приховані сигнали про наміри учасників ринку та потенційні короткострокові рухи цін, однак їх складність та зашумленість унеможливлюють аналіз класичними методами.

Методи машинного навчання (ML) відкривають нові горизонти для виявлення цих прихованих закономірностей. У контексті трейдингу застосовуються три основні парадигми ML. Кероване навчання використовується для прогнозування напрямку руху ціни на основі історичних даних. Некероване навчання дозволяє ідентифікувати приховані ринкові режими (наприклад, періоди високої волатильності або тренду) шляхом кластеризації. Навчання з підкріпленням дає змогу розробляти адаптивні стратегії, де агент вчиться приймати оптимальні рішення шляхом взаємодії з ринковим середовищем. Найбільш ефективним є ієрархічний підхід, що поєднує ці парадигми: модель некерованого навчання визначає поточний режим ринку, активуючи відповідну прогнозну модель керованого навчання, а агент навчання з підкріпленням приймає фінальне рішення щодо управління позицією та ризиком [1].

Проєктування такої системи включає кілька ключових етапів. Перший етап — збір та попередня обробка високочастотних даних, їх очищення та агрегація. Наступний етап — інжиніринг ознак, тобто створення інформативних предикторів з сирих даних, таких як дисбаланс книги ордерів (OBI) або індикатори на основі потоку угод (VPIN). Для моделювання часових залежностей у фінансових рядах ефективними є архітектури глибокого навчання, зокрема рекурентні нейронні мережі (LSTM), що здатні враховувати довгострокові патерни, та згорткові нейронні мережі (CNN) для виявлення локальних закономірностей.

Критично важливим елементом є робастне бектестування — симуляція стратегії на історичних даних для об'єктивної оцінки її ефективності. Бектестер повинен реалістично імітувати ринкові умови, враховуючи транзакційні витрати та прослизання. Основною загрозою при використанні ML є перенавчання (overfitting), коли модель запам'ятовує випадковий шум замість реальних закономірностей. Для боротьби з цим необхідне суворе розбиття даних на тренувальний, валідаційний та тестовий набори, а також застосування технік регуляризації. Оцінка стратегії проводиться за комплексом метрик, що враховують не лише прибутковість, а й ризик, зокрема коефіцієнт Шарпа та максимальну просадку.

Таким чином, дослідження підтверджує, що синергія аналізу мікроструктури ринку та методів машинного навчання дозволяє створювати ефективні алгоритмічні торгові стратегії. Ієрархічний підхід до використання різних парадигм ML та сувора методологія бектестування є ключовими факторами успіху.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розвиток інтерпретованого ШІ (XAI) для розуміння рішень моделей та багатоагентні системи для моделювання складної ринкової динаміки.

Список використаної літератури

[1] O'Hara, M. Market Microstructure Theory. Blackwell Publishers, 1995. 304 p. de Prado, M. L. Advances in financial machine learning. John Wiley & Sons, 2018. 528 p. Cartea, Á., Jaimungal, S., & Penalva, J. Algorithmic and high-frequency trading. Cambridge University Press, 2015. 478 p.

УДК 004.094:005.21

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ КОНКУРЕНЦІЇ

Сивицький Ю. І. (ys@intecracy.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У статті представлено підхід до оцінювання ефективності організаційних трансформацій у цифровому конкурентному середовищі. Обґрунтовано, що традиційні фінансово-орієнтовані показники не відображають повною мірою результативність цифрових змін, які охоплюють

технологічні, процесні та соціальні аспекти діяльності. Запропоновано інтегральну модель IETM (Integrated Efficiency Transformation Model), яка поєднує структурну гнучкість, цифрову зрілість та соціально-комунікаційну адаптивність. Модель забезпечує аналітичну підтримку прийняття управлінських рішень через використання системи зворотного зв'язку та багаторівневої аналітики. Результати дослідження підтверджують, що застосування комплексної моделі дозволяє підвищити прозорість процесів трансформації, зменшити ризики неефективних рішень і забезпечити динамічну адаптацію організаційних структур до умов цифрової конкуренції.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифрової трансформації підприємства та організації стикаються з необхідністю постійного перегляду власних управлінських структур, бізнес-процесів і моделей взаємодії. Високий рівень зовнішньої конкуренції, поява нових цифрових платформ, автоматизація управлінських функцій і використання аналітики даних створюють динамічне середовище, у якому традиційні механізми оцінювання ефективності організаційних змін стають недостатніми.

Більшість відомих підходів до оцінювання трансформаційних процесів ґрунтується на статичних або фінансово-орієнтованих показниках (ROI, KPI), які не відображають комплексного впливу цифрових факторів — таких як рівень автоматизації, швидкість адаптації, зрілість даних чи інтеграційна взаємодія між підрозділами. Це ускладнює своєчасну діагностику ефективності організаційних рішень, що в умовах цифрової конкуренції може призвести до втрати стратегічних переваг.

Отже, актуальним є розроблення методів комплексного оцінювання ефективності організаційних трансформацій, які поєднують кількісні та якісні індикатори, враховують динаміку цифрових процесів і дозволяють адаптивно коригувати стратегію розвитку підприємства.

Мета дослідження — розроблення системи методів оцінювання ефективності організаційних трансформацій у цифровому конкурентному середовищі, що забезпечує аналітичну підтримку прийняття рішень, підвищення керованості змін та своєчасну адаптацію структури управління до зовнішніх і внутрішніх викликів.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати існуючі методики оцінювання ефективності організаційних змін і визначити їх обмеження у контексті цифрової конкуренції.
2. Визначити ключові фактори ефективності організаційних трансформацій — технологічні, процесні, управлінські та поведінкові.
3. Розробити узагальнену модель багатокритеріальної оцінки, яка враховує як фінансові, так і нефінансові показники результативності цифрових змін.
4. Сформувати систему інтегральних індикаторів ефективності трансформацій, побудовану на принципах зворотного зв'язку й аналітики даних.
5. Провести апробацію запропонованих методів на моделі організаційної структури підприємства з елементами цифрової екосистеми для перевірки достовірності оцінювання.

Суть дослідження. У межах дослідження процес **оцінювання ефективності організаційних трансформацій** розглядається як багатокритеріальна задача, у якій результати структурних, управлінських і технологічних змін мають бути представлені у вимірюваній, порівнянній та адаптивній формі.
Трансформація сучасних організацій передбачає не лише зміну ієрархії чи бізнес-процесів, а й інтеграцію цифрових технологій — систем аналітики, автоматизованих платформ управління знаннями, засобів штучного інтелекту для прийняття рішень.
Тому ефективність таких змін повинна визначатися через синергію трьох взаємопов'язаних компонентів:

- організаційної ефективності (структурна гнучкість, керованість, узгодженість ролей);
- цифрової зрілості (рівень автоматизації, інтеграції, використання даних);
- соціальної адаптивності (інноваційна культура, швидкість навчання, комунікаційна взаємодія).

Для формалізації цього підходу запропоновано інтегральну модель оцінювання ефективності трансформацій (IETM), яка базується на принципі зваженої агрегації показників:

$$E_{org} = \alpha \cdot F_{str} + \beta \cdot F_{dig} + \gamma \cdot F_{soc},$$

де F_{str} — структурна ефективність,

F_{dig} — цифрова зрілість,

F_{soc} — соціально-комунікаційна адаптивність,
а α, β, γ — вагові коефіцієнти залежно від стратегічних пріоритетів організації.

Таблиця 1. Основні показники оцінювання ефективності організаційних трансформацій

Показник	Опис	Одиниця вимірювання
Індекс структурної гнучкості	Відображає здатність організації адаптувати структуру до нових вимог	відн. од.
Рівень цифрової зрілості	Частка автоматизованих процесів у загальній структурі управління	%
Коефіцієнт комунікаційної інтегрованості	Вимірює швидкість і якість взаємодії між підрозділами	відн. од.
Індекс продуктивності змін	Відношення фактичних результатів до запланованих	%
Індекс стійкості до ризиків трансформації	Відображає здатність організації мінімізувати втрати під час змін	відн. од.
Індекс навчальної адаптивності	Характеризує здатність персоналу засвоювати нові технології	відн. од.

Запропонована система індикаторів дозволяє здійснювати динамічний моніторинг ефективності змін та формувати зворотний зв'язок для коригування управлінських рішень. Інтеграція цих показників у інформаційно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень (DSS) забезпечує автоматичне оновлення метрик, візуалізацію тенденцій і формування рекомендацій щодо подальших кроків трансформації.

Рисунок 1 відображає узагальнену структуру інтегральної моделі IETM (Integrated Efficiency Transformation Model), яка забезпечує комплексну оцінку ефективності організаційних змін у цифровому середовищі (Рис. 1).

Рисунок 1. Інтегральна модель оцінювання ефективності організаційних трансформацій

Запропонована схема відображає замкнений контур оцінювання ефективності, де результати аналітичної обробки безпосередньо впливають на управлінські рішення, а зміни у структурі чи процесах організації — на оновлення моделей і вагових коефіцієнтів. Таким чином, модель IETM створює основу для цифрового моніторингу трансформацій у реальному часі, дозволяючи не лише

фіксувати факт ефективності, а й прогнозувати майбутні тенденції, виявляти зони ризику й оптимізувати стратегію розвитку організації відповідно до умов цифрової конкуренції.

Розроблена модель дозволяє не лише оцінити результативність уже реалізованих змін, а й прогнозувати ефективність майбутніх організаційних рішень з урахуванням цифрової конкуренції, динаміки ринку та внутрішнього потенціалу розвитку.

Висновки. Проведене дослідження показало, що ефективність організаційних трансформацій у цифровому середовищі не може бути адекватно оцінена за допомогою лише фінансових або процесних метрик. Запропонована інтегральна модель ІЕТМ забезпечує цілісний підхід до оцінювання, враховуючи взаємозв'язок між структурними, цифровими та соціальними компонентами змін. Реалізація моделі у вигляді аналітичної системи підтримки прийняття рішень дозволяє автоматизувати процес збору та обробки даних, підвищити точність оцінювання й забезпечити адаптивність управлінських стратегій. Застосування моделі в корпоративних інформаційних системах сприятиме переходу від реактивного до прогнозно-аналітичного управління трансформаціями, що є необхідною умовою стійкості організацій у конкурентному цифровому середовищі.

Список використаної літератури

[1] Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2019). *How Smart, Connected Products Are Transforming Companies*. Harvard Business Review, 97(3), 66–88.

[2] Kane, G. C. (2023). *The Transformation Myth: Leading Your Organization through Uncertain Times*. MIT Sloan Management Review, 64(4), 45–53.

[3] Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*. Harvard Business Press.

[4] Поперешняк С. В., Панченко С. В., Федорченко О. Д., Ільїн С. А. Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи. *Проблеми програмування*, № 2–3, 2024, с. 334–342. DOI: 10.15407/pp2024.02-03.334.

УДК 519.6

СЕГМЕНТАЦІЯ ПОВЕРХНІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРИВНИХ СПЛАЙНІВ

Славік О. В., Будім В. П. (oleksii.slavik@nure.ua, vktr_28@hotmail.com)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В даній роботі розглядається метод сегментації поверхні, що задана функцією двох змінних та має розриви першого роду функції або її похідної деякого порядку. Для виявлення розривів поверхні використовуються розривні сплайни на прямокутних елементах розбиття. Результати дослідження можуть бути застосовані у задачах комп'ютерної графіки, обробки зображень та інженерного моделювання.

Проблема сегментації поверхонь посідає важливе місце у сучасних методах комп'ютерної графіки, обробки зображень та інженерного моделювання. Класичні підходи базуються на глобальних методах апроксимації та інтерполяції, зокрема з використанням безперервних сплайнів [1]. Однак у випадках, коли поверхня містить різкі зміни кривизни чи структурні розриви, такі моделі демонструють знижену точність та можуть призводити до появи небажаних артефактів.

На даний момент розроблено низку підходів до локальної сегментації та адаптивної апроксимації [2], зокрема методи з використанням B-сплайнів та NURBS [3]. Для задач із неоднорідними поверхнями перспективним є застосування розривних сплайнів, що дозволяють виділяти розриви функції або її похідних деякого порядку [4].

Таким чином, сучасні дослідження свідчать про актуальність поєднання класичних математичних інструментів сплайнового аналізу з новими підходами до сегментації для забезпечення більшої точності та адаптивності.

Нехай $f(x,y)$ – математична модель поверхні, яка визначена на деякій прямокутній області $D=[a_1,b_1]\times[a_2,b_2]\subset \square^2$. Необхідно проаналізувати дану поверхню на наявність розривів першого роду самої функції або її похідної деякого порядку та у випадку, якщо такі розриви існують, то виділити у області *D* окремі сегменти та наблизити лінію розриву білінійними сплайнами.

Для знаходження розривів на області *D* у роботі [4] наведено метод, який для розбиття області *D* на прямокутні елементи прямими, що паралельні осям координат, будує наближення кривої розриву функції або її похідної деякого порядку за допомогою розривних білінійних сплайнів вигляду:

$$S(x,y)=p_{i,j}(x,y)=C_{i,j}^{++}\frac{x-x_{i+1}}{x_i-x_{i+1}}\frac{y-y_{j+1}}{y_j-y_{j+1}}+C_{i+1,j}^{-+}\frac{x-x_i}{x_{i+1}-x_i}\frac{y-y_{j+1}}{y_j-y_{j+1}}+$$

$$+C_{i,j+1}^{+-}\frac{x-x_{i+1}}{x_i-x_{i+1}}\frac{y-y_j}{y_{j+1}-y_j}+C_{i+1,j+1}^{--}\frac{x-x_i}{x_{i+1}-x_i}\frac{y-y_j}{y_{j+1}-y_j},\ (x,y)\in\Pi_{i,j}.$$

де $\Pi_{i,j}=[x_i,x_{i+1}]\times[y_j,y_{j+1}]$ – прямокутний елемент розбиття, який належить області *D*.

Параметри розривного сплайну знаходяться методом найменших квадратів:

$$J(C)=\sum_{\Pi_{i,j}\subset D}\iint_{\Pi_{i,j}}\left[d^k f(x,y)-p_{i,j}(x,y,C)\right]^2 dxdy\to\min_C$$

$$d^k f(x,y)=\sum_{\substack{i,j=0\\ i+j=k}}^{k} a_{i,j}\frac{\partial^{i+j}f(x,y)}{\partial x^i\partial y^j}$$

де *k* – значення похідної, в якій шукається розрив.

Функція або її похідна деякого порядку вважається неперервною в точці (x_i,y_j) якщо для неї справедливі такі нерівності [4]:

$$\left|\lim_{\substack{x\to x_q+0\\ y\to y_s+0}} d^k f(x,y)-\lim_{\substack{x\to x_q-0\\ y\to y_s+0}} d^k f(x,y)\right|<\varepsilon,\ \left|\lim_{\substack{x\to x_q+0\\ y\to y_s+0}} d^k f(x,y)-\lim_{\substack{x\to x_q+0\\ y\to y_s-0}} d^k f(x,y)\right|<\varepsilon,$$

$$\left|\lim_{\substack{x\to x_q-0\\ y\to y_s+0}} d^k f(x,y)-\lim_{\substack{x\to x_q-0\\ y\to y_s-0}} d^k f(x,y)\right|<\varepsilon,\ \left|\lim_{\substack{x\to x_q-0\\ y\to y_s-0}} d^k f(x,y)-\lim_{\substack{x\to x_q+0\\ y\to y_s-0}} d^k f(x,y)\right|<\varepsilon,$$

Сформулюємо основні етапи методу сегментації поверхні за допомогою розривних сплайнів:

1) Задаємо початкове розбиття Π області *D* на прямокутні елементи $\Pi_{i,j}, i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m-1}$.

2) На кожному елементі розбиття із Π будуємо відповідний розривний білінійний сплайн $p_{i,j}(x,y), i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m-1}$.

3) Методом найменших квадратів знаходимо невідомі параметри $C_{i,j}^{++}, C_{i+1,j}^{-+}, C_{i,j+1}^{+-}, C_{i+1,j+1}^{--}$, $i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m-1}$ та підставляємо їх у побудовані у п.2 розривні білінійні сплайни.

4) На кожному елементі розбиття обчислюємо значення:

$$J_{i,j}^{*}=\max_{\substack{x_i\le x\le x_{i+1}\\ y_j\le y\le y_{j+1}}} J_{i,j},\ J_{i,j}=\left|d^k f(x,y)-p_{i,j}(x,y)\right|, i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m-1}.$$

5) На основі отриманих в п.4 значень робимо висновок для кожного елементу розбиття про те чи належить елемент якомусь сегменту області або містить розрив функції або її похідної деякого порядку.

Якщо $J_{i,j}^{*}<\varepsilon$, то шукається такий сегмент $G_p\subset D, p=\overline{1,r}$ із вже відомих *r* сегментів, який має спільну границю із областю $\Pi_{i,j}$. Якщо такий сегмент існує, то $\Pi_{i,j}$ об'єднується із цим сегментом, тобто $G_p=G_p\bigcup\Pi_{i,j}$, у іншому випадку утворюється новий сегмент $G_{r+1}=\Pi_{i,j}$, а загальна кількість сементів поверхні збільшується на 1. Видаляємо із Π елемент $\Pi_{i,j}$, оскільки він вважається неперервним.

Якщо $J^*_{i,j} \geq \varepsilon$, то це означає, що у області $\Pi_{i,j}$ міститься розрив першого роду функції або її похідної деякого порядку. Ділимо $\Pi_{i,j}$ на чотири рівні частини, вводячи нові лінії всередині прямокутника, видаляємо із Π елемент $\Pi_{i,j}$ та додаємо замість нього нові чотири прямокутні елементи.

6) Перевіряємо умову завершення ітераційного процесу:

$$\max_{(x,y)\in\Pi_{i,j}} \left| d^k f(x,y) - p_{i,j}(x,y) \right| < \varepsilon, i = \overline{1, n-1},\ j = \overline{1, m-1}$$

У випадку якщо умова не виконана, то переходимо до п.2.

У випадку якшо умова виконана, то в результаті ми отримуємо набір з r сегментів, що описуються областями $G_p \subset D, p = \overline{1, r}$, та наближення кривої розриву у вигляді розривних сплайнів Π.

Результати даної роботи успішно протестовані на прикладі фантому Шепа-Логана, що доводить ефективність запропонованого методу. Основною метою досліджень є розробка ефективних методів, які дозволяють розв'язувати задачу сегментації поверхонь, що задаються неперервними функціями або поступають у вигляді цифрових зображень.

Окремо слід виділити, що наведений метод дає можливість наближувати криву розриву і, за необхідності, може бути спрощений для виявлення лише кривої розриву функції або її похідної деякого порядку, аналогічного методу з [4].

Метод може бути застосований у задачах комп'ютерної графіки, обробки зображень, машинного зору та інженерного моделювання, де важливо забезпечити адаптивність до складної геометрії поверхонь.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на поєднання розривних сплайнів із алгоритмами машинного навчання для автоматизації процесів сегментації та підвищення їх стійкості до шумів у даних.

Список використаної літератури

[1] C. de Boor, A Practical Guide to Splines, New York: Springer, 2001.
[2] L. Piegl and W. Tiller, The NURBS Book, Berlin: Springer, 1997.
[3] D. F. Rogers, An Introduction to NURBS: With Historical Perspective, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.
[4] О. М. Литвин, О. В. Славік, Дослідження ліній розриву функцій двох змінних або їх похідних деякого порядку, Проблеми машинобудування, vol. 19, no. 1, pp. 37-43, 2016.

УДК 519.6

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ О. М. ЛИТВИНА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ ЗА ВІДОМОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ ПРО НЕЇ НА ПІДОБЛАСТЯХ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ

Славік О. В., Сердюков А. А. (oleksii.slavik@nure.ua, andrii.serdiukov@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В даній роботі розглядається модифікація методу інтерстріпації функцій двох змінних для математичного моделювання поверхні, інформація про яку задана на наборі прямокутних підобластей. Результати дослідження можуть бути застосовані у задачах комп'ютерної графіки, обробки зображень та інженерного моделювання.

У сучасних задачах математичного моделювання важливе місце займають методи відновлення багатовимірних функцій за неповними або фрагментарними даними. Особливої уваги потребують задачі апроксимації та моделювання поверхонь, коли інформація про функцію задана лише на окремих підобластях області визначення. Для таких випадків доцільним є застосування інформаційних операторів інтерстріпації О. М. Литвина функцій двох змінних. Використання цих

операторів відкриває можливість ефективного відновлення поверхонь на смугах, що має значний потенціал у прикладних задачах аналізу даних, комп'ютерної графіки та чисельного розв'язання диференціальних рівнянь тощо [1].

Нехай $f(x,y)$ – функція двох змінних, яка визначена на деякій прямокутній області $D=[a,b]\times[c,d]\subset\mathbb{R}^2$. Припустимо, що значення цієї функції відомі лише на системі прямокутних елементів, границі яких паралельні осям координат та описуються у вигляді:

$$\Pi_{i,j}=\left\{(x,y): a_i\le x\le b_i, c_j\le y\le d_j\right\},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}$$

Інформація про поверхню є невідомою у області $D\setminus\bigcup_{i=1}^{n}\bigcup_{j=1}^{m}\Pi_{i,j}$, яка являє собою об'єднання смуг із границями, що паралельні осям координат вигляду:

$$\bar{S}_{x,i}=\left\{(x,y): b_i<x<a_{i+1}\right\},\ i=\overline{1,n-1}$$

$$\bar{S}_{y,j}=\left\{(x,y): d_j<y<c_{j+1}\right\},\ j=\overline{1,m-1}$$

Введемо до розгляду оператор:

$$\mathrm{O}f(x,y)=\begin{cases} f(x,y)\big|_{\Pi_{i,j}},\ (x,y)\in\Pi_{i,j},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}\\ L_{x,i}f(x,y),\ (x,y)\in\bar{S}_{x,i},\ i=\overline{1,n-1}\\ L_{y,j}f(x,y),\ (x,y)\in\bar{S}_{y,j},\ j=\overline{1,m-1}\\ L_{i,j}f(x,y),\ (x,y)\in\bar{S}_{x,i}\cup\bar{S}_{y,j},\ i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m-1}\end{cases}$$

$$L_{x,i}f(x,y)=f(y)\big|_{x=b_i}\frac{x-a_{i+1}}{b_i-a_{i+1}}+f(y)\big|_{x=a_{i+1}}\frac{x-b_i}{a_{i+1}-b_i}$$

$$L_{y,j}f(x,y)=f(x)\big|_{y=d_j}\frac{y-c_{j+1}}{d_j-c_{j+1}}+f(x)\big|_{y=c_{j+1}}\frac{y-d_j}{c_{j+1}-d_j}$$

$$L_{i,j}f(x,y)=\left[L_{x,i}+L_{y,j}-L_{x,i}L_{y,j}\right]f(x,y)=$$

$$=f(y)\big|_{x=b_i}\frac{x-a_{i+1}}{b_i-a_{i+1}}+f(y)\big|_{x=a_{i+1}}\frac{x-b_i}{a_{i+1}-b_i}+f(x)\big|_{y=d_j}\frac{y-c_{j+1}}{d_j-c_{j+1}}+f(x)\big|_{y=c_{j+1}}\frac{y-d_j}{c_{j+1}-d_j}-$$

$$-f(b_i,d_j)\frac{x-a_{i+1}}{b_i-a_{i+1}}\frac{y-c_{j+1}}{d_j-c_{j+1}}-f(b_i,c_{j+1})\frac{x-a_{i+1}}{b_i-a_{i+1}}\frac{y-d_j}{c_{j+1}-d_j}-$$

$$-f(a_{i+1},d_j)\frac{x-b_i}{a_{i+1}-b_i}\frac{y-c_{j+1}}{d_j-c_{j+1}}-f(a_{i+1},c_{j+1})\frac{x-b_i}{a_{i+1}-b_i}\frac{y-d_j}{c_{j+1}-d_j}$$

Фунції однієї змінної у формулах для операторів $L_{x,i}f(x,y)$, $L_{y,j}f(x,y)$, $L_{i,j}f(x,y)$, $i=\overline{1,n-1}$, $j=\overline{1,m-1}$ – сліди функції на відповідних прямих [2], $f(x,y)\big|_{\Pi_{i,j}}$, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$ – сліди функцій на прямокутних областях $\Pi_{i,j}$.

Властивості наведеного інформаційного оператора:

$$\mathrm{O}f(x,y)\big|_{\Pi_{i,j}}=f(x,y)\big|_{\Pi_{i,j}},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}$$

Таким чином, інформаційний оператор $\mathrm{O}f(x,y)$ є математичною моделлю поверхні, який на кожному прямокутнику $\Pi_{i,j}$, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$ точно відновлює поверхню, на смугах $\bar{S}_{x,i}$, $i=\overline{1,n-1}$ наближено за допомогою оператора $L_{x,i}f(x,y)$ поліноміальної інтерстріпації у формі Лагранжа на системі неперертинних смуг із границями, що паралельні осі Oy, на смугах $\bar{S}_{y,j}$, $j=\overline{1,m-1}$ наближено за допомогою оператора $L_{y,j}f(x,y)$ поліноміальної інтерстріпації у формі Лагранжа на системі неперертинних смуг із границями, що паралельні осі Ox, на прямокутниках, які знаходятся на перетині смуг $\bar{S}_{x,i}\cup\bar{S}_{y,j}$, $i=\overline{1,n-1}$, $j=\overline{1,m-1}$ за допомогою оператора $L_{i,j}f(x,y)$

НТБОНТУ

поліноміальної інтерстріпації у формі Лагранжа на системі перертинних смуг із границями, що паралельні осям координат [3].

Проведене дослідження засвідчує доцільність використання інформаційних операторів О. М. Литвина як ефективного інструменту побудови моделей за неповною інформацією про неї. Такий підхід дозволяє формувати узгоджені глобальні структури на основі обмежених даних та забезпечує гнучкість у застосуванні до різних типів задач. Зроблені висновки відкривають перспективи подальшого розвитку методів інформаційного моделювання, зокрема в напрямі удосконалення обчислювальних процедур, розширення класу функцій та областей, до яких можуть застосовуватися відповідні оператори.

Наведені в даній роботі інформаційні оператори можуть бути застосовані у обробці даних. Окрім того в подальших дослідженнях, пов'язаних із інформаційними операторами перспективним напрямком є їх застосвання в різноманітних алгоритмах обробки зображень.

Список використаної літератури

[1] І. В. Сергієнко, О. М. Литвин, Нові інформаційні оператори в математичному моделюванні, Київ: Наукова думка, 2018.

[2] О. М. Литвин, Інтерлінація функцій та деякі її застосування, Харків : Основа, 2002.

[3] O. M. Lytvyn, O. O. Lytvyn, O. V. Slavik, Generalized interstripation of functions of two variables, Cybernetics and system analysis, vol. 54, no. 3, pp. 465-475, 2018.

UDK 519.8:519.2:004.94:338.5

INTEGRATED MODELS AND METHODS FOR DYNAMIC PRICING AND QUEUE MANAGEMENT IN AMUSEMENT PARKS

Slobodyanuk V., Khoshaba O. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. This work develops and evaluates an integrated framework for dynamic pricing and queue management in amusement parks. We model time-varying arrivals, heterogeneous visitor segments, and attraction service processes using stochastic queueing models coupled with demand functions linking price, quoted waiting time, and perceived utility. Control is formulated as a finite-horizon optimisation that selects time-of-day prices and queue policies (including virtual queues and slot-based admissions) to maximise a multi-objective criterion balancing revenue, average waiting time, and service-level constraints. Parameter estimation combines historical ticketing and entry-gate data with attraction-level telemetry. Simulation studies calibrated on realistic park scales indicate that coordinated pricing and queue control can reduce mean waiting times by 30–40% while increasing revenue by 10–20% relative to flat pricing with FIFO, subject to fairness caps and satisfaction constraints. The approach uses well-established results from revenue management and queueing theory, making it suitable for deployment as a digital twin for operational decision support.

Keywords: dynamic pricing; queueing; revenue management; virtual queuing; demand elasticity; stochastic optimisation; amusement parks; digital twin.

Amusement parks face persistent peak-time congestion, volatile demand and heightened expectations of transparency and equity in service delivery. We address these challenges with an integrated framework that couples a time-varying queueing network with cross-price and cross-delay elasticities, enabling joint control of dynamic prices, virtual queues and capacity quotas under explicit fairness constraints. The approach draws on revenue-management fundamentals to shape willingness to pay and arrival timing [1], [2], classical and modern queueing theory to map operational states to delays and throughputs [3]–[6], and Markov decision processes for sequential control under uncertainty [7]. Uniquely, we make quoted waiting time (QWT) a first-class, customer-visible signal that co-drives demand alongside price, while guaranteeing fairness and accessibility via enforceable constraints.

Arrivals are modelled as piecewise-stationary Poisson processes with distinct weekday and holiday profiles; service times are log-normal fits per ride category (thrill, family, kids). Demand

sensitivities include own- and cross-elasticities to (i) posted price and (ii) the QWT forecast published to guests at booking or entry. Control actions—price levels, virtual-queue admissions and per-ride capacity quotas—are computed through a rolling-horizon optimisation with 15-minute receding windows. Elasticity parameters are updated online using a Bayesian scheme every hour based on a seven-day sliding window of operational traces; priors are truncated to maintain stability under sparse data. To ensure operational realism, each attraction is limited to at most one price change per 30 minutes. Fairness is enforced via three hard caps: intra-day price dispersion between equivalent customer groups ≤15%; P90 waiting time for non-priority guests ≤35 minutes; and an accessibility quota reserving ≥5% of capacity. These constraints institutionalise transparency and equity without removing managerial degrees of freedom [1], [2].

We instantiate the framework as a digital-twin testbed comprising 14 rides (5 thrill, 6 family, 3 kids), operating 10:00–20:00. Calibrated peak arrival rates at the three flagship rides are 220–260 guests/hour, while across the park per-ride arrivals range from 40 to 260 guests/hour depending on time-of-day and scenario. Median service times span 2.8–4.1 minutes (IQR 1.1–1.6) across categories. Scenarios cover weekday, holiday and light-rain conditions (the latter reducing arrivals by ~12%) with bimodal peaks around 12:00–14:00 and 16:00–18:00. The queueing backbone follows standard results linking arrival and service characteristics to sojourn times and throughput [3]–[6]; we invoke Little's law qualitatively to interpret load–delay trade-offs without recourse to explicit formulae [5]. The controller is solved as a finite-horizon decision problem in the spirit of MDPs, with approximate dynamic programming elements used to warm-start the rolling optimisations [7].

Primary outcomes are P50/P90 sojourn time (minutes), on-time service probability (target ≥95%), throughput (guests/hour) and revenue; we additionally track QWT error, defined as |quoted − realised|. All metrics are reported as medians with interquartile ranges over K = 64 stochastic replications per scenario, using a fixed seed set to ensure reproducibility. Baselines include (i) static pricing with FIFO queues, and (ii) time-of-day pricing without virtual queues. Ablations remove cross-elasticities or fairness constraints to isolate their marginal contributions. This stacked evaluation design adheres to best practice in operations research, separating demand-shaping, queue-structuring and ethical-governance effects [1]–[3], [6].

Across all weekday and holiday scenarios, the integrated controller reduces P90 sojourn time by 32–38% (median 35%) and increases revenue by 11–19% (median 14%) relative to static pricing, while raising throughput by 6–9%. These gains arise from two mechanisms: prices and QWTs cooperatively re-time arrivals away from peaks, and virtual queues reduce wasted physical waiting without degrading service discipline. Crucially, fairness caps are not merely feasible but active in congested periods, bounding dispersion and protecting non-priority guests. Customer-visible QWTs remain within ±3 minutes of realised medians, reinforcing trust and mitigating perceived queue unfairness. Against the time-of-day-only baseline, additional benefits stem from cross-elasticity awareness: coordinating prices at substitutable rides prevents counterproductive load shifting and avoids local optima that inflate park-wide P90. Ablations confirm both cross-elasticities and fairness constraints are material—removing either erodes revenue–delay trade-offs and, in the latter case, increases tail waits for non-priority guests.

Robustness analyses indicate graceful degradation under model error and shocks. With ±20% mis-specification of elasticities and an unannounced 25% demand spike at 16:00, revenue and P90 improvements deteriorate by ≤4 percentage points, while fairness constraints remain satisfied. The rolling-horizon cadence is a key design knob. A 15-minute re-optimisation schedule with conservative elasticity priors offers the best balance of stability and responsiveness. Switching to a five-minute cadence yields negligible incremental benefit but higher operational complexity due to more frequent candidate changes. From a managerial standpoint, we recommend configuring the controller to prioritise adherence to fairness caps during 12:00–14:00 and 16:00–18:00 peaks, and to prefer small, predictable price movements that align with guests' reference prices [1], [2]. The capacity-quota lever is particularly effective in protecting accessibility slots with minimal throughput loss when applied pre-peak rather than reactively.

The study contributes a practical synthesis of revenue management, queueing models and sequential decision-making tailored to the realities of themed attractions. Methodologically, it demonstrates that posting credible QWTs as a demand signal is as powerful as classical pricing in shaping flows, provided those QWTs are tightly coupled to the underlying queueing dynamics [3], [6]. Empirically, we show that a fairness-aware controller can deliver double-digit revenue gains while cutting

tail delays by roughly a third, without eroding perceived equity—an outcome often presumed to be a zero-sum trade-off. Limitations include reduced headroom under extreme spikiness (e.g., concert-adjacent events) or under legally mandated price caps below elasticity thresholds. In such regimes, the gains diminish, and fairness constraints bind earlier. Future work will extend the digital twin to heterogeneous risk preferences and group arrivals. It will explore staff-scheduling co-optimisation to tighten the link between planned capacity and realised service times.

In summary, the proposed framework formalises a transparent and equitable way to blend dynamic pricing with virtual queue management in amusement parks. By anchoring control on realistic demand and service models, exposing QWTs as a meaningful promise to guests, and hard-coding fairness protections, operators can achieve robust improvements in both economic and experiential outcomes. Our results are consistent with established theories of demand and congestion while advancing their joint application in a complex, high-variability service system [4]–[7].

References:

[1] R. L. Phillips, Pricing and Revenue Optimization. Stanford, CA, USA: Stanford Business Books, 2005.
[2] K. T. Talluri and G. J. van Ryzin, The Theory and Practice of Revenue Management. New York, NY, USA: Springer, 2004.
[3] D. Gross, J. F. Shortle, J. M. Thompson, and C. M. Harris, Fundamentals of Queueing Theory, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
[4] L. Kleinrock, Queueing Systems. Volume I: Theory. New York, NY, USA: Wiley, 1975.
[5] J. D. C. Little, “A proof for the queueing formula L=λW,” Operations Research, vol. 9, no. 3, pp. 383–387, 1961.
[6] M. Harchol-Balter, Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2013.
[7] M. L. Puterman, Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 1994.

УДК 519.6; 533.6; 629.7

КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ ПІДХОДІВ

Сохацький А.В , (sokhatsky_anatoly@ukr.net)
Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України (Україна)

Робота присвячена питанням розвитку математичного моделювання турбулентних течій з використанням комп’ютерних технологій. Описується сучасний стан математичного моделювання з урахуванням рівня розвитку електронно-обчислювальних машин. Розглядаються гібридні підходи та перспективи їх використання для розрахунку аеродинамічних характеристик швидкісних транспортних засобів.

Гібридні RANS (Reynolds Averaged Navier – Stokes) – LES (Large Eddy Simulation) моделі з’явилися порівняно недавно: в дев’яності роки наприкінці минулого століття. На сьогодні, принаймні, поширені декілька десятків таких моделей. Їх подальшому удосконаленню і розвитку присвячено величезне число робіт [1-7]. Найпоширенішим методом став метод моделювання від'єднаних вихорів – Detached Eddy Simulation або DES [4]. DES тримав подальший розвиток – Delayed Detached Eddy Simulation (DDES) [5]. Це свідчить про позитивні сторони ідеї, що лежить в основі гібридних моделей. З іншої сторони не має повної задоволеності вже існуючими моделями такого типу.

Загальна концепція, що лежить в основі гібридних моделей, відбивається в їх назві. Вона полягає в спробі побудови комбінованих моделей, які функціонували б як RANS в одних і як LES в інших областях течії. Така можливість відкривається завдяки формальній схожості рівнянь

НТБОНТУ

Рейнольдса і рівнянь LES. Проте шляхи реалізації цієї можливості можуть бути абсолютно різноманітними. Це пояснюється відмінністю різних форм гібридних моделей.

В першу чергу до широко розповсюджених гібридних RANS – LES моделей слід віднести історично перший гібридний метод DES. Він був запропонований як альтернатива RANS і LES методам при розрахунку течій з великими відривними зонами. Відомо, що RANS моделі не здатні забезпечити прийнятну для практики точність розрахунку таких течій. LES пilxsd вимагає надмірно великих обчислювальних витрат, левова частка яких пов'язана з розрахунком пристінної частини приєднаних примежових шарів, які містять енергонесучі вихори малих розмірів.

Це спонукало авторів DES [4-8] до створення такої моделі, яка функціонувала б як RANS в області приєднаного примежового шару і забезпечувала цілком прийнятну точність, і як LES у відривних областях потоку, де його використання не вимагає надмірно дрібних сіток. Назва методу "моделювання від'єднаних вихорів" підкреслює принципову відмінність DES від LES.

Таким чином у рамках DES "точно" розрізняються лише "від'єднані" вихори, які містяться у відривній зоні, Відносно дрібні вихори, що формуються у приєднаному примежовому шарі, описуються звичайними напівемпіричними RANS моделями.

Ще одна важлива особливість DES полягає в тому, що у рамках цього підходу у RANS і LES областях використовується одна і та ж "базова" модель турбулентності, яка функціонує як RANS модель у середині пристінного примежового шару і як її підсітковий аналог далеко від твердих стінок. При цьому межа між областями RANS і LES визначається в процесі розрахунку автоматично і залежить від кроків використовуваної обчислювальної сітки, від відстані від даної точки потоку до обтічної поверхні і, взагалі кажучи, від локальних параметрів потоку.

Інтесивний розвиток обчислювальної аеродинаміки сприяв появі цілого ряду гібридних DES методів [9-10]. У зв'язку з цим DES і інші аналогічні DES-подібні методи: Extra – Large Eddy Simulation або E–LES [10] і Limited Numerical Scales або LNS [11], які часто не зовсім точно називають "незонними" ("non-zonal") гібридними методами, щоб відрізнити їх від зонних гібридів, в яких використання RANS і LES областей пропонуються з тих або інших міркувань. До таких методів належить, наприклад, зонний DES (Zonal DES або ZDES), що розвивається в роботі [12], а також ряд інших зонних підходів . Цей метод має ряд переваг в порівнянні з DES, що полягають у більшій гнучкості. Проте його основний недолік полягає в необхідності апріорних уявлень про структуру течії, наприклад, про положення точки або лінії відриву потоку.

Окрему групу гібридних RANS – LES методів представляють так звані моделі LES з пристінними моделюванням (Wall Modeled LES – WMLES) [13], які можуть використовуватися для розрахунку не лише відривних, але і складних приєднаних турбулентних течій. Ідея цих методів полягає у використанні RANS не в усьому пристінному примежовому шарі, як це робиться в DES, а тільки в його внутрішній області, тобто саме в тій області, на розрахунок якої доводяться основні обчислювальні витрати LES. Проте спектр застосування WMLES є досить широким [2,14].

Останніми роками отримав розвиток ще один підхід до RANSSLES моделюванню турбулентності, що є найбільш загальною формою зонних методів і дістав назву вбудованого LES (Embedded LES), у рамках якої область LES може довільним чином розташовуватися усередині області RANS [2].

Це відкриває можливість використання обчислювального трудомісткого методу LES тільки в тих областях потоку, які не піддаються опису у рамках RANS, або в областях, для яких потрібно отримання інформації не лише про осереднені, але і про пульсаційні характеристики потоку. Така задача може виникнути при розв’язуванні зв’язаних задач аеродинаміки та пружності, акустики

Проте для їх практичної реалізації потрібні вирішення ряду складних фізичних проблем, пов'язаних з "зшиванням" RANS і LES розв’язків.

Так, при переході від LES до RANS розв’язування необхідне забезпечення плавного пригнічення турбулентних пульсацій [12,13].

В протилежність цьому, для досягнення швидкого переходу від повністю модельованої турбулентності в RANS області до "дозволеної" турбулентності в LES області на відповідних межах останньою необхідно вводити штучні збурення [2]. Незважаючи на значні моделюванні турбулентних течій цілком задовільного рішення цих питань досі не знайдено. Окрім цьjго, програмна реалізація запропонованих методів є досить складною і істотним чином опирається на специфіку використовуваних обчислювальних сіток і структуру зберігання даних у відповідних

обчислювальних кодах. Це утрудняє, а іноді і унеможливлює перенесення цих методів з одного коду в інший.

На сьогодні розроблено і ще так звані "безшовні" (seamless) RANS – LES гібриди, в яких обидва підходи тим або іншим чином "зважуються" і одночасно функціонують у всій розрахункової області Найбільш відомим з них є метод, що базується на частково осереднених рівняннях Нав'є-Стокса, – Partially Averaged Navier-stokes або PANS [16]. Проте проблема побудов вагових функцій, що автоматично забезпечують адекватні, у відповідності з локальним розмірам сітки, ваги RANS і LES моделей в даній точці потоку залишається, по суті, невирішеною. Це істотно обмежує практичне використання безшовних підходів RANS-LES.

Широкий досвід використання лінійних моделей свідчить про те, що і в наш час найбільш високий "рейтинг" серед них отримали дві моделі та їх модифікації:

- модель перенесення турбулентної в'язкості [15,16,17] (модель Спаларта-Аллмараса або SA модель),
- модель перенесення кінетичної енергії турбулентності і питомої швидкості її дисипації [18] ($k-\omega$ Shear Stress Transport модель Ментера або SST модель).

Проте серед гібридних RANS-LES методів найбільш поширеним залишається гібридний метод DES [15-18] та його пізніші модифікації.

Вважають, що принаймні впродовж найближчих десятків років, основним робочим інструментом для вирішення прикладних завдань аеродинаміки, пов'язаних з розрахунком турбулентних течій, будуть залишатися методи, що базуються на використанні RANS у поєднанні з різними напівемпіричними моделями турбулентності, а також гібридні RANS – LES методи.

Список використаної літератури

[1] W. Haase, B. Aupoix, U. Bunge, D. Schwamborn (Eds.) "FLOMANIA – A European Initiative on Flow Physics Modelling." *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary* Design, 2006, v. 94 (http://cfd.mace.manchester.ac.uk/flomania/) Дата звернення: 14.09.2025.

[2] "ATAAC - Advanced Turbulence Simulation for Aerodynamic Application Challenges". http://cfd.mace.manchester.ac.uk/twiki/bin/view/ATAAC. Дата звернення: 02.10.2025.

[3] J. Deardorff. "A numerical study of three-dimensional turbulent channel flowat large Reynolds numbers," *Journal of Fluid Mechanics.* 1970, 41(2), pp. 453–480.

[4] P. R. Spalart, M. Shur "On the sensitization of turbulence models to rotation and curvature," *Aerospace science and technology Journal,* 1997, vol. 1, No 5. pp. 297–366.

[5] M. L. Shur, P. R. Spalart, M. Kh. Strelets, A. K. Travin "Navier-Stokes simulation of shedding turbulent flow past a circular cyl inder and a cylinder with a backward splitter plate," *Proceedings of the 3rd ECCOMAS CFD Conference,* Paris, France, 9–13 September 1996, Chichester: John Wiley & Sons, 1996. pp. 676-682.

[6] P. R. Spalart , W. H. Jou , M. Strelets, S. R. Allmaras "Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach", *International Conference on DNS/LES,* Ruston, Louisiana, 4–8 August 1997.- Louisiana Technical University, 1997. pp. 137- 148.

[7] P. R. Spalart "Strategies for turbulence modelling and simul ations." *International Journal of Heat and Fluid Flow.* 2000, v. 21, No. 3. pp. 252-263.

[8] J. Larsson, S. Kawai, J. Bodart, I. Bermejo-Moreno "Large eddy simulation with modeled wall-stress: recent progress and future directions", *Mechanical Engineering Reviews,* 2015, 00418.

[9] S.-H. Peng, W. Haase (Eds.) "Advances in Hybrid RANS-LES Modelling". *Papers Contributed to the 2007 Symposium on Hybrid RANS-LES Methods,* Corfu, Greece, 17–18 June 2007, *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design,* v. 97, 2008.

[10] J. C. Kok, H. S. Dol, B. Oskam, H. van der Ven "Extra-large eddy simulation of massively separated flows", *AIAA Paper,* AIAA-2004-0264.

[11] P. Batten, U. Goldberg, S. Chakravarthy "Sub-grid turbulence modeling for unsteady flow with acoustic resonance", *AIAA Paper,* AIAA-2000-0473.

[12] S. Deck "Recent improvements in the Zonal Detached Eddy Simulation (ZDES) formulation", *Theoretical and Computational Fluid Dynamics,* 2011, 26(6), pp. 523–550.

[13] U. Piomelli, E. Balaras "Wall-Layer Models for Large-Eddy Simulations", *Annual Review of Fluid Mechanics,* 2002, 36(1), pp. 505–374.

[14] D. Terzi, J. Frohlich "Hybrid LES/RANS methods for the simulation of turbulent flows", *Progress in Aerospace Sciences*, 2008, 44(5), pp. 349–377.

[15] P. R. Spalart, W. H. Jou, M. Strelets, S. R. Allmaras "Comments on thefeasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach", *Proceedings of first AFOSR international conference on DND/LES*, 1997.

[16]. M. L., Shur, P. R. Spalart, M. K. Strelets, A. K.Travin "A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modeled LES capabilities", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2008, 29, pp. 1638-1649.

[17] P. R. Spalart "Strategies for turbulence modeling and simulations", *Int. J. Heat Fluid Flow*, 2000, 21, pp. 252–263.

[18] F. R. Menter, M. Kuntz , R. Langtry "Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model", *Turbulence, Heat and Mass Transfer* , 2003, pp. 625 – 632.

УДК 004.94:519.8

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕРВАЛЬНИХ ПОВТОРЕНЬ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЛЕКСИКИ

Ткаченко Д. Р. (Daniil.Tkachenko@cs.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі представлено результати математичного моделювання адаптивної системи інтервальних повторень для ефективного засвоєння лексичних одиниць. Досліджено модифікації класичної моделі кривої забування Еббінгауза з урахуванням індивідуальних когнітивних характеристик користувачів та специфіки запам'ятовування словникового запасу. Також описано розробку математичного апарату для персоналізованої системи навчання, що динамічно оптимізує інтервали повторення на основі аналізу ефективності засвоєння лексики користувачем.

Проблема швидкого забування вивченого словникового запасу є однією з ключових у процесі оволодіння іноземною мовою. Дослідження кривої забування показують, що без повторення більшість матеріалу забувається протягом кількох днів після вивчення[1]. Існуючі системи інтервальних повторень часто використовують статичні алгоритми, що не враховують індивідуальні особливості користувачів, складність конкретних лексичних одиниць та динаміку навчального процесу. Актуальність роботи обумовлена необхідністю створення математичних моделей, які забезпечують персоналізований підхід до організації повторень та оптимізують час, необхідний для довготривалого запам'ятовування лексики.

Основою розробленої математичної моделі є модифікована експоненціальна функція сили пам'яті, що описується рівнянням:

$$S(t) = S_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

де S(t) – сила пам’яті в момент часу t;

S_0 – початкова сила пам’яті після вивчення;

λ – коефіцієнт, який залежить від складності матеріалу і когнітивних особливостей користувача;

t – час, що пройшов з моменту повторення.

Ключовою особливістю розробленої моделі є адаптивний розрахунок коефіцієнта забування λ, який враховує історію відповідей користувача, складність лексичної одиниці та індивідуальні когнітивні характеристики. Для визначення оптимального інтервалу повторення використовується формула:

$$t = -\ln\left(\frac{S_t}{S_0}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_{eff}} + \Delta t_m,$$

де S_t – цільовий поріг забування;

S_0 – початкова сила пам’яті (1);

λ_{eff} – ефективний коефіцієнт забування;

Δt_m – корекція на неекспоненційну поведінку.

Цільовий поріг забування динамічно адаптується залежно від результатів попередніх повторень:

$$S_t = S_{\text{prev}} - \gamma \cdot n_m + \delta \cdot n_s,$$

де S_{prev} – попереднє значення порогу забування (початкове 0.7);

n_m – кількість помилок при минулому повторюванні;

n_s – кількість повторювань без помилок поспіль;

γ, δ – вагові коефіцієнти (0.05).

Ефективний коефіцієнт забування розраховується за формулою:

$$\lambda_{eff} = \lambda_{\text{base}} + \sigma^2 \cdot t_{prev} + \alpha \cdot D + \beta \cdot (1 - C),$$

де λ_{base} – початкове значення коефіцієнту (0.2);

σ^2 – дисперсія шуму, що впливає на забування[2] (0.02);

t_{prev} – попередній інтервал повторення;

D – складність слова (1-5 балів);

C – когнітивний коефіцієнт користувача (від 0.5 до 1.5);

α, β – вагові коефіцієнти (обрано α=0.02, β=0.03).

Когнітивний коефіцієнт користувача визначається на основі статистики його навчальної діяльності:

$$\text{C} = 0{,}5 + \frac{N_r}{N},$$

де N_r – кількість успішних повторень користувача;

N – загальна кількість повторень користувача.

Для урахування неекспоненціальних ефектів у процесах пам'яті введено додаткову корекцію:

$$\Delta t_m = \frac{\tau}{2} \cdot (1 - e^{\frac{-t_{prev}}{\tau}}),$$

де τ – час кореляції пам'яті[2] (2 дні);

t_{prev} – попередній інтервал повторення.

Математична модель враховує специфіку засвоєння лексики через введення параметра складності лексичної одиниці, який відображає морфологічні, семантичні та фонетичні характеристики слова. Система адаптується до індивідуальних особливостей користувача через динамічне обчислення когнітивного коефіцієнта користувача, що дозволяє оптимізувати навчальне навантаження.

Перевагами розробленої моделі є персоналізація навчального процесу, економія часу через скорочення зайвих повторень легких слів та концентрація уваги на складних лексичних одиницях. Система автоматично адаптується до темпу навчання користувача та забезпечує оптимальний розподіл навчального навантаження в часі.

Розроблена математична модель може бути застосована у системах вивчення іноземних мов, професійної термінології та спеціалізованої лексики. Подальший розвиток дослідження передбачає інтеграцію методів машинного навчання для автоматичного визначення складності лексичних одиниць та розширення моделі для врахування контекстуального засвоєння словникового запасу.

Список використаної літератури

[1] J. M. J. Murre and J. Dros, «Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve», *PLOS ONE*, vol. 10, no. 6, p. e0120644, 2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644 [Accessed: October 04, 2025].

[2] M. Rybczyński and Z. Włodarczyk, «Non-exponential decay in classical stochastic processes with memory», *Acta Physica Polonica B*, vol. 54, no. 2-A2, p. A2, 2023. [Online]. Available: https://www.alphaxiv.org/abs/2205.13889 [Accessed: October 04, 2025].

НТБОНТУ

УДК 332.1:330.43:004.738.5

МОДЕЛЮВАННЯ СМАРТПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Удачина К. О.,Підгорна К. Д., Підгорний В. О.
(k.d.pidgorna@ust.edu.ua, k.o.udachina@ust.edu.ua)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

У тезах подано сутність поняття смартпотенціалу регіонів та його роль у сучасних умовах цифрової трансформації. Розглянуто основні складові смартпотенціалу, серед яких цифрова інфраструктура, людський капітал і підприємницьке середовище. Описано етапи моделювання – від нормалізації показників і визначення вагових коефіцієнтів до формування інтегрального смартіндексу. Наведено можливості практичного використання моделі для порівняльного аналізу регіонів та підтримки управлінських рішень. У висновку підкреслено значення моделювання для підвищення ефективності регіональної політики України.

У процесі переходу на цифрові засади господарювання особливого значення набуває поняття смартпотенціалу регіону – сукупності ресурсів, компетенцій та інфраструктурних можливостей, що визначають здатність території до інноваційного оновлення [1, 2]. Сучасний регіональний розвиток дедалі частіше оцінюють не лише за виробничими показниками чи обсягами інвестицій, а й через здатність регіону ефективно використовувати цифрові технології, генерувати знання та створювати сприятливі умови для впровадження інновацій. В умовах цифрової економіки саме поєднання інтелектуального потенціалу, технічної бази, управлінських рішень та інституційної спроможності визначає конкурентоспроможність територій. Тому виникає необхідність побудови комплексної моделі оцінювання смартпотенціалу, яка б ураховувала взаємозв'язок кількісних і якісних характеристик розвитку, а також відображала реальний стан цифрової зрілості регіонів.

Метою дослідження є розроблення концептуального підходу до вимірювання смартпотенціалу регіонів України з урахуванням тенденцій цифрової трансформації та нових викликів інноваційної економіки. Методологічною основою виступає системний підхід, який дозволяє інтегрувати теоретичні положення смартекономіки з інструментарієм економіко-математичного моделювання [1]. Такий підхід передбачає поєднання багатовимірного аналізу, статистичних методів і логічного узагальнення, що дає змогу розглядати смартпотенціал як багатокомпонентну систему. У межах цієї системи взаємодіють цифрова інфраструктура, людський капітал, інституційне середовище, підприємницька активність, енергоефективність і екологічна сталість, які разом формують основу для інноваційного розвитку територій.

Підготовчий етап моделювання передбачає збір вихідних статистичних даних із відкритих джерел, їх аналітичну перевірку та подальшу нормалізацію [3]. Ця процедура необхідна для усунення відмінностей між одиницями виміру показників, адже вони можуть мати різну природу – від економічних до соціальних або технологічних. Нормалізація забезпечує можливість об'єктивного порівняння даних і створює базу для наступного етапу – визначення вагових коефіцієнтів. З цією метою застосовується ентропійний метод, який дозволяє оцінити рівень інформативності кожного показника та на основі цього надати йому відповідну вагу. Такий підхід мінімізує вплив суб'єктивних суджень експертів і водночас зберігає статистичну обґрунтованість результатів [4].

Отримані нормалізовані та зважені показники інтегруються в єдиний вимірювач – інтегральний смартіндекс. Він відображає ступінь розвитку кожного регіону за сукупністю критеріїв і дозволяє проводити міжрегіональні порівняння. У межах моделі можливе обчислення як загального індексу, так і окремих субіндексів для ключових складових смартпотенціалу [5]. Це надає змогу бачити не лише загальний рейтинг регіонів, а й деталізовано визначати сильні й слабкі сторони кожного з них.

Для поглибленого аналізу результатів моделювання використано методи кластеризації та регресійного аналізу. Кластерний підхід, реалізований через алгоритм *k*-середніх, дає змогу групувати регіони за схожими профілями смартрозвитку, що дозволяє виділити кілька типових категорій: лідери цифрової трансформації, території з потенціалом зростання та регіони, що потребують стимулювання інноваційної активності [6]. Така класифікація має практичну цінність, оскільки дає можливість орієнтувати державну підтримку на конкретні потреби кожної групи.

Регресійний аналіз, своєю чергою, дозволяє оцінити вплив смартпотенціалу на соціально-економічні показники: валовий регіональний продукт, зайнятість у секторах високих технологій, рівень цифрової освіти чи інноваційні витрати підприємств. Це поглиблює розуміння того, як «розумні» чинники впливають на економічну динаміку регіонів.

Практична значущість запропонованої моделі полягає в тому, що вона може бути використана як аналітичний інструмент державними органами влади, органами місцевого самоврядування та дослідницькими установами. Її результати можуть стати основою для прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення інвестиційної привабливості, розвиток людського капіталу, упровадження цифрових сервісів та оптимізацію регіональних програм. Перевагою підходу є також його адаптація до реальних інформаційних можливостей української статистики, що забезпечує практичну реалізацію без необхідності створення додаткових складних баз даних.

Узагальнюючи результати, можна зазначити, що використання інтегрального смартіндексу як узагальненого вимірника дозволяє об’єктивно оцінювати інноваційну спроможність територій, відстежувати зміни рівня цифрової зрілості та визначати напрямки для подальшого зростання. Запропонована модель не лише формалізує процес оцінювання, а й створює підґрунтя для розробки стратегічних документів регіональної політики нового покоління, орієнтованих на сталий розвиток і цифрову конкурентоспроможність. Її практичне впровадження може стати дієвим механізмом модернізації економічного простору України та підвищення ефективності управління в умовах становлення смартекономіки.

Список використаної літератури

[1] Возняк Г. В. Теоретико-методологічні аспекти формування моделі смарт-спеціалізації України. *Регіональна економіка.* 2021. № 2. С. 27–36.

[2] Брич В., Пуцентейло П., Костецький Я., Гунько С. Смарт-спеціалізація як драйвер системи інноваційного регіонального розвитку. *Інноваційна економіка.* 2022. № 1(90). С. 141–151. DOI: https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.19.

[3] Підгорна К. Д., Удачина К. О., Підгорний В. О. Моделювання процесу оцінювання смартпотенціалу регіонів в контексті інноваційного розвитку // Економіка підприємства. 2025. № 2 (90). С. 195-203. DOI: https://doi.org/10.33271/ebdut/90.195.

[4] Yue C. Entropy-Based Weights on Decision Makers in Group Decision-Making Setting with Hybrid Preference Representations. *Applied Soft Computing.* 2017. Vol. 60. P. 737–749.

[5] Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. *Tools for Composite Indicators Building.* European Commission, Joint Research Centre, 2005. 134 p. URL: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/tools-composite-indicators-building (дата звернення: 14.09.2025).

[6] Xie J., Jiang S., Xie W., Gao X. An Efficient Global K-means Clustering Algorithm. *Journal of Computers.* 2011. Vol. 6, No. 2. P. 271–279. – URL: https://www.researchgate.net/publication/220405167_An_Efficient_Global_K-means_Clustering_Algorithm (дата звернення: 18.09.2025).

УДК 519.681

ПЛАНУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ СЦЕНАРІЇВ ВЗАЄМОДІЇ В ІНТЕРФЕЙСАХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Федорчук Є., Федорчук Р.
(Yevdokym.N.Fedorchuk@lpnu.ua, roman.fedorchuk.pz.2023@ lpnu.ua),
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна),
Шайда Ю. (shaydayur@gmail.com),
Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)

Запропоновано алгоритм планування обчислень тривалості сценаріїв взаємодії в експертних програмних системах на основі моделей розподілу часового ресурсу для кадрів

взаємодії. В моделях використано критерії оцінювання тривалості груп повідомлень для візуального інтерфейсу..

Постановка задачі. Інтерфейс між людиною і машиною відіграє ключову роль у визначенні зручності, ефективності та користувацького досвіду програмних систем. Важливість розробки ефективних людино-машинних інтерфейсів актуальна, особливо в контексті експертних систем, вбудованих у динамічні процеси, що вимагають безперервного моніторингу, діагностики та прийняття рішень.

Важливою дисципліною в проектуванні інтерфейсів виступає ергономіка. Вона спрямована на оптимізацію людської діяльності, забезпечуючи при цьому задоволеність і безпеку користувачів. Ергономіка бере до уваги здатність користувачів сприймати й розуміти інформацію, що відіграє вирішальну роль у створенні інтерфейсів, які підвищують зручність використання та мінімізують помилки.

Принципи ергономіки є важливими в сфері вбудованих систем та експертних систем, де завдання часто є складними та чутливими до часу. Такі часові ергономічні характеристики, як час відгуку, тривалість виконання завдання та розподіл робочого навантаження, стають критично важливими параметрами в проєктуванні інтерфейсу. Натомість у середовищах моніторингу в режимі реального часу затримки у відображенні інформації чи громіздке компонування інтерфейсу можуть перешкоджати прийняттю рішень і знижувати загальну продуктивність системи.

Алгоритм моделювання часових ергономічних характеристик інтерфейсу.Конфігурація процесу взаємодії з інтерфейсом експертної системи включає низку сценаріїв, для яких потрібно залучити n -груп кадрів, що містять певну кількість візуальних повідомлень. Для тривалості цих повідомлень є характерним розкид їхніх тривалостей.Ресурс тривалості Tcon сценарію процесу утворюється за тривалостями множини дискретних елементів, вибраних з окремих n -груп. Тривалість можна задавати апріорі на етапі проектування конфігурації інтерфейсу.

Для кожної і-тої групи можна визначити мінімальну та максимальну тривалості, посортувавши в кожній групі:

$$Ti,min\ ,\ Ti,max;\ i \in [1,\ n],\ (1)$$

Обчислення часового ресурсу полягає у виборі з кожної групи повідомлень елемента з тривалістю $\boldsymbol{T_i}$**.** Розгляньмо можливу область значень тривалостей як область із неперервними значеннями тривалості в кожній групі.

. При неперервній області обмежень (1) для обчислення сценарію із заданою тривалістю $\boldsymbol{T_{con}}$

на основі виразу $p = (\sum_{i=1}^{n} T_{i,\max} - \sum_{i=1}^{n} T_{i,\min})/(\sum_{i=1}^{n} T_i - \sum_{i=1}^{n} T_{i,\min})$
можна обчислити $\boldsymbol{p}$ – коефіцієнт розбиття області обмежень, p >= 1.
За допомогою коефіцієнта $\boldsymbol{p}$ обчислюються тривалості вибраних елементів для кожної групи повідомлень на основі таких виразів:

$$T_i = (\sum_{i=1}^{n} T_{i_{,\max}} + (p-1) * \sum_{i=1}^{n} T_{i,\min})/p\ ;\ i \in [i, n]\ .$$

Тривалості вибраних елементів для кожної групи повідомлень в розгорнутому вигляді обчислюють з виразів

T1 = (T1,max + (p-1) * T1,min) / p;
T2 = (T2,max + (p-1) * T2,min) / p;
T3 = (T3,max + (p-1) * T3,мін) / p;

Tn = (Tn,max + (p-1) * Tn,min) /p.

Так обчислюються тривалості окремих кадрів. Вони є макетом для окремого сценарію процесу. При динамічній зміні тривалості процесу відбувається переобчислення динаміки окремих сценаріїв.

Масштабування окремих груп повідомлень в кадрі.Масштабуються повідомлення значенням $\boldsymbol{c}$ –заданою кількістю однотипних повідомлень в групі**.** Значення $\boldsymbol{T}$ допустимого

ресурсу обирається між значеннями мінімальної та максимальної суми для добутків , обчислюваних за елементами поданої множини:

$$\left\{\sum_{i=1}^{n} c_i \underset{,\min}{T_i}_{,\min}, \sum_{i=1}^{n} c_i \underset{,\max}{T_i}_{,\max}\right\}; i \in [1, n] \qquad (3)$$

При неперервній області обмежень (1) для розподілу ресурсу із заданою тривалістю

$$T_{con} = \sum_{i=1}^{n} c_i t_i. \qquad (4)$$

коефіцієнт розбиття області обмежень p обчислюється на основі виразу

$$p = \left(\sum_{i=1}^{n} c_i T_{i\,,\max} - \sum_{i=1}^{n} c_i T_{i\,,\min}\right) / \left(T_{con} - \sum_{i=1}^{n} c_i T_{i\,,\min}\right). \qquad (5)$$

Після обчислень коефіцієнта p можна обчислити тривалості кожної групи повідомлень на основі таких виразів:

T1 =(c1T1,мах +(p-1)*c1T1,мін)/p;
T2 =(c2T2,мах +(p-1)*c2T2,мін)/p;
T3 =(c3T3,мах +(p-1)*c3T3,мін)/p;

Tn =(cn Tn,мах +(p-1)*cnTn,мін)/p.

Так обчислюються тривалості для кожної з n- груп, де кожна масштабована кількістю с-кадрів . Це є макети масштабованих кадрів сценарію.

Список використаної літератури

1. Федорчук Є. Н. Алгоритми і технології пошуку кластерів на основі оптимізаційних критеріїв для товарних баз даних. Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. Вип. 591, 2007р.

UDC 681.52

BASIC PROVISIONS FOR DEVELOPING AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING MICROCLIMATE PARAMETERS IN INDUSTRIAL PREMISES

Fesenko A.O., Sotnik S.V.
(alina.fesenko@nure.ua, svetlana.sotnik @nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The work is dedicated to studying the main provisions for developing an automated system for monitoring the microclimate parameters of industrial premises. The proposed comprehensive architecture of the automated system for monitoring microclimate parameters of industrial premises addresses the problem of untimely detection of dangerous deviations of critical indicators when using traditional methods of periodic manual control. The system is based on six key principles: comprehensive monitoring of all parameters, a distributed sensor network architecture, specialized preventive analysis algorithms, information integration with existing systems, a modular structure for flexible scaling, and comprehensive criteria for evaluating effectiveness. The developed architecture includes a network of sensors at control points in the premises, local data collection and preprocessing stations, a central analytics and information storage server, as well as user workstations for visualization and management. Implementing such a system ensures personnel safety, energy consumption optimization, equipment preservation, and product quality improvement. The research results meet modern industrial manufacturing requirements and can be implemented in manufacturing enterprises, greenhouses, laboratories, medical institutions, and other facilities.

Problem Statement.

In modern industrial enterprises, there is an urgent need to maintain optimal microclimate parameters to ensure personnel safety, preserve equipment, and enhance the efficiency of technological

processes. Existing control systems often rely on periodic manual measurements, leading to untimely detection of hazardous deviations in key parameters such as temperature, humidity, concentration of harmful airborne substances, and noise levels. Data fragmentation and the lack of a unified real-time monitoring system complicate operational response and management decision-making [1-3].

Automating the control of the industrial environment is a critical task for overcoming these limitations, as routine methods prove ineffective in ensuring the necessary responsiveness, accuracy, and comprehensiveness of assessment [4-7]. This creates risks to worker health, violations of sanitary norms, reduced product quality, and increased energy costs. Thus, a contradiction arises between the objective need for continuous comprehensive monitoring of the industrial environment and the limited capabilities of existing monitoring tools. Solving this problem requires the development of an automated system capable of integrating disparate measuring instruments into a unified information space, providing timely threat alerts, and forming an analytical basis for long-term planning.

Essence of study.

The development of an automated microclimate parameter control system is based on a number of key principles that determine its architecture, functionality, and efficiency:

1. The principle of comprehensive monitoring, that is, the system implements an integrated approach to microclimate control, providing simultaneous measurement of all critical parameters: temperature, relative humidity, air movement speed, concentration of harmful substances (CO, CO_2, dust), and noise level. This allows obtaining an objective picture of the production environment in real time.

2. Distributed network architecture, that is, a system built on the principles of distributed architecture, which includes:

- a network of sensors placed at control points within the premises;
- local stations for data collection and preliminary processing;
- a central server for analytics and information storage;
- user workstations for visualization and management.

3. Preventive analysis algorithms, that is, specialized algorithms have been developed to ensure:

- detection of trends toward exceeding regulatory parameters;
- forecasting the development of hazardous situations;
- generating early warnings about threats;
- automatic adjustment of ventilation and air conditioning systems.

4. Principle of information integration, that is, the system provides a unified information space for:

- combining data from different types of sensors;
- integration with existing production management systems;
- information exchange with occupational safety and energy management systems.

5. Modular construction principle, that is, the system architecture provides a modular structure, which allows:

- flexible scaling of the system according to the enterprise's needs;
- easy integration of new types of sensors and functions;
- ensuring fault tolerance and ease of maintenance.

6. Efficiency criteria, that is, the system's effectiveness is evaluated based on a set of indicators:

- accuracy and reliability of measurements;
- speed of response to parameter deviations;
- energy efficiency of associated systems;
- compliance with sanitary and hygienic standards;
- economic impact of implementation. Create a diagram.

Thus, let us present a comprehensive diagram (Fig. 1) that reflects the architecture of the microclimate control system.

The system is organized into the following levels:

- sensor level – provides comprehensive monitoring of all critical parameters: temperature, humidity, air speed, pollution, and noise;

- local level – three local stations, designed for different room zones, collect and pre-process data from sensors;

- central level – the heart of the system, where data is accumulated in a database, analyzed with specialized algorithms, situations are forecasted, and alerts are generated;

- control – automatic adjustment of ventilation, air conditioning, and purification systems based on the obtained data;
- integration – information exchange with production management, energy management, and occupational safety systems (shown with dashed lines);
- user workstations – operators, mobile devices, and analytics panels access data for visualization and management.

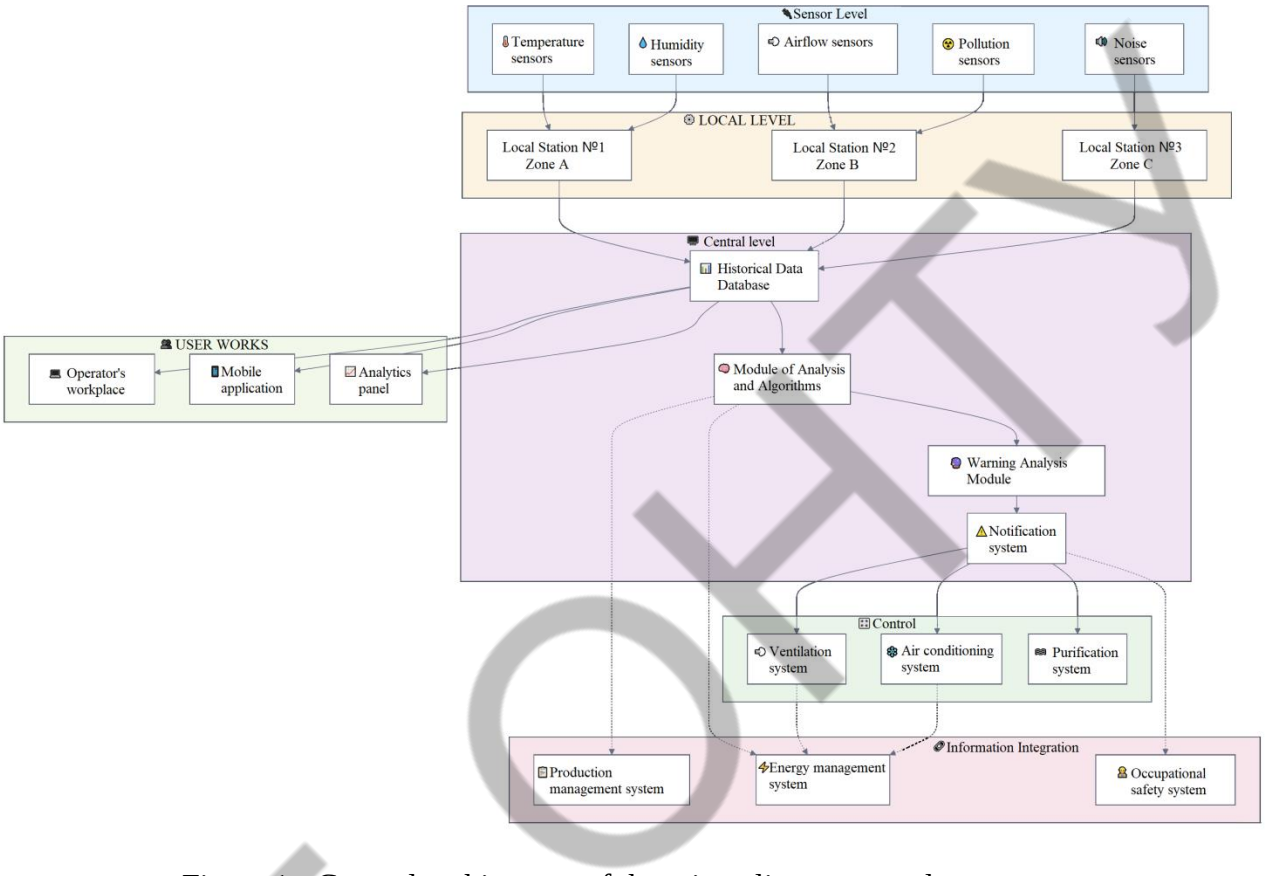


Figure 1 - General architecture of the microclimate control system

Conclusions

As a result of the conducted research, a comprehensive architecture of an automated system for monitoring the microclimate parameters of industrial premises has been developed, which meets modern industrial production requirements and addresses current issues of monitoring the production environment. The developed system integrates six key principles that define its functionality and efficiency. Based on a distributed architecture, a technical structure has been created, consisting of a network of sensors at control points within the premises. This organization allows the system to be flexibly adapted to the specialized requirements of a particular enterprise and ensures reliability through load distribution. The system architecture ensures information integration with existing production management, energy management, and occupational safety systems, creating a unified information space for analysis and decision-making. This allows all aspects of production environment management to be coordinated and achieves a synergistic effect from comprehensive data analysis.

References

[1] S. Sotnik, M. Rudenko, “Evaluating relational database scaling strategies in web engineering,” *International Conference on Advanced Trends In Radioelectronics and Infocommunications (ATRIC-2025) (May 21–22, 2025), Lviv Polytechnic Publishing House, Lviv, Ukraine*. 2025, pp. 224-228

[2] S. Sotnik, “Development of a range measurement module on an ultrasonic sensor with a GSM module,” *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2025, pp. 32-44

[3] T.A. Lykho, “Pattern recognition and computer vision technologies in decision support systems of robotic systems,” *Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024»*. 2024, pp. 645-648

[4] Y.I. Khalimonov, et al., "Approaches to ensuring proper working conditions using sensor technologies IoT," *International Conference «DIGITAL INNOVATION & SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2024»*. 2024, pp. 24-25

[5] Y.I. Khalimonov, et al., "Overview of computer vision areas application for inspection and quality control," *Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених, 20 листоп. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків.* 2024, pp. 117-121

[6] Y.I. Khalimonov, et al., "Circular economy in automated systems," *Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Thesises of Reports*. 2025, pp. 53-54

[7] Y.I. Khalimonov, et al., "Monitoring and optimising conditions in production environment," *Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation– 2024»*. 2024, pp. 256-258

UDC 681.5

JUSTIFICATION FOR THE SELECTION OF THE SIZE OF THE BALL LOAD FOR ENERGY-EFFICIENT ORE GRINDING

Khlebnikov M., Matsui A., Tkachenko A.
(khlebnikov97@gmail.com, matsuyan@ukr.net, tka4enko.nas@gmail.com)
Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)

The patterns of ball wear in ball mills are considered, and the characteristics of feed size are simulated for different initial ball diameters. It is shown that as the initial size of the grinding media increases, the average feed size increases, which reduces the efficiency of grinding. The optimal ball diameters for different ore sizes have been determined. The feasibility of using mixed loads of different-sized balls has been substantiated, which ensures uniform grinding of the material, stabilisation of the technological mode, and reduction of specific energy consumption. The results obtained can be used to improve automated control systems for the ore grinding process.

According to data from the United States Geological Survey, Ukraine produces a significant amount of iron ore raw materials for ferrous metallurgy [1]. The steady decline in rich iron ore reserves since the second half of the last century has contributed to the development of processes for enriching poor iron ores at magnetic enrichment plants, where the initial ore, ranging in size from 0 to 25 mm, is crushed to expose the useful component.

An important area for optimising this process is the development of staged crushing using steel balls and linings, as these consume 7 to 10% of energy and 2% of metal from total global production, with energy intensity ranging from 20 to 60 k*Wh/t [2]. Energy costs for grinding at mining and processing plants account for up to 20% of the world's total electricity consumption. Due to their high performance, reliability, ease of operation and ability to perform their intended functions even with significant wear, grinding is mainly carried out in ball mills. However, they have a significant disadvantage – high specific energy consumption and a fairly low efficiency coefficient when forming a new surface [2]. This results in high capital and operating costs, which can reach 50–70%. Since the situation with a large share of energy consumed at the first stage of grinding has remained virtually unchanged, the relevance of this research topic remains high.

During the grinding of ore in drum mills, intense wear of the balls occurs, which over time changes the composition and particle size distribution of the grinding medium, directly affecting the energy efficiency and stability of the technological process. Analysis shows that the rate of ball wear is a function of a complex set of factors: the physical and mechanical properties of the ore, the properties of the lining, the speed of the drum rotation, the degree of mill filling, the ratio of solid and liquid phases in the pulp, the mass and diameter of the balls, as well as their movement mode – cascade or waterfall.

The equation for determining the speed of ball operation was proposed by K. A. Razumov

$$\frac{dG}{dt} = -kD_M^m, \quad (1)$$

where G – mass of the ball at the start of wear, kg; k – proportionality coefficient; t – wear duration; D_M – initial diameter of the ball, cm; m – a value that varies depending on the mill's operating mode within a range of 2 to 3.

In formula (1), the cascade mode corresponds to m=2, and the waterfall mode corresponds to m=3. The mixed mode corresponds to a parameter m between 2 and 3.

In accordance with the generalised hypothesis (1) on the rate of wear of balls in a ball mill, the equation for the output Z of balls of a certain size can be written for the ball load plus D.

$$Z = 100\left[1 - \left(\frac{D}{D_M}\right)^n\right] = 100\,\frac{D_M^m - D^n}{D_M^n}, \qquad (2)$$

where D – diameter of the ball under consideration, $D<D_M$; n=6-m.

Therefore, equation (2) allows us to construct characteristics of the grinding media size after wear of the initial mill load. They show that after a certain period of operation in the mill, large balls predominate, while medium and small balls, which provide the greatest contact area with the material being ground, wear out faster. As a result, the total surface area of the grinding medium decreases, the grinding intensity drops, and part of the energy consumed is spent inefficiently – on impact loads that are not accompanied by ore crushing.

When constructing the characteristics of the grinding medium size according to equation (2), the initial value of the ball diameter D_M and the final value D_K=0, at which the grinding body is completely worn out, are taken into account. In practice, balls in a mill are usually used until their diameter decreases to 15–20 mm.

Based on dependence (2), taking into account D_K=0, calculations were performed and characteristics of ball bed size were constructed for various initial diameters D_M. The results are shown in Fig. 1, which also shows idealised characteristics of ball bed size (1′, 2′, 3′).

An analysis of dependencies (1, 2, 3) shows that the exact characteristics of ball size are convex, with the degree of convexity depending on the initial diameter of the balls. The greater the value of D_M, the greater the average size of the balls in the mill charge. This indicates a decrease in the specific contact surface of the grinding bodies with the material and, accordingly, in the productivity of the processing unit.

The idealised characteristics (1′, 2′, 3′) are close to a straight line, which corresponds to a more uniform size distribution and ensures the best grinding efficiency. As can be seen from Fig. 1, the highest mill performance is determined by the initial size of the largest ball and the degree to which the actual loading characteristic approximates the idealised one.

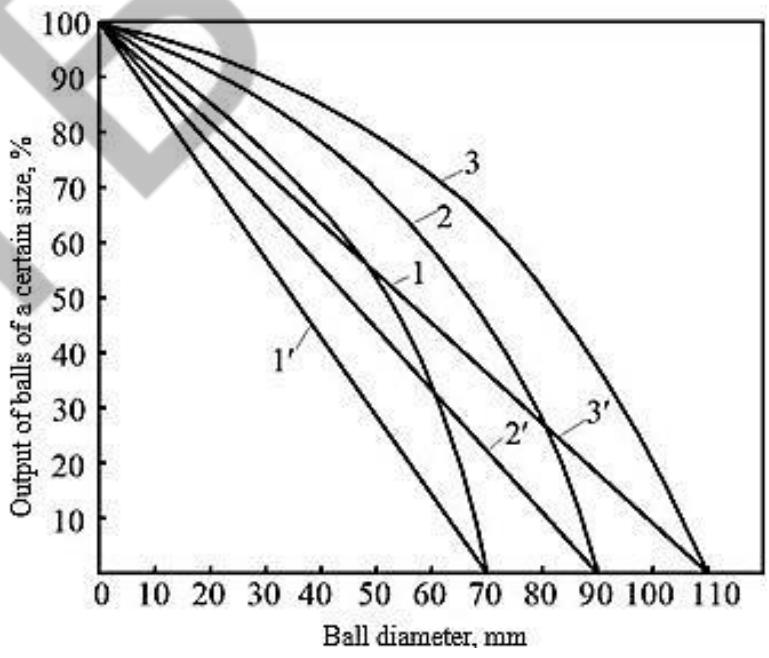


Fig. 1 - Characteristics of the size of the ball mill charge operating on balls of the same size at different initial sizes: 1, 2, 3 – exact; 1′, 2′, 3′ – idealised

It is advisable to determine the characteristics of ball mill feed size experimentally for each type of

ore and grinding conditions.

Balls with a diameter of 100-125 mm are used to grind ore with a size of 0-25 mm, while balls with a diameter of 80-90 mm are effective for ore with a size of 0-12 mm or smaller. Thus, based on the known size of the ore at the inlet of the ball mill, it is possible to determine the maximum initial diameter of the balls in the load. This greatly simplifies the process of selecting the optimal composition of the ball mill medium and ensures the rational use of energy during grinding.

The use of balls of different diameters in the grinding medium significantly increases the efficiency of ore grinding compared to a mill operating with balls of a single size. The initial ball charge is formed from several ball sizes, the base of which is taken as diameter D_M. For hard ore with a size of 0-12 mm, it is recommended to take D_M=90 mm.

Research has shown that limiting the number of large balls (over 80 mm) has a positive effect on the energy efficiency and stability of the mill. Therefore, it is advisable to use a relatively small proportion of them. To simplify calculations and practical implementation, it is advisable to use four standard ball sizes, selected according to the criterion of minimum deviation of the actual load characteristics from the idealised curve.

The purpose of selecting a mixture of balls of different sizes is to achieve a particle size distribution close to the optimum, which ensures uniform grinding of the material and maximum energy utilisation. To do this, the following parameters are used: the number of ball sizes, the interval between diameters, the minimum ball size, and the proportion of each size in the mixture.

The optimal composition of the mixture is determined by the degree of deviation of the actual loading characteristics from the idealised ones. The smaller the deviation, the higher the efficiency of the process. A balanced combination of large, medium and small balls allows the unit to maintain high productivity over a long period of operation without the need for frequent reloading.

Therefore, mixed loading of balls of different sizes is the most rational approach in terms of stabilising the grinding process, reducing specific energy consumption and ensuring uniform quality of the finished product.

References

[1] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2025. [Online]. Available: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-iron-ore.pdf [Accessed: October 19, 2025].

[2] Y. V. Naumenko. Osnovy teorii rezhymiv roboty barabannykh mlyniv [Fundamentals of the Theory of Drum Mill Operating Modes]. Rivne, Ukraine: SPD Zelept, 2009, 282 p.

UDK 004.7:519.87:519.8

SOLUTION OF SOME OPTIMISATION PROBLEMS IN THE DEVELOPMENT OF CENTRALISED AND DECENTRALISED DISTRIBUTED SYSTEMS

Khoshaba O. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. This paper addresses optimisation problems that arise in the development of centralised and decentralised distributed systems. We unify the treatment of technology workflows and architectural patterns of corporate computer networks by modelling them as open queueing networks with product-form stationary behaviour (Jackson networks). On that basis we formalise throughput ceilings, latency/availability trade-offs, and actionable levers such as feedback reduction, proportional flow splitting, server pooling, and targeted capacity increments at bottlenecks. We further propose an extended architecture notation that separates protocol and infrastructure security, encodes independent failure domains and consensus type, and binds qualitative labels to measurable KPIs. The approach naturally supports both single-criterion optimisation and multi-objective (Pareto) analysis and aligns with current architecture-description standards.

Keywords: distributed systems; Jackson networks; queueing networks; throughput ceiling; architectural patterns; server pooling; flow splitting; Pareto optimisation; standardisation; corporate computer networks.

Problem statement and motivation. The continued evolution of both centralised and decentralised distributed systems depends on rigorous optimisation of (i) operational technology workflows and (ii) architectural patterns of corporate computer networks. In practice, engineers need compact, defensible models that predict how architectural choices - pooling vs localising, adding channels, tuning load-balancers, or redesigning feedback paths - affect throughput, delay and availability. Classical queueing-network theory provides exactly such a lens: open Jackson networks offer product-form stationary behaviour under mild assumptions and enable interpretable capacity-planning results without heavy simulation [1]-[6]. For decentralised systems, additional constraints stem from quorum-based consensus and broadcast patterns that impose communication overheads and latency–throughput trade-offs [11].

Research tasks and scope. The work resolves four tightly coupled tasks.

(i) It unifies the modelling of centralised (pooled) and decentralised (multi-node, quorum-based) deployments as open Jackson networks whose nodes represent processing stages and network hops, so that both data-plane and control-plane costs are captured [1], [5], [9]-[11].

(ii) It translates architectural patterns into queueing parameters and introduces a throughput-ceiling concept that exposes the true bottleneck under realistic feedback and routing.

(iii) It provides closed-form, engineer-friendly rules for flow splitting, feedback reduction and capacity increments, making the expected benefit of each architectural lever explicit and comparable.

(iv) It frames design as a multi-objective optimisation (throughput, latency, cost, reliability), allowing Pareto reasoning when criteria inevitably conflict [7], [8].

These tasks leverage the author's recent studies, which ground the modelling choices and validation scenarios:

Notations of Architectural Models in Blockchain Networks. Defines a compact notation for local/distributed, single-/multi-node blockchain architectures and shows how the security–scalability–decentralisation trade-offs surface across those models; we reuse this notation to bind performance models to architecture descriptors [14].

Multi-Dimensional Resource Evaluation in Blockchain. Argues for resource assessment beyond one-dimensional gas metering by separating compute, memory access and latency footprints; we adopt this multidimensional view when mapping consensus/control overheads to queueing loads [15].

RATEM: A Resource-Aware Transaction Evaluation Framework. A preprint [16] proposing fairness- and scalability-oriented transaction evaluation aligned with resource metrics; in our model this corresponds to load-aware routing/weighting that equalises effective utilisations across stages.

Assessing the utilisation of computing resources in blockchain networks. Conference theses that classify workloads from scalar to tensor operations and motivate unconventional metrics (FLOPS, memory bandwidth, execution time); that taxonomy informs our treatment of compute-bound stages [17].

Differential Load Modelling and Multi-objective Optimisation of BFT Parameters in Hyperledger Besu. A preprint introducing time-varying arrival-rate modelling and stability conditions for BFT-based permissioned networks; we reflect these constraints in consensus-aware staging and Pareto analysis [18].

Evaluating and Benchmarking Resilient Web3 Architectures for Multimedia. Conference theses outlining end-to-end benchmarks (cost/GB, time-to-first-frame, rebuffering, carbon footprint) for storage/availability/scaling stacks; we use these scenarios as external validation targets [19].

Methodological foundations. We adopt open queueing networks in the Jackson sense, where each processing stage or link is represented as a service node with service rate μi, and requests arrive exogenously at rate λ_0. Let *P* be the routing matrix with elements p_{ij} (probability a job leaving node i goes to node j). The traffic equations read:

$$\boldsymbol{\lambda} = \lambda_0 \mathbf{e} + \boldsymbol{\lambda} P \quad \Longleftrightarrow \quad \boldsymbol{\lambda}(I - P) = \lambda_0 \mathbf{e},$$

where λ is the vector of throughputs per node and e is the unit row-vector. The visit ratios $v_i := \lambda_i/\lambda_0$ are thus determined by $v^\top = \mathbf{e}^\top (I - P)^{-1}$. For M/M/1 nodes, the utilisation at node, the utilisation at node i under network input X equals $\rho_i = X v_i/\mu_i$, and stability requires $\rho_i < 1$ for all *i*. The throughput ceiling (maximal sustainable input rate) follows directly as:

$$X_{\max} = \min_i \frac{\mu_i}{v_i}.$$

Under standard reversibility assumptions, these networks admit a product-form stationary distribution, yielding transparent expressions for steady-state measures (utilisations, queue lengths, mean

sojourn times) and enabling interpretable capacity planning without heavy simulation [1]-[6]. For architects, the key benefit is interpretability: bottlenecks surface as the stages whose effective capacity per visit saturates first [5].

Optimising technology workflows. Workflow optimisation can be posed as either a single-criterion problem - maximising sustainable input subject to latency/utilisation bounds - or as a multi-objective problem that balances throughput, mean delay and cost [7], [8]. In the single-criterion setting, monotonicity properties of X_{max} and convex-optimisation surrogates give practical tuning heuristics for service allocations and routing biases [8]. In the multi-objective setting, Pareto fronts emerge naturally: decreasing tail latency via duplication/retries often increases work-in-system and cost. Our framework places each candidate design on the Pareto frontier, making trade-offs explicit for decision-makers [7].

Optimising architectural patterns. We express familiar patterns in queueing-network language so that their effect on throughput and latency is auditable rather as is:

Server pooling. A single logical queue feeding a worker pool reduces imbalance and waiting relative to disjoint parallel queues; this is a first-line tactic for centralised designs and for "local" stages inside decentralised stacks [5], [9], [10].

Proportional flow splitting. Allocate traffic across parallel branches in proportion to their effective service capacities μ_i, which equalises utilisations (ρ_i) and elevates X_{max} without new hardware [5].

Feedback reduction. Removing/suppressing backflows due to retries, re-validation or "return for rework" increases the share of requests that exit per pass and raises sustainable input; engineering counterparts include idempotency, deduplication, earlier validation/caching [5].

Targeted capacity increments. Adding service capacity at the active bottleneck yields the highest marginal gain; the model provides a per-channel "return on investment" that ranks where to add workers next.

Consensus-aware staging (decentralised deployments). Collocate compute with state to cut cross-site messages and minimise the set of nodes on the critical quorum; this has first-order impact on both throughput and confirmation latency [11].

Each lever admits compact rules backed by the product-form structure and the Xmax expression above, and was validated in the case study.

Extended architecture notation and standardisation. To compare centralised and decentralised designs consistently, we enrich common S–B–D taxonomies (scalability, security, decentralisation) [14] by decoupling protocol from infrastructure security, encoding the number of independent failure domains, and recording the consensus style and quorum rule where applicable. We propose the tuple:

⟨ProtSec, InfraSec, FDomains, Consensus, Quorum, DataPlane, ControlPlane⟩,

bound to measurable KPIs (sustainable throughput, confirmation-delay percentiles, availability) so that qualitative labels map to operational targets. This notation sits comfortably within established architecture-description practice and helps align performance models with enterprise-architecture processes and repositories [12], [13]. It also supports standardisation of architectural patterns - pooling, proportional splitting, feedback control, and staged consensus - as reusable, testable building blocks with quantified performance envelopes.

Conclusions. We presented a unified treatment of centralised and decentralised distributed systems by modelling technology workflows and corporate network architectures as open Jackson networks with product-form stationary behaviour. This lens yields operationally meaningful throughput ceilings, makes latency/availability trade-offs explicit, and turns common architectural moves - feedback reduction, proportional flow splitting, server pooling, and targeted capacity increments at bottlenecks - into auditable, closed-form levers. We further introduced an extended architecture notation that separates protocol from infrastructure security, encodes independent failure domains and consensus type, and binds qualitative labels to measurable KPIs. The result is a reproducible, standard-aligned pathway from architectural intent to performance outcomes: it supports both single-criterion tuning and multi-objective (Pareto) analysis, integrates naturally with enterprise architecture practice, and provides concise rules of thumb that can be applied without heavy simulation. In short, the approach closes the gap between architectural description and capacity planning, offering actionable guidance for designing and operating resilient, efficient distributed systems.

ПРОЕКТ

References

[1] J. R. Jackson, “Networks of waiting lines,” Operations Research, vol. 5, no. 4, pp. 518–521, 1957.
[2] F. P. Kelly, Reversibility and Stochastic Networks. Chichester, U.K.: Wiley, 1979.
[3] L. Kleinrock, Queueing Systems, Vol. I: Theory. New York, NY, USA: Wiley, 1975.
[4] R. J. Boucherie and N. M. van Dijk, Queueing Networks: A Fundamental Approach. New York, NY, USA: Springer, 2011.
[5] S. Harchol-Balter, Performance Modeling and Design of Computer Systems. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2013.
[6] H. Chen and D. Yao, Fundamentals of Queueing Networks. New York, NY, USA: Springer, 2001.
[7] K. Deb, Multi-Objective Optimisation Using Evolutionary Algorithms. Chichester, U.K.: Wiley, 2001.
[8] S. Boyd and L. Vandenberghe, Convex Optimisation. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2004.
[9] D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1992.
[10] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, Computer Networks, 5th ed. Harlow, U.K.: Pearson, 2011.
[11] M. Castro and B. Liskov, “Practical Byzantine Fault Tolerance,” in Proc. 3rd Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), New Orleans, LA, USA, 1999, pp. 173–186.
[12] The Open Group, “The TOGAF® Standard, 10th Edition.” [Online]. Available: https://pubs.opengroup.org/togaf-standard [Accessed: October 17, 2025].
[13] ISO/IEC/IEEE 42010:2022, Systems and Software Engineering—Architecture Description.
[14] O. Khoshaba, “Notations of Architectural Models in Blockchain Networks,” in S. Kotlyk (Ed.), Digital Transformation and Intelligent Systems: Theory, Models, Practice. Iowa State University Digital Press, 2025, pp. 347–391. DOI: 10.31274/isudp.2025.197.08.
[15] O. Khoshaba, “Multi-Dimensional Resource Evaluation in Blockchain,” Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production, no. 59, 2025, pp. 276–284. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2025-59-35.
[16] O. Khoshaba, “RATEM: A Resource-Aware Transaction Evaluation Framework for Scalable and Fair Blockchain Systems,” Zenodo preprint, DOI: 10.5281/zenodo.15725686, published June 24, 2025. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.15725686 (accessed: 2025-06-25).
[17] O. Khoshaba, “Assessing the utilisation of computing resources in blockchain networks: moving to unconventional methods,” Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference “Information Technologies in Education, Science and Production (ITONV-2025)”, Lutsk, Viddil Imidzhu ta Promotsii LNTU, 2025, pp. 421–424.
[18] O. Khoshaba, “Differential Load Modeling and Multiobjective Optimisation of BFT Consensus Parameters in Hyperledger Besu,” Zenodo preprint, DOI: 10.5281/zenodo.16836406, published August 13, 2025. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.16836406 (accessed: 2025-08-13).
[19] O. Khoshaba, “Evaluating and Benchmarking Resilient Web3 Architectures for Multimedia: Storage, Data Availability, and Scaling,” Proceedings of the V All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students “Computer Games and Multimedia as an Innovative Approach to Communication”, Odesa, ONTU Publishing, 2025, pp. 218–222.

UDK 004.75:519.872:004.056.55

A QUEUEING-DRIVEN CONTROLLER FOR MEMPOOL, BLOCK FULLNESS AND TAIL LATENCY

Khoshaba O., Bystryk M. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Annotation. Permissioned blockchain platforms with Byzantine-fault-tolerant consensus increasingly host latency-sensitive workloads. Yet their performance is governed by coupled, burst-prone subsystems: the transaction mempool, batch (block) formation and leader-based finality. We design, model and evaluate a queueing-driven controller that uses latency quantiles and block utilisation as service-level indicators to steer both mempool policy and block-formation cadence. The modelling view

abstracts the mempool and block builder as a finite-buffer batch-service queue calibrated from node telemetry. At the same time, the controller manipulates safe levers — time-bounded adjustments of the block period and conservative changes to admission/eviction in the mempool — guarded by error-budget logic and consensus constraints. On a Hyperledger Besu IBFT/QBFT testbed we observe that, under trace-driven bursts, p99 time-to-inclusion halves from 3.8 s to 1.9 s (-50%) and p95 drops from 2.4 s to 1.6 s (-33%); average block utilisation rises from 82% to 92% while its coefficient of variation halves; sustainable throughput at ρ≈0.9 improves from 270 to 305 TPS without breaching a 2.5 s p99 SLO; mempool drain-time after a burst shrinks from 18 s to 7 s; and IBFT/QBFT round-changes fall from 38 to 11 per 10k blocks. These gains are achieved with ≈1–2% CPU overhead and negligible extra RPC traffic. The results align with queueing-theoretic expectations for finite-buffer batch service and demonstrate a practical path to SLO-centred control in permissioned chains.

Keywords: queueing-based control; Hyperledger Besu; IBFT/QBFT; tail latency; service-level objectives; mempool; block utilisation.

Problem and modelling stance. Latency in permissioned blockchains is dominated by two coupled phases: time spent waiting in the mempool and time to the next successful batch commit. Bursty arrivals, leader variability and bounded blocks induce heavy-tailed delays that make p95/p99 targets fragile [2]. We consider a realistic operating envelope in which the gas limit per block and the block period define the instantaneous service capacity; the mempool enforces admission and eviction; and the consensus layer occasionally triggers round-changes, which transiently reduce effective service. To reason about this system without resorting to protocol-specific minutiae, we adopt a finite-buffer batch-service abstraction whose parameters are calibrated from node telemetry: arrival processes from transaction submission traces; batch-size distribution from gas-accounted inclusion; service cadence from block timestamps; and disturbance processes from observed round-change events. This stance follows classical queueing for computer systems [1] while respecting blockchain particularities such as EIP-1559-style fee pressure [4] and IBFT-style leader rotation [3], [5]. The modelling objective is not closed-form analysis but identifiability of control-relevant sensitivities: how tail latencies and block-utilisation variability respond to small, safe changes in block period and mempool policy, and how these responses shift as load approaches capacity.

Controller design and safety guards. The controller treats user-facing SLOs as first-class: for example, we aim for p99 time-to-inclusion ≤2.5 s and limit the fraction of one-minute windows breaching the SLO to an error budget. Telemetry streamed via Prometheus/Grafana and Besu's JSON-RPC (e.g., txpool_besuStatistics) provides sliding-window estimates of p50/p95/p99 inclusion latencies, average and variance of block utilisation, mempool depth, drop/TTL rates and consensus health (round-changes) [3], [6]. Actions are deliberately conservative. First, a cadence governor proposes small step-changes to the block period within policy bounds, smoothing transitions and avoiding oscillations in leader schedules; such changes trade higher batch frequency for lower queueing delay when bursts threaten the SLO, but remain bounded to preserve safety margins in consensus processing. Second, a pool governor tweaks admission and eviction: temporarily raising the minimum effective fee, tightening TTL or prioritising transactions that improve packing efficiency. Both mechanisms are wrapped in guards: they respect consensus invariants, rate-limit reconfiguration and default to safe settings under missing telemetry. The two levers are synergistic: cadence reduces waiting time; pool policy improves packing and dampens variance; together they cut tails without destabilising throughput.

Experimental setting and methodology. We evaluate on a Besu network with seven validators (IBFT 2.0 / QBFT), a baseline block period of 2s, and a gas limit of ~15 M. Clients submit a stationary background of simple transfers interleaved with trace-driven Pareto-like bursts 3–5× above background for 2–5s. Windows for SLI computation are one minute (SLO control) and fifteen minutes (stability), with additional roll-ups per 10k blocks for consensus metrics. Baseline runs fix the period and use the default mempool policy, while controlled runs enable both governors with step sizes and bounds pre-vetted for deployment. All measurements are gathered from the RPC and metrics endpoints with identical sampling configurations across conditions [3], [6]. We report medians with interquartile ranges for steady-state metrics and emphasise p95/p99 quantiles for tails, as recommended for user-perceived latency [2]. Where appropriate, we corroborate improvements by showing that mempool peaks shrink and drain faster after a burst, and that the frequency of round-changes decreases, indicating gentler load on the consensus path.

Results. Under the bursty profiles, the controller halves tail latency: p99 inclusion falls from 3.8 s to 1.9 s (-50%) and p95 drops from 2.4 s to 1.6 s (-33%), shrinking the share of one-minute windows

breaching the 2.5 s p99 target from 18% to 3%. Average block utilisation increases from 82% to 92% while its coefficient of variation halves, indicating steadier packing; the fraction of near-empty blocks (<30% gas) falls from 7% to 1.5%. At a utilisation ratio around 0.9 of the empirical capacity, sustainable throughput rises from 270 to 305 TPS without violating the p99 SLO, and under mild overload (≈1.1 of capacity) the controller holds a 300 TPS target with ≤20% inflation in p99 and no mempool meltdown. Transient resilience improves: the mempool's peak during bursts decreases from ~20k to ~8k transactions, and the drain-time to background shrinks from 18s to 7s; TTL-based drops decline from 4.2% to 1.3%, reflecting healthier flow. Consensus stability benefits as well: round changes reduce from 38 to 11 per 10k blocks, and the dispersion of block utilisation across validators narrows (e.g., a Gini measure dropping from 0.17 to 0.08), suggesting a fairer proposer workload. Control overheads remain negligible at ≈1–2% CPU and <0.5% extra RPC traffic, with no adverse effects on finality or reorganisation rates. An ablation study clarifies mechanism complementarity: enabling only the pool governor improves p99 by ~22%, while enabling only the cadence governor improves it by ~28%. In comparison, both together reach ~50% — a non-additive gain consistent with reduced variability feeding a faster cadence. These effects are reproducible across IBFT and QBFT variants and align with queueing-theoretic expectations for finite-buffer batch service under bursty arrivals [1], [2], [5].

Discussion, threats to validity and implications. The findings are most directly applicable to permissioned networks where block cadence and mempool policy are configurable and where operational SLOs justify modest, well-guarded adaptivity. Extrapolation to public, fee-auctioned chains requires care: EIP-1559-style dynamics interact with admission rules through base-fee adjustment and priority tips, potentially altering the controller's feasible action set [4]. Our burst traces are representative of enterprise workloads but may not capture adversarial patterns; nevertheless, the reduction in round-changes and in near-empty blocks indicates that the controller reduces stress on consensus and improves packing efficiency in ways that should generalise. Importantly, the controller respects protocol safety by bounding changes, rate-limiting reconfiguration and failing safe on telemetry gaps. From an engineering perspective, the approach encourages operators to frame objectives in terms of quantiles and error budgets, moving beyond averages and peak TPS. From a modelling perspective, the results show that a lightweight, telemetry-calibrated queueing abstraction is sufficient to identify effective levers without invasive protocol modification. Finally, the small resource footprint and compatibility with stock Besu suggest an attractive cost–benefit trade-off for deployments that must sustain tail-latency SLOs.

Conclusions. We presented a queueing-driven controller that couples mempool policy and block cadence to achieve SLO-centred improvements in latency and stability on a Besu IBFT/QBFT network. Without changing consensus rules, the controller halves p99 time-to-inclusion, raises and steadies block utilisation, increases sustainable throughput near capacity and reduces round-changes, all while imposing minimal overhead. The results substantiate the value of queueing-aware control in permissioned chains and open a path to principled, low-risk adaptivity for latency-sensitive applications. Future work includes integrating fee-aware admission under EIP-1559 economics, extending to smart-contract heavy workloads and exploring formal guarantees for stability under wider perturbations.

References

[1] M. Harchol-Balter, Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.

[2] J. Dean and L. A. Barroso, "The Tail at Scale," Communications of the ACM, vol. 56, no. 2, pp. 74–80, 2013.

[3] Hyperledger Besu Documentation, "Consensus protocols and network configuration (incl. IBFT/QBFT)," Available: https://docs.hyperledger.org/besu/latest/ Accessed: 09 Oct. 2025.

[4] T. Harding et al., "EIP-1559: Fee Market Change for ETH 1.0 Chain," Ethereum Improvement Proposal 1559, Available: https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1559 Accessed: 09 Oct. 2025.

[5] M. Castro and B. Liskov, "Practical Byzantine Fault Tolerance," in Proc. 3rd USENIX OSDI, 1999.

[6] Hyperledger Besu, "JSON-RPC API Methods (e.g., txpool_besuStatistics, metrics endpoints)," Available: https://docs.hyperledger.org/besu/latest/ Accessed: 09 Oct. 2025.

[7] O. Khoshaba, V. Grechaninov, A. Lopushanskyi, and K. Zavertailo, "Modeling the Process of Loading Impact on Web Servers in Computer Systems," in Proc. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conf. on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, Aug. 26–28, 2021, pp. 519–524. ISBN: 978-1-6654-0094-7

УДК 544.3

ДОСЛІДЖЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗПЛАВІВ ТРИКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ Al–Mg–Si(Ge, Sn, Pb)

Царюк Д.В.[1], Носенко В.К.[1], Носенко А.В.[1], Кудін В.Г.[2], Романова Л.О.[3], Судавцова В.С.[3] (sud.materials@ukr.net)

[1]інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАНУ (Україна)

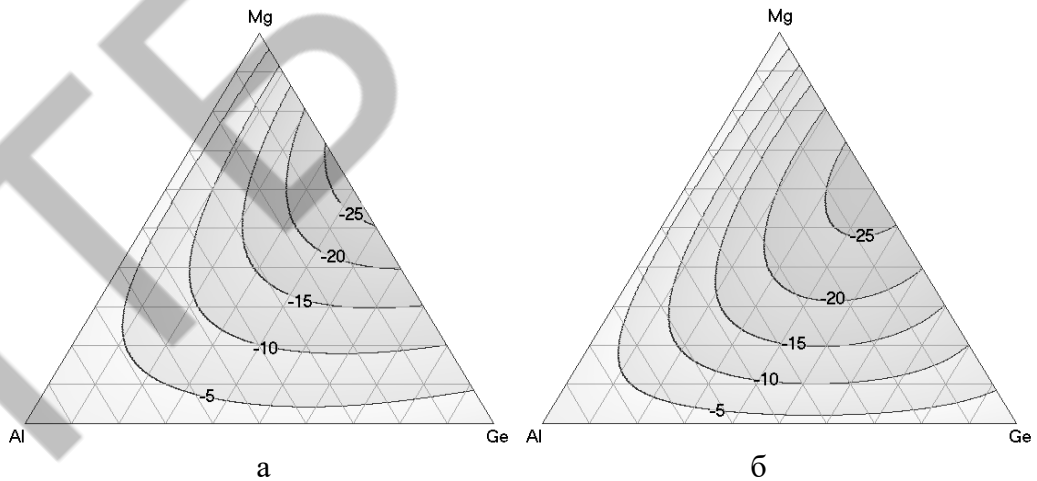
[2]київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

[3]інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ (Україна)

За моделлю Редліха–Кістера–Муджіану отримано термодинамічні властивості розплавів системи AL–MG–SI(GE, SN, PB) в усьому інтервалі концентрацій.

Дослідження розплавів, що містять тугоплавкі і хімічно агресивні компоненти є складним експериментальним завданням. Тому в даний час все більше застосовуються розрахунки термодинамічних властивостей фаз за різними моделями, а також методами Calphad, Mqm, тощо.

Для розрахунків термодинамічних властивостей розплавів двокомпонентних систем використовують модель IAP використовуючи експериментальні термохімічні властивості розплавів визначених методами калориметрії і іншими, а також дані діаграм стану відповідних систем . В результаті цих розрахунків отримуємо всі термодинамічні властивості розплавів, а також координати кривих ліквідуса. Слід відмітити, що змодельовані термодинамічні дані узгоджуються з встановленими експериментально. Але координата ліквідуса не завжди узгоджується з експериментально побудованою діаграмою стану. Так для систем Ge–Ln вдалось знайти нові сполуки, які були відкриті іншими авторами. Тому ми прийшли до висновку, що бажано проводити моделювання діаграм стану із термодинамічних властивостей фаз, тому що останні дозволяють уточнити діаграму стану системи, тому що методи ФХА є ефективними не завжди. Тому треба розвивати методи як експериментальних досліджень, так і моделювання. Ще більш складними є фізико-хімічні дослідження багатокомпонентних систем, тому ми використовуємо модель Редліха–Кістера–Муджіану (РКМ) для розрахунку термодинамічних властивостей (ТДВ) трикомпонентних розплавів із аналогічних даних для бінарних граничних систем.



а б

Рис. 1. Ізоентальпії змішування розплавів системи Al–Mg–Ge L=0 (а) і −150 (б) кДж/моль при 1300 К (в кДж/моль).

Високоміцні алюмінієві сплави містять багато легуючих елементів, які покращують їх механічні властивості. Щоб удосконалити методи і умови виробництва цих сплавів та з метою покращення їхніх властивостей бажано мати термодинамічні дані як для подвійних, так і особливо для багатокомпонентних сплавів. Так як дослідження термодинамічних властивостей розплавів потрійних систем є складними і для розплавів потрійних систем Al–Mg–Si(Ge, Sn, Pb) їх не проведено, то доцільно їх розрахувать із аналогічних даних для обмежуючих подвійних

підсистем за відомими “геометричними” і “аналітичною” (Редліха–Кістера–Муджіану з потрійним внеском або без нього) моделлю. Щоб встановити, яка із вказаних моделей найкраще описує експериментальні дані, доцільно дослідити термодинамічні властивості розплавів 1–3 променевих перерізів наприклад, методом калориметрії. Термодинамічні властивості розплавів для обмежуючих подвійних систем були взяті із довідників або баз даних.

Розраховані термохімічні властивості розплавів системи Al–Mg–Ge за моделлю РКМ без і з потрійним внеском −150 кДж/моль наведено на рис. 1.

Для розплавів системи Al–Mg–Ge було вирішено також виконати дослідження методом калориметрії для трьох променевих перерізів. Вони наведені на рис. 2

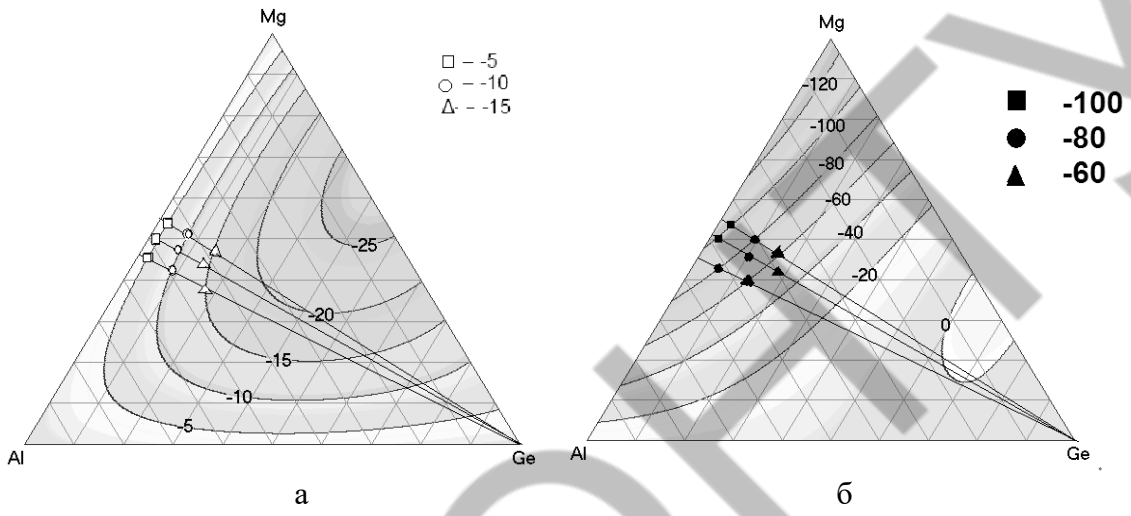


Рис.2. Ізолінії інтегральних (а) і парціальних для германію (б) ентальпії змішування розплавів системи Al–Mg–Ge для перерізів із xAl /xMg = 0,45/0,55 при 1205 К, xAl /xMg =0,54/0,46 при 1278 К та xAl /xMg =0,49/0,51 при 1318 К: точки — експериментально визначені, лінії — розраховані за моделлю РКМ з L= −150 (в кДж/моль).

В результаті вдалося отримати термохімічні властивості розплавів даної системи в усьому інтервалі концентрацій. Видно, що експериментальні і розраховані за моделлю РКМ узгоджуються між собою, а мінімум ΔH для потрійних розплавів припадає на область концентрацій сплавів, що знаходяться поблизу єдиної сполуки Mg2Ge (Тпл.=1390К), яка плавиться конгруентно. Цього слід було очікувати.

Вказану модель використали для оцінки термохімічних властивостей розплавів потрійних систем Al–Mg–Si(Sn, Pb). Для розплавів цих систем, а мінімум ΔH для припадають на сполуки Mg2Si(Sn, Pb). По зростанню енергії міжатомної взаємодії їх можна розмістити в ряд:

Mg–Pb — Mg–Sn — Mg–Si — Mg–Ge

Це корелює з їх діаграмами стану.

Таким чином, моделювання ТДВ розплавів вказаних тернарних систем дозволило розширить уявлення про їх енергії міжатомної взаємодії і встановити вплив на неї Si, Ge, Sn, Pb.

НТБОНТУ

UDC 004.9

CLUSTERING-BASED INTELLECTUAL ANALYSIS OF SMART CONTRACT DATA IN BLOCKCHAIN-ORIENTED SOCIAL NETWORKS

Tsudzenko Y.Y. (yura9989@gmail.com)
Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

This paper analyses the application of intelligent data analysis methods to transaction data in blockchain-oriented social networks, identifies, studies, and reveals how different clustering algorithms influence the detection of behavioral patterns and relationships among users. The paper considers the structure and characteristics of smart contract data, assesses the effectiveness of various clustering methods for grouping users, and identifies the most suitable approaches for accurately classifying transaction patterns.

Modern social networks generate a large amount of transactional data that can be tracked and stored in a blockchain database through smart contracts. Effective analysis of such data requires the use of mining techniques to identify patterns, cluster users, and predict behavioral patterns. The main problem is to determine the most suitable analysis methods that allow you to correctly process the structure and features of smart contract data in social networks and ensure the accuracy and reliability of the results obtained.

This study compares various methods of data mining, as in the paper [1], in particular clustering algorithms, to determine their effectiveness in identifying patterns and behavioral patterns of users. The main task is to choose the most suitable method for clustering smart contracts, according to [2] and transactions, which ensures the accuracy of analysis, allows you to identify key relationships in the data, and supports informed decision-making based on blockchain data.

To compare data mining methods, several clustering methods are used based on collected data from social media based on donation transactions and behavioral metrics in order to highlight typical groups of donors (regular donors, large patrons, one-time payers, NFT collectors).

The paper considers three main approaches: **K-means clustering**, which effectively divides users into a predetermined number of clusters according to the quantitative characteristics of transactions, such as the number of donations, the total amount and frequency of activity; **Hierarchical clustering**, which allows you to build a dendrogram and identify the hierarchical structure of users, which is useful for analyzing donor subgroups; and **DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise),** which distinguishes user groups by transaction density and allows you to identify atypical, as in the article [3], or rare patterns, such as large one-time donations.

Based on user parameters such as donation frequency (*frequency*), total amount (*total_amount*), average amount (*avg_amount*), and NFT activity (*nft_activity*), users were divided into groups [4].

K-means [5] effectively divided users into four clusters reflecting typical donor patterns: regular donors, large patrons, one-time payers, and NFT collectors. This method is well-suited for identifying clusters with clear differences in transaction quantities.

Hierarchical clustering has made it possible to construct a dendrogram and identify the hierarchical structure of groups, which is useful for analyzing donor subgroups and further dividing large clusters into smaller subclasses.

DBSCAN identified user groups by transaction density, which made it possible to detect atypical patterns, including users with large one-time donations or activity in NFTs. At the same time, users who are not part of dense groups are marked as noise (-1).

НТБ ОНТУ

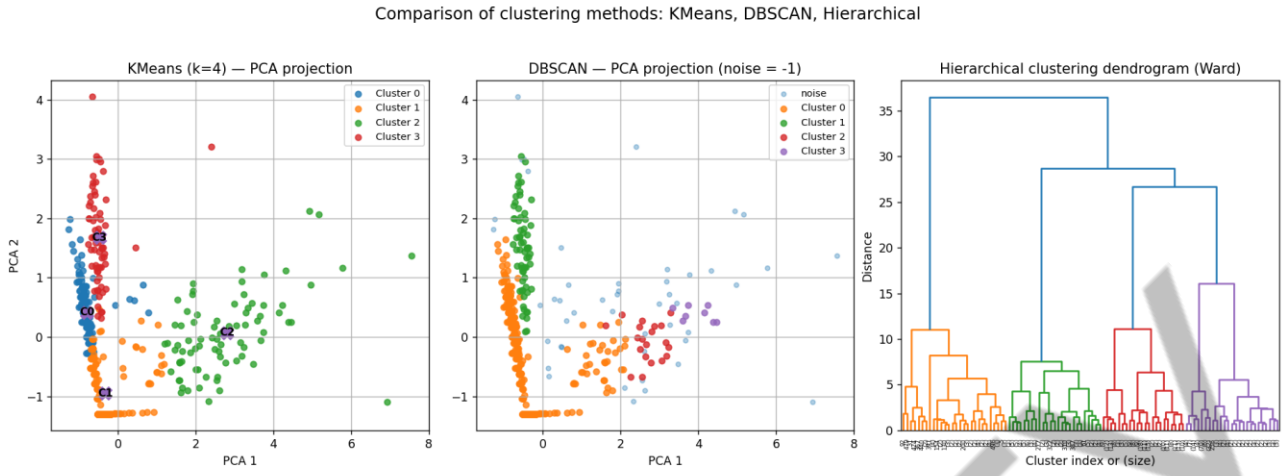


Fig.1. Displaying clustering methods when investigating transaction activity

The visualization shows that each method has its own advantages: K-means provides simple and interpreted separation by quantitative indicators, Hierarchical allows you to see the hierarchy of groups, and DBSCAN highlights anomalous or rare transactions that may be important for additional analysis of donor behavior. Such a combined application of data mining techniques allows for a deeper and more accurate understanding of the structure of users and their behavioral patterns in social networks based on blockchain transactions.

Tabl.1. Division of transactions into user donation groups

User group	**Характерні параметри**	**K-means Cluster**	**Hierarchical Cluster**	**DBSCAN Cluster**
Regular	Medium/High Frequency, Medium total_amount	Cluster with average frequency and sum	Subcluster in a large cluster of active donors	Dense cluster by transaction frequency
Great patrons	High total_amount і avg_amount, low frequency	A detached cluster with a high sum	Subcluster on the periphery of a large cluster	Dense isolated cluster by transaction amount
One-time payers	Low frequency, different total_amount	Low frequency cluster	Small subclasses on the periphery	Usually noise or a separate small cluster
NFT collectors	nft_activity = 1, medium/low frequency	Cluster behind NFT transactions	The subcluster is allocated separately	Dense cluster of NFT transactions

From Table 1. we can see that the K-means **clustering method** groups users by distance in the multidimensional space of transaction parameters, and in the **Hierarchical clustering** method, subclasses are allocated within a large cluster of active donors or separate groups for rare transactions. Then, when the **DBSCAN** methodthe density of the points determines the clusters; rare or one-time donations may be considered noise, and NFT groups or large patrons are singled out separately.

For data collection and processing, JavaScript programming languages, namely the Node.js library, were used, and **scikit-learn** and **SciPy** libraries were used to implement clustering algorithms, providing a wide range of machine learning and cluster analysis methods. Visualization of the results was carried out using **the Matplotlib** and **Seaborn** libraries, which made it possible to graphically display the structure of clusters, relationships between users, and anomalous transactions. To integrate with the blockchain environment, APIs of platforms that support access to smart contracts were used, providing automated data collection and aggregation for further analysis.

Thus, the analysis confirmed the feasibility of using clustering methods for intelligent processing of transactional data in blockchain-oriented social networks. The application of the **K-means** algorithm made it possible to clearly distinguish four key types of donors: regular users with stable contributions, large patrons with high transaction amounts, one-time payers, as well as active NFT collectors. This

indicates a high suitability method for identifying typical behavior patterns based on quantitative characteristics.

The use **of hierarchical clustering** made it possible to study the internal structure of selected groups in depth, in particular, to identify subclasses among large donors and build a dendrogram of relationships. This approach is valuable in cases where it is necessary not only to identify the main categories of users, but also to carry out a multilevel analysis to detail behavioral subgroups.

The **DBSCAN algorithm** has demonstrated effectiveness in detecting atypical transaction patterns, including users with large one-time donations or specific activity in NFTs. This allows for the automatic identification of anomalous users and the identification of potentially significant exceptions that do not fall within the boundaries of standard clusters.

Therefore, the results of the study confirm that the combined application of K-means, hierarchical clustering, and DBSCAN provides a comprehensive analysis of smart contract data. This approach allows both to identify typical user groups and to identify rare or anomalous transaction scenarios. The practical value of the results obtained lies in the possibility of using clustering to build personalized strategies for interacting with users, increase the efficiency of donation monitoring, and develop tools for predicting behavior in blockchain-oriented social networks.

References

[1] D. Zelenyanszki, Z. Hou, K. Biswas, and V. Muthukkumarasamy, “Clustering and analysis of user behaviour in blockchain: A case study of Planet IX,” *arXiv preprint arXiv:2504.11702*, 2025.

[2] B. Lashkari et al., “Detection and Analysis of Ethereum Energy Smart Contracts,” *Applied Sciences (MDPI)*, 2023.

[3] **A Collective Anomaly Detection Technique to Detect Crypto Wallet Frauds on Bitcoin Network,** Mohammad Javad Shayegan, Hamid Reza Sabor, Mueen Uddin, Chin-Ling Chen, *Symmetry*, Vol. 14, No. 2, 2022, Article 328.

[4] B. Huang, “Behavior pattern clustering in blockchain networks,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 4, pp. 5679-5700, 2017.

[5] “Blockchain Fraud Detection Using Unsupervised Learning: Anomalous Transaction Patterns Detection Using K-Means Clustering,” *Proceedings of IC3 2024*, 2024.

УДК 004.056

ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ РИЗИКІВ ЗА ПРІОРИТЕТАМИ

Шаповалов Б.Д., Коробейнікова Т.І., Журавель І.М.
(bohdan.shapovalov.mkbbi.2025@lpnu.ua,
tetiana.i.korobeinikova@lpnu.ua, ihor.m.zhuravel@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі представлено формалізований підхід до оцінки та класифікації ризиків за пріоритетами на основі кількісного аналізу. Запропоновано методику розрахунку ризиків з урахуванням загроз, вразливостей, вартості активів та їх впливу. Описано градацію ризиків (допустимий, низький, високий за впливом, високий за вартістю, неприпустимий) та підхід до визначення залишкового ризику. Результати сприяють ефективному управлінню ризиками шляхом їх пріоритезації.

Постановка проблеми. Управління ризиками є критично важливим для забезпечення безпеки інформаційних систем і бізнес-процесів. Відсутність формалізованого підходу ускладнює пріоритезацію ризиків і прийняття обґрунтованих рішень. Необхідно розробити методику кількісної оцінки ризиків із урахуванням загроз, вразливостей, вартості та впливу на активи, а також визначення залишкового ризику.

Вирішені завдання.

1. Розроблено формалізований опис розрахунку ризиків із різними пріоритетами: помірний, високий за впливом, високий за вартістю, критичний.

2. Запропоновано класифікацію ризиків на основі декартового добутку множин загроз, вразливостей, вартості та впливу.
3. Визначено методологію розрахунку залишкового ризику з урахуванням контрзаходів.
4. Сформульовано градацію ризиків для їх ефективної пріоритезації.

Для розрахунку ризику із помірним пріоритетом $Risk_M$ врахуємо два параметри – множину T (Thread, загроза) та множину V (Vulnerability, вразливість). В (1) $T = \{ t_1, t_2, \dots, t_i\}$ і $V = \{ v_1, v_2, \dots, v_i\}$ – множини загроз та вразливостей відповідно.

$$Risk_M = T * V, \tag{1}$$

Декартовий добуток цих множин згенерує множину кортежів виду (2):

$$Risk_M = T * V = \left\{ (t_i, v_j) \mid t_i \in T, v_j \in V \right\}, \tag{2}$$

Множина отриманих кортежів відображатиме можливі варіанти загроз і вразливостей і кожен кортеж виду $\langle t_i, v_j \rangle$ може бути використаний для подальшого розрахунку ризику.

Для врахування вартості активу під час розрахунку ризику із високим пріоритетом за вартістю $Risk_{HC}$ додатково введемо параметр C – (Cost, вартість) до виразу (1), і отримаємо (3). В виразі (3) множина $\mathrm{C} = \{ \mathrm{c}_1, \mathrm{c}_2, \dots, \mathrm{c}_l\}$ – множина значень вартостей активів.

$$Risk_H = T * V * C, \tag{3}$$

Декартовий добуток цих множин згенерує множину кортежів виду (4):

$$Risk_{HC} = T * V * C = \left\{ (t_i, v_j, c_l) \mid t_i \in T, v_j \in V, c_l \in C \right\} \tag{4}$$

Множина отриманих кортежів відображатиме можливі варіанти загроз і вразливостей із урахуванням вартості активів; і кожен кортеж виду $\langle t_i, v_j, c_l \rangle$ може бути використаний для подальшого розрахунку ризику.

З метою враховувати вплив на активи під час розрахунку ризику із високим пріоритетом за впливом $Risk_{HI}$ додатково введемо додатковий параметр – I (Impact – вплив на актив). У виразі (5) множина $I = \{ i_1, i_2, \dots, i_k\}$ – множина значень впливу на актив.

$$Risk_{HI} = T * V * I, \tag{5}$$

Тоді надалі послуговуватимемося таким кортежем (6) для визначення ризику із високим пріоритетом за впливом:

$$Risk_{HI} = T * V * I = \left\{ (t_i, v_j, i_k) \mid t_i \in T, v_j \in V, i_k \in I \right\} \tag{6}$$

Множина отриманих кортежів відображатиме можливі варіанти загроз і вразливостей із урахуванням впливу на активи; і кожен кортеж виду $\langle t_i, v_j, i_k \rangle$ може бути використаний для подальшого розрахунку ризику.

Для розрахунку ризику із критичним пріоритетом $Risk_C$ врахуємо в (1) повний набір параметрів: множини значень впливу та вартості на кожен окремий елемент множин загроз та вразливостей (7):

$$Risk_C = T * V * C * I, \tag{7}$$

і тоді надалі послуговуватимемося таким кортежем (8) для визначення ризику із критичним пріоритетом:

$$Risk_C = T * V * C * I = \left\{ (t_i, v_j, c_l, i_k) \mid t_i \in T, v_j \in V, c_l \in C, i_k \in I \right\} \tag{8}$$

Множина отриманих кортежів типу (9)

$$\left\{ \langle t_1, v_1, i_1, c_1 \rangle \langle t_2, v_2, i_2, c_2 \rangle \dots \langle t_i, v_j, i_k, c_l \rangle \right\} \tag{9}$$

найповніше описуватимуть числове значення оцінки активу.

Рисунок 1 – Складові розрахунку ризику

Для розрахунку залишкового ризику ($Risk_R$, Residual Risk) віднімiть сукупність реалізованих контрзаходів, кожен з яких має певну вартість та/або ефективність у зниженні ризику (Cm, Countermeasures) від загального ризику ($Risk_T$, Total Risk) (10). Загальний ризик включає всі можливі ризики для об'єкту чи системи та відповідне його числове значення.

$$Risk_R = Risk_T - Cm, \quad (10)$$

де $Cm = \{cm_1, cm_2, \dots, cm_i\}$ – множина заходів протидії.

Таким чином, залишковий ризик враховує всі можливі дії, спрямовані на зменшення ризику, але він залишається як частка ризику, яка не може бути повністю усунена.

Контрзаходи – сукупність заходів або процедур, що зменшують ризик. Кожен елемент множини *Cm* є індивідуальним контрзаходом (наприклад, антивірусне програмне забезпечення, фільтри брандмауера, шифрування), і він знижує ризик в певному обсязі.

На основі вказаних вище виразів та кортежів для оцінки різних рівнів ризику, можемо визначити градацію ризиків, враховуючи вплив загроз, вразливостей, вартості активів та впливу на них. Наведемо класифікацію різних рівнів ризику з поясненням.

1. Допустимий ризик – це залишковий ризик, який залишається після реалізації всіх можливих контрзаходів. Цей рівень ризику приймається організацією як мінімальний залишок, який не вдається усунути.
2. Низький ризик – ризик із помірним пріоритетом. Він враховує множини загроз та вразливостей, і його значення отримують шляхом декартового добутку цих множин. Множина кортежів відображає усі комбінації загроз і вразливостей без врахування вартості чи впливу.
3. Високий ризик за впливом – ризик із високим пріоритетом за впливом, що враховує множини загроз, вразливостей та впливу на активи. Цей ризик характеризує можливі загрози і вразливості з урахуванням їх впливу на активи.

Рисунок 2 – Градація ризиків

4. Високий ризик за вартістю – ризик із високим пріоритетом за вартістю, який враховує множини загроз, вразливостей та вартості активів. Цей ризик відображає комбінації загроз і вразливостей із врахуванням вартості активів.
5. Неприпустимий ризик – ризик із критичним пріоритетом, який враховує повний набір параметрів, включаючи загрози, вразливості, вартість та вплив на активи. Цей ризик є найвищим, оскільки враховує всі можливі параметри та потребує негайних заходів для зниження.

Отже, така градація ризику дозволяє ефективно класифікувати та оцінювати різні рівні ризиків, зокрема виділяючи їх за пріоритетом впливу, вартістю, та залишковим ризиком, який є допустимим для організації.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє кількісно оцінювати ризики з урахуванням загроз, вразливостей, вартості та впливу на активи. Градація ризиків забезпечує їх чітку пріоритезацію, сприяючи ефективному управлінню. Залишковий ризик відображає рівень, який організація може прийняти після впровадження контрзаходів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на автоматизацію оцінки ризиків та інтеграцію з системами управління.

Список використаної літератури

[1] ISO/IEC 27005:2018, Information security risk management, International Organization for Standardization, 2018.

НТБОНТУ

[2] R. A. Jones and L. Y. Horowitz, "Quantitative Risk Assessment Methods for Cybersecurity," in Journal of Cybersecurity, vol. 6, no. 1, pp. 45-60, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1093/cybsec/tyaa012

[3] M. K. Smith, Risk Management in Information Systems, New York, NY, USA: Springer, 2023.

[4] Б. Д. Шаповалов, "Управління ризиками: процес та стратегії реагування," в Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Кібербезпека в сучасному світі: актуальні виклики», Коробейнікова Т. І., ред., 2024, с. 267–270. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/11300/28986

[5] Т. І. Коробейнікова and Б. Д. Шаповалов, "Управління кіберризиками підприємства: класифікація та технологічні аспекти," в Інтеграція знань та інновацій у розвитку науки, освіти і суспільства: мультидисциплінарний підхід до вирішення сучасних викликів: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Рівне, 29 березня 2025 р.), ч. 2, Рівне: ЦФЕНД, 2025, с. 50–52. [Online]. Available: https://www.economics.in.ua/2025/03/29-2.html

УДК 004.65:336.76

ОСОБЛИВОСТІ ПРОБЛЕМАТИКИ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ РИЗИКІВ В СЛАБОСТРУКТУРОВАНИХ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ ВЕЛИКОГО ОБСЯГУ

Шведов Д. В., Рудніченко М. Д.
(studylearner@gmail.com, nickolay.rud@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В тезах розглянуто проблематику багатовимірного аналізу інвестиційних ризиків у середовищі слабоструктурованих фінансових даних великого обсягу. Показано, що традиційні статистичні методи не забезпечують належної точності через динамічність, шум та кореляційну нестабільність інформації. Проаналізовано особливості часової неоднорідності, масштабованості та інтеграції різнорідних джерел даних. Наголошено на складності забезпечення балансу між точністю прогнозів і прозорістю інтерпретації результатів. Зроблено акцент на потребі використання сучасних інтелектуальних методів аналізу, зокрема машинного навчання та семантичної обробки текстів. Запропоновано концепцію гібридного підходу з поєднанням нечіткої логіки та гібридного навчання для підвищення адаптивності й стійкості до шуму.

Сучасна фінансова система характеризується високим ступенем складності та значною мінливістю. Інвестиційна діяльність здійснюється в умовах невизначеності, де ризики є постійною складовою процесу прийняття рішень. У світовій практиці питання вимірювання та оцінки ризиків стали одним із ключових напрямів фінансової аналітики, проте традиційні методи не завжди здатні забезпечити достатню гнучкість у випадках обробки слабоструктурованих даних великого обсягу. Це зумовлено тим, що фінансова інформація часто подається у вигляді текстових повідомлень, новин, відгуків, а також неоднорідних числових рядів, які не завжди можна ефективно звести до єдиної структури. В таких умовах виникає необхідність у застосуванні методів багатовимірного аналізу, здатних враховувати неоднорідність, високу динаміку та ймовірнісний характер джерел інформації [1].

Особливістю інвестиційних ризиків є їхній багатовимірний характер. На рівень ризиків впливають не лише макроекономічні показники, а й психологічні фактори поведінки інвесторів, політичні рішення, швидкоплинні інформаційні імпульси, що циркулюють у цифровому середовищі. У результаті обсяг даних, що потребують обробки, є надзвичайно великим, а їхня структура — недостатньо формалізованою. Складність підвищується також через часову залежність цих даних та наявність латентних змінних, які не піддаються прямому вимірюванню. Застосування класичних статистичних методів у таких умовах часто не забезпечує необхідного рівня точності, оскільки вони розраховані на більш чіткі та детерміновані моделі даних [2].

Великі дані у сфері фінансів формуються на основі безлічі різнорідних джерел. Сюди відносяться біржові котирування, фінансові звіти компаній, публікації у ЗМІ, соціальні мережі, результати економічних досліджень та державна статистика. Усі ці джерела відрізняються за рівнем достовірності, швидкістю надходження та форматом подання. Значна частина інформації надходить у вигляді слабоструктурованих текстових даних, де ключові смислові елементи не завжди піддаються однозначній класифікації. Це створює суттєві труднощі для формування математичних моделей ризиків, оскільки точна формалізація таких даних потребує використання методів попередньої обробки, включно з аналізом природної мови, семантичною класифікацією та контекстуалізацією.

У процесі багатовимірного аналізу інвестиційних ризиків основною проблемою є визначення релевантних змінних і встановлення між ними зв'язків. Для фінансової сфери характерна висока кореляція факторів, яка ускладнює виділення індивідуального впливу кожної змінної. Крім того, кореляційні залежності можуть змінюватися у часі, що призводить до виникнення ефектів структурної нестабільності моделей. Для зменшення такого ризику необхідно застосовувати методи адаптивного аналізу, які дозволяють здійснювати переналаштування вагових коефіцієнтів у режимі реального часу. Таким чином, ключовим завданням стає розробка інструментів, здатних інтегрувати різнорідні дані та адаптуватися до мінливих умов середовища [3].

Ще однією особливістю проблематики є високий рівень шуму у слабоструктурованих фінансових даних. Чимало повідомлень у соціальних мережах або навіть у масових медіа не несуть суттєвої інформаційної цінності, однак їхня кількість значно перевищує обсяг достовірних джерел. Відокремлення релевантних сигналів від інформаційного шуму вимагає застосування складних методів фільтрації та оцінки контексту. Зокрема, важливим є використання алгоритмів машинного навчання, які здатні класифікувати дані на основі прихованих закономірностей, що не є очевидними при поверхневому аналізі. Однак і тут виникає певне обмеження, адже моделі машинного навчання схильні до переобучення на нестабільних даних, а це знижує їхню прогностичну здатність.

У практичному вимірі багатовимірний аналіз інвестиційних ризиків стикається з проблемою балансування між точністю та інтерпретованістю результатів. З одного боку, застосування складних нейромережевих моделей дає можливість досягти високої точності прогнозів. Додаткову складність становить фактор часової неоднорідності слабоструктурованих даних. Економічні показники змінюються з різною швидкістю, і відповідно до цього відрізняється й значимість окремих змінних. Деякі дані мають довготривалий ефект, тоді як інші втрачають актуальність майже миттєво [4].

У випадках роботи з великими фінансовими даними також особливої уваги заслуговує проблема масштабованості. Алгоритми аналізу повинні бути спроможними обробляти значні масиви інформації у прийнятний термін, забезпечуючи при цьому належний рівень точності. Проте масштабування часто супроводжується втратами в деталізації, що може призвести до недооцінки ризиків у конкретних інвестиційних ситуаціях. Необхідно враховувати компроміс між широтою охоплення даних та глибиною аналізу [5].

Таким чином, проблематика багатовимірного аналізу інвестиційних ризиків у слабоструктурованих фінансових даних великого обсягу охоплює цілу низку складних аспектів. Сюди відносяться необхідність врахування високої динаміки, шумових ефектів, кореляційної нестабільності, часової неоднорідності, масштабованості та інтеграції різнорідних джерел інформації. Подолання цих труднощів можливе лише за умови застосування сучасних методів інтелектуального аналізу даних, які здатні об'єднувати адаптивність, гнучкість та високу обчислювальну ефективність.

У якості перспективного напряму можна розглянути концепцію гібридного підходу, що поєднує методи машинного навчання та нечіткої логіки. Такий підхід дозволить інтегрувати точність статистичних моделей із прозорістю інтерпретаційних механізмів. Використання гібридного навчання у поєднанні з нечіткими правилами надає можливість підвищити стійкість аналізу до шуму та забезпечити адаптивність системи у процесі обробки слабоструктурованих фінансових даних.

Список використаної літератури

[1] "Багатовимірний аналіз соціально-економічних систем", В. С. Пономаренко, Л. М. Малярець, Харків, 2009. [Online]. Available: https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/3113/1/Навчальний%20посібник.%20Багатовимірний%20аналіз%20соціально-економічних%20систем.%20В.%20С.%20Пономаренко.pdf [Accessed: September 12, 2025].

[2] "Машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних", В. Мокін, Вінниця, 2024. [Online]. Available: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Mokin_2024_263.pdf [Accessed: September 12, 2025].

[3] "Використання нечіткої логіки в системах підтримки прийняття рішень", О. Г. Зінов'єва, 2025. [Online]. Available: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/855 [Accessed: September 21, 2025].

[4] "Гібридні інтелектуальні системи", КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. [Online]. Available: https://dte.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/08/53244_2_hibrydni_intelektualni_systemy.pdf [Accessed: October 1, 2025].

[5] "Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці", КНЕУ, 2020. [Online]. Available: https://kneu.edu.ua/get_file/2469/Науково-аналітичний%20журнал%20«Нейро-нечіткі%20технології%20моделювання%20в%20економіці» [Accessed: October 2, 2025].

НТБ ОНТУ

Розділ 2.

Управління, обробка та захист інформації

УДК 004.67

ARCHITECTURE OF A VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM BASED ON EDGE COMPUTING FOR REAL-TIME OBJECT MOTION DETECTION TASKS

Bahatskyi Oleksii (bagatskyy.o.v@gmail.com)
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics
of the National Academy of Sciences, Ukraine

The aim of this work is to analyze the advantages provided when using edge-based architecture in video surveillance systems that have the ability to detect object movement in real time. This kind of systems can replace "ordinary" video systems and gain more flexibility in case adding new features for analyzing video data and saving the results of it.

At present, there are many "standard" video surveillance systems, which generally have a hierarchical structure - video cameras that use data transmission channels to transmit a video stream to a server, where the received information is analyzed and stored. The architecture of this kind of a system is simple – video cameras (or "end nodes") of the same type that generate data in real time, then transmit some data to a single master node that can process this data and store the result in an auxiliary node for further analysis. The problem with such a "standard" architecture is the large amount of data that must be transferred in real time for processing in the main node, which leads to an increase in the load on the data transmission channels. An alternative is to build a video system based on "edge computing" architecture.

The "edge-based" video system [1] had a few preferences via "standard" video system that can be, in general, divided into two parts. There can be even more than five key differences above (like easier automation some scenarios with data or enhancing the privacy for data conversion results) but it should be noted, that these systems are particularly good in scenarios where speed, security, and independent decision-making are critical.

The first part can be named "Usage benefits", consist of preferences that makes data processing faster versus "standard" approaching. The main preferences of this part are:

1) Minimization of data bandwidth. With edge-based systems, data can be processed locally, reducing the need to send all raw video elsewhere. Thus, the data can proceed not only on main local server but on "edge peers" (or hardware inside cameras); data must be zipped as encoded videostream or frames.

2) Processing data in real-time on "edge" devices. The "edge-based" camera may do tasks like data normalization, transformation, and video compression. The hardware and software of the edge nodes of the system must support the ability to carry out some simple initial processing of the video stream at a speed not less than the speed of frame change in the camera (usually it is not slower than 1/25 of a second).

3) Security data. Sometimes video surveillance systems may collect sensitive content, and thus, processing video locally edge-based systems help ensure that data doesn't need to be transmitted or stored on main servers, which minimize the risk of grabbing data and improving privacy, especially in applications like public safety or healthcare. The end node of the system must be able to encrypt and decrypt data for further transmission to the main node or to their local storage; the data transfer protocol must be secure.

The other part can be named as "Implementation benefits", which consists of preferences of a whole system, namely:

4) Scalability. The new cameras may need to be provisioned connect to network dynamically and the network must be able to handle peak loads without compromising performance. The edge-based systems can distribute the processing load across multiple devices, making it easier to scale and manage without additional main servers or high use network bandwidth.

5) Reliability. Edge-based systems often organize each camera or local node to operate independently, ensuring continuous video monitoring and data recording even if there's a network failure or server downtime.

These "Implementation benefits" can be provided through the use of standardized hardware and software solutions for data transmission and storage processing.

So, taking into account the above-mentioned features of the edge video system, there is a possibility of adapting the hardware and software at the end nodes to solve the problem of motion detection.

Methods for solving the problem of detecting motion in a video sequence use a frame-by-frame comparison method to determine changes in successive frames and, thus, "detect" the motion. The simplest option for comparing two (or more) frames is the operation of subtracting the values of the corresponding pixels in adjacent frames to detect either object motion (the camera is not moving) or the motion of the object on which the camera is located.

The advantages of this approach are speed, which, in turn, can be increased by using parallel data processing using the hardware capabilities of not only the CPU but also the GPU (for example, using NVidia CUDA technology [2]) and combining input with data processing.

As experiments have shown [3], such a task can be solved in real time at the end node using cheap so-called microcomputers (microPCs), which (for example [4], [5]) as the main computing unit usually have a System-on-Chip of four hardware ARM cores with a clock frequency of each core of about 1 GHz and the amount of RAM from 512 MB to 4 GB. Some of these microPCs even have the ability to perform tracking tasks on a moving object using GPU computation [6]. The vast majority of such devices use Linux-based operating systems, which opens up great opportunities for creating, adding and modifying existing programs for processing video information; a few OS (such as Ubuntu) even officially support specific microPCs. It is also important to note that such an OS allows the use of a large number of free tools for analyzing and processing video sequences (for example, the open source OpenCV library [7]), which allows you to quickly create the necessary processing program or modify an existing one.

In addition, the hardware and software capabilities of microPC allow you to significantly reduce the amount of information by transmitting only the sequence of frames in which movement was detected on protected channels, and the official support of the OS leads to the elimination of detected security problems.

To convert a standard end node into a node that can be used in an edge video system, you can connect either a microPC or a "hardware-software adapter equivalent in computing power" to the camera, which will allow you to process video data in real time and transmit only the necessary information. In addition, connecting such an adapter allows you to use different cameras, unifying the transmitted information directly on the adapters and thus unifying the communication channels to the main node.

References

[1] "Edge-based video surveillance: The pros and cons" Ron Alalouff, Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: https://www.ifsecglobal.com/video-surveillance/edge-based-video-surveillance-the-pros-and-cons/

[2] "CUDA Zone", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-2W.html

[3] Bahatskyi Oleksii Using a Micro-PC to Process Video Information as a Component of Edge Computing, International Conference on Science, Innovations and Global Solutions (Poland), Futurity Research Publishing, 2024 ,pp. 15-19 (ISBN: 978-83-969744-4-0)

[4] "Orange Pi Zero 2W", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-2W.html

[5] "Raspberry Pi Zero 2 W", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/

[6] "Jetson Nano", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano

[7] "OpenCV – Open computer vision library", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: https://opencv.org/

UDC 004.05

INTELLIGENT APPROACHES TO SECURE CODING IN RUST: A STATE-OF-THE-ART REVIEW

Erik-Nazir Daut (255268@astanait.edu.kz)
Astana IT University, School of Intelligent Systems (Kazakhstan)

Abstract. *Reviewing intelligent approaches to secure coding in Rust, as conducted in this paper, enables the software engineering community to improve memory safety, guide the development of advanced AI-based tools, improve vulnerability detection, and accelerate the adoption of safe coding practices in Rust development.*

Introduction. Rust is currently seen as the most "admired" language [7]. It is being integrated into world-class projects like the Linux kernel. The main cause of Rust's attractiveness is the strict separation of "safe" and unsafe code. All safe code is prevented from using the five "Unsafe Superpowers" [8]. These "superpowers" are used in *unsafe* code to work with vulnerability-prone buffers, pointers and concurrency.

Problem statement. The main problem addressed in this paper is that many real-world scenarios of using Rust require the necessary but dangerous use of *unsafe* code. This problem is aggravated by developers' unfamiliarity with safe coding practices, the flaws of AI tools that lead to vulnerable code generation, and the limitations of existing analysis tools in this new paradigm, leading to possibly underreported and undetected vulnerabilities. Rust did not, and never intended to, prevent all memory-related vulnerabilities. Developers may choose to write unsafe code in cases where the same is possible in safe code. This may happen due to lack of experience in Rust or unawareness of better approaches. AI coding tools can produce vulnerable code due to flawed and out-of-date training datasets [6]. Rust's *unsafe* code separation introduces new challenging tasks for traditional static analysis tools. Beside fixing vulnerable unsafe code in Rust with safer *unsafe* code, some *unsafe* code can be replaced with Rust's *safe* code [4][5].

Analysis of current research. The current research on Rust has multiple focuses:

Safety requirements classification. As Rust is a relatively new language, existing research has collected less than 500 disclosed vulnerabilities in open-source projects [3][9]. The most common types of vulnerabilities were found to be "memory access, memory management, and synchronization" [3]. Cui et al. hypothesize [2] that some types of vulnerabilities may be severely underrepresented among disclosed vulnerabilities due to the limitations of current analysis tools. Dong et al. argue that the five "superpowers" of Unsafe Rust are isolated from real-world scenarios in which *unsafe* is used [4]. Thus, they propose an additional classification of 9 scenarios of necessary usage of Unsafe Rust, including "non-exclusive mutability", "delayed initialization", "transmute", etc. [4] Rust documentation describes requirements for the safe usage of unsafe functions of the standard library. These were organized into "Safety Properties" [2] that group together recurring safety requirements found in the standard library documentation. Li et al. have proposed [1] a similar classification called "Contract Types". The improvement of this classification is that each *contract* includes multiple "Guarantee Patterns" [1] that define conditions under which the contract can be satisfied.

Unsafe code replacement. Multiple attempts have been made to develop solutions to prevent unnecessary use of *unsafe* code. Dong et al., based on their classification of 9 scenarios of necessary Unsafe Rust, identified 5 scenarios where Unsafe Rust is fully or conditionally replaceable with Safe Rust [4]. They trained a BERT-based model "SafeNet" on almost 500 cases of Unsafe Rust replacements. The resulting model was reported to perform much better than the general purpose GPT-3.5 [4]. Jiang et al. base their study on the 5 scenarios of replaceable Unsafe Rust and propose "Thetis-lathe" as an automated framework for minimizing *unsafe* code through code replacement and "encapsulation" [5]. Unlike SafeNet, Thetis-lathe uses a non-machine-learning, pattern-based algorithm with pre-defined replacement

rules.

Unsafe code encapsulation. Li et al. propose [1] a term "*safe encapsulation of unsafe calls* (EUC)". This term refers to safe functions that place necessary safeguards before internally executing *unsafe* code in order to comply with safety requirements. In scenarios where *unsafe* code that cannot be replaced with safe code, Thetis-lathe can also suggest EUCs [5]. Jiang et al. propose two methods of encapsulation: (a) "lifetime support" that aims to reduce the risk of accessing raw pointers after data is moved or freed; (b) "assertion" that performs necessary checks before, for example, dereferencing [5]. Unfortunately, the lifetime support method [5] was not sufficiently clarified or given examples of, prompting further research.

Li et al. develop *Safe4U* [1], a system designed to identify "unsound" EUCs. It uses LLMs to identify "contracts" described in function comments or official documentation (for standard library functions). For each identified contract, Safe4U requires satisfying at least one "guarantee pattern", otherwise, the EUC is deemed unsound [1]. Safe4U is based on prompt engineering an LLM [1]. It operates in multiple steps of decomposing the contracts and checking them for guarantee patterns. This allows Safe4U to significantly outperform plain LLM and non-LLM methods [1].

Vulnerabilities of safe Rust. Hassnain and Stanford discuss 5 potential attack vectors that can corrupt an application's memory and execute malicious commands [9]. Unix-like systems like GNU/Linux and FreeBSD generally allow every program to access its own raw memory via ordinary API by accessing the *proc* virtual file system, along with other data provided by it. While developers are unlikely to unintentionally use *proc* to bypass safe Rust, they may be unaware of the danger of allowing untrusted users to access arbitrary files. Similarly, general-purpose API allows executing binary files by spawning new processes [9]. The "attack patterns", including those omitted here, are generally not detectable by existing analysis tools, except for "compiler unsoundness", where compiler bugs are exploited [9]. A significant number of vulnerabilities are caused by these attack patterns [9].

Vectors of future research. The main weaknesses of Safe4U's approach are the reliance on comments for identifying contracts, and imperfections of the authors' classification of them [1]. The study by Hassnain and Stanford prompt research on ways of addressing the attack patterns in *safe Rust* identified by them [9]. SafeNet's model is a fine-tuned version of BERT [4]. It could be rebased on newer small-sized LLMs. Modern LLMs support Chain-of-Thought, and it may improve SafeNet's performance, as CoT was successfully used by Li et al. in Safe4U [1]. Thetis-lathe could possibly benefit from incorporating an LLM in its approach.

Conclusion. SafeNet, Safe4U and other projects show that the scientific community is attempting to devise and experiment with novel intelligent approaches to secure coding in Rust. As a young programming language, Rust seems to be acquiring its own ecosystem of analysis tools. The qualitative improvement of the emerging tools over those of Rust's predecessors is making use of the boundaries of *safe* Rust and clearly defined powers of *unsafe* Rust.

References

[1] H. Li, B. Wang, X. Hu, and X. Xia, "Safe4U: Identifying Unsound Safe Encapsulations of Unsafe Calls in Rust using LLMs," Proc. ACM Softw. Eng., vol. 2, no. ISSTA, pp. 457–480, June 2025, doi: 10.1145/3728890.

[2] M. Cui, S. Sun, H. Xu, and Y. Zhou, "Is unsafe an Achilles' Heel? A Comprehensive Study of Safety Requirements in Unsafe Rust Programming," in Proceedings of the IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering, Lisbon Portugal: ACM, Apr. 2024, pp. 1–13. doi: 10.1145/3597503.3639136.

[3] X. Zheng, Z. Wan, Y. Zhang, R. Chang, and D. Lo, "A Closer Look at the Security Risks in the Rust Ecosystem," ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., vol. 33, no. 2, pp. 1–30, Feb. 2024, doi: 10.1145/3624738.

[4] Y. Dong, Z. Zhang, M. Cui, and H. Xu, "SafeNet: Towards mitigating replaceable unsafe Rust code via a recommendation-based approach," Software Testing Verif & Rel, vol. 34, no. 5, p. e1875, Aug. 2024, doi: 10.1002/stvr.1875.

[5] R. Jiang, P. Dong, Y. Ding, R. Wei, and Z. Jiang, "Thetis-lathe: Guidance on Reducing Residual Safety Obstacle in System Software from Rust Source Codes," ACM Trans. Embed. Comput. Syst., vol. 24, no. 4, pp. 1–25, July 2025, doi: 10.1145/3736729.

[6] N. Upadhyaya, “AI-Powered Secure Software Development: The Future of Safe and Efficient Coding,” ESP JETA, vol. 3, no. 2, pp. 148–152, Dec. 2023, doi: 10.56472/25832646/JETA-V3I6P111.
[7] “Stack Overflow Developer Survey 2025.” [Online]. Available: https://survey.stackoverflow.co/2025/technology
[8] S. Klabnik, The Rust Programming Language, 2nd Edition. New York: No Starch Press, 2023.
[9] M. Hassnain and C. Stanford, “Counterexamples in Safe Rust,” in Proceedings of the 39th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering Workshops, Sacramento CA USA: ACM, Oct. 2024, pp. 128–135. doi: 10.1145/3691621.3694943.

UDC 004.056

LIGHTWEIGHT ENTERPRISE AND SECURITY APPROACH TO SUPPORT INTEGRITY AND EXTENSIBILITY IN INFOSEC

Hasilin D.L., Zhuravel I.M.(dmytro.l.hasilin@lpnu.ua, ihor.m.zhuravel@lpnu.ua)
“Lviv Polytechnic” National University (Ukraine)

Small projects struggle to implement heavyweight security frameworks like SABSA, especially during rapid growth, resulting in significant security gaps. These frameworks are artifact-heavy and lack clear tailoring guidance for rapidly changing environments. This paper proposes a lightweight, extensible method based on a retrospective analysis of past implementations in dynamic projects. We introduce a four-step lifecycle (Prepare, Plan, Design, Implement, Validate) that extends the SABSA framework, ensuring all security layers are integrated concisely from the start. This approach closes the gap between flexibility and completeness, designing a process that allows teams to implement security integrations and respond to organizational volatility.

Introduction. In the modern landscape of information systems, applying multiple security standards and frameworks is a complex but required task for integration with software and data architecture. Complexity is even higher if we consider a small team that needs to adopt these standards, and security integrity depends on them. Adding to the equation, organizational growth and product scaling worsen the situation. This exposes the system to security vulnerabilities or limits its scalability.

An obvious solution to ensuring security across the entire system is to use specialized frameworks. This could help unify the structure and integrate all required standards and security considerations. One of the most popular solutions for this is to use SABSA[1] as it provides a structured methodology to ensure that an organization's security infrastructure is cost-effective, manages risk, and directly enables its business goals. The implementers agree that it follows a quite reasonable lifecycle. It could be characterized as one that follows common sense and the best practices of agile techniques. It consists of the following steps: Plan, Design, Implement, Test. On the other hand, SABSA defines a comprehensive list of layers of security rules and definitions. The list of artifacts to implement it is very detailed, which is reasonable for a big project.

Regarding the process steps, to ensure integrity and coverage of all phases, even for a small project, it is advised to use finer-grained steps. An example of such a detailed flow is the TOGAF [2] framework described in Figure 1. It ensures that planning is done and achievable, thus measurable, goals are set. The next important step is to allocate time for “enough” design upfront.

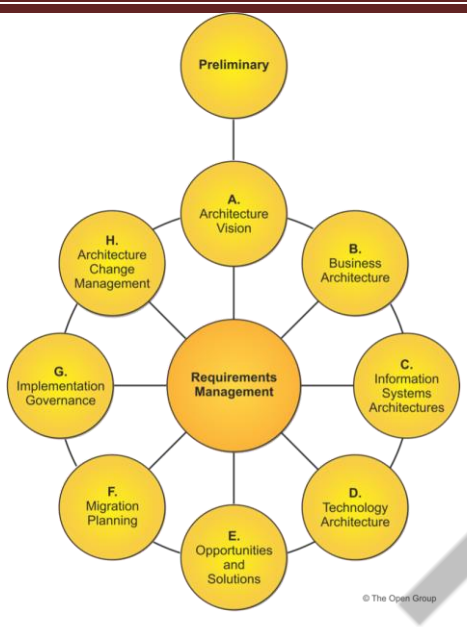


Figure 1. TOGAF lifecycle [2]

Problem Statement. A proper strategic approach often requires integrating both instruments [3]. This is somewhat hard to achieve on a small scale. Because of their enterprise nature, TOGAF and SABSA are very detailed and require a reasonably high number of artifacts involved. Both frameworks are designed to be cooperative. Both declare that details are not strictly defined, and it is preferable to fine-tune each step to each project's needs. That is observed to be correct while the project and the organizational structure are stable. But even then, there are no precise guides on how to tailor them properly and keep high cohesion and extensibility, in case required in the future. During organizational changes, project growth, or rapid team scaling up, it's not the case. A high amount of volatility prevents a consistent rate and completeness of all steps due to a lack of understanding of the required steps. Many recent studies, for example, those by Kauspadiene [4], are improving the detail level but are even more increasing overall complexity. The new method aims to help keep this complexity at a manageable level and allow extension.

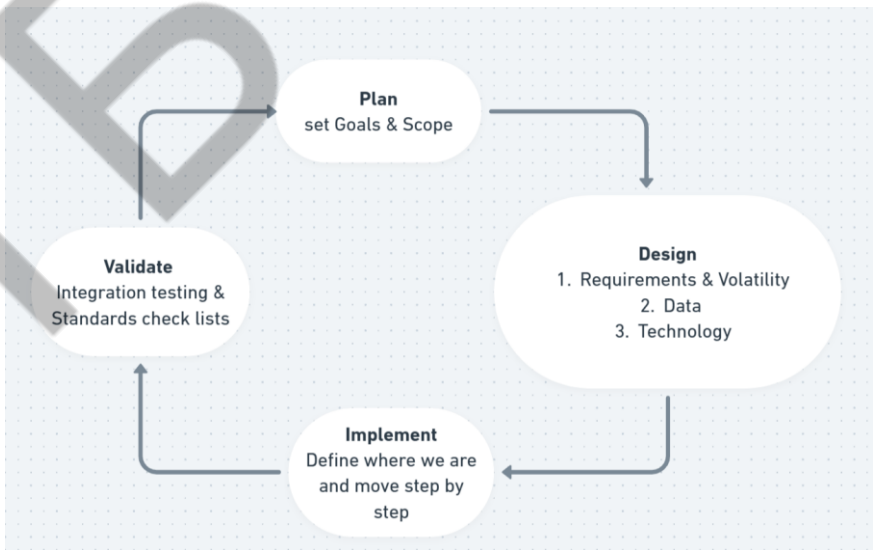


Figure 2. Proposed process

Proposed method. We suggest a method to initialize such integration of multiple frameworks, such as discussed above, but not limited to. One reason to avoid TOGAF specifically is the fact that it is highly proprietary, but the same objectives could be achieved by adopting this or a similar framework. Our design is based on the number of attempts to integrate such heavy but complete frameworks into small and medium-sized projects. Retrospectively, we evaluated the biggest issues during initial

implementation, but with a focus on the subsequent issues that occurred during rapid growth. We see more value in not overcomplicating the integration process in the beginning, at the same time leaving the required room for extension.

To remove dependency on TOGAF, we defined an extended list of steps based on the SABSA lifecycle described in Figure 2. Its goal is to improve efficiency and cover all required design decisions. Let's review the process step by step, reviewing artifacts that are needed at that stage. And review where the integration points for SABSA layers are located:

0. Prepare. Defining *Architecture principles*, describing the main project approaches. The *Stakeholder Map* explains roles, responsibilities, and concerns.
1. Plan. Covers *Goals* and *Use case definitions*. Use case diagrams are recommended. It is important to ensure goal traceability and verifiability. Corresponds to Strategy and planning in SABSA. Covers Contextual security architecture definition.
2. Design. Includes design activity for:
a. A *Requirements matrix* is recommended unless there is a reason not to include it and *BPMN flow*, which is often a result of Event Storming.
b. Data architecture diagram. (Often C4 at the beginning)
c. Application architecture diagram. (Often C4 at the beginning)
Contains Conceptual, Logic, and Physical architecture layers definitions.
3. Implement. This phase defines the starting situation and calculates the *Module dependency tree* to find the optimal critical path. Based on that roadmap is combined. All significant decisions are recorded using ADRs. Before the implementation of each module, Component security and overall Operational security (sometimes divided by subsystems) layers should be covered in detail.
4. Validate. Arguably, the most important phase is during which analysis is made to detect met and unmet requirements. Before that, the team should validate that the result conforms to each security and other industry standards. Based on that, *Backlog* is modified for the next Plan phase.

All SABSA layers should be covered step by step in separate artifacts, even if at the starting point, many layers would be very concise. That does guarantee that under a lot of uncertainty, which is usually present in times of fast growth or reorganization, the team would be able to respond quickly.

Conclusion. Presented a lightweight integration methodology of integration security standards and frameworks to the evolutionary process flow using SABSA layers and improved lifecycle. Our primary contribution is an approach that resolves the common conflict with heavyweight frameworks by prioritizing simplicity and well-defined steps engineered for future extensibility. The principal benefit of this method is its capacity to ensure security integrity is maintained, even during high uncertainty and volatility of dependencies. This model effectively provides guidance on starting points, integration points that are ready to adopt numerous security practices based on a well-known security framework, and removes common problems of heavy enterprise process approaches.

We could summarize that the main task is to split responsibility artifacts upfront to achieve flexibility and extensibility. It is dictated by the fact that a later split may not involve the original parties and therefore complicates the process, or even leads to misalignment of phases.

Acknowledgments. The authors acknowledge that the enterprise architecture methodology analyzed in this study is based solely on publicly available TOGAF materials from the Open Group. No paid or proprietary TOGAF resources, training courses, or guides were consulted or used in preparing this work.

References

[1] The SABSA Institute, SABSA® — Sherwood Applied Business Security Architecture. Available: https://sabsa.org [Accessed: Oct. 21, 2025].
[2] The Open Group, TOGAF® Standard — The Open Group Architecture Framework. Available: https://www.opengroup.org/togaf [Accessed: Oct. 21, 2025].
[3] The Open Group and The SABSA Institute, TOGAF® and SABSA® Integration: How SABSA and TOGAF Complement Each Other to Create Better Architectures, White Paper W117, The Open

Group, Oct. 2011. Available: https://www.opengroup.org/open-group-issues-guide-integrating-togaf%C2%AE-sabsa%C2%AE-secure-architecture-methodology
[4] L. Kauspadiene, A. Cenys, N. Goranin, S. Tjoa, and S. Ramanauskaite, "High-level self-sustaining information security management framework," *Baltic Journal of Modern Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 107–123, 2017, doi: 10.22364/bjmc.2017.5.1.07.

UDS 338.24:519.216

METHODS AND GPU -BASED MEANS FOR ACCELERATED IMAGE ENCRYPTION USING CHAOTIC CODING

Nechyporuk M.L., Luzhetskyi V.A., Maidanyuk V.P., Romanyuk O.N. , Stakhov O.Ya.
(rom8591@gmail.com)
Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

Modern methods and tools for accelerated image encryption using chaotic coding are considered. The principles of constructing chaotic maps, algorithmic, hardware and parallel approaches to increasing performance, as well as the possibilities of implementation on graphics processors (GPU) for processing images and video streams in real time are analyzed.

Methods and tools for accelerated image encryption [1-5] using chaotic coding are based on the properties of deterministic chaos [1], in particular, sensitivity to initial conditions, ergodicity, and topological mixing. The idea is to use chaotic mappings to quickly and uniformly mix the spatial and luminance components of an image with the subsequent propagation of local changes throughout the data set. Early works showed how two-dimensional mappings on a torus or square can be discretized to construct symmetric block ciphers, which are especially relevant for large arrays such as digital images. Further development has given a generalization to three-dimensional "cat"-type mappings that provide efficient pixel permutations and are combined with separate chaotic generators for substitution operations, thereby creating the classical "permutation–diffusion" connection in a specialized form for images. In parallel with constructive schemes, research on cryptographic robustness has emerged, formalizing requirements for the key space, robustness against statistical, known/chosen-open attacks, and outlining typical weaknesses of unsuccessful implementations, in particular insufficient diffusion on high-order bits or interdependence between the mixing and scattering stages. At the current stage, chaotic methods are considered not in isolation, but as the basis of hybrid solutions, where chaotic maps are combined with bit operations, frequency domain transformations, multilevel schemes on bit planes, and hardware acceleration. Review works of recent years systematize spatial, frequency, and spatiotemporal approaches, and also show a trend towards integration with machine learning and standardized procedures for assessing encryption quality (entropy, neighboring pixel correlation, histogram analysis, differential robustness indicators). In a practical sense, acceleration is achieved in three complementary ways. The first way is algorithmic optimization: compact maps (logistic, tent, generalized mappings) are used to generate long pseudorandom sequences with the possibility of parallel processing of blocks; permutation at the index level is performed without copying data, with a preliminary layout of the traversal path; diffusion is performed at the bit plane level according to the chain principle to ensure the propagation of a local change in a pixel to the entire array in a minimum number of steps. The second way is hardware acceleration: in field programmable matrices, chaotic sequence generation pipelines and permutation modules with fixed delays are built, which makes it possible to encode image streams in real time; many works demonstrate that high-level synthesis for FPGAs allows implementing parallel block buffers and achieving operating frequencies sufficient to process a full frame within a few milliseconds. The third way is parallelism on GPUs: independent blocks or image tiles are encrypted by separate threads, chaotic sequences are generated in registers of each core or read from buffers, and memory is organized according to a co-authorship scheme of permutation and diffusion computation to reduce accesses to global memory; this approach scales well for streaming video and systems with many cameras.

Importantly, chaotic coding is suitable not only for general images, but also for specialized domains, such as medical images. The combination of three-dimensional mappings with diffusion schemes allows you to build protection into telemedical channels without a significant increase in latency. In practical implementations, they demonstrate frame rates comparable to classical block ciphers with lower hardware decoding complexity, which is important for peripheral devices. However, the correctness of the design is critical: careless reproduction of chaos in fixed precision, reuse of sequences, or dependence of initial conditions on low-entropy image parameters reduce robustness. The evaluation must be supplemented with extrastatistical tests, simulation of known/chosen-open attacks, analysis of sensitivity to the key and independence between the permutation and diffusion stages. Compared to classical universal ciphers, chaotic approaches have two practical advantages for visual data. First, they are naturally consistent with parallel processing, since permutations and bit diffusion are easily decomposed into independent subtasks, and this fits well with both FPGAs and GPUs. Second, they allow for fine-tuning of the trade-off between mixing quality and resource consumption: from lightweight configurations for mobile sensors to multi-step schemes for highly secure channels. Recent publications offer new chaotic maps with improved mixing properties and demonstrate higher performance without losing security indicators due to optimization of computational cores and reduction of memory accesses. Promising development directions include standardized evaluation profiles for video streaming tasks, compatibility with hardware trusted environments, joint design with watermark hiding modules and access control mechanisms. The formation of open test benches with common data sets and a complete protocol for measuring speed, latency, power consumption and stability remains a scientific and practical task. For applications on the periphery, energy efficiency is important: here lightweight maps with linear-fragmentary operations and bit diffusion on compressed representations are appropriate. For central nodes, the use of parallel arrays of computers with hardware pseudo-random sequence generators and block read/write pipelines is recommended. In both cases, rigorous methods for assessing security and proving the properties of schemes, based not only on empirical indicators but also on the analysis of the attack structure, remain key. Thus, the use of chaotic coding methods in accelerated image encryption provides well-managed parallelism, high adaptability to the hardware base, and a flexible balance between resources and cryptographic stability. The development of this direction moves from classical two-dimensional mappings to multidimensional and hybrid schemes, from purely software implementations to optimized hardware accelerators, as well as open benchmarking protocols, which allows making informed decisions for specific application areas.

With the development of parallel computing, significant attention has been paid to the use of graphics processing units (GPUs) [2] for implementing chaotic image encryption schemes. GPUs provide a large number of parallel computing cores, high memory bandwidth, and flexible thread management models, which makes them particularly suitable for algorithms where it is possible to divide the image into blocks or tiles and process each fragment independently. Parallel generation of chaotic sequences on GPUs is performed independently for each core, which allows the creation of large pseudo-random key streams. Research in 2024 showed that the implementation on CUDA provides a significant reduction in encryption time, allows parallel processing of the R , G , B channels , and achieve performance compatible with real-time requirements. After generating the key streams, permutation and diffusion are performed in parallel by each stream, minimizing accesses to global memory, which ensures scalability when working with streaming video.

The main advantages of the GPU approach include a high degree of parallelism, adaptability to specific system resources, and the ability to process large-format images in real time. Among the limitations are the need to optimize memory access, prevent thread divergence, and control numerical accuracy when implementing chaotic maps. A typical GPU encryption architecture consists of sequential stages: initializing initial conditions, parallel generation of key sequences, performing permutations, performing diffusion, and recording the encrypted result. Practical studies confirm that GPU implementations can be 2–3 times faster than classical CPU algorithms, providing encryption of large images and video streams within a few milliseconds. A promising direction of development is the creation of hybrid systems based on GPU + FPGA , the use of GPU threads for mobile and peripheral devices, and the integration of chaotic encryption schemes with machine learning modules for dynamic key generation in real time.

Referens

[1] B. Zhang , U. Ç avu ş o ğ lu , S . Kacar , A. Akg ü l , V .- T . Pham . Chaos-Based Image Encryption: Review, Application, and Challenges. *Mathematics* , vol. 11, no. 11, p. 2585, 2023. MDPI.

[2] HE Kiran. A Novel Chaos-Based Encryption Technique with Parallel Processing Using CUDA for Mobile Powerful GPU Control Center. *Chaos and Fractals* , 2024. ADB Scientific Journals.

[3] SBN Fotso et al. Chaotic Image Encryption Scheme Based on Improved Z-Order Curve, a Modified Josephus Problem, and an Improved Vigenère Cipher. *Complexity* , 2024. Wiley.

[4] A. Dinu. Image Encryption Using Chaotic Maps. *Mathematics* , vol. 13, no. 16, p. 2588, 2025. MDPI.

[5] I. Al-Dayel, MF Nadeem, MA Khan et al. An Image Encryption Scheme Using 4-D Chaotic System and Cellular Automaton. *Scientific Reports* , vol. 15, Article 19499, 2025. Nature.

UDC 004.056

SAFEGUARDING THE CLOUD: ASYMMETRIC ENCRYPTION APPROACHES

Strashnov Vitalii, Martynovych Larysa

(strashnov.vitaliy@stud.onu.edu.ua, larysa.yaroslavna@onu.edu.ua)

Odesa I.I. Mechnikov National University (Ukraine)

The paper addresses approaches to asymmetric encryption aimed at enhancing data protection within cloud environments. The relevance of the research is substantiated by the limitations of traditional symmetric encryption algorithms, which fail to ensure a sufficient level of security in cloud-based web systems. The study focuses on the mathematical foundations of the RSA algorithm, providing a detailed examination of key generation mechanisms, as well as the encryption and decryption processes. Particular attention is given to factors affecting cryptographic robustness, including the computational complexity of large-number factorization and the optimal key length required for secure communication. The findings confirm the effectiveness and applicability of the RSA algorithm for maintaining data confidentiality, integrity, and authenticity in modern cloud infrastructures.

Statement of the problem

The active use of cloud services for data storage and processing is accompanied by increased information security requirements. Transferring confidential data over a network makes it vulnerable to interception, substitution, or unauthorised access.

Traditional symmetric encryption algorithms do not provide an adequate level of protection in web cloud environments due to the need for a shared secret key. Asymmetric encryption, based on a pair of public and private keys, enhances security during authentication, data exchange, and user access management.

At the same time, the implementation of asymmetric cryptographic methods in web cloud platforms faces problems of performance, scalability, and compatibility with modern web protocols. Therefore, the research problem is to identify effective ways to implement asymmetric encryption in web cloud systems to ensure data confidentiality and integrity without significant losses in performance and ease of access.

Purpose of the Study

The contribution of this research is presenting an analysis of the RSA method from a mathematical perspective and reviewing its use for the protection of data in web cloud. The report is concerned about principles of key generation, encryption and decryption in RSA and involves mathematical concepts connected with stability and computational cost.

Objectives

1. Consider the mathematical foundations of asymmetric encryption, in particular the principles of key pair operation.

2. Analyse the RSA algorithm: key generation, encryption and decryption from a mathematical point of view.
3. Identify factors affecting the stability of RSA and its cryptographic security.
4. Assess the computational complexity of the algorithm and the impact of key size on encryption efficiency.
5. Summarise the results of the mathematical analysis and draw conclusions about the feasibility of using RSA in web cloud environments.

Significance of the Study

Information security has become very important as the cloud services are increasingly being used for information storage and exchange. Public-key encryption, for example RSA, is one of the fundamental methods used to secure such data. Analytical study of the RSA makes possible a profound insight into its working practices, evaluation of its cryptanalytic behaviour and influence on efficiency when dealing with key parameters.

The scientific value of the research lies in accumulation of theoretical knowledge on formation of mechanisms to structure and function RSA, and its practical significance is that materials are submitted for development and selection of reliable cryptographic methods to protect data in web cloud platforms.

Theoretical Background

The RSA scheme is a simple case of asymmetric encryption algorithm, and it relies on the prime number properties and difficulty to factor large numbers [1, 2]. It's based on using a pair of keys: one public key to encrypt messages and the other private (secret) key to decrypt them [1]. The key feature of RSA is that knowledge of the public key does not allow the private key to be calculated without solving a complex mathematical problem - the factorisation of a large number.

1.1 RSA key generation

Key generation is a fundamental step in algorithm security and consists of several mathematically sound steps [1]:

1. The selection of two large prime numbers, p and q, which must be independent and sufficiently large to ensure cryptographic strength. The size of each number is typically hundreds or thousands of bits.
2. Calculation of the modulus:

$$n = p * q$$

The number n is the basic module for encryption and decryption. Its value determines the key size and security of the system.

3. Calculation of Euler's function for n:

$$\varphi(n) = (p-1)(q-1)$$

The Euler function φ(n) represents the quantity of integers relatively prime to n and is used to construct a mathematical inverse encryption function [2, 4].

4. Selecting a public key e that satisfies the condition:

$$1 < e < \varphi(n), gcd(e, \varphi(n)) = 1$$

This ensures the mutual simplicity of e and φ(n), which is a prerequisite for the existence of a multiplicative inverse.

5. Calculation of the private key d, which is multiplicative inverse to e modulo φ(n):

$$d \cdot e \equiv 1 \ (mod \varphi(n))$$

Thanks to this property, encryption and decryption operations are mutually inverse:

$$(m^e)^d \equiv m \ (mod \ n)$$

This results in the following key pair:

- Public key: (e, n)
- Private key: (d, n)

1.2 Mathematical encryption procedure

The message M is converted into an integer m in the range $0 \leq m < n$. The encryption procedure is described by the formula [1]:

$$c = m^e \ mod \ n$$

where c is the encrypted message. Modular exponentiation ensures that even for large m, the calculations remain limited to the number n.

1.3 Mathematical decryption procedure

Decryption is performed using a private key [1]:

$$m = c^d \, mod \, n$$

This process guarantees the recovery of the original message thanks to Euler's theorem and the properties of inverse numbers in modular arithmetic [4].

Mathematically, this follows from the fact that:

$$m^{ed} \equiv m(mod\, p) \quad \text{and} \quad m^{ed} \equiv m(mod\, q)$$

Applying the Chinese remainder theorem allows us to show that both relations are simultaneously satisfied and guarantee the restoration of the initial m modulo n [2].

1.4 Cryptographic properties and robustness of RSA

1. Factoring complexity: Without knowledge of the prime numbers p and q, it is practically impossible to calculate the private key d for large values of n [1, 4].
2. Modular exponentiation: The main computational operation is modular exponentiation, which is efficiently implemented by the fast exponentiation algorithm.
3. Key size: Modern systems use keys ranging from 2048 to 4096 bits, which makes factoring n impractical [3].
4. Mathematical guarantee: RSA security is based on proven properties of numbers and Euler's theorem, rather than on the secrecy of the algorithm [4].

Results

Security analysis of the RSA cryptosystem validates its suitability for secure data access in web cloud. The message confidentiality, data integrity and authenticity are provided by the mathematical structure of the algorithm based on factorization complexity of large numbers together with digital signature to ensure all these three parameters. On-the-other-hand, we note that the web cloud platforms use modern hardware with a large number of multipliers/dividers and are able to efficiently execute modular exponentiation. The use of a public key ensures secure data exchange between users without the need for centralised management of secret keys, making RSA suitable for practical application in web cloud services.

Conclusion

It has been proved that the RSA algorithm is a suitable way to guarantee secure data in the web cloud. The cryptographic algorithm provides for the security of messages by way of confidentiality, integrity and authenticity without the necessity to exchange secret keys. Despite the heavy computational overhead, our current cloud start-ups do allow RSA to be an effective solution for user authentication and data protection which is good enough for real-world deployment over web cloud services.

References

1. Rivest, R. L., Shamir, A., & Adleman, L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. Communications of the ACM, 21(2), 120–126.
2. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). Introduction to algorithms (4th ed.). MIT Press.
3. National Institute of Standards and Technology. (2023). FIPS PUB 186-5: Digital Signature Standard (DSS). U.S. Department of Commerce.
4. Katz, J., & Lindell, Y. (2020). Introduction to modern cryptography (3rd ed.). CRC Press.

UDK 656.078:004.7

APPLICATION OF BLOCKCHAIN METHODS IN TRANSPORT TECHNOLOGIES

ZORA I. (ivan.zora@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Annotation. This paper discusses the prospects for applying blockchain technologies in urban passenger transport systems for collecting, verifying, and analyzing data on transport and passenger flows. The concept proposes using a decentralized transaction roster as a reliable source of statistical data on trips, waiting times, passenger flows at stops, and the tracking of vehicle movement.

Keywords: transport technologies, blockchain, passenger flow analytics, urban mobility.

The planning and development of urban transport systems require accurate data on the volume of traffic, passenger flows, and the efficiency of transport operations on routes. Traditional centralized databases often fail to ensure the necessary level of transparency and consistency, especially when services are provided by a mixed group of private and municipal operators.

The use of blockchain methods makes it possible to create a trusted environment of information exchange among operators, municipalities, and users, where each transaction is stored immutably and validated by all participants in the system [2], [4].

One of the most promising directions is passenger flow analysis. The best option for collecting such data would be to install specialized sensor gates at the entrances and exits of public transport vehicles. However, this approach needs additional financial costs and has a number of significant drawbacks. Therefore, a better solution is to collect data based on payment transactions, especially since in many large Ukrainian cities payment terminals are the primary, if not the only, means of fare collection in municipal transport.

In an electronic ticketing system, each operation is a record in the distributed roster: “passenger – stop – time – vehicle” [1], [6]. Such data, collected in real time, form a foundation for statistical analysis that can be used to:

- assess route load and peak intervals;
- forecast passenger flows by zones;
- identify imbalances between demand and supply in transport services.

Blockchain ensures data integrity and security. Once written, data cannot be modified, eliminating the risk of falsification or ticket forgery. For logistics and transport management departments, this provides a reliable basis for decision-making. From schedule optimization to planning new routes [3], [4].

Another key application is the registration of vehicle movement events in the blockchain. Each bus or tram can act as a network node that records and signs its coordinates, arrival/departure times, route delays, and passenger occupancy. Telemetry data are transmitted as blockchain transactions and stored in a shared roster [4], [5].

Such records allow to:

- monitor the actual execution of timetables;
- automatically calculate average speeds, delays, and waiting times;
- build maps of service regularity;
- update data on municipal information dashboards.

The blockchain approach eliminates the need for a single central server and guarantees data integrity even when several service operators are involved [3].

Smart contracts enable automated processing of statistical and financial data. For example, after reaching a certain number of trips or exceeding capacity limits, a contract can automatically initiate compensation recalculations between operators or update tariff coefficients.

Conclusions. Blockchain methods open a new level of analytics and digitalization in urban transport, ensuring trust, analytical accuracy, and management automation. Collecting payment and telemetry data in a unified decentralized roster forms the foundation for evidence-based decisions in route planning, load balancing, and quality control of passenger services. Future research should focus on modeling blockchain network loads during peak hours, optimizing the storage of large telemetry datasets, and developing forecasting algorithms for transport demand based on immutable blockchain records.

Regerences:

[1] R. Jabbar, E. Dhib, A. B. Said, M. Krichen, N. Fetais, et al.. “Blockchain Technology for Intelligent Transportation Systems: A Systematic Literature Review.” *IEEE Access*, 2022, pp.1-1. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149958. hal-03570962

[2] M. B. Mollah, M. Zhao, D. Niyato *et al.*, “Blockchain for the Internet of Vehicles toward intelligent transportation systems: A survey,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 6, pp. 4157–4185, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3028368.

[3] S. Zafar, K. Bhatti, M. Shabbir, F. Hashmat, A. Akbar, “Integration of Blockchain and Internet of Things: Challenges and Solutions. annals of telecommunications - annales des télécommunications.”, 2021, doi: 77. 10.1007/s12243-021-00858-8.

[4] T. Alam, “Blockchain-based Big Data Analytics Approach for Smart Cities.” 2020, doi: 10.36227/techrxiv.13054244.v1.

[5] Jeonghun Cha, Sushil Kumar Singh, Tae Woo Kim, Jong Hyuk Park, “Blockchain-empowered cloud architecture based on secret sharing for smart city”, *Journal of Information Security and Applications*, vol. 57, 2021, https://doi.org/10.1016/j.jisa.2020.102686.

[6] A. Preece, O. Morris, and C. Easton, “Leveraging ontochains for distributed public transit ticketing,” *IET Blockchain*, vol. 4, no. 4, pp. 456–469, 2024, doi: 10.1049/blc2.12071.

УДК 004.92

АЛГОРИТМ ДИНАМІЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОМІТОК НА КАРТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА ДЕТАЛІЗАЦІЇ

Олександр Антоненко (alorken2@gmail.com), **Ганна Михальчук**
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

*Запропоновано алгоритм візуалізації геоміток на картах, що вирішує проблему їх надмірної щільності шляхом динамічної кластеризації залежно від масштабу. Метод базується на дереві деталізації з логарифмічною складністю n*log(n), забезпечуючи чітке відображення даних без накладання точок. Алгоритм апробовано в додатку для візуалізації глобальних оголошень, що підтверджує його ефективність. Перспективи: оптимізація для великих даних та інтеграція з ГІС.*

Візуалізація геоміток на картах є важливою складовою геоінформаційних систем (ГІС), особливо в умовах зростання обсягів просторових даних. Основна проблема полягає в надмірній щільності точок, яка ускладнює сприйняття інформації та знижує корисність карти. Традиційні методи візуалізації не завжди враховують динамічну зміну масштабу, що призводить до накладання геоміток і втрати читабельності. Існуючі алгоритми кластеризації часто не оптимізовані для географічних координат або вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Мета дослідження: розробити ефективний метод візуалізації геоміток, який забезпечує динамічне регулювання деталізації залежно від масштабу карти, уникнувши накладання точок і покращивши візуальну чіткість.

Методологія та алгоритм. Запропоновано метод, заснований на побудові дерева деталізації, де кожен вузол представляє кластер близьких геоміток. Алгоритм включає такі етапи:

1. Сортування точок за довготою з використанням сучасних алгоритмів сортування (складність n*log(n)).
2. Пошук найближчих точок з використанням геодезичної функції відстані, яка враховує кривизну Землі. Це дозволяє об’єднувати точки в ієрархічну структуру з логарифмічною складністю n*log(n).
3. Побудова дерева деталізації: точки об’єднуються в вузли, які зберігають відстань між собою. При візуалізації дерево розгортається до рівня, що відповідає поточному масштабу карти, забезпечуючи оптимальну деталізацію.

Переваги алгоритму:

– швидкість обробки завдяки логарифмічній складності;

– масштабованість для великих наборів даних;
– адаптивність до різних рівнів збільшення карти.

Рисунок 1 – Відображення геоміток на більшому масштабі

Практичне застосування. Метод апробовано в додатку для візуалізації глобальних оголошень про продаж яхт. Алгоритм ефективно управляє відображенням великої кількості геоміток, забезпечуючи чіткість карти без накладання точок. На рисунках 1 та 2 показано приклад візуалізації геоміток на різних масштабах.

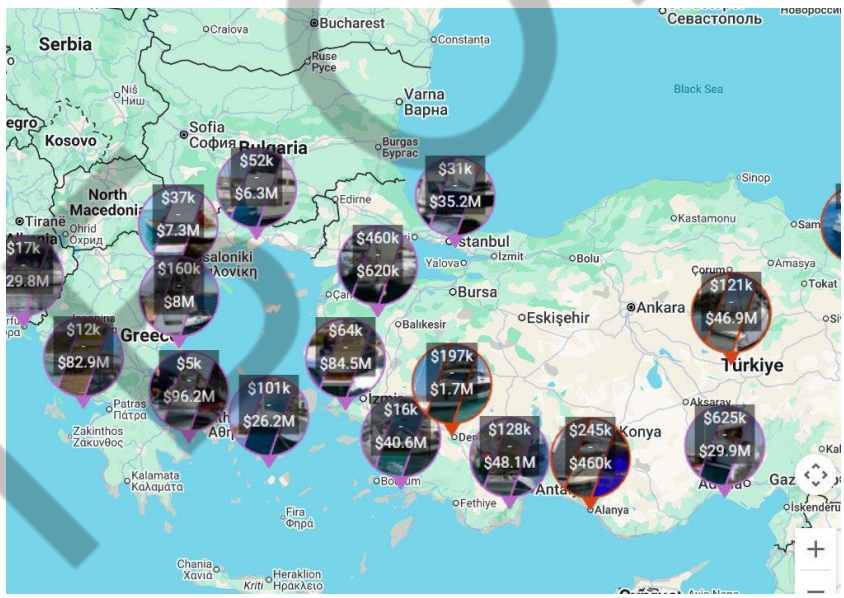


Рисунок 2 – Відображення геоміток на меншому масштабі

Висновки. Розроблений алгоритм ефективно вирішує проблему надмірної щільності геоміток, забезпечуючи чітке відображення даних на картах. Він успішно апробований в реальному проєкті, що підтверджує його практичну цінність.

Список використаної літератури

[1] S. Khuller and Y. Matias, "A simple randomized sieve algorithm for the closest-pair problem," *Information and Computation*, vol. 118, no. 1, pp. 34–37, 1995. doi: 10.1006/inco.1995.1049.
[2] M. Golin, R. Raman, C. Schwarz, and M. Smid, "Randomized data structures for the dynamic closest-pair problem," *SIAM Journal on Computing*, vol. 27, no. 4, pp. 1036–1072, 1998. doi: 10.1137/S0097539794277718.

[3] S. Kettle, "Distance on a sphere: The Haversine Formula," *Coordinate Reference Systems Blog*, 2017. [Online]. Available: https://community.esri.com/t5/coordinate-reference-systems-blog/distance-on-a-sphere-the-haversine-formula/ba-p/902128.
[4] Esri, "Add geotagged photos to ArcGIS Online Web Maps," 2020. [Online]. Available: https://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/add-geotagged-photos-to-arcgis-online-web-maps.

УДК 004.652

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЛЯЦІЙНИХ ТА НЕРЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ

Біленький О.В., Романюк О.В.(olexiubilenkiu@ukr.net, oroman@vntu.edu.ua)
Вінницький національний технологічний університет (Україна)

У роботі проаналізовано принципи побудови реляційних і нереляційних баз даних, визначено їх основні відмінності, переваги та сфери застосування. Наведено порівняльну характеристику за ключовими параметрами. Показано доцільність комбінованого використання обох типів систем залежно від структури та обсягів даних.

Вступ. У травні 2017 року математик Клей Гамбі опублікував статтю «Найцінніший ресурс світу більше не нафта, а дані» [1], у якій зазначив зростання ролі даних як ключового ресурсу сучасного суспільства. У період цифрової трансформації інформація стала основою функціонування економічних, аналітичних і технологічних систем, що визначає актуальність досліджень у сфері зберігання та обробки даних.

За даними агрегатора DB-Engines [2] станом на жовтень 2025 року, кількість реляційних систем становить близько 40 %, тоді як нереляційних – 60 %. Проте за показником популярності використання ситуація протилежна: реляційні системи займають приблизно 71 % ринку, а нереляційні – лише 29 %. Така диспропорція свідчить, що реляційні системи управління базами даних, далі СУБД, залишаються домінуючими, хоча кількість NoSQL-рішень постійно зростає [3].

Тому питання ефективного зберігання і обробки даних є надзвичайно актуальним.

Аналіз реляційних і нереляційних баз даних. База даних – це впорядкована сукупність даних, що зберігаються в електронному вигляді та призначені для зручного пошуку, аналізу й обробки інформації. Обробка даних охоплює операції з їхнім збереженням, створенням, читанням, оновленням та видаленням, а також конвертацію інформації між форматами. База даних є цифровим сховищем, у якому зберігається інформація про різні взаємопов’язані об’єкти. Вона дає змогу ефективно керувати інформацією, забезпечуючи швидкий доступ, цілісність і безпеку даних [4].

Реляційні бази даних [5] призначені для роботи зі структурованими даними, які мають чітку форму та тип. Такі дані нагадують анкету: кожне поле обмежене за типом і розміром, а некоректне введення значень призводить до помилок. Прикладами реляційних СУБД [6] є Oracle, MS SQL Server, PostgreSQL, MySQL, SQLite, MS Access. Основною мовою запитів для них є SQL, яка дозволяє створювати, читати, оновлювати та видаляти дані.

Реляційні системи широко використовуються у фінансових сервісах для обробки банківських транзакцій і управління рахунками, як-от у компанії Visa, що застосовує Oracle RDBMS для забезпечення надійності та швидкості операцій [7]. В охороні здоров’я реляційні бази даних (БД) дозволяють вести електронні медичні записи, зберігати історію хвороб і планувати лікування пацієнтів, що забезпечує точність і контроль інформації [8].

Нереляційні бази даних (NoSQL) [9] працюють із напівструктурованими та гнучкими даними, де структура полів може змінюватися під час додавання записів. Такі системи дозволяють зберігати різнорідну інформацію в одному полі, використовуючи формати JSON, XML або подібні. Прикладами нереляційних СУБД є MongoDB, Redis, Cassandra, Elasticsearch, Neo4j. У них немає стандартної мови запитів на кшталт SQL, але існують засоби інтеграції NoSQL із SQL, що вкотре підкреслює важливість стандарту SQL.

Нереляційні системи ефективні для платформ соціальних мереж та обміну контентом, де необхідно обробляти великі обсяги динамічних даних – наприклад, пости, коментарі чи медіафайли (як у Facebook, що використовує MongoDB). У мультимедійних сервісах, таких як Netflix, застосування Cassandra дає змогу ефективно зберігати JSON-документи, логи та інші гнучкі структури даних [10].

Таким чином, реляційні СУБД підходять для даних із чіткою структурою та суворою схемою, де важлива цілісність і контроль типів, тоді як нереляційні СУБД ефективні для гнучких, динамічних або великих обсягів даних, коли структура може змінюватися або бути нестандартною.

Для наочності основних відмінностей між реляційними та нереляційними базами даних [11] наведено їх порівняльні характеристики за ключовими параметрами (табл.1).

Таблиця 1 – Порівняння реляційних та нереляційних СУБД

Характеристика	Реляційні БД	Нереляційні БД
Тип даних	Структуровані дані з чіткою схемою	Напівструктуровані або гнучкі дані, структура може змінюватися
Мова запитів	SQL (стандартна мова)	Власні API, JSON, XML; інтеграція з SQL можлива
Контроль цілісності	Високий, суворі типи та зв’язки	Помірний, дані можуть бути гетерогенними
Приклади СУБД	Oracle, MS SQL Server, PostgreSQL, MySQL, SQLite, MS Access	MongoDB, Redis, Cassandra, Elasticsearch, Neo4j
Масштабованість	Вертикальна (потужні сервери)	Горизонтальна (додавання вузлів)
Переваги	Надійність, цілісність, точність, стандартизована мова SQL	Гнучкість, швидка обробка великих обсягів даних, зручна робота з JSON та динамічною структурою
Недоліки	Менш гнучкі для швидкозмінних структур, масштабування складніше	Відсутність стандартної мови, слабший контроль цілісності

Висновки. Реляційні бази даних залишаються основою інформаційних систем, де важливими є точність, структурованість і цілісність даних. Водночас розвиток цифрових технологій і поява великих обсягів неструктурованої інформації зумовили активне поширення нереляційних підходів, які забезпечують гнучкість, масштабованість і швидкість обробки.

Оптимальне рішення полягає у поєднанні можливостей реляційних і нереляційних систем відповідно до специфіки завдань, що дозволяє підвищити ефективність зберігання та аналізу даних у сучасних інформаційних середовищах.

Список використаної літератури

[1] The most valuable resource is no longer oil, but data. The Economist. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data

[2] DB-Engines Ranking. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://db-engines.com/en/ranking/

[3] Монірзаман А. Б. М., Хоссейн С. А. NoSQL Database: New Era of Databases for Big Data Analytics - Classification, Characteristics and Comparison. International Journal of Database Theory and Application, vol. 6, no. 4, 2023. – С. 1–14. – https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.0191

[4] Абрахам Сільбершац, С. Сударшан. Database System Concepts (вид. 6). – МакҐроу-Гілл, Нью-Йорк, 2021. – 1376 с.

[5] С. Дж. Дейт. A Guide to DB2. – Еддісон-Веслі, Редінг, Массачусетс, 2022. – 512 с.

[6] Гаджендран М., Калайсельві В. Comparative Study of Relational and Non-Relational Databases. International Journal of Computer Applications, vol. 183, no. 45, 2021. – С. 25–30.

[7] Кузнецов А., Бондар Д. Hybrid Storage Architectures: Combining SQL and NoSQL Approaches for Scalable Data Systems. IEEE Access, vol. 12, 2024. – С. 102345–102358.

[8] Ходоров К. MongoDB: The Definitive Guide (3rd Edition). – O’Reilly Media, 2023. – 480 с.

[9] NoSQL Databases. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nosql-database.org/
[10] Ісаков А. В. Сфери застосування нереляційних баз даних [Електронний ресурс] / А. В. Ісаков, В. Ю. Ліміна, О. В. Романюк // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9416.
[11] Ковтун Б. В. Порівняльна характеристика реляційних та NoSQL баз даних [Електронний ресурс] / Б. В. Ковтун, А. М. Манич, О. В. Романюк // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9907.

УДК 004.056.55:004.942

МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Бова Ю.В. (bova1997@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України

У роботі розглянуто підхід до побудови моделей автоматизованого тестування компонентів комплексних систем захисту інформації (КСЗІ). Запропоновано формальну схему, що поєднує простежуваність між вимогами, загрозами та тестовими сценаріями з ризик-орієнтованою пріоритизацією та адаптивним вибором регресійних перевірок. У моделі визначено механізми збору телеметрії, обчислення інтегральних метрик ефективності (TPR, FNR, MTTD, MTTR) та автоматичного оновлення ваг пріоритетів під час зміни конфігурацій системи. Імітаційні експерименти показали скорочення середнього часу регресійного циклу на 30–35 % і підвищення ризикового покриття до 20 % порівняно з традиційними підходами. Розроблена модель може бути інтегрована у середовища DevSecOps та CI/CD для підвищення рівня безпеки й стабільності програмних комплексів.

Постановка проблеми. Сучасні комплексні системи захисту інформації (КСЗІ) характеризуються високим рівнем розподіленості, гетерогенністю компонентів і значною кількістю взаємозв’язків між модулями — від автентифікації та керування доступом до засобів шифрування й журналювання подій. За цих умов класичні підходи до тестування, що базуються на ручних перевірках або напівскриптових процедурах, виявляються недостатньо ефективними. Вони не забезпечують повного покриття вимог, не враховують пріоритетність загроз, не дозволяють простежити логічний зв’язок між вимогами, ризиками та результатами тестів. У контексті DevSecOps-практик особливої актуальності набувають формальні моделі автоматизованого тестування, що інтегруються безпосередньо у конвеєр розроблення та забезпечують динамічну адаптацію до ризиків і змін конфігурацій.

Метою дослідження є побудова формальної моделі автоматизованого тестування компонентів КСЗІ, яка поєднує простежуваність між вимогами безпеки, класами загроз і тестовими сценаріями, а також забезпечує пріоритизацію перевірок за ризиками та адаптивне оновлення регресійного набору у процесі CI/CD.

Для досягнення цієї мети модель розглядає весь контур тестування як замкнену систему, що включає три основні рівні:

- модель відповідностей,
- модель оцінювання якості,
- адаптивний контур управління тестуванням.

Узагальнена схема моделі. Для забезпечення формальної узгодженості між вимогами безпеки, тестовими сценаріями, ризиковими класами та результатами випробувань запропоновано багаторівневу архітектуру автоматизованого тестування.

Вона описує логічну послідовність переходів від вимог і політик безпеки до адаптивного оновлення тестових стратегій у конвеєрі DevSecOps. Кожен рівень моделі виконує власну функцію: від опису правил та загроз до збирання телеметрії, аналізу показників і зворотного зв’язку. Узагальнену схему моделі наведено нижче (рис. 1).

Як видно зі схеми, модель реалізує замкнений цикл автоматизованого тестування, у якому результати перевірок безпеки формують зворотний зв'язок для оновлення вимог, сценаріїв і пріоритетів тестів.

На першому етапі здійснюється формалізація вимог та політик безпеки (R), що виступають базою для побудови множини потенційних загроз і тестових сценаріїв (G, T). Далі виконується автоматизоване тестування компонентів КСЗІ з реєстрацією телеметричних показників — таких як *True Positive Rate (TPR), False Negative Rate (FNR), Mean Time To Detect (MTTD), Mean Time To Repair (MTTR)* та *Performance Overhead*.

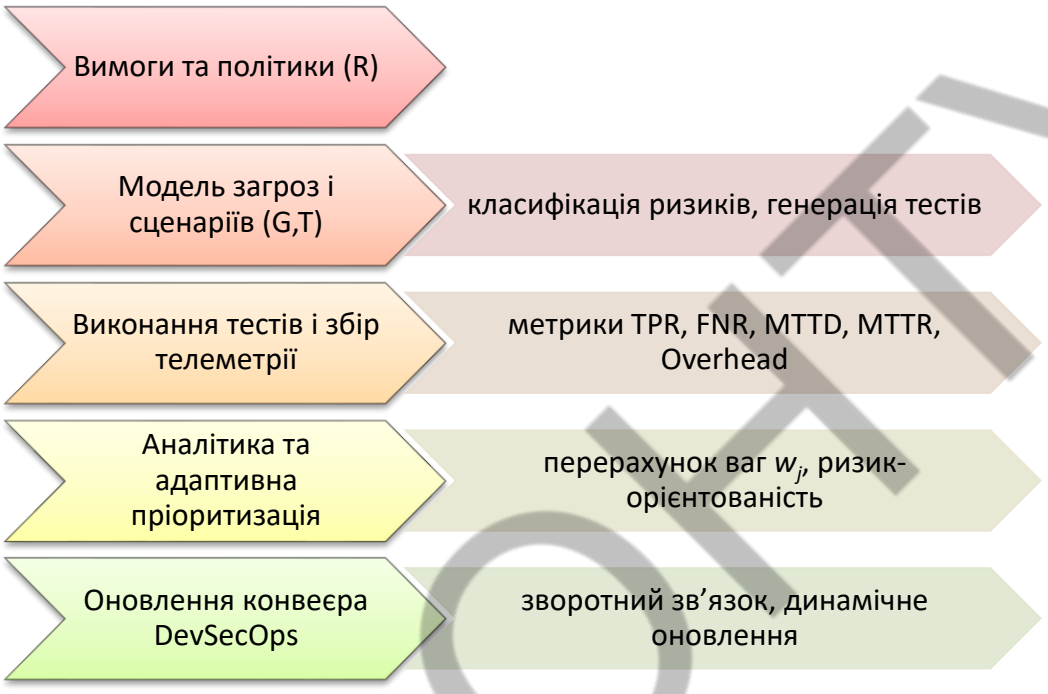


Рисунок 1. Узагальнена схема моделі автоматизованого тестування КСЗІ

Отримані результати надходять до аналітичного модуля, який здійснює оцінювання ефективності тестів і перерахунок ваг ризикових коефіцієнтів w_j. Цей етап забезпечує адаптивну пріоритизацію тестових сценаріїв з урахуванням поточних загроз, часу виконання і критичності компонентів.

Завершальним кроком є інтеграція результатів аналітики у DevSecOps-конвеєр, де автоматично оновлюються політики, конфігурації тестових середовищ і вибір тестів для наступного циклу перевірки. Такий підхід забезпечує **самоналаштовуваність системи**, мінімізує ручне втручання та підвищує узгодженість між безпековими вимогами і реальним станом програмного комплексу.

Формалізація основних залежностей. Простежуваність між вимогами, загрозами, тестами та компонентами описується через систему матриць відповідностей. На основі них обчислюються показники покриття вимог і загроз, що визначають якість планування тестування. Для кожного тесту формується вектор метрик — точність виявлення вразливостей (TPR), рівень пропущених атак (FNR), середній час виявлення (MTTD) та усунення інциденту (MTTR), а також вплив на продуктивність (Overhead).

Усі тести ранжуються за інтегральним ризиковим показником, який враховує ймовірність загрози, потенційний збиток і складність її виявлення. Отримані ваги визначають пріоритет виконання в межах обмеженого часу CI-конвеєра.

Система підтримує принцип адаптивного регресійного вибору: якщо рівень пропусків атак перевищує заданий поріг або знижується покриття вимог, алгоритм автоматично розширює набір критичних тестів і змінює розподіл часу у наступній ітерації.

Реалізація та результати моделювання. Розроблена модель була реалізована у вигляді прототипу в середовищі GitLab CI із використанням SonarQube для аналізу коду, Prometheus і Grafana для збору метрик, а також OPA-політик для контролю відповідності вимогам. Імітаційні

експерименти на базі трьох типів загроз (автентифікація, доступ, шифрування) показали, що запропонована система зменшує середній час регресійного циклу на до 35 %, при цьому забезпечуючи зростання ризикового покриття на близько 20 %.

Висновки. Автоматизоване тестування компонентів КСЗІ, побудоване на формальних моделях простежуваності й ризик-орієнтованої адаптації, забезпечує якісно новий рівень контрольованості процесу перевірки безпеки. Запропонована модель дозволяє узгоджено керувати вимогами, загрозами й тестами, підвищує ефективність CI/CD-процесів і формує основу для побудови інтелектуальних систем випробувань у межах DevSecOps.

Список використаної літератури

[1] Toka L., Rossi D., Colle D. A survey on adaptive load balancing in data centers: algorithms, architectures, and future trends // *IEEE Communications Surveys & Tutorials.* — 2022. — Vol. 24, No. 3. — P. 1587–1614. DOI: 10.1109/COMST.2022.3148159.

[2] Wang Q., Lu Y., Jiang Z. Multi-objective optimization of load balancing in software-defined data center networks // *Computer Networks.* — 2021. — Vol. 197. — Article 108309. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.108309.

[3] Nayak S., Behera A. Security testing automation in DevSecOps pipeline: challenges and solutions // *Journal of Information Security and Applications.* — 2023. — Vol. 75. — Article 103529. DOI: 10.1016/j.jisa.2023.103529.

УДК 004.272

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗБЕРІГАННЯ РОЗРІДЖЕНИХ ДАНИХ

Бульба С.С., Сизоненко А.С. (Serhii.Bulba@khpi.edu.ua, Anastasiia.Syzonenko@cit.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

У роботі розглянуто проблему ефективного зберігання та обробки розріджених даних, що є актуальною для сучасних систем обчислень, зокрема в галузях машинного навчання, комп'ютерного моделювання та обробки зображень. Проаналізовано особливості побудови структур зберігання розріджених матриць, де більшість елементів дорівнюють нулю, що дозволяє суттєво зменшити обсяг необхідної пам'яті та підвищити швидкодію обчислювальних процесів. Розглянуто основні методи представлення даних — стиснене рядкове та стовпцеве зберігання. У результаті дослідження встановлено, що вибір оптимальної структури даних визначається типом задачі та характером доступу до елементів матриці. Отримані результати можуть бути використані при розробці програмного забезпечення для наукових і технічних розрахунків.

У сучасних інформаційних технологіях швидко зростає обсяг даних, які потрібно зберігати, аналізувати та обробляти з високою ефективністю. Особливу категорію такої інформації становлять розріджені дані, для яких характерна наявність великої кількості нульових або не значущих елементів. Такі структури виникають у задачах наукових обчислень, машинного навчання, комп'ютерного моделювання, аналізу соціальних мереж, обробки природної мови, а також при роботі з графами та сітковими моделями. Наприклад, у системах розпізнавання зображень і сигналів матриці ознак часто містять лише невелику кількість ненульових компонентів, а при розв'язанні диференційних рівнянь чисельними методами коефіцієнтні матриці є розрідженими. У задачах аналізу графів або веб-сторінок матриця суміжності також характеризується високим рівнем розрідженості, що обумовлює потребу у використанні спеціалізованих методів зберігання [1].

Актуальність теми обумовлена зростанням вимог до обчислювальних ресурсів та обсягів пам'яті при роботі з великими даними. Зберігання розріджених структур у вигляді звичайних повних матриць призводить до значних витрат пам'яті та зниження швидкодії при обробці. Тому виникає необхідність у розробці ефективних структур даних і алгоритмів, що забезпечують компактне представлення та швидкий доступ до ненульових елементів. Крім того, вибір

відповідної структури зберігання безпосередньо впливає на продуктивність алгоритмів множення матриць, розв'язання систем лінійних рівнянь та інших операцій лінійної алгебри, які широко застосовуються в чисельному аналізі та моделюванні.

Метою дослідження є аналіз існуючих методів зберігання розріджених матриць, визначення їхніх переваг та недоліків, а також оцінювання ефективності використання різних структур даних залежно від характеру розрідженості. Для досягнення поставленої мети розглядаються основні принципи побудови структур, що дозволяють економити пам'ять і забезпечують швидкий доступ до елементів.

У сучасних підходах зберігання розріджених матриць акцент робиться на таких формах представлення, як по строкове зберігання, розподіл за стовпцями або рядками, а також на комбінованих моделях, орієнтованих на ефективне використання кеш-пам'яті та паралельних обчислень. У більш складних випадках використовуються гібридні структури, які поєднують декілька методів для різних областей матриці.

Якщо ненульові елементи мають регулярне розташування, доцільним є використання структур зі збереженням фіксованого кроку, тоді як при нерегулярній щільності даних ефективнішими виявляються індексні структури, які зберігають лише координати ненульових елементів. Для надвеликих матриць, що не вміщуються в оперативну пам'ять, пропонується застосування розподіленого зберігання у хмарних або паралельних обчислювальних системах. Такі підходи забезпечують масштабованість та можливість обробки даних у реальному часі [2].

Розріджені структури відіграють важливу роль у побудові ефективних чисельних алгоритмів. У практичних застосуваннях, наприклад, у машинному навчанні або методах оптимізації, зберігання розріджених матриць у компактному вигляді дозволяє суттєво зменшити витрати пам'яті та прискорити обчислення. У системах обробки зображень і сигналів такі структури застосовуються для фільтрації, реконструкції або сегментації даних із високою роздільністю, де більшість пікселів або точок не містять значущої інформації. З розвитком технологій великих даних та штучного інтелекту ефективне представлення розріджених матриць стає одним із ключових чинників оптимізації програмних систем і апаратних засобів.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що ефективність зберігання розріджених даних значною мірою визначається особливостями структури матриці та характером її заповнення. Використання спеціалізованих структур даних дозволяє значно зменшити обсяг пам'яті та підвищити швидкодію обчислень. Представлені дослідження представляють основу для побудови високопродуктивних обчислювальних систем, орієнтованих на роботу з великими розрідженими структурами у різних галузях інформаційних технологій.

Список використаної літератури

[1] Seitz J. Black Hat Python: Python Programming for Hackers and Pentesters / J. Seitz, T. Arnold. – San Francisco: No Starch Press, 2021. –P. 216.

[2] Tao Wang, Longjiang Guo, Guilin Li, Jinbao Li, Renda Wang, Meirui Ren, Jing He, "Implementing the Jacobi Algorithm for Solving Eigenvalues of Symmetric Matrices with CUDA", 2012 IEEE Seventh International Conference on Networking, Architecture, and Storage (2012), pp. 69-78.

УДК 004.056.5:004.89

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ

Сторчак А.С, Бурдейний А.О.
(storchakanton@gmail.com, burdes228@gmail.com)
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Україна)

Сучасна кібербезпека перебуває у стані динамічних трансформацій, обумовлених як розвитком технологій, так і ускладненням методів атак. Використання штучного інтелекту супротивниками, зокрема генеративних моделей для створення фішингових кампаній та складних шкідливих сценаріїв, значно підвищує рівень загроз для державних та корпоративних

інформаційних систем. У відповідь на це провідні компанії світу, серед яких Meta, CrowdStrike, IBM та Fortinet, розробляють системи раннього виявлення атак та прогнозування потенційних вразливостей на основі машинного навчання та LLM [5, 6, 7].

В дослідженні розглянуто сучасні підходи до використання машинного навчання та великих мовних моделей (LLM) у сфері кібербезпеки [1, 2]. Проаналізовано актуальні звіти провідних світових компаній та національних органів влади, визначено ключові напрями застосування алгоритмів штучного інтелекту для виявлення кіберзагроз та підвищення рівня автоматизації систем захисту [3].

Мета роботи полягає у комплексному аналізі ефективності використання алгоритмів машинного навчання та великих мовних моделей для забезпечення кіберзахисту, а також визначенні перспектив їхнього впровадження у державний та приватний сектори. Для досягнення мети дослідження вирішуються такі завдання: виявлення переваг ML та LLM у виявленні аномалій і нових типів атак; аналіз практичних кейсів застосування технологій штучного інтелекту у сфері кібербезпеки; оцінка потенційних ризиків, пов'язаних із автоматизацією процесів захисту; дослідження ролі національних стратегій у формуванні безпечного цифрового середовища.

Актуальні звіти [5, 6, 7] свідчать про зростання ролі автоматизованих систем у боротьбі з фішингом, шкідливим програмним забезпеченням та атаками на критичну інфраструктуру. Водночас підкреслюється, що найбільший ефект досягається завдяки поєднанню класичних методів аналізу з алгоритмами глибинного навчання, які здатні виявляти раніше невідомі вектори атак. Українські державні структури, зокрема Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України, також акцентують увагу на необхідності інтеграції штучного інтелекту у національні системи кіберзахисту [8].

Аналіз можливості застосування LLM для виявлення кіберінцидентів та автоматизації реагування на них показав, що їх використання у поєднанні з традиційними засобами кіберзахисту, такими як SIEM та IDS/IPS, суттєво підвищує рівень адаптивності систем безпеки [1, 2]. Розглянуто кілька напрямів інтеграції: аналіз журналів подій у реальному часі, автоматизоване виявлення фішингових повідомлень і шкідливих сценаріїв, а також застосування LLM для кореляції даних із різних джерел з метою прогнозування можливих атак. Використання LLM дозволяє підвищити точність і швидкість виявлення інцидентів щонайменше на 25–30%, а також знизити навантаження на аналітиків безпеки завдяки автоматизації рутинних завдань [3, 4]. Окремою проблемою залишається інтерпретація рішень, сформованих LLM, оскільки моделі часто функціонують за принципом "чорної скриньки", що ускладнює прийняття управлінських рішень у критичних системах.

Результати дослідження показали, що застосування машинного навчання та LLM у сфері кібербезпеки є одним із ключових факторів підвищення стійкості до новітніх загроз. Ці технології забезпечують можливість автоматизованого виявлення та блокування атак, зменшують навантаження на аналітиків безпеки та створюють підґрунтя для розробки адаптивних систем захисту майбутнього.

Список використаної літератури

[1] "Можливості та обмеження великих мовних моделей / І. Ю. Юрчак, О. О. Кичук, В. М. Оксентюк, А. О. Хіч. – Computer Design Systems Theory and Practice, 2024, Vol. 6, No. 2, pp. 286–300." Academic Journals and Conferences |. Дата звернення: 1 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal–paper/2024/dec/37305/vsenew–288–302.pdf

[2] "Павлат, О. В. Застосування LLM в галузі кібербезпеки : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 125 – кібербезпека / наук. кер. Стадник М. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. – 92 с." Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/49962/1/Pavlat_Oleksandr_СБ–42_2025.pdf

[3] "A Comprehensive Overview of Large Language Models (LLMs) for Cyber Defences: Opportunities and Directions / Mohammed Hassanin, Nour Moustafa. – International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, 2024, 10(3), pp. 1–20." Дата звернення: 3 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://arxiv.org/pdf/2405.14487

[4] "CWM: An Open–Weights LLM for Research on CodeGeneration with World Models | Research – AI at Meta". AI at Meta. Дата звернення: 1 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно:

https://ai.meta.com/research/publications/cwm–an–open–weights–llm–for–research–on–code–generation–with–world–models/

[5] “CrowdStrike 2025 Threat Hunting Report”. CrowdStrike. Дата звернення: 3 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.crowdstrike.com/explore/2025–threat–hunt–report?utm_medium=org

[6] “X–Force 2025 Threat Intelligence Index | IBM”. IBM. Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.ibm.com/reports/threat–intelligence

[7] “2025 Global Threat Landscape Report”. Fortinet. Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.fortinet.com/thank–you/thank–you–threat–landscape–report

[8] “Державна служба спеціального зв’язку та захисту інформації України”. Дата звернення: 3 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://cip.gov.ua/ua/news/rozyasnyla_praktychni_aspekty_zakonu_4336

УДК 004.056

ВРАЗЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ

Вавіленкова А.І. (vavilenkovaa@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У матеріалах тез розглядаються різноманітні види вразливостей інформаційних систем, на які може бути спрямована діяльність кібезлочинців, наводяться структуровані ознаки вразливостей та засоби боротьби з ними та запропоновано засоби забезпечення безпеки інформаційних та комунікаційних систем.

База даних вразливостей інформаційної безпеки значно збільшилася за останні роки. Це, зі свого боку, створює величезний потенціал для зловмисників і хакерів. Будь-яка вразливість може стати способом реалізації успішної кібератаки. Однак, багато компаній не приділяють належної уваги вразливостям і не мають чіткої стратегії для їх ефективного усунення. Часто компанії використовують усі свої ресурси не в тих місцях, що не лише не вирішує проблеми, а й уповільнює роботу всіх систем [1].

Вразливість – це слабке місце в інформаційній екосистемі компанії, яке може бути використане для атаки на її кіберпростір, IT-інфраструктуру, програмні додатки та ін. Також уразливості є інструментом кіберзлочинця для отримання несанкціонованого доступу до системи, компрометації та крадіжки даних. Успішне використання вразливостей надає можливість кіберзлочинцю встановити шкідливе програмне забезпечення, запустити шкідливі коди, завдяки чому отримувати доступ до облікових записів користувачів та здійснювати крадіжку даних.

Вразливості – це недоліки, помилки, баги у програмних продуктах, які можуть загрожувати безпеці користувачів. Наявність вразливостей часто використовують хакери для здійснення кібератак, зокрема, для проникнення в мережу, отримання доступу до пристрою, викрадення облікових даних, збору інформації тощо.

Фізичні вразливості є одним з аспектів безпеки інформаційних та комунікаційних систем, які пов’язані з фізичним доступом до обладнання та приміщень, в яких знаходяться ці системи. Відповідна захист фізичного середовища є важливим кроком для забезпечення безпеки даних та систем. Наприклад, недостатня фізична охорона приміщення, небезпека втрат або пошкодження обладнання, недостатній захист від віддаленої фізичної атаки, недостатній контроль доступу до обладнання, несанкціоноване копіювання даних.

Забезпечення належної фізичної безпеки є необхідним компонентом загальної стратегії безпеки інформаційних та комунікаційних систем. Варто вживати заходів для контролю доступу, фізичної охорони приміщень та захисту обладнання, щоб забезпечити надійний рівень безпеки.

Вразливості мережі є одним з найважливіших аспектів безпеки інформаційних та комунікаційних систем. Вони відносяться до вразливостей, які можуть бути використані зловмисниками для здійснення атак на мережеву інфраструктуру, що може призвести до доступу до конфіденційної інформації, порушення цілісності даних або навіть втрати функціональності системи. Ось деякі типові вразливості, які можуть існувати в мережах: використання незахищених

мережевих протоколів, вразливості веб-додатків, недостатній контроль доступу до ресурсів, вразливості мережевих пристроїв, вразливості безпровідних мереж.

Запобігання і виявлення вразливостей мережі є критичними завданнями для забезпечення безпеки інформаційних та комунікаційних систем. Це може включати використання захищених мережевих протоколів, регулярну оновлення програмного забезпечення, налаштування контролю доступу та використання безпечних мережевих пристроїв.

Вразливості програмного забезпечення є серйозною загрозою для безпеки інформаційних та комунікаційних систем. Вони відносяться до слабких місць у програмах, які можуть бути використані зловмисниками для здійснення атак на систему, викрадення даних або заволодіння контролем над системою. До вразливостей програмного забезпечення відносяться:

- вразливості буфера є одними з найпоширеніших вразливостей програмного забезпечення. Вони виникають, коли програма дозволяє записати дані в буфер пам'яті, превищуючи його розмір;
- вразливості валідації введених даних – недостатня або некоректна валідація введених даних може призвести до вразливостей, таких як введення SQL-запитів, введення команд в системі або введення шкідливого коду, зловмисники можуть використовувати ці вразливості для отримання незаконного доступу або виконання шкідливих операцій;
- вразливості в шифруванні – можуть призвести до зламу шифру та доступу до конфіденційних даних, недостатня довжина ключа, використання слабких алгоритмів шифрування або недостатнє керування ключами можуть створювати вразливості в системах шифрування;
- вразливості автентифікації та авторизації можуть призвести до несанкціонованого доступу до системи або даних, а некоректна перевірка облікових записів користувачів, слабкі паролі або недостатні обмеження доступу можуть створювати вразливості, які можуть бути використані зловмисниками;
- вразливості з перевантаженням сервісів, такі як атаки типу DDoS (розподілений збій обслуговування), можуть призвести до недоступності системи або послуги. Зловмисники можуть намагатися перевантажити систему, надсилаючи велику кількість запитів або використовуючи інші методи, щоб перевантажити ресурси системи.

Запобігання і виявлення вразливостей програмного забезпечення є критичними аспектами забезпечення безпеки систем. Це може включати використання безпечних практик програмування, регулярні оновлення програмного забезпечення, проведення аудиту безпеки та використання захищених механізмів валідації та шифрування даних.

Вразливості людського фактору є одними з найбільш поширених та складних вразливостей, які можуть вплинути на безпеку інформаційних та комунікаційних систем. Ці вразливості пов'язані зі здатністю людей до помилок, необережності, недостатнього розуміння безпекових політик та недотримання правил безпеки. Ось деякі типові вразливості, які відносяться до людського фактору [2]:

- соціальна інженерія;
- недостатня освіченість;
- викрадення облікових даних;
- недостатня фізична безпека;
- недотримання безпекових політик.

Запобігання вразливостям людського фактору вимагає навчання користувачів щодо безпекових практик, регулярну освіченість та нагадування про правила безпеки. Організації також можуть використовувати технологічні рішення, такі як двофакторна аутентифікація, щоб зменшити вплив вразливостей людського фактору на безпеку систем.

Для забезпечення безпеки інформаційних та комунікаційних систем необхідно вживати відповідні заходи захисту. Деякі з них включають:

1. Забезпечення фізичної безпеки обладнання і приміщень.
2. Встановлення та налагодження мережевої безпеки, включаючи застосування брандмауера та систем виявлення вторгнень (IDS).
3. Регулярне оновлення програмного забезпечення та патчів безпеки.
4. Використання сильних паролів та механізмів аутентифікації.
5. Навчання персоналу про безпеку та виявлення соціально-інженерних атак.

Вразливості в інформаційних та комунікаційних системах (ІКС) становлять значну загрозу для безпеки даних та операційної стійкості організацій. Адекватні заходи безпеки, що охоплюють

фізичну безпеку, мережевий захист, безпеку програмного забезпечення та навчання персоналу, є критично важливими. Хоча нетрадиційно, SEO (пошукова оптимізація) також може сприяти безпеці через використання безпечних практик та оптимізацію, що запобігає експлуатації вразливостей через веб-інтерфейси.

Усунення вразливостей – це систематичний процес ідентифікації, виправлення та нейтралізації недоліків безпеки в IT-середовищі організації. Цей процес поширюється на всі цифрові активи, включаючи комп'ютери, мережі, веб-додатки, мобільні пристрої тощо, і складається з декількох етапів.

Усунення є ключовим етапом у життєвому циклі управління вразливостями. Воно відіграє вирішальну роль у захисті мереж, запобіганні витокам даних та забезпеченні безперервності бізнесу. На цьому етапі відбувається нейтралізація та/або усунення виявлених вразливостей або активних загроз безпеці [3]. Ефективне усунення знижує ймовірність інцидентів, таких як втрата даних, DDoS-атаки, інфікування шкідливим програмним забезпеченням та фішинг.

Процес виправлення вимагає тісної співпраці між командами з розробки, управління ризиками та безпеки. Їхня взаємодія спрямована на визначення найбільш економічно ефективних методів усунення вразливостей.

Усунення вразливостей здійснюється за допомогою інноваційних підходів:

– передові методи обробки даних дозволяють агрегувати та аналізувати великі обсяги інформації про вразливості;

– використання актуальних даних про кіберзагрози для розуміння потенційного впливу вразливостей;

– автоматизовані алгоритми прогнозування, які допомагають визначити найкритичніші вразливості та встановити їхній пріоритет для виправлення, базуючись на ймовірності експлуатації та потенційному збитку.

Список використаної літератури

[1] Ahn, G., Oh, J., Yeo, S., & Park, W. (2024). A Study on a Scenario-Based Security Incident Prediction System for Cybersecurity. *Applied Sciences*, 14(24), 11836. https://doi.org/10.3390/app142411836

[2] А. І. Вавіленкова, *Методи і моделі протидії кіберзагрозам*, Київ, Україна: НА СБУ, 2023. 136 с.

[3] Singer P.W. and Allan Friedman (2014). *Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press. P. 336.

УДК 004.415.5

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ І НАДІЙНОСТІ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ IOT-СИСТЕМ

Войтович В. І., Лис Р. М. (voitovych.volodymyr@gmail.com, roman.lys@lnu.edu.ua)
Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)

У тезах висвітлено проблематику забезпечення безпеки та надійності великомасштабних IoT-систем, що функціонують на базі мікроконтролерів. Підкреслено, що сучасні розгортання таких мереж супроводжуються низкою викликів, пов'язаних із захищеним оновленням програмного забезпечення, централізованим керуванням пристроями, контролем достовірності та цілісності даних. Проведено аналіз чинних міжнародних стандартів і підходів до побудови IoT-архітектур, однак встановлено відсутність комплексного рішення, яке б інтегрувало управління, захист та цифрове моделювання процесів у єдиній системі. Запропоновано використання методів цифрового моделювання та сучасних інформаційних технологій для формування архітектури IoT-систем нового покоління, що забезпечує підвищений рівень безпеки, надійності й довговічності під час експлуатації в масштабних розподілених середовищах.

НТБОНТУ

Швидке поширення великомасштабних IoT-систем у міському, промисловому та енергетичному середовищах зумовлює потребу в забезпеченні їхньої надійності, безпеки та довговічності [1]. Мікроконтролерні пристрої, які становлять основу таких систем, мають обмежені обчислювальні ресурси, що ускладнює впровадження стандартних засобів захисту й створює ризик порушення функціональності під час оновлення програмного забезпечення. Масштабні розгортання таких мереж супроводжуються підвищеними ризиками неконтрольованих збоїв, втрати достовірності даних і появи вразливостей у каналах зв'язку. Водночас бракує уніфікованих методів цифрового моделювання, які б дозволяли оцінювати стійкість IoT-систем до зовнішніх впливів та прогнозувати їхню поведінку в реальному часі [2].

Аналіз міжнародних стандартів, таких як OMA LwM2M [3], IETF SUIT [4], OGC SensorThings API [5], ETSI NGSI-LD API [6], ISO/IEC 30141 [7] та ETSI EN 303 645 [8] показує, що вони визначають загальні принципи безпечного оновлення програмного забезпечення, управління пристроями та організації інформаційного обміну між вузлами мереж. Проте в більшості випадків ці документи не враховують специфіку обмежених ресурсів мікроконтролерів і відсутність механізмів локального контролю стану системи. Це створює передумови для розроблення нових методів і моделей, які б поєднували аспекти безпеки, надійності та цифрового моделювання в єдиній архітектурі.

Метою роботи є розроблення методів і засобів забезпечення безпеки й надійності великомасштабних IoT-систем на базі мікроконтролерів із використанням сучасних цифрових технологій та методів моделювання процесів.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- провести аналіз сучасних підходів до управління та захисту IoT-систем;
- розробити математичні та комп'ютерні моделі оцінки надійності роботи IoT-мереж;
- створити архітектурну схему системи з підтримкою захищених оновлень і контролю достовірності даних;
- дослідити ефективність цифрового моделювання для прогнозування відмов і кібератак;
- обґрунтувати алгоритмічні та схемотехнічні рішення, що підвищують довговічність функціонування систем.

У роботі запропоновано концепцію інтегрованої архітектури IoT-системи, що поєднує засоби цифрового моделювання, криптографічного захисту та адаптивного управління. Архітектура передбачає розподіл функцій між трьома рівнями — периферійним (edge), мережевим і хмарним. Для моделювання процесів використано фізичні, математичні та комп'ютерні методи, які дозволяють оцінити вплив зовнішніх чинників (збої, втрати зв'язку, зниження напруги живлення) на функціонування пристроїв [2, 7]. Особливу увагу приділено алгоритмам контролю достовірності даних і моніторингу стану пристроїв у реальному часі [5, 6, 8]. Для цього застосовуються цифрові моделі, що відображають типові сценарії роботи системи та дозволяють автоматично виявляти відхилення від нормальної поведінки. Розроблені методи дають змогу прогнозувати потенційні збої, планувати технічне обслуговування та підвищувати рівень безпеки без необхідності повного перезапуску системи.

Отримані результати забезпечують підвищення надійності та безпеки великомасштабних IoT-систем на мікроконтролерах шляхом інтеграції цифрового моделювання, аналітичних засобів і стандартних протоколів захисту. Вони можуть бути використані під час проектування інфраструктурних систем моніторингу, енергетичних мереж і промислових комплексів, де необхідна висока стійкість до відмов і кібератак. Подальші дослідження спрямовано на розроблення методів адаптивного керування навантаженням і самодіагностики пристроїв у реальному часі.

Список використаної літератури

[1] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, A. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[2] OMA SpecWorks, Lightweight M2M (LwM2M) Technical Specification, ver. 1.2, 2020. [Online]. Available: https://www.openmobilealliance.org/release/LightweightM2M
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[3] B. Moran, H. Tschofenig, and D. Brown, “A Firmware Update Architecture for Internet of Things,” RFC 9019, Internet Engineering Task Force (IETF), Apr. 2021. [Online]. Available: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9019.pdf
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[4] Open Geospatial Consortium, SensorThings API Part 1: Sensing, 2016. [Online]. Available: https://docs.ogc.org/is/15-078r6/15-078r6.html
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[5] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), ETSI GS CIM 009 V1.3.1: Context Information Management (NGSI-LD API), 2020. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/CIM/001_099/009/01.03.01_60/gs_CIM009v010301p.pdf
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[6] International Organization for Standardization (ISO), ISO/IEC 30141:2024 — Internet of Things Reference Architecture (IoT RA), 2024. [Online]. Available: https://www.scribd.com/document/906472042/ISO-IEC-30141-2024-ed-2-id-88800-Publication-PDF-en
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[7] National Institute of Standards and Technology (NIST), NISTIR 8259A: Core Device Cybersecurity Capability Baseline for IoT Devices, 2020. [Online]. Available: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2020/NIST.IR.8259A.pdf
[Accessed: Oct. 20, 2025].

[8] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), ETSI EN 303 645 V3.1.3: Cyber Security for Consumer IoT, 2024. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303600_303699/303645/03.01.03_60/en_303645v030103p.pdf
[Accessed: Oct. 20, 2025].

УДК 004.891

DATAOPS ЯК КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Гавадзин А.П., Вовк Р.Б. (arsen.havadzyn-ipm252@nung.edu.ua)
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)

У даному дослідженні представлено комплексний аналіз концепції DataOps як сучасного підходу до автоматизації життєвого циклу даних у складних інформаційних системах. Досліджено передумови виникнення DataOps у контексті зростання обсягів даних та ускладнення аналітичних процесів, а також обґрунтовано його роль у забезпеченні швидкості, масштабованості та надійності процесів обробки інформації. Розглянуто ключові принципи DataOps, серед яких безперервність обробки, узгодженість командних дій, контроль якості даних і впровадження принципів CI/CD для data pipelines. Проаналізовано інструментарій оркестрації та моніторингу даних (Apache Airflow, Prefect, Dagster, Great Expectations, Soda Core) і наведено приклади практичної реалізації DataOps у сферах e-commerce та SCADA-системах. Зазначено, що DataOps забезпечує трансформацію підходів до аналітики — від реактивних звітних процесів до проактивного прийняття рішень у реальному часі. Визначено, що інтеграція DataOps сприяє підвищенню ефективності управління даними, забезпечує відтворюваність процесів та створює умови для формування автономних сервісів даних, здатних адаптуватися до змін бізнес-середовища.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується стрімким зростанням обсягів даних та ускладненням аналітичних процесів, що зумовлює поступову втрату ефективності традиційних підходів до управління даними. У контексті забезпечення високої швидкості, надійності та масштабованості процесів обробки інформації зростає потреба у впровадженні методологій, здатних автоматизувати всі етапи життєвого циклу даних — від збору та трансформації до валідації й доставки кінцевим користувачам або аналітичним системам. Як зазначається у працях [2], підхід DataOps поєднує принципи DevOps, Agile та Lean з метою

ЕТРОНТУ

підвищення ефективності управління даними. Основними перевагами цього підходу є зменшення затримок у доступі до даних, підвищення повторюваності та контрольованості процесів, а також забезпечення стабільної роботи аналітичних систем у динамічних бізнес-середовищах.

Метою даного дослідження є аналіз концепції DataOps як інструменту автоматизації життєвого циклу даних, а також визначення засобів, що сприяють підвищенню ефективності обробки та доставки даних у складних інформаційних інфраструктурах. Окрему увагу приділено оцінці впливу DataOps на швидкість розгортання рішень, узгодженість взаємодії між командами розробників і аналітиків, а також визначенню практичних рішень для впровадження механізмів CI/CD для даних, побудови автоматизованих data pipelines і інтеграції систем моніторингу та контролю цілісності даних.

Концепція DataOps являє собою інтегровану сукупність технологій, методів і підходів, що забезпечують автоматизовані процеси інтеграції, перевірки, структурування та інтерпретації даних [1]. Ключовим принципом DataOps є забезпечення безперервності та узгодженості процесів обробки даних на всіх етапах їх життєвого циклу [1, 3]. На відміну від традиційних підходів, де завдання з опрацювання даних виконуються розрізненими командами, що часто призводить до затримок, невідповідності результатів і проблем масштабування, DataOps реалізує інтегрований підхід. Усі процеси організовуються у вигляді data pipelines, що функціонують за принципом DevOps, що забезпечує швидке розгортання змін, усунення ручних помилок і підвищення передбачуваності результатів.

Важливою складовою DataOps є оркестрація процесів обробки даних, яка охоплює планування, виконання та моніторинг усіх етапів конвеєра. Використання таких інструментів, як Apache Airflow, Prefect чи Dagster, дозволяє визначати залежності між завданнями, автоматично перезапускати невдалі етапи та керувати потоками даних у розподілених середовищах. Застосування подібного інструментарію підвищує надійність систем і забезпечує можливість масштабування обробки даних без істотного збільшення операційних витрат.

Іншим фундаментальним компонентом концепції DataOps є моніторинг і контроль якості даних. Виявлення аномалій, перевірка цілісності датасетів та валідація схем є критичними для запобігання поширенню некоректної інформації на наступні етапи аналітики. Для цього застосовуються спеціалізовані рішення, такі як Great Expectations, Soda Core, а також власні механізми перевірки, інтегровані безпосередньо у конвеєри трансформацій. Використання таких засобів забезпечує автоматичне реагування на помилки в режимі реального часу, блокуючи розповсюдження некоректних даних і підтримуючи стабільність роботи аналітичних сервісів.

Рисунок 1 – Схема DataOps: безперервний процес управління життєвим циклом даних

Традиційні ETL-процеси (Extract–Transform–Load), що передбачають послідовне виконання етапів обробки даних, відзначаються високим ступенем ручного втручання та обмеженою адаптивністю до змін у джерелах або бізнес-вимогах. Модифікація таких процесів часто вимагає значних ресурсів, повторного тестування та повного розгортання конвеєра, що спричиняє затримки у доставці даних. DataOps усуває ці обмеження шляхом впровадження принципів DevOps у роботу з даними [6].

Використання модульної архітектури у DataOps забезпечує можливість паралельного розвитку та розгортання компонентів конвеєра. Замість монолітних ETL-скриптів створюються окремі модулі, які можна оновлювати незалежно один від одного. Це скорочує Time to Data,

підвищує гнучкість і забезпечує швидку реакцію на зміни у джерелах даних або бізнес-вимогах. DataOps-платформи підтримують відстеження виконання кожного етапу, автоматичне фіксування помилок і формування аналітичних звітів щодо стабільності та продуктивності системи.

Методологія DataOps забезпечує високий рівень повторюваності та відтворюваності процесів, оскільки всі компоненти конвеєра описуються у вигляді коду (Infrastructure as Code / Pipelines as Code). Це дозволяє створювати однакові середовища для розробки, тестування та експлуатації, усуваючи ризики дрейфу конфігурацій і зменшуючи ймовірність людських помилок.

Одним із ключових механізмів DataOps є впровадження CI/CD (Continuous Integration / Continuous Delivery) у процеси обробки даних. Автоматизація тестування, валідації та розгортання оновлень у data pipelines забезпечує безперервність і стабільність усіх етапів обробки. Процес безперервної інтеграції включає автоматичну перевірку якості даних при кожній зміні у вхідних джерелах або схемах трансформації, що дозволяє виявляти конфлікти на ранніх стадіях і запобігати поширенню некоректних даних. Для цього застосовуються unit-тести, Data Contracts для валідації схем та контроль бізнес-показників за встановленими пороговими значеннями.

Етап Continuous Delivery передбачає автоматичне розгортання стабільних версій конвеєрів у продуктивних середовищах без зупинки сервісів, що є критично важливим для систем, які працюють у режимі 24/7. Для реалізації CI/CD застосовуються як універсальні платформи (GitLab CI, Jenkins, GitHub Actions), так і спеціалізовані рішення (dbt Cloud, Apache Airflow з інтеграцією у системи контролю версій). У результаті процеси обробки даних набувають повністю керованого, прогнозованого та контрольованого характеру [4].

Згідно з дослідженнями IBM [3], основна мета DataOps полягає у створенні надійної інфраструктури даних, що забезпечує оперативне прийняття управлінських рішень. Практична цінність підходу особливо помітна у сфері e-commerce, де швидкість обробки даних безпосередньо впливає на конверсію та прибутковість. Наприклад, компанія Amazon застосовує DataOps для автоматичного оновлення рекомендаційних моделей: кожна дія користувача миттєво потрапляє у потоковий pipeline, проходить валідацію та оновлює персоналізовані пропозиції. Інший приклад — компанія Zalando, яка використовує CI/CD для аналітики, що дозволяє маркетинговим командам самостійно запускати A/B-тести без залучення розробників. Навіть невеликі компанії на базі Shopify або WooCommerce впроваджують DataOps-практики з використанням готових оркестраторів (Airbyte + dbt + BigQuery), що забезпечує регулярне оновлення дашбордів із продажів, рекламних витрат і залишків на складах. Таким чином, навіть при невеликих масштабах бізнес отримує переваги автоматизованої аналітики, замінюючи ручні звітні процеси інтелектуально керованими конвеєрами [5].

Іншим прикладом успішного впровадження DataOps є його використання у SCADA-системах, де здійснюється обробка великих потоків даних від численних сенсорів у режимі реального часу. Традиційні рішення передбачають ручний або відкладений збір даних, що ускладнює швидке реагування на аварійні ситуації. Натомість, DataOps забезпечує побудову безперервного конвеєра — від збору до аналітики та візуалізації — з автоматичною валідацією критичних показників (наприклад, температури або напруги). Оркестрація на базі Apache Airflow або Prefect координує оновлення конфігурацій, а CI/CD-процеси гарантують контрольоване розгортання логіки обробки сигналів. Це забезпечує достовірність даних, мінімізацію затримок і здатність системи самостійно виявляти аномалії та ініціювати аварійні сценарії.

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що DataOps не лише оптимізує технічні процеси обробки даних, а й змінює саму культуру роботи з даними. Цей підхід переводить аналітику з реактивного режиму («звіт після події») у проактивний («рішення в момент події»), забезпечуючи повторюваність експериментів і прозорий контроль якості. Впровадження автоматизованих конвеєрів, оркестрації процесів та систем моніторингу дозволяє розглядати інформаційні потоки як повноцінний продукт, а не як сукупність окремих скриптів чи звітів. У цьому контексті DataOps виступає наступним етапом еволюції DevOps і BI-платформ — переходом від ручної аналітики до автономних сервісів даних, здатних адаптуватися до змін бізнес-середовища у режимі реального часу.

Список використаної літератури

[1] “Що таке DataOps: принципи, переваги та етапи впровадження” [Online]. Available: https://wezom.com.ua/ua/blog/chto-takoe-dataops. [Accessed: Oct. 05, 2025].

[2] “DataOps: the Future of Data Engineering” [Online]. Available: https://hackernoon.com/dataops-the-future-of-data-engineering. [Accessed: Oct. 11, 2025].
[3] “What is DataOps? Principles, practices, and benefits explained.” [Online]. Available: https://www.ibm.com/topics/dataops. [Accessed: Oct. 15, 2025].
[4] “What is DataOps? How Does It Work?” [Online]. Available: https://www.qlik.com/us/dataops. [Accessed: Oct. 18, 2025].
[5] “DataOps Explained: How To Not Screw It Up” [Online]. Available: https://www.montecarlodata.com/blog-what-is-dataops/. [Accessed: Oct. 20, 2025].
[6] “What is DataOps ETL and Automated ETL Testing” [Online]. Available: https://hevodata.com/learn/what-is-dataops-etl/. [Accessed: Oct. 21, 2025].

УДК 004.652:004.4

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ У СКЛАДІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

Гаврилюк Ю.О. (juliaboyar0@gmail.com)
ВСП «Фаховий коледж промислової автоматики Одеського національного технологічного університету» (Україна)

У тезах розглянуто роль систем управління базами даних (СУБД) у складі програмних комплексів. Проаналізовано основні типи СУБД, особливості їх інтеграції, вимоги до безпеки, надійності та продуктивності. Наголошено на важливості правильного вибору СУБД для ефективного функціонування інформаційних систем. Матеріал орієнтований на фахівців у галузі проєктування програмного забезпечення та інформаційних технологій.

Системи управління базами даних (СУБД) є фундаментальним елементом будь-якого програмного комплексу, оскільки саме вони забезпечують збереження, обробку та можливість отримання впорядкованих даних. У сучасних умовах цифрової трансформації, коли обсяги даних стрімко зростають, роль СУБД набуває особливого значення. Вони виступають не лише як сховище, а як інтелектуальний механізм, що дозволяє програмним модулям взаємодіяти між собою, обмінюватися даними та забезпечувати узгодженість інформаційних потоків.

У складі програмного комплексу СУБД виконує функцію центрального вузла, через який реалізується логіка роботи всієї системи. Наприклад, у корпоративних рішеннях СУБД дозволяє зберігати дані про клієнтів, транзакції, документи, аналітику — і все це доступне для різних модулів: CRM, бухгалтерії, аналітики, управління персоналом. Така централізація дозволяє уникнути дублювання інформації, зменшити ризики втрати даних та забезпечити цілісність системи.

Існує кілька типів СУБД, які можуть бути інтегровані у програмні комплекси. Найпоширенішими є реляційні СУБД, такі як MySQL, PostgreSQL, Oracle, які базуються на таблицях і підтримують мову SQL. Вони ідеально підходять для систем, де важлива чітка структура даних і складні запити. Натомість нереляційні СУБД, як-от MongoDB чи Redis, використовуються у випадках, коли потрібна гнучкість, масштабованість і висока швидкість обробки, особливо у веб-додатках та мобільних рішеннях. Вбудовані СУБД, наприклад SQLite, часто застосовуються у легких або автономних програмах, де немає потреби у складній серверній інфраструктурі.

Інтеграція СУБД у програмний комплекс потребує ретельного планування. Важливо забезпечити відповідність між структурою бази даних і логікою додатку, а також реалізувати ефективні механізми взаємодії — через API, ORM або драйвери. Крім того, необхідно враховувати аспекти безпеки: контроль доступу, шифрування, аудит дій користувачів. Надійність роботи СУБД забезпечується через резервне копіювання, реплікацію, кластеризацію та механізми відновлення після збоїв.

Продуктивність програмного комплексу значною мірою залежить від ефективності роботи СУБД. Оптимізація запитів, індексація, кешування — усе це дозволяє зменшити час відповіді системи та забезпечити її стабільну роботу навіть під високим навантаженням. У великих

системах часто використовуються розподілені бази даних, які дозволяють масштабувати рішення горизонтально.

Список використаної літератури

[1] C. J. Date, An Introduction to Database Systems, 8th ed. Boston, MA: Addison-Wesley, 2004.

[2] A. Silberschatz, H. F. Korth, and S. Sudarshan, Database System Concepts, 7th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2020.

[3] R. Elmasri and S. B. Navathe, Fundamentals of Database Systems, 7th ed. Boston, MA: Pearson, 2016.

[4] M. Stonebraker and P. Brown, “The case for shared nothing,” IEEE Database Eng. Bull., vol. 9, no. 1, pp. 4–9, Mar. 1986.

УДК 339.9:004.65:004.8

МІЖНАРОДНІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ПЛАТФОРМИ: ІМПЕРАТИВ СТІЙКОСТІ МІЖНАРОДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН В ЕПОХУ BANI

Геля Є. К., Гончаренко О. В. (teslagrad@gmail.com, y.helya_fmtp_1_23_b_d@knute.edu.ua)

Державний торговельно-економічний університет (Україна)

Розглянуто критичну роль інформаційно-аналітичних платформ та їх інтеграції з технологіями Big Data, ШІ та блокчейну у міжнародних економічних відносин. Встановлено, що використання цих технологій стає імперативом для забезпечення стабільності, безпеки та прибутковості суб'єктів міжнародної діяльності. Обґрунтовано, що синергія ШІ та Big Data дозволяє підприємствам підвищити точність прогнозування ризиків та оптимізувати міжнародні операції в режимі реального часу. Виявлено, що ключовою стратегічною перевагою є створення єдиної цифрової екосистеми. Розкрито, що ефективність стратегічних рішень у глобальному економічному управлінні залежить від збалансованого синтезу формальних підходів, високоточних даних та неформальної експертизи міжнародного менеджменту.

Сучасна архітектура міжнародних економічних відносин фундаментально залежить від якості інформаційної підтримки та надійності її обробки. Перехід від VUCA до BANI-світу (крихкості, тривожності, нелінійності та незбагненності) демонструє, що використання міжнародних інформаційно-аналітичних платформ, штучний інтелект (ШІ) та Big Data перестає бути конкурентною перевагою, а стає критичним імперативом для забезпечення стабільності, кібербезпеки та прибутковості в сучасній міжнародній економіці.

Оновлення стратегічних інформаційних систем прямо корелює з напрямом конференції, оскільки включає бізнес-аналітику, інтерактивні дашборди глобальної кон'юнктури та ШІ, які є інструментами обробки інформації. Посилений захист транскордонних даних забезпечує суб'єктам зовнішньоекономічної діяльності ключову перевагу в управлінні ризиками: швидке ухвалення рішень у відповідь на волатильність світових ринків, підвищення прозорості міжнародних операцій та зміцнення безпеки співпраці з іноземними контрагентами [1, с. 2]. На глобальному рівні підприємства досягають фінансової ефективності завдяки синергії Big Data і ШІ, які забезпечують глибоку обробку та аналіз міжнародної діяльності, дозволяючи своєчасно прогнозувати ризики (зокрема, розриви глобальних ланцюгів вартості) та оптимізувати структуру експортно-імпортних операцій [5, с. 3]. У цифрову епоху глобальна цифровізація, як процес управління інформацією, критично знижує міжнародні логістичні та комунікаційні витрати, підвищує ефективність управління міжнародними проєктами та дозволяє компаніям-учасникам МЕВ миттєво реагувати на зміну міжнародного попиту, поглиблюючи інтеграцію з глобальними партнерами [2, с. 3].

Глобальні економічні потоки функціонують на основі безпрецедентних обсягів інформації, що вимагає вдосконалених методів обробки.. Завдяки аналітиці Big Data стає можливим обробляти колосальні, різноманітні та складні масиви глобальної інформації (включно з транскордонними торговельними потоками, ціновими індексами та рухом капіталу), щоб виявити неочевидні макро- та мікроекономічні закономірності та отримати цінні висновки для стратегічного прогнозування та управління. ШІ, у свою чергу, перетворює системи інформаційної підтримки на автономні та

високоефективні механізми, автоматизуючи складні аналітичні завдання. Це критично прискорює обробку даних, яка раніше вимагала місяців роботи. Водночас, блокчейн забезпечує децентралізоване, прозоре та безпечне ведення транскордонних цифрових записів, що критично підвищує надійність міжнародних торговельних транзакцій та посилює захист інформації, усуваючи посередників у глобальних фінансових розрахунках [1, с. 3]. Ця глибока цифровізація кардинально трансформує менеджмент ЗЕД, дозволяючи проводити глибокий, динамічний аналіз міжнародної кон'юнктури та потреб глобальних клієнтів у режимі реального часу. Інструменти на базі ШІ та машинного навчання є незамінними для автоматизованого виявлення глобальних трендів та оптимізації управління системними ризиками МЕВ, включаючи волатильність валютних ринків та міжнародними логістичними ланцюгами [2, с. 4-5].

Ключовою стратегічною перевагою в глобальній економічній конкуренції є створення єдиної цифрової екосистеми , що слугує централізованим хабом для обробки та управління інформацією. Ця екосистема об'єднує внутрішні корпоративні та зовнішні транскордонні бізнес-процеси. Така інтеграція не лише підвищує операційну гнучкість компанії, але й забезпечує синхронізований обмін даними між глобально розподіленими підрозділами. Це є детермінантою для ТНК, оскільки злагоджена робота з інформацією міжнародних команд та оперативне управління даними дозволяють миттєво реагувати на критичні зміни світової кон'юнктури. Ця консолідована архітектура дозволяє ефективно управляти міжнародними активами та ризиками, базуючись на єдиному джерелі обробленої інформації.

В епоху BANI традиційна логіка та інтуїція міжнародного економічного управління стають системно вразливими та недостатніми для забезпечення стійкості. Цифрові технології та Інтернет створюють нову віртуальну архітектуру міжнародного бізнесу, що повністю залежить від ефективності обробки та передачі інформації. Це сприяє появі мережевої економіки та формуванню сучасної глобальної корпоративної культури, що орієнтована на швидкість та гнучкість управління, базуючись на високошвидкісних інформаційних потоках [4, с. 137].

Незважаючи на значні переваги, кібербезпека стає критичним фактором стійкості міжнародних економічних відносин. У міжнародному бізнесі витоки конфіденційної комерційної інформації або транскордонні кібератаки можуть призвести до катастрофічних фінансових втрат та підірвати довіру міжнародних партнерів, що є основою глобального співробітництва. Отже, стратегічні інвестиції у сучасні системи захисту даних, включаючи шифрування та багаторівневу аутентифікацію, забезпечують не просто безпеку окремих операцій, а гарантують стабільність та безперервність усієї міжнародної діяльності в умовах підвищених глобальних кіберризиків. Це є невід’ємною частиною управління інформаційними активами.

Стратегічні рішення у глобальному економічному управлінні є збалансованим синтезом формальних і неформальних підходів. Формальні рішення, критичні для оптимізації транскордонних операцій та міжнародного фінансування, повинні базуватися на суворому логічному аналізі та математичних моделях глобальних ринків, згенерованих високоточними інформаційними системами. Натомість, неформальні рішення, що випливають із досвіду та інтуїції міжнародного менеджменту, мають бути обов'язково доповнені та верифіковані обробленими даними світової кон'юнктури. Таким чином, надійне інформаційне забезпечення є критичною передумовою ефективності будь-якої стратегії у міжнародних економічних відносинах, поєднуючи технологічну точність із людським управлінським досвідом [3, с. 2].

Для посилення аналітичного потенціалу в глобальній економіці та оптимізації обробки інформації застосовуються передові технології. Платформи бізнес-аналітики такі, як Tableau, Qlik Sense та Microsoft Power BI та SAP BusinessObjects, є стандартом для аналізу міжнародних торговельних потоків, візуалізації глобальних ризиків та формування звітності для ТНК. Ці інструменти є основою для ефективної обробки структурованих даних.

Рішення на основі ШІ, зокрема генеративні моделі ChatGPT від OpenAI (GPT-3.5 та GPT-4), використовуються для автоматизації аналізу великих масивів глобальної економічної інформації та прогнозування кон'юнктури, що є ключем до вищої якості управлінських рішень. Для забезпечення транскордонної безпеки та прозорості розрахунків підприємствам доцільно розглянути блокчейн-платформи (Ethereum, Hyperledger Fabric). Вони гарантують цілісність та незмінність цифрових записів, зміцнюючи довіру та захист у міжнародній співпраці [1, с. 4-6].

Проте, вирішальну роль у забезпеченні глобальної конкурентоспроможності відіграє людський капітал як ключовий елемент управління інформацією. Підприємства, що прагнуть ефективно

оперувати міжнародними інформаційними системами, зобов'язані стратегічно інвестувати у підготовку кадрів, розвиток цифрових навичок міжнародних команд та формування корпоративної культури, керованої даними. Без кваліфікованого персоналу, здатного обробляти та інтерпретувати інформацію, навіть найінноваційніші технології не зможуть забезпечити стабільну управлінську перевагу на міжнародній арені.

Обґрунтоване впровадження цих технологій у глобальну економічну стратегію вимагає чіткої послідовності управлінських дій. Цей процес починається з глобального аудиту цілей та оцінки міжнародних джерел даних та IT-інфраструктури. Далі відбувається вибір інструментів, міжрегіональна інтеграція та підготовка даних для обробки, а також створення надійної транскордонної інфраструктури для передачі й захисту інформації. Завершується цикл постійним моніторингом та навчанням глобальних команд, що є основою для розвитку культури, керованої даними, та ефективного управління знаннями [1, с. 7].

У сучасній міжнародній економіці обґрунтована стратегія — це результат синтезу передових технологій (ШІ, Big Data) та кваліфікованого людського капіталу. Саме цей симбіоз, що формує корпоративну культуру, керовану даними, є єдиною запорукою стабільності та прибутковості на глобальній арені.

Список використаної літератури

[1]. Писаревська Г., "Інформаційне забезпечення управління зовнішньоекономічною діяльністю підприємства," *Економіка та суспільство*, вип. 51, с. 1-8, 2023. [Online]. Available: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2485/2404. (Accessed: 20.09.2025).

[2]. Чорненька О., "Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності підприємства в умовах цифрової економіки," *Економіка та суспільство*, вип. 68, с. 1-6, 2024. [Online]. Available: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4862/4802. (Accessed: 20.09.2025).

[3]. Завербний А., Залізна Л., Жук О., "Особливості формування методів прийняття рішень вітчизняними підприємствами у зовнішньоекономічній діяльності: інформаційний аспект," *Економіка та суспільство*, вип. 50, с. 1-6, 2023. [Online]. Available: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2400/2321. (Accessed: 21.09.2025).

[4]. Мотузка О., Гринчак Н., "Стратегічні орієнтири розвитку зовнішньоекономічної діяльності підприємств у середовищі BANI," *Вісник Хмельницького національного університету*, вип. 1, с. 133-138, 2023. [Online]. Available: https://heraldes.khmnu.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/704/719. (Accessed: 23.09.2025).

[5]. Бондарук В., "Цифрові технології в забезпеченні фінансової результативності суб'єктів господарювання у зовнішньоекономічній діяльності," *Економіка та суспільство*, вип. 71, с. 1-6, 2025. [Online]. Available: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5614/5551. (Accessed: 23.09.2025).

УДК 004.056.55

УПРАВЛІННЯ КЛЮЧОВОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ В КАСКАДНИХ СИСТЕМАХ ПОТОКОВИХ ШИФРІВ

Главчев М.І., Главчева Ю.М., Гавриленко С.Ю.
(Maksym.Glavchev@khpi.edu.ua, Yuliia.Hlavcheva@khpi.edu.ua,
Svitlana.Gavrylenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Робота присвячена проблемі управління ключами в каскадних потокових шифрах. Після аналізу недоліків існуючих методів пропонується вдосконалений підхід на основі пам'ять-вимогливої функції Argon2. Методика передбачає посилення початкового секрету за допомогою солі для захисту від атак перебором, після чого з отриманого розширеного ключа детерміновано генеруються всі ключі та вектори ініціалізації для каскаду. Такий підхід гарантує незалежність ключів, є універсальним для секретів з низькою ентропією та значно підвищує надійність криптосистеми..

В сучасному цифровому світі безпека передачі даних є критично важливою. Потокові шифри, завдяки своїй швидкості та низьким вимогам до ресурсів, широко застосовуються в системах реального часу, таких як мобільний зв'язок та бездротові мережі. Проте, з розвитком обчислювальних потужностей, зокрема з появою загрози квантових комп'ютерів, стійкість окремих криптографічних алгоритмів може бути поставлена під сумнів. Каскадне шифрування, що передбачає послідовне застосування кількох алгоритмів, є ефективним підходом для підвищення загальної криптографічної стійкості системи. Такий підхід ускладнює криптоаналіз, оскільки зловмиснику необхідно зламати всі алгоритми в каскаді. Однак каскадування створює нову проблему: ефективне та безпечне управління ключовою інформацією для кількох шифрів одночасно. Розробка надійних методик генерації та розподілу ключів у таких системах є актуальною задачею, спрямованою на побудову захищених та перспективних криптосистем.

Проблема управління ключами в каскадних системах вирішується кількома підходами. Найпростіший метод, пряме дублювання майстер-ключа, є небезпечним через вразливість до атак на пов’язаних ключах [1, 2]. Певним покращенням є розділення ключа, коли довгий секрет ділиться на частини. Проте цей підхід вимагає від майстер-ключа значної початкової довжини та ентропії, що не завжди практично [3].

Найбільш надійним та рекомендованим рішенням є використання функцій виведення ключів (Key Derivation Functions, KDF), що формалізовано у рекомендаціях NIST [4]. KDF — це криптографічний алгоритм, що перетворює початковий секрет (майстер-ключ) та сіль у декілька незалежних, криптографічно стійких ключів потрібної довжини. Стандартизовані реалізації, такі як HKDF 54], дозволяють ефективно "розтягнути" ентропію початкового секрету. Це унеможливлює компрометацію всієї системи, навіть якщо один з похідних ключів буде розкрито, і забезпечує високий рівень безпеки для каскадних конструкцій.

Каскадне шифрування полягає у послідовній обробці відкритого тексту кількома потоковими шифрами. Вихід одного шифру стає входом для наступного:

Шифротекст = E_k3(E_k2(E_k1(Відкритий_текст)))

де E — функція шифрування, а k1, k2, k3 — ключі для відповідних алгоритмів. Основна перевага полягає в тому, що криптостійкість каскаду визначається найсильнішим алгоритмом у ньому, а для повного зламу потрібно скомпрометувати всі алгоритми [6]. Центральною проблемою стає генерація та розподіл ключів k1, k2, ... kN. Необхідно гарантувати, щоб ці ключі були незалежними, криптографічно стійкими та згенерованими з єдиного початкового секрету (майстер-ключа) без втрати безпеки.

Напрямки, що використовуються для вирішення цієї проблеми:

- Пряме дублювання: k1 = k2 = k3 = Майстер-ключ. Просто, але небезпечно. Якщо один алгоритм має вразливість до атак на відомому ключі, вся система стає вразливою.
- Розділення ключа: Майстер-ключ = k1 | k2 | k3. Безпечніше, але вимагає довгого майстер-ключ і не захищає від аналізу залежностей між частинами ключа.
- Функція виведення ключів (KDF): (k1, k2, k3) = KDF(Майстер-ключ, Salt). Найбільш надійний з існуючих методів, що забезпечує псевдовипадковість та незалежність похідних ключів.

Пропонується вдосконалений підхід, що забезпечує максимальний рівень захисту майстер-ключа та гарантує криптографічну якість похідних ключів. Методика полягає у двохетапному процесі: посиленні початкового секрету та подальшому його детермінованому розподілі.

1. Посилення ключа (Key Hardening) за допомогою пам'ять-вимогливої KDF: На цьому етапі застосовується сучасний алгоритм, спеціально розроблений для протидії атакам перебору на спеціалізованому обладнанні (GPU, ASIC). Оптимальним вибором є Argon2, переможець змагання Password Hashing Competition. На відміну від швидких KDF (як HKDF), Argon2 навмисно є "важким": він вимагає значних обчислювальних ресурсів та обсягу пам'яті, що робить перебір надзвичайно повільним і дорогим.

Вхідні дані:

- Майстер-ключ: Початковий секрет. Метод ефективний навіть якщо цей ключ має недостатню ентропію (наприклад, є паролем).
- Сіль (Salt): Унікальне випадкове значення для кожної сесії. Унеможливлює атаки з використанням попередньо обчислених таблиць (rainbow tables).

- Параметри складності: Вартість пам'яті (memory cost), кількість ітерацій (iterations) та ступінь паралелізму (parallelism). Ці параметри дозволяють налаштувати обчислювальну складність, створюючи баланс між безпекою та продуктивністю.

- Процес: Розширений_ключ = Argon2(Майстер-ключ, Salt, параметри_складності)

- Результат: Генерується довгий псевдовипадковий ключ (наприклад, 1024 біти), стійкість якого до перебору значно перевищує стійкість початкового майстер-ключа.

2. Детермінований розподіл ключового матеріалу: Отриманий розширений ключ слугує джерелом ентропії для всіх потреб каскадної системи. Він послідовно ділиться на частини необхідної довжини для кожного потокового шифру.

k1 = перші N біт Розширеного_ключа

k2 = наступні M біт Розширеного_ключа...

Перевага генерації ключа надлишкової довжини полягає в можливості використання залишку для інших криптографічних примітивів, наприклад, для векторів ініціалізації (IV) або ключів автентифікації (MAC), що робить систему більш елегантною та ефективною.

Ця методика створює багатошаровий захист: навіть якщо один із похідних ключів буде скомпрометований, зловмисник не зможе відновити майстер-ключ або інші ключі каскаду.

Розглянемо приклад каскаду із двох потокових шифрів: ChaCha20 (потребує 256-бітний ключ та 96-бітний nonce) та AES-256 в режимі CTR (потребує 256-бітний ключ та 128-бітний IV). Сумарна потреба в ключовому матеріалі: 256 (ChaCha20 ключ) + 96 (ChaCha20 nonce) + 256 (AES ключ) + 128 (AES IV) = 736 біт.

1. Вхідні дані:

- Майстер-ключ: 256-бітний секрет, отриманий за протоколом Діффі-Геллмана.

- Сіль: Випадково згенеровані 128 біт.

2. Генерація розширеного ключа: Використовуємо Argon2id для генерації 768-бітного (96 байт) розширеного ключа з рекомендованими параметрами безпеки (наприклад, OWASP):

- Версія: Argon2id

- Кількість ітерацій (t): 1

- Вартість пам'яті (m): 65536 КБ (64 МБ)

- Паралелізм (p): 4 Розширений_ключ_768_біт = Argon2id(Майстер-ключ, Сіль, t=1, m=65536, p=4)

3. Розподілення ключового матеріалу:

- ключ_ChaCha20 (256 біт) = біти 0-255 Розширеного_ключа

- ключ_AES_CTR (256 біт) = біти 256-511 Розширеного_ключа

- nonce_ChaCha20 (96 біт) = біти 512-607 Розширеного_ключа

- IV_AES_CTR (128 біт) = біти 608-735 Розширеного_ключа

Таким чином, з єдиного посиленого джерела безпечно та детерміновано отримуємо весь необхідний криптографічний матеріал для повноцінної роботи каскаду.

Запропонована методика управління ключовою інформацією є комплексним рішенням, що забезпечує значно вищий рівень безпеки порівняно зі стандартними підходами. Її ключові переваги:

- Максимальний захист майстер-ключа: Використання обчислювально важкої KDF-функції, як Argon2, робить атаки повним перебором практично неможливими навіть за наявності спеціалізованого обладнання.

- Універсальність: Методика однаково ефективна як для високоентропійних секретів, так і для ключів з низькою ентропією (наприклад, паролів), "посилюючи" їх до необхідного рівня стійкості.

- Гарантована незалежність ключів: Детермінований розподіл матеріалу з єдиного псевдовипадкового джерела повністю усуває ризик атак на пов'язаних ключах.

- Ефективність та елегантність: Генерація ключа надлишкової довжини дозволяє централізовано забезпечувати не тільки ключі шифрування, а й інший криптографічний матеріал (IV, nonce), спрощуючи архітектуру системи.

Цей підхід є гнучким, масштабованим і дозволяє створювати криптосистеми з довготривалою стійкістю, що є критично важливим в умовах постійного зростання обчислювальних потужностей та нових криптоаналітичних загроз.

Список використаної літератури

1 J. Kelsey, B. Schneier, and D. Wagner, "Key-Schedule Cryptanalysis of IDEA, G-DES, GOST, SAFER, and Triple-DES," in Advances in Cryptology — CRYPTO '96, vol. 1109, N. Koblitz, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996, pp. 237–251. doi: 10.1007/3-540-68697-5_19.

2. Глачев М.І., Новикова А.В. Загальний підхід до комбінованих шифрівМеждународная научная конференция/ MicroCAD : Секція №21 - Інформати-ка і моделювання - НТУ "ХПИ", 2012. – С.12, https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/c2363a6a-9c41-4f46-aa26-530dd3282e27/download.

2 J. Katz and Y. Lindell, Introduction to Modern Cryptography, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.

3]L. Chen, "Recommendation for Key Derivation Using Pseudorandom Functions," NIST Special Publication 800-108, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, Oct. 2009. [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-108

4 H. Krawczyk and P. Eronen, "HMAC-based Extract-and-Expand Key Derivation Function (HKDF)," IETF, RFC 5869, May 2010. [Online]. Available: https://www.rfc-editor.org/info/rfc5869

5 U. M. Maurer and J. L. Massey, "Cascade Ciphers: The Importance of Being First," Journal of Cryptology, vol. 6, no. 1, pp. 55–61, 1993. doi: 10.1007/BF00191095.

УДК 004.056

ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ЗНИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА МАГНІТНИХ НОСІЯХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Главчев М.І., Панченко В.І.

(Maksym.Glavchev@khpi.edu.ua, Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У даній роботі представлено розробку та дослідження алгоритму знищення інформації на магнітних носіях, що базується на аналізі випадкових послідовностей і багатократному перезаписі даних із динамічним контролем залишкової інформації. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення надійності безпечного видалення конфіденційних даних в умовах зростання обсягів збереження та складності відновлення інформації з магнітних доменів. Запропонований алгоритм поєднує криптографічно стійку генерацію випадкових значень, їх інверсію та аналіз рівня знищення після кожної ітерації перезапису. На основі експоненціальної моделі оцінюється необхідна кількість перезаписів для досягнення цільової ймовірності відновлення. Отримані результати підтверджують, що оптимізація кількості ітерацій на основі аналітичної моделі дозволяє знизити залишкову ймовірність відновлення на кілька порядків при помірних витратах часу. Запропонований підхід може бути використаний у системах безпечного знищення інформації та засобах аудиту ІБ.

Проблема безпечного знищення інформації набуває дедалі більшої актуальності в зв'язку зі зростанням обсягів збережених даних та розвитком методів магнітної форензіки. Традиційні алгоритми багаторазового перезапису, зокрема DoD 5220.22-M або Gutmann, часто не враховують особливості залишкових магнітних ефектів, що дозволяє відновити інформацію навіть після десятків циклів перезапису. Сучасні підходи до захисту даних вимагають формалізованих і адаптивних моделей, які дозволяють оцінити ефективність знищення не емпірично, а через аналітичні показники – насамперед через параметр експоненційного зменшення λ.

Методи безпечного знищення інформації ґрунтуються на багаторазовому записі псевдовипадкових або інверсних шаблонів. У роботах [1–4] розглянуто класичні підходи (Gutmann, DoD 5220.22-M, RCMP TSSIT OPS-II). Дослідження NIST SP 800-88r1 [2] формалізує процедури очищення, але не дає моделей оцінки ймовірності відновлення.

Аналіз сучасних досліджень, проведений у роботі [5], показав широке використання статистичних методів оцінки залишкової ентропії та застосування адаптивних PRNG. Під час

знищення інформації аналізується вплив параметрів носія, швидкості насичення та доменної анізотропії. Ці підходи стали основою для розробки математичної моделі в цій роботі.

Для реалізації алгоритму пропонується така математична модель.

Вірогідність відновлення інформації після k ітерацій перезапису описується експоненційною моделлю:

$$p_{recover}(k)=p_0 e^{-\lambda k},$$

де p_0 – початкова ймовірність відновлення, λ – ефективність однієї ітерації, що залежить від типу носія.

Для досягнення необхідного рівня безпеки p_{target}:

$$K_b \geq \frac{1}{\lambda(b)} ln \frac{p_0(b)}{p_{target}}.$$

Ця формула дозволяє адаптивно обирати кількість ітерацій залежно від характеристик пристрою та рівня ризику.

Алгоритм складається з чотирьох основних етапів:

1. Генерація випадкових значень – за допомогою криптографічно стійкого генератора (наприклад, /dev/urandom).
2. Інверсія шаблону – кожна наступна ітерація записує інверсію попереднього вектора.
3. Аналіз залишкової інформації – після кожної ітерації проводиться read-back-тест, розраховується гаммінгова відстань між поточним та зчитаним шаблоном.
4. Динамічне визначення числа ітерацій – зупинка при досягненні $p_{recover}(k) \leq p_{targetp}$.

При перевірці роботи алгоритму аналізу послідовностей були отримані певні експериментальні результати.

Було виконано калібрування параметра λ для трьох типів носіїв:

- HDD 7200 rpm (1 TB): λ = 0.55,
- HDD 5400 rpm (старий): λ = 0.35,
- LTO стрічка: λ = 0.42.

Відповідні графіки $p_{recover}(k)$ показали, що для сучасних HDD досягнення $p_{target} = 10^{-6}$ вимагає не більше 14 ітерацій, тоді як для стрічкових носіїв – до 17.

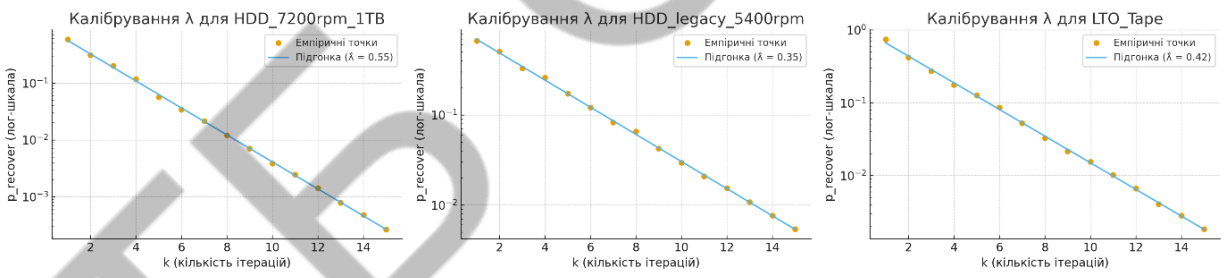


Рисунок 1 – Графіки калібрування λ для різних типів носіїв

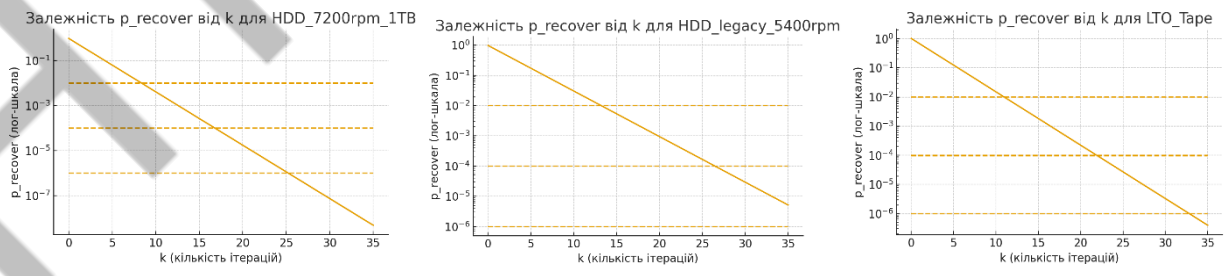


Рисунок 2 – Графіки залежності $p_{recover}(k)$ для різних типів носіїв

Результати експериментів свідчать, що ефективність знищення даних зростає експоненційно зі збільшенням числа ітерацій, але спостерігається зона насичення, де подальше збільшення k не має суттєвого впливу.

Для практичного використання рекомендовано:

- використовувати HA-рівень запису з перевіркою цілісності блоків;
- здійснювати випадкову інверсію шаблонів через непарну кількість циклів;
- застосовувати аналітичну перевірку p_{recover} для адаптивного завершення процедури;
- виконувати логування результатів з метою аудиту процесу стирання.

У результаті дослідження запропоновано формалізований алгоритм безпечного знищення даних на основі аналізу послідовностей, який поєднує методи криптографічної генерації, інверсії та статистичного контролю залишкової ймовірності.

Розроблена модель дозволяє адаптивно підбирати кількість ітерацій для різних типів носіїв і досягати гарантованої незворотності.

Практичні випробування підтверджують, що ймовірність відновлення даних знижується на 5–7 порядків порівняно з класичними методами при менших часових витратах.

Список використаної літератури

[1] Gutmann P. Secure deletion of data from magnetic and solid-state memory. In Proceedings of the 6th conference on USENIX Security Symposium, Focusing on Applications of Cryptography - Volume 6 (SSYM'96). USENIX Association, USA, 1996. 8.

[2] NIST SP 800-88r1. Guidelines for Media Sanitization, 2014. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-88r1

[3] ISO/IEC 27040:2023. Information Security – Storage Security.

[4] Stallings W. Cryptography and Network Security : Principles and Practice. Pearson, 2020. – 832 p. ISBN 1292437480.

[5] Главчев М. І. Гнучкий алгоритм знищення даних на магнітних носіях / М. І. Главчев, Ю. М. Главчева, А. В. Ремез // Інформатика, управління та штучний інтелект : тези 10-ї міжнар. наук.-техн. конф., Харків – Краматорськ – Тернопіль, 10-12 травня 2023 р. / наук. ред. В. Д. Дмитрієнко; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Impress, 2023. – С. 15. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/65072

UDC 004.056.55

CRITERIA FOR THE SELECTION AND THE PRINCIPLE OF STRUCTURAL DIVERSITY IN STREAM CIPHER CASCADING

Maksym Glavchev, Volodymyr Panchenko, Yehor Bulykin
(Maksym.Glavchev@khpi.edu.ua, Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua, Yehor.Bulykin@cs.khpi.edu.ua)
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

The study substantiates the critical importance of applying the principle of structural diversity in the selection of stream ciphers for cascaded cryptographic systems. It examines the risks associated with homogeneous cascading, where a single vulnerability within one class of algorithms may result in the complete compromise of the entire system. The paper formulates key criteria for selecting cryptographic primitives, emphasizing their mathematical foundations, resilience against diverse categories of cryptanalytic attacks, and computational efficiency. As a practical illustration, the effectiveness of a heterogeneous cipher pair – AES-CTR and ChaCha20 – is demonstrated and analyzed.

Previous studies have demonstrated that cascading is an effective method for enhancing the theoretical robustness of cryptographic systems [1, 2]. However, the mechanical combination of several ciphers without considering their internal structure may fail to achieve the desired security improvement and can leave the system vulnerable. If all cascade components belong to the same family of algorithms, the discovery of a fundamental weakness within that family could compromise the entire cascade simultaneously. The purpose of this study is to substantiate the necessity of applying the principle of structural diversity and to formulate practical recommendations for selecting algorithms in the design of reliable cascaded cryptographic systems.

In cryptography, two fundamentally different approaches to selecting components for cascaded systems are considered:

- Homogeneous cascading: The combination of two or more cryptographic primitives that belong to the same structural class (for example, two SPN ciphers or two ARX ciphers). The principal drawback of this approach is the preservation of common algebraic properties and vulnerabilities.

- Heterogeneous (structurally diverse) cascading: The combination of algorithms based on fundamentally different mathematical principles (for example, SPN + ARX). This approach underpins the construction of robust systems, since it forces an adversary to overcome multiple independent cryptanalytic barriers.

A cascade is termed homogeneous if it comprises ciphers that share similar or identical internal structures (for example, two SPN ciphers). This approach carries several latent risks:

- Vulnerability to class attacks (class breaks): A breakthrough in cryptanalysis affecting an entire class of algorithms (for instance, a new attack on S-box structures) can simultaneously compromise all components of the cascade.

- Preservation of algebraic properties: Some ciphers may exhibit similar algebraic characteristics that are not eliminated by composition and may, in the worst case, introduce new vulnerabilities.

- Ineffectiveness against emerging threats: If all ciphers in the cascade are susceptible to a particular threat (e.g., attacks exploiting quantum computing), then the cascade offers no additional protection against that threat.

The foundation for constructing a robust cascade is the principle of structural diversity. This principle involves the deliberate selection and combination of cryptographic primitives that are based on fundamentally different mathematical principles and internal structures.

The primary objective is to compel a hypothetical adversary to devise and deploy multiple, entirely different, and mutually independent attacks to break the system. The security of such a system is determined not merely by the product of individual strengths, but by the complexity of solving several fundamentally distinct mathematical problems. When constructing a heterogeneous (structurally diverse) cascade, the following criteria should be observed:

1. Distinct mathematical foundations. This is the most important criterion. It is recommended to combine ciphers from different families:

- SPN ciphers (Substitution–Permutation Network): Based on iterative application of substitution tables (S-boxes) and bit permutation. A canonical example is AES [2].

- ARX ciphers (Add–Rotate–XOR): Employ only three simple and fast operations – modular addition (e.g., mod 2^{32}), cyclic shift (rotation), and XOR. Examples include ChaCha20 and Salsa20 [3].

- LFSR-based ciphers (Linear Feedback Shift Register): Although less common in modern software, they possess a fundamentally different structure. Example: Trivium.

2. Resistance to different classes of attacks. The selected algorithms should be complementary. For instance, one cipher might exhibit particular strength against differential cryptanalysis while another is especially resilient to linear cryptanalysis.

3. Independence of development teams. Algorithms designed by independent teams of cryptographers are less likely to share identical design flaws or weaknesses.

4. Performance on the target platform. An effective combination can pair a cipher with hardware support (e.g. AES with AES-NI) with a cipher that demonstrates high software performance (e.g. ChaCha20).

The combination of AES (used in the stream-cipher mode CTR) and ChaCha20 is an excellent example of applying the structural diversity principle; it has been reflected in contemporary Internet standards such as TLS 1.3 [4].

Features of AES-CTR:

- Structure: SPN (substitution–permutation).

- Security basis: Robustness derives from the complexity of analyzing S-boxes and the diffusion properties of the design [3].

- Strengths: Widely adopted standard; hardware acceleration available on most modern processors.

Features of ChaCha20

- Structure: ARX (addition–rotation–XOR operations).

- Security basis: Robustness relies on the nonlinearity emerging from the combination of XOR and modular addition operations [4].

- Strengths: Very high software performance; resilience to timing attacks.

Assessing the resilience of this pair: an attack effective against the S-box structure of AES would be ineffective against the ARX structure of ChaCha20, and vice versa. Breaking such a cascade would require an adversary to discover fundamental weaknesses in two entirely different cipher classes – a substantially more difficult task. The selection of a specific heterogeneous pair depends on system-specific requirements: performance targets, deployment platform, and the threat model. Below is a comparative table of several effective combinations (Table 1).

Table 1 – Comparison of Heterogeneous Cipher Combinations

Combination	Structure	Security Advantages	Disadvantages / Features
AES-CTR + ChaCha20	SPN + ARX	Excellent balance; hardware acceleration for AES; high software performance of ChaCha20.	Standard and reliable combination for most modern applications [5].
ChaCha20 + Trivium	ARX + LFSR	Maximum structural diversity; very high speed in hardware implementations (Trivium).	Trivium is less common in software; may be redundant for typical use cases.
AES-CTR + (PQC)	SPN + (PQC)	Quantum resistance; protection against “store-now, decrypt-later” attacks.	Noticeable performance overhead; post-quantum algorithms are still undergoing standardization [6].

A post-quantum component (PQC) in a cryptographic cascade can be represented either by a stream cipher constructed on post-quantum primitives or by a hybrid scheme employing a Key Encapsulation Mechanism (KEM), such as CRYSTALS-Kyber, for session key generation.

However, simple cipher cascading does not guarantee an actual increase in security unless the principle of structural diversity is applied. The selection of algorithms based on fundamentally different mathematical foundations – such as SPN and ARX – represents a key strategy for constructing cryptosystems resistant to both current and emerging cryptanalytic attacks. This approach minimizes the risk of class breaks and substantially increases the cost of an attack by forcing an adversary to overcome several independent layers of protection.

References

[1] Glavchev M. I. Zagalnii pidkhid do kombinovanikh shifriv [General Approach to Combined Ciphers] / M. I. Glavchev , A. V. Novikova // *Abstract Book of XX International Scientific-Practical Conference “Information Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health (MicroCAD–2012)”, [15-17 May 2012] :* P. IV. Kharkiv, Ukraine, 2012. – P. 12. [in Ukrainian] URI : https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/52315

[2] Maurer U. M., Massey J. L. Cascade ciphers : The importance of being first. *J. Cryptology* 6, 1993. pp. 55–61. https://doi.org/10.1007/BF02620231

[3] National Institute of Standards and Technology. Advanced Encryption Standard (AES) (FIPS PUB 197). U.S. Department of Commerce, 2001. https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.197

[4] Bernstein D. J. ChaCha, a variant of Salsa20. *The State of the Art of Stream Ciphers SASC 2008*, 2008. URL : https://cr.yp.to/chacha/chacha-20080120.pdf

[5] Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. (RFC 8446). *Internet Engineering Task Force*, 2018. https://doi.org/10.17487/RFC8446

[6] Alagic G., et al. Status Report on the Third Round of the NIST Post-Quantum Cryptography Standardization Process (NISTIR 8413). National Institute of Standards and Technology, 2022. https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8413

УДК 004.056.5

УПРАВЛІННЯ, ОБРОБКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВЕБ-САЙТАХ ТА ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ

Гладкоскок О. М. (sgladkoskoka@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У роботі розглянуто сучасні методи управління, обробки та захисту інформації у веб-сайтах і програмному забезпеченні. Розкрито значення управління інформаційними потоками, показано технічні рішення для безпечної обробки даних і відповідності міжнародним стандартам. Наведено приклади сучасних технологій для забезпечення захищеності веб-ресурсів і серверної інфраструктури. Підкреслено роль безперервного моніторингу, аналітики й автоматизації у побудові ефективної системи інформаційної безпеки.

Управління інформацією — це складний процес організації, зберігання, контролю доступу та раціонального використання даних у межах інформаційної системи.

У сучасних умовах кожен веб-сайт, мобільний додаток чи програмний комплекс обробляє значні обсяги інформації, включно з персональними даними, комерційною інформацією або статистикою користувачів. Такий масштаб вимагає системного підходу до побудови інформаційної інфраструктури, що забезпечує структурованість, актуальність і безпеку даних.

Основою ефективного управління є єдина політика роботи з даними (Data Governance), яка визначає правила їх збирання, зберігання, передачі й знищення. Для цього створюються централізовані сховища даних (Data Warehouses) або розподілені бази (Data Lakes). У практиці IT-компаній активно застосовуються як реляційні (MySQL, PostgreSQL, Oracle DB), так і нереляційні бази (MongoDB, Cassandra), що забезпечують масштабованість і високу швидкість обробки запитів.

У корпоративних середовищах поширене використання хмарних технологій (AWS, Azure, Google Cloud), які надають інструменти для резервного копіювання, аналітики та керування доступом. Для великих систем ефективною є мікросервісна архітектура, у якій кожен модуль виконує окрему бізнес-функцію (наприклад, обробка замовлень, аналітика або білінг). Такі сервіси взаємодіють через API-шлюзи (Kong, AWS API Gateway), які здійснюють автентифікацію, фільтрацію трафіку та контроль навантаження.

Важливо впроваджувати системи логування (Audit Trails), контролю версій (Git, CI/CD) і моніторингу (Prometheus, Zabbix), щоб забезпечити прозорість процесів і швидке реагування на інциденти. Управління інформацією стає фундаментом для прийняття стратегічних рішень, аналізу ефективності та дотримання стандартів безпеки (GDPR, ISO/IEC 27001).

Обробка інформації охоплює етапи збору, перевірки, перетворення, зберігання та аналітичного використання даних. На початковому етапі виконується валідація введених користувачем даних, що дозволяє запобігти технічним помилкам і кіберзагрозам, таким як SQL-ін’єкції або XSS-атаки. Для цього використовуються інструменти Express Validator, Joi, а також функції валідації у фреймворках Django, Flask, Laravel.

Після перевірки дані проходять нормалізацію та стандартизацію — наприклад, узгодження форматів дат, валют, ідентифікаторів (UUID). Такий підхід спрощує подальшу обробку та унеможливлює дублювання записів.У великих системах обробка здійснюється засобами Big Data — Apache Spark, Hadoop, Google BigQuery. Вони дозволяють працювати з мільярдами записів, розподіляючи навантаження між численними вузлами серверів. Важливою складовою є ETL-процеси (Extract – Transform – Load), які автоматизують збирання, очищення та інтеграцію даних з різних джерел у єдине сховище.

Сучасні організації також застосовують потокову обробку (Stream Processing) для аналізу інформації у реальному часі — наприклад, моніторинг транзакцій у банках або аналіз телеметрії у транспортних системах. Моніторинг якості даних забезпечується через системи логування (ELK Stack, Graylog), а візуалізація результатів виконується на аналітичних панелях (Grafana, Kibana, Power BI).

Обробка даних стає дедалі інтелектуальнішою — сучасні алгоритми машинного навчання (TensorFlow, Scikit-learn) допомагають не лише аналізувати, а й прогнозувати події, що підвищує точність бізнес-рішень і оптимізує процеси.

Захист інформації — критично важлива частина інформаційної інфраструктури, спрямована на збереження конфіденційності, цілісності та доступності даних.

Він включає як технічні, так і організаційні заходи. До технічних належать автентифікація користувачів (OAuth 2.0, OpenID Connect, JWT), шифрування передавання (TLS 1.3) та зберігання інформації (AES-256).

Безпечне зберігання паролів забезпечується хешуванням за алгоритмами bcrypt або Argon2, що унеможливлює їх відновлення навіть у разі компрометації бази даних.Для запобігання вразливостям застосовується регулярне тестування безпеки (Snyk, SonarQube), аудит коду та пентестинг, орієнтований на OWASP Top 10.

Захист мереж і серверів підтримується системами IDS/IPS (Snort, Suricata, OSSEC), які аналізують трафік у реальному часі та реагують на підозрілу активність.

Хмарні середовища потребують додаткового рівня безпеки — контроль ключів шифрування (KMS), моніторинг доступів (IAM) і журналювання операцій (CloudTrail).Організаційні заходи охоплюють навчання персоналу, розробку політик безпеки, обмеження доступу до конфіденційної інформації та управління інцидентами (Incident Response Plan).

Ефективна система кіберзахисту базується на принципах багаторівневої оборони (Defence in Depth), коли всі компоненти — від користувацького інтерфейсу до бази даних — мають власні механізми захисту.

Отже, управління, обробка та захист інформації утворюють єдину екосистему, спрямовану на забезпечення стабільності IT-систем і збереження даних. У сучасному світі інформація — це стратегічний ресурс, тому її безпека має бути вбудованою на всіх рівнях архітектури. Розвиток технологій штучного інтелекту, хмарних обчислень і автоматизованої аналітики вимагає нових підходів до контролю даних. Реалізація принципів 'Security by Design' та 'Data-Driven Decision Making' дозволяє компаніям ефективно керувати ризиками, забезпечуючи безперервність бізнес-процесів і довіру користувачів.

Список використаної літератури

[1] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 27001:2022 — Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection — Information Security Management Systems*, Geneva, Switzerland, 2022.

[2] Національний банк України, *Постанова № 95 «Про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в інформаційних системах банків України»*, Київ, Україна, 2020.

[3] OWASP Foundation, *Top 10 Web Application Security Risks*, OWASP, 2024.

[4] Microsoft Corporation, *Azure Security and Identity Management Documentation*, Redmond, WA, USA, 2024.

УДК 004.94.5-049.5

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Гладченко О.В., Мітла М.О. (gov_2016-2017ns@ukr.net, mitlamaria13@gmail.com)
Державний податковий університет (Україна)

У тезах розглянуто моделювання систем безпеки в операційних системах як ключовий чинник забезпечення інформаційної безпеки. Проаналізовано класичні моделі Белла-ЛаПадули, Біби та Кларка-Вілсона, методики оцінки ризиків STRIDE і DREAD, а також сучасні підходи із застосуванням машинного навчання, блокчейну та квантово-стійкої криптографії. Підкреслено, що поєднання традиційних і інтелектуальних моделей сприяє створенню адаптивних і надійних систем захисту.

У сучасному світі інформаційна безпека є одним із найважливіших чинників стабільності функціонування інформаційних систем. Зі зростанням рівня цифровізації та обсягу даних, що зберігаються й обробляються в комп’ютерних мережах, операційні системи стають основною мішенню для кібератак. Саме вони забезпечують керування ресурсами, розмежування доступу, автентифікацію користувачів та контроль над процесами. Тому розроблення ефективних моделей

безпеки в операційних системах має вирішальне значення для захисту даних від несанкціонованого доступу, модифікації чи знищення [1, с. 118].

Так, моделювання систем безпеки передбачає створення формалізованого опису процесів, які визначають взаємодію користувачів і ресурсів, політики доступу, а також механізми виявлення і запобігання порушенням безпеки. Окреслене дозволяє не лише аналізувати ефективність наявних механізмів, а й проєктувати нові системи захисту на етапі їхньої розробки. Моделювання безпеки в операційних системах ґрунтується на базових принципах інформаційної безпеки – конфіденційності, цілісності та доступності (CIA-тріада) [2, с. 16].

Однією з класичних концепцій у сфері інформаційної безпеки є модель Белла-ЛаПадули (Bell-LaPadula), що орієнтована на забезпечення конфіденційності інформації. Її основою є суворе дотримання правил доступу до даних відповідно до рівнів секретності. Модель формулює два базові принципи: «заборона читання зверху» (no read up), що унеможливлює доступ користувача з нижчим рівнем допуску до інформації вищого рівня секретності, та «заборона запису вниз» (no write down), яка запобігає витоку конфіденційних даних у нижчі рівні системи [3, с. 52-53].

На відміну від неї, модель Біби (Biba) спрямована не на конфіденційність, а на забезпечення цілісності даних. Її метою є запобігання несанкціонованим або помилковим модифікаціям інформації. Відповідно, вона ґрунтується на протилежних правилах: «заборона запису зверху» (no write up) і «заборона читання знизу» (no read down), що виключає можливість внесення змін у дані користувачами з нижчими рівнями довіри. Модель Кларка-Вілсона (Clark-Wilson) є більш прикладною та орієнтованою на збереження узгодженості та правильності операцій із даними. Вона запроваджує поняття контрольованих трансакцій і рольової моделі доступу, що забезпечує розмежування обов'язків між користувачами. Завдяки цьому досягається вища надійність системи, а ризик порушення цілісності інформації мінімізується [4, с. 12-13]. У сукупності зазначені моделі формують теоретичну основу сучасних систем захисту інформації, визначаючи базові принципи забезпечення конфіденційності, цілісності та узгодженості даних у багаторівневих інформаційних середовищах.

На нашу думку, в операційних системах загрози інформаційній безпеці поділяються на кілька основних типів: несанкціонований доступ, шкідливе програмне забезпечення, експлуатація вразливостей, атаки типу «відмова в обслуговуванні» (DoS/DDoS), а також соціальна інженерія. Кожен з окреслених видів загроз може призвести до порушення конфіденційності, цілісності або доступності інформації, що зумовлює необхідність системного підходу до їхнього аналізу та попередження.

Для ідентифікації та оцінювання ризиків безпеки широко використовуються методики STRIDE та DREAD. Методика STRIDE (Spoofing, Tampering, Repudiation, Information Disclosure, Denial of Service, Elevation of Privilege) дозволяє класифікувати загрози за типами впливу на систему – від підробки автентифікаційних даних до підвищення привілеїв користувача. Своєю чергою, модель DREAD (Damage, Reproducibility, Exploitability, Affected Users, Discoverability) застосовується для кількісної оцінки ризику, визначаючи потенційну шкоду, ймовірність відтворення та масштаби ураження. Особливу роль у сучасному аналізі кіберризиків відіграють метрики безпеки, які дозволяють оцінювати ефективність заходів захисту та рівень зрілості системи. До найважливіших показників належать: MTTD (Mean Time To Detect) – середній час виявлення інциденту, MTTR (Mean Time To Respond) – середній час реагування на загрозу, а також коефіцієнт стійкості системи, що відображає її здатність відновлювати працездатність після атаки. Аналіз цих показників забезпечує можливість порівняльної оцінки ефективності різних операційних систем, а також сприяє оптимізації їхньої архітектури з погляду надійності та захищеності [5, с. 105-106].

Сучасні тенденції розвитку операційних систем демонструють перехід від статичних моделей безпеки до адаптивних і інтелектуальних систем, здатних до самонавчання та динамічного реагування на загрози. Одним із перспективних напрямів є впровадження машинного навчання для аналізу поведінки користувачів і виявлення нетипових дій у реальному часі [6, с. 57]. Також активно розвиваються блокчейн-технології, що забезпечують незмінність і прозорість журналів доступу [7, с. 172], та квантово-стійка криптографія, яка гарантує захист даних у майбутніх обчислювальних середовищах. Інтеграція таких технологій створює підґрунтя для побудови інтелектуальних кіберзахисних систем, які поєднують аналітику великих даних, прогнозування ризиків та автоматизоване реагування на інциденти [8, с. 375-376].

Отже, моделювання систем безпеки в операційних системах є невіддільною частиною процесу забезпечення інформаційної безпеки. Воно дозволяє створювати формальні структури, що описують взаємодію користувачів і ресурсів, аналізувати ризики та прогнозувати ефективність захисних механізмів. Класичні моделі, такі як Белла-ЛаПадули, Біби чи Кларка-Вілсона, і досі залишаються теоретичною основою побудови систем контролю доступу, тоді як сучасні інтелектуальні підходи розширюють їх можливості внаслідок адаптивності та машинного навчання. Поєднання формальних моделей і новітніх технологій дозволяє створювати гнучкі, динамічні та надійні системи безпеки, здатні ефективно протистояти сучасним кіберзагрозам. Зазначене свідчить про те, що подальші дослідження у сфері моделювання безпеки мають бути спрямовані на інтеграцію штучного інтелекту, поведінкової аналітики та прогнозних механізмів у структуру операційних систем.

Список використаної літератури

[1] Ткачук Р.Л., Полотай О.І., Балацька В.С., Брич Т.Б., Кухарська Н.П. Моделювання захисту операційних систем від реалізації кібератак з використанням критерію Пірсона. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2025. Том. 31. С. 117-125. URL: https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/2932

[2] Дженюк Н.В. Методологічні основи захисту в соціокіберфізичних системах. *Сучасний захист інформації*. 2024. № 4 (60). С. 16-29. URL: https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/3055

[3] Samoylenko H., Yurchenko Y. Features of mathematical rationale for a complex data security system of a medical enterprise. *Математичні машини і системи.* 2023. № 4. С. 51-57. URL: http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2023/2023_4/04_23_Samoylenko.pdf

[4] Борисенко О.В., Корнієнко Б.Я. Аналіз математичних моделей інформаційної безпеки. *Комп'ютерні системи та мережні технології*: матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 19-21 квітня 2018 р.) / Національний авіаційний університет. Київ, 2018. С. 11-13. URL: https://csnt.nau.edu.ua/files/2018/sbirnyk2018.pdf#page=12

[5] Огурцов М.І., Поліновський В.В. Методи та алгоритми застосування УАК при побудові реактивних систем захисту інформації. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2014. Том. 1, № 7. С. 103-110. URL: http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/46344

[6] Бучик С.С., Шматко В.О. Виклики та перспективи використання машинного навчання у запобіганні доменним атакам. *Прикладні системи та технології в інформаційному суспільств*: матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 29 вересня 2023 р.) / Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2023. С. 48-56. URL: http://kist.ntu.edu.ua/konferencii/41_konf_2023.pdf

[7] Рябчун Ю., Компанець Д., Хроленко В., Попович Н. Застосування блокчейн-технологій в забезпеченні цілісності даних у логістичних системах. *Управління розвитком складних систем*. 2025. № 62, С. 170-176. URL: http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/335166

[8] Клімушин П., Хруслов М., Гнусов Ю., Мальцев В. Системи генерування криптографічних ключів для модулів безпеки з апаратною підтримкою пристроїв IoT. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том. 1, № 29. С. 373-404. URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/886

УДК 004.588

ПРЕДСТАВЛЕННЯ (VIEWS) У СУЧАСНИХ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ДАНИХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ, БЕЗПЕКИ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Гловин Н.А., Вовк Р.Б. (nataliia.hlovyn-po231@nung.edu.ua, r.vovk@nung.edu.ua)
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)

У роботі розглянуто концептуальні, архітектурні та прикладні аспекти використання представлень (views) у реляційних базах даних. Проаналізовано їхню роль у забезпеченні логічного рівня абстракції, підвищенні продуктивності, захисті даних і спрощенні адміністрування складних структур. Наведено класифікацію представлень на віртуальні та матеріалізовані,

описано їхні відмінності, механізми реалізації та вплив на ефективність управління даними. Особливу увагу приділено порівняльному аналізу реалізацій представлень у провідних системах управління базами даних — Oracle, PostgreSQL та MySQL, із фокусом на питаннях безпеки, масштабованості та підтримки оновлення. Розкрито приклади практичного застосування представлень у корпоративних та фінансових інформаційних системах, зокрема для забезпечення принципу найменших привілеїв, анонімізації чутливої інформації та формування аналітичних звітів. Окремий розділ присвячено сучасним тенденціям інтеграції представлень у процеси машинного навчання та штучного інтелекту. Показано, що views можуть виступати як динамічні сховища ознак (feature stores), що спрощують підготовку даних для моделей ML і сприяють побудові ефективних аналітичних рішень. Зроблено висновок, що представлення залишаються одним із ключових інструментів реляційної парадигми, який еволюціонує від засобу абстрагування даних до активного елементу інтелектуальних систем обробки та аналізу інформації.

У сучасному технологічному середовищі, де темпи зростання обсягів інформації мають експоненційний характер, реляційні бази даних (РБД) залишаються базовою парадигмою організації, зберігання, аналізу та обробки даних. Одним із ключових механізмів, що забезпечують гнучкість у роботі з даними, виступають представлення (views). Вони слугують потужним інструментом спрощення доступу, підвищення рівня безпеки та ефективності взаємодії користувачів з інформаційними структурами. Запропоновані Едгаром Ф. Коддом у 1970 році як складова реляційної моделі даних, представлення забезпечують створення віртуальних таблиць, що формуються динамічно на основі SQL-запитів, не потребуючи фізичного дублювання даних. Саме завдяки цьому механізму досягається баланс між продуктивністю, структурною узгодженістю та інформаційною безпекою.

У контексті SQL представлення визначаються як віртуальні таблиці, сформовані на основі наборів результатів SQL-інструкцій. Їхня динамічна природа дозволяє будувати логічні відображення фізичних таблиць без необхідності створення додаткових копій даних. Залежно від принципів реалізації розрізняють два основні типи представлень — віртуальні та матеріалізовані. Останні (materialized views) дають змогу зберігати результати обчислень у вигляді фізичних таблиць, що суттєво підвищує швидкодію при повторному виконанні складних запитів [1]. Віртуальні представлення, навпаки, не містять збережених даних — вони генеруються під час виконання запиту, забезпечуючи актуальність, цілісність і економію пам’яті. У цьому контексті обидва підходи мають власні переваги: віртуальні — для оперативності та синхронізації з базовими таблицями, матеріалізовані — для оптимізації продуктивності при роботі з великими обсягами даних.

Структурна організація представлень у РБД передбачає наявність трьох взаємопов’язаних компонентів. По-перше, визначення запиту, яке задається оператором SELECT і визначає логічний зміст представлення, із використанням операторів об’єднання (JOIN), умов фільтрації (WHERE), групування (GROUP BY) та агрегатних функцій. По-друге, метадані, що описують атрибути представлення, його параметри безпеки, права доступу користувачів і зберігаються у системному каталозі СУБД. І, по-третє, зв’язок із базовими таблицями, завдяки якому представлення відображає актуальний стан даних. Виняток становлять матеріалізовані представлення, які потребують періодичного оновлення через спеціальні механізми рефрешу.

Одним із найважливіших призначень представлень є забезпечення логічного рівня абстракції, який ізолює користувачів та прикладні системи від фізичної структури даних. Це означає, що зміни у фізичній організації бази — наприклад, нормалізація чи реструктуризація таблиць — не впливають на зовнішні запити, оскільки логічна модель залишається стабільною. Таким чином, представлення виступають проміжним рівнем між прикладним програмним забезпеченням та фізичним шаром зберігання даних, виконуючи роль «контракту» між користувацьким і внутрішнім рівнями моделі.

Важливою функцією представлень є також оптимізація продуктивності та підвищення узгодженості даних. Матеріалізовані представлення дозволяють зменшити навантаження на обчислювальні ресурси за рахунок повторного використання вже підготовлених результатів складних аналітичних запитів. Водночас віртуальні представлення гарантують актуальність інформації, формуючи результати безпосередньо під час запиту. Комбіноване використання цих

підходів разом із такими механізмами СУБД, як індексація, тригери чи збережені процедури, утворює основу ефективних стратегій управління даними та створює передумови для побудови гнучких, масштабованих інформаційних систем.

З розвитком сучасних СУБД можливості представлень значно розширилися, перетворюючись із засобу абстрагування на інструмент підвищення безпеки, ефективності та керованості даних. У системі Oracle впроваджено технологію *Virtual Private Database (VPD)*, що використовує представлення для реалізації безпеки на рівні окремих рядків (*row-level security*), динамічно додаючи обмеження до запитів [2]. У PostgreSQL реалізовано підтримку матеріалізованих подань, які можуть оновлюватися як вручну, так і автоматично за розкладом, що підвищує ефективність обробки аналітичних запитів. У MySQL також передбачено роботу з простими та складними представленнями: перші допускають оновлення даних із синхронізацією базових таблиць, тоді як другі — особливо при використанні об’єднань, агрегатів чи підзапитів — часто залишаються лише для читання. Таким чином, кожна СУБД реалізує власну специфіку управління views, забезпечуючи різний баланс між гнучкістю, швидкодією та безпекою.

Не менш важливою є роль представлень у забезпеченні інформаційної безпеки. Вони реалізують принцип найменших привілеїв, обмежуючи доступ користувачів до окремих атрибутів або записів. Це є критично важливим для систем, що містять персональні або комерційно чутливі дані. Наприклад, у корпоративній базі даних можна створити представлення, яке відображатиме лише службову інформацію — ідентифікатор працівника, прізвище та посаду, приховуючи персональні дані чи фінансові показники:

```
CREATE VIEW employee_s_v AS
SELECT employee_id, last_name, j_title
FROM employees
WHERE department_id = 20
WITH CHECK OPTION;
```

Опція WITH CHECK OPTION гарантує, що будь-які модифікації через представлення відповідатимуть визначеним умовам відбору. Такі механізми, доповнені можливостями шифрування чи анонімізації, істотно підвищують рівень інформаційної безпеки та зменшують ризик несанкціонованого доступу [3]. Представлення, таким чином, стають ключовим елементом безпечної архітектури даних у корпоративних інформаційних системах. Крім того, представлення можуть бути ефективним інструментом реалізації мультиорендної архітектури (multi-tenant architecture), коли одна база даних обслуговує кілька незалежних користувацьких середовищ. За допомогою логічних представлень можна забезпечити персоналізований доступ до даних кожного клієнта без фізичного дублювання таблиць. Це підвищує рівень ізоляції інформації, мінімізує ризики витоку та знижує адміністративні витрати на підтримку безпеки. У поєднанні з контролем доступу на рівні політик (policy-based access control) представлення виступають важливим компонентом комплексної системи безпеки.

Практичні приклади підтверджують ефективність views у галузях, де критичними є надійність і захист інформації. У фінансовому секторі представлення використовуються для формування аналітичних звітів про транзакції, дозволяючи аналізувати великі обсяги даних без розкриття конфіденційних реквізитів. Наприклад:

```
CREATE VIEW transaction_analytics AS
SELECT t.transaction_date, t.transaction_type, SUM(t.amount) AS total_amount
FROM transactions t
JOIN accounts a ON t.account_id = a.account_id
WHERE t.transaction_date BETWEEN '2025-01-01' AND '2025-12-31'
GROUP BY t.transaction_date, t.transaction_type
WITH CHECK OPTION;
```

Таке представлення агрегує дані про фінансові операції, обмежуючи доступ лише до аналітичних показників, і водночас забезпечує дотримання принципів безпеки завдяки опції WITH

CHECK OPTION. Для банківських структур подібні механізми дозволяють поєднати швидкість аналітики, прозорість регуляторної звітності та збереження конфіденційності клієнтських даних.

В останні роки представлення у РБД почали відігравати значну роль у контексті інтеграції з системами машинного навчання (ML) та штучного інтелекту (ШІ). У цьому середовищі вони функціонують як динамічні сховища ознак (feature stores), що формують готові набори даних для навчання моделей. Замість статичних таблиць представлення забезпечують автоматизоване створення, фільтрацію та трансформацію даних у зручному для ML-алгоритмів форматі. У таких СУБД, як PostgreSQL (з модулем PL/Python) або SQL Server Machine Learning Services, можлива реалізація складних обчислень безпосередньо в SQL-запитах із використанням віконних функцій, агрегатів та користувацьких функцій (UDF). Це відкриває можливості побудови багаторівневих шарів обробки даних із використанням кешування результатів через матеріалізовані представлення. Проте в масштабних розподілених системах, таких як Snowflake чи BigQuery ML, зростає потреба в оптимізації, оскільки складні обчислення можуть знижувати продуктивність запитів на 15–25%. Крім того, інтеграція з бібліотеками машинного навчання, такими як scikit-learn, часто потребує експорту даних, що може призвести до часових затримок і втрати актуальності.

Отже, представлення у реляційних базах даних залишаються одним із найважливіших інструментів для забезпечення гнучкості, безпеки та ефективності управління даними. Від віртуальних views, що гарантують актуальність інформації, до матеріалізованих, які прискорюють аналітичні процеси, вони еволюціонують до елементів інтелектуальних платформ обробки даних. У перспективі їх розвиток тісно пов'язується з концепціями федеративного навчання, етичних алгоритмів та автоматизованої аналітики, що формує основу для створення масштабованих, адаптивних та етично орієнтованих інформаційних систем нового покоління.

Список використаної літератури

[1] Терешко, Д. С., Бабюк, Н. П. Методи оптимізації зберігання великих масивів даних у базах даних. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2024. С. 346.
[2] Roland, S. Creating a personal view on the data via using a Virtual Private Database. PhUSE Annual Conference Proceedings, 2014.
[3] Козлов, С. М. Сучасні інформаційні технології: Бази даних. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2018.

УДК 004.49

МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ВТОРГНЕНЬ НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ ПРАВИЛ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ

Горбатов В.С., Журба А.О.
(vytalygorbatovwork@gmail.com, annette.zhurba@gmail.com)
Український державний університет науки та технологій (Україна)

У роботі представлено практико-орієнтований метод класифікації мережевих атак, що використовує існуючі оптимізаційні механізми систем виявлення вторгнень (IDS), зокрема, структуру Fast Pattern (FP). Традиційні сигнатурні IDS генерують велику кількість деталізованих подій, що ускладнює оперативне сортування та аналітичну звітність. Запропонований підхід долає це обмеження шляхом побудови таксономії класів атак (Attack Class, AC) поверх чинних сигнатур, без необхідності ручної розмітки трафіку. Показано, як раннє FP-зіставлення слугує ефективним евристичним фільтром для швидкого відбору кандидатних правил, а формалізований механізм скорингу та розв'язання конфліктів забезпечує високу чистоту (purity) та стабільність класифікації при оновленні баз сигнатур (churn). Результати пілотного застосування підтверджують здатність методу підвищувати ефективність реагування за рахунок агрегації звітів на рівні змістовних класів загроз.

Сучасні системи виявлення мережевих вторгнень (NIDS) змушені оперувати колосальними базами сигнатур, кількість яких може сягати сотень тисяч деталізованих правил. Хоча така

деталізація критично важлива для точного виявлення, вона створює значну проблему для операційного рівня: звіти містять перелік сирих ідентифікаторів (SID), які не надають миттєвого контексту для пріоритизації та реагування. Аналітики потребують узагальнених класів загроз («сканування портів», «протокольні аномалії» тощо), а не простого переліку спрацювань; саме тому в практиці SOC широко застосовують кореляцію/агрегацію алертів для підвищення змістовності інцидентів [1].

З огляду на це, в роботі пропонується метод класифікації, який інтегрується безпосередньо в існуючу інфраструктуру IDS, використовуючи її внутрішні оптимізаційні активи. Центральною ідеєю є використання механізму Fast Pattern (FP) — короткого рядкового патерна, що є частиною сигнатури і застосовується для обчислювально дешевого, раннього відсіювання трафіку перед повною перевіркою правила. У Snort FP вибирається автоматично (зазвичай найдовший фрагмент) або маркується через опцію fast_pattern; саме він визначає, чи піде пакет/потік на подальшу дороговартісну перевірку опцій правила. Таким чином, FP уже слугує евристичною ознакою, яка групує багато деталізованих правил за спільним низькорівневим підрядком і різко звужує простір пошуку [2].

Запропонований метод формалізує використання цієї евристичної ознаки для побудови Класів Атак (AC). Витягуються ключові FP-патерни з правил, формуючи кандидатні FP-кластери (множини правил, що мають спільний FP). Далі ці кластери оцінюються за метриками покриття (скільки правил охоплено), селективності (наскільки патерн вузький) та нестабільності (churn) при оновленні правил. Для пріоритезації кластерів і подальшого конструювання AC використовується оптимізаційна функція скорингу:

$$J(p) = w_1 \cdot \mathrm{cov}\,erage(p) + w_2 \cdot selectivity(p) - w_3 \cdot overlap(p,\cdot) - w_4 \cdot churn(p).$$

Такий підхід дозволяє ідентифікувати найбільш стабільні та ефективні групи для агрегації. (Формула спирається на властивості FP та загальні принципи відбору ознак/кластерів.)

Сама класифікація подій відбувається поверх IDS-логіки, використовуючи як факт кінцевого спрацювання правил (A(e)), так і факт спрацювання FP-патернів (P(e)). Скоринг класу (AC) для події (e) враховує ваги спрацьованих правил у межах класу (wsid) та бонуси за спрацювання відповідних FP, а також штрафи за конфліктне перекриття:

$$score(AC \mid e) = \sum_{r \in A(e) \cap R_{AC}} w_{sid}(r) + \alpha \cdot 1(P(e) \cap FP(R_{AC} \neq \varnothing) - \beta \cdot overlap_penalty(e).$$

Розв’язання конфліктів, що виникають при співспрацюванні кількох FP-груп, здійснюється за ієрархією переваг: надається пріоритет більш специфічним правилам та вузьким патернам; це відповідає рекомендаціям щодо добору fast-pattern для збереження продуктивності й точності відсіву [3]. Додаткова агрегація на рівні флоу/транзакції підвищує стійкість до артефактів.

Пілотне застосування методу на прикладних FP-групах підтвердило його переваги. Висока селективність FP-якоря забезпечує різке звуження простору правил (менше конфліктів і менша обчислювальна вартість подальшого аналізу), а мапінг «SID → AC» дає високу семантичну чистоту для технічно однорідних класів. Додатково класи можуть бути зіставлені з таксономіями на кшталт MITRE ATT&CK для уніфікації термінів і сценаріїв реагування [4].

Висновки. Запропонований метод є кроком до підвищення операційної корисності NIDS: допомагає з сортуванням за змістовними класами загроз, що у свою чергу спрощує керування політиками безпеки. Подальші дослідження – розширення покриття класів, автоматизація оцінки purity/coverage у процесі оновлення баз сигнатур і валідація на змішаному реальному/синтетичному трафіку.

Список використаної літератури

[1] S. A. Mirheidari, S. Arshad та R. Jalili, “Alert correlation algorithms: a survey and taxonomy”, у Cyberspace safety and security. Cham: Springer Int. Publishing, 2013, с.183–197. Дата звернення: 4 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03584-0_14

[2] В. С. Горбатов та А. О. Журба, “Метод попередньої фільтрації сигнатур для прискорення пошуку атак системою виявлення мережевих вторгнень”, у Сучасні інформ. та комунікац.

технології на трансп., в пром-сті та освіті, Дніпро, Україна, 13–14 груд. 2023. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки та технологій, 2023, с. 136.

[3] “fast_pattern - Snort 3 Rule Writing Guide”. snort.org. Дата звернення: 4 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://docs.snort.org/rules/options/payload/fast_pattern

[4] J. Wunder. “Getting Started with ATT&CK: Detection and Analytics”. Medium. Дата звернення: 4 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://medium.com/mitre-attack/getting-started-with-attack-detection-a8e49e4960d0

УДК 519.7

ПЕРСПЕКТИВИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Граняк Валерій Федорович (titanxp2000@ukr.net)

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського (Україна)

У роботі досліджено питання обробки сигналів на основі вейвлет перетворень. Теоретично доведено, що реконструкція сигналу можлива по будь-якому масштабному рівні розкладання, а всі особливості сигналу зберігаються без перекручувань із тимчасовим дозволом першого вейвлета. Показано, що при вейвлет-аналізі довільних сигналів вибір що аналізуючого вейвлета не визначений заздалегідь і багато в чому залежить від поставлених завдань.

Компоненти шуму, а також значні випадкові відхилення сигналу можна розглядати як локальні особливості його структури [1]. Встановивши певний поріг рівня таких відхилень і відсікаючи деталізуючі коефіцієнти, можливо не лише зменшити рівень шумів, а й задати граничні обмеження на кількох рівнях розкладання, враховуючи специфічні характеристики шумів і сигналів для різних типів вейвлетів. Це створює передумови для побудови адаптивних систем очищення сигналів від шуму залежно від їхніх властивостей. Основні етапи вейвлет-очищення сигналу включають його вейвлет-розкладання, визначення типу граничних рівнів, модифікацію коефіцієнтів і подальше відновлення сигналу [2].

У теорії цифрових часових рядів довільний інформаційний сигнал зазвичай розглядається як сума різнорідних компонент: трендової складової - середніх значень на великих інтервалах усереднення, циклічних компонентів із певним періодом повторення (зазвичай досить гладких за формою), локальних аномалій різного порядку, аж до інтервенцій — різких змін у поодинокі моменти часу, а також флуктуацій вищого порядку (шумів), що коливаються навколо усіх перелічених складових.

Інструментом, який забезпечує поділ сигналу на такі компоненти (декомпозицію), аналіз їхнього порядку та реконструкцію сигналу з вибраних складових (або з виключенням певних, наприклад шумів), є короткомасштабний аналіз (КМА). Це поняття є фундаментальним у теорії вейвлетів, оскільки для КМА існує каскадний алгоритм обчислень, подібний до швидкого перетворення Фур’є [3].

Найпростіші методи КМА, навіть без глибокої теоретичної бази, широко застосовуються під час обробки сигналів. Одним із таких є аналіз на основі гістограм, що реалізується за допомогою функції Хаара (Haar), яка отримала назву вейвлета Хаара.

Математично цю функцію по значеннях сигналу $s(x)$, можна представити у вигляді ряду з розкладанням по системі базисних ортонормованих функцій $\varphi_{m,k}(x)$, утворених прямокутним ваговим вікном φ тривалістю $\Delta x=1/2m$, ортогональность яким забезпечується послідовним зрушенням функцій одна щодо іншої на величину Δx. Ортогональність базисних функцій є обов'язковою умовою КМА, що забезпечує можливість зворотної реконструкції сигналу. До таких функцій відноситься й скейлінг-функция вейвлета Хаара, форма якої відповідає прямокутному ваговому вікну й може бути записана в наступному вигляді:

$$\psi_{m,k}(x) = p \cdot \psi\left(2mx - k\right), \qquad (1)$$

де p = $2m/2$ – коефіцієнт нормування, що забезпечує одиничну норму скейлінг-функції.

Аргумент функції (1) записаний у загальній формі безперервної змінної «x», що дозволяє використати цей вираз і для аналізу безперервних сигналів $s(x)$. Числовий ряд розкладання при m =

m_{max} звичайно називають нульовим рівнем декомпозиції сигналу, тому що він являє собою усереднені значення сигналу в мінімальному вікні скейлінг-функції і є рівнем максимального дозволу сигналу (Δx по аргументу «x» при максимальному значенні m). Зміною значення Δx і, відповідно, загальної кількості відліків $N=2m$ на інтервалі завдання сигналу можна встановлювати максимальну кількість m рівнів розкладання безперервного сигнала.

При здвиговій ортогональності прямокутних базисних функцій пряме перетворення (проекції сигналу на базис) для безперервних сигналів виконується за формулою:

$$c_{m,k} = \frac{1}{p} \int_{k\Delta x}^{(k+1)\Delta x} s(x)\psi\left(2mx - k\right)dx, \qquad (2)$$

У цьому випадку, для дискретного завдання функції по інтервалах $\Delta x=1/2m$, нульовий рівень декомпозиції сигналу (максимальна деталізація) відповідає $m=4$. Відповідно до (2) значення коефіцієнтів нульового рівня можуть бути розраховані, як:

$$c_{4,k} = \frac{2^m}{2^{m/2}} \int_{k\Delta x}^{(k+1)\Delta x} s(k\psi x)\psi\left(2^m x - k\right)\,dx =$$
$$= \frac{2^m}{2^{m/2}}\, s(k\psi x) \int_{k\Delta x}^{(k+1)\Delta x} \psi\left(y - k\right)\,dy = \frac{2^m}{2^{m/2}}\, s(k\psi x)\,[(k+1)\psi x - k\psi x] = \frac{s(k\psi x)}{2^{m/2}}, \qquad (3)$$

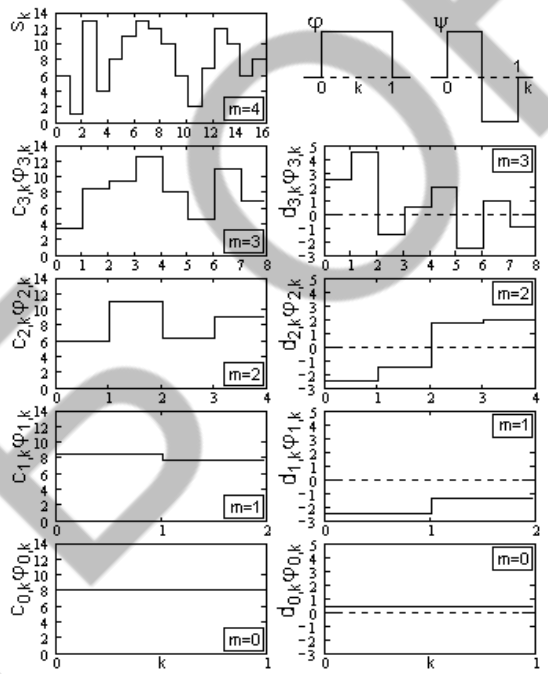


Рисунок 1 – Реконструкція певної інформаційної частини сигналу.

Тоді відновлення сигналу із четвертого рівня декомпозиції може бути виконане у відповідності до формули реконструкції:

$$s_r(4,x) = c_{4,k} \cdot \psi_{4,k}(x). \qquad (4)$$

Як логічно витікає з (3) та (4), відновлення вихідної безперервної функції сигналу $s(x)$ скейлінг-функцией Хаара можливо тільки з певною похибкою, у силу того, що значення скейлінг функції – константа шириною Δx, на яку множиться відповідне значення $c_{4,k}$ і поширюється на весь інтервал $k\Delta x \ldots (k+1)\,\Delta x$.

На наступному рівні розкладання функції, при $m=3$, скейлінг-функція (1) розширюється по x в 2 рази (у нашому прикладі до 1/8), тобто виробляється усереднення відліків по двох сусідніх інтервалах вихідної гістограми. Кількість коефіцієнтів відповідно в 2 рази зменшується. Розрахунок коефіцієнтів $c_{3,k}$ може виконуватися безпосередньо по (4), але при відомих значеннях

коефіцієнтів $c_{4,k}$ попередні рівні він може виконувати безпосередньо по них з урахуванням зміни нормувального множника (*1/p*) у формулі ітерації:

$$c_{m-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{m,2k} + c_{m,2k+1}). \quad (5)$$

Вираз (5) забезпечує рекурентний алгоритм розрахунку коефіцієнтів проекції сигналу на базис. Результат усереднення, наведений до масштабу вихідної гістограми (реконструкція сигналу відповідно до (2) при *m=3* і *N=2m=8*), наведений на рис.1 (*m=3*). Цей результат є апроксимацією (певного рівня) вихідної гістограми, на підставі чого скейлінг-функції вейвлетів називають також апроксимуючими або масштабними функціями, а самі коефіцієнти, виділені скейлінг-функциями – апроксимуючими [4].

Крім апроксимуючих коефіцієнтів $c_{m,k}$ з вихідної гістограми можуть бути виділені також коефіцієнти зміни сигналу в межах нового інтервалу усереднення, тобто коефіцієнти різниці значень першої й другої половини інтервалу:

$$d_{m-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{m,2k} - c_{m,2k+1}). \quad (6)$$

На рис. 1 у другому стовпці наведений графік коефіцієнтів, що деталізують (*m=3*), приведених до масштабу вихідного сигналу, тобто реконструкція певної інформаційної частини сигналу (флуктуацій відносно аппроксимационной частини) по формулі (2) при *m*=3 і *N=2m=8*. По суті, цей графік являє собою різницю між вихідним сигналом *s(kΔx)* і аппроксимованим сигналом *sr(3, 2kΔx)*, тим самим показуючи локальні (відповідному масштабу скейлінг-функції) особливості сигналу по інтервалу його затухання.

Неважко перевірити, що пари коефіцієнтів $c_{m-1,k}$ і $d_{m-1,k}$ дозволяють повністю відновити значення коефіцієнтів більш високого рівня m:

$$c_{m,2k} = \frac{2}{\sqrt{2}}\left(c_{m}-1,k + d_{m}-1,k\right),$$

$$c_{m,2k+1} = \frac{2}{\sqrt{2}}\left(c_{m-1,k} - d_{m-1,k}\right).$$

Висновки

Збільшення масштабного значення m розкладання відповідає зростанню тимчасового дозволу сигналу (*1/2m*). Коефіцієнти вейвлет-перетворення розкривають структуру сигналу на різних масштабах і в різних тимчасових крапках. Наведений простий приклад неважко розширити на будь-який довільний сигнал з довільною тривалістю й з довільним тимчасовим дозволом, розкладання якого може здійснюватися до певного рівня m апроксимації сигналу по низькочастотних складових і з деталізацією локальних високочастотних особливостей сигналу на різних масштабних рівнях. В областях «гладких» значень сигналу коефіцієнти деталізації d близькі до нульового й них можна зневажити.

Реконструкція сигналу можлива по будь-якому масштабному рівні розкладання, причому, як це випливає з (6), і може бути легко перевірено, всі особливості сигналу зберігаються без перекручувань із тимчасовим дозволом першого вейвлета (з мінімальною шириною вікна).

При вейвлет-аналізі довільних сигналів вибір що аналізуючого вейвлета не визначений заздалегідь і багато в чому залежить від поставлених завдань.

Список використаної літератури

[1] М. М. Суміік, І. Н. Пруднус, Р. М. Сумик *Теорія Сигналів: підручник*. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008.

[2] В. І. Дубровін, Ю. В. Твердохліб, В. В. Харченко *Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних: навчальний посібник.* Запоріжжя: ЗНТУ, 2013.

[3] T. Guo, T. Zhang, E. Lim, M. Lopez-Benitez, F. Ma, L. Yu (2022) «A Review of Wavelet Analysis and Its Applications: Challenges and Opportunities». *IEEE Access*. Vol. 10 (3), pp. 58869-58903

[4] Broughton S. A., Bryan K. *Discrete Fourier analysis and wavelets: applications to signal and image processing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

НТБ ОНТУ

УДК 004.056

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПОРУШЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЇ

Гураль В.С., Зубрович Р.Е., Савка Н.Я. **(**vladgural8@gmail.com, nadya_savka@ukr.net)
Західноукраїнський національний університет (Україна)

Розглянуто підходи до кількісної оцінки ризиків порушення інформаційної безпеки організації. Запропонована модель ґрунтується на визначенні ключових активів, ідентифікації загроз і вразливостей, оцінюванні ймовірності їх реалізації нам основі нечіткої логіки та потенційних збитків. Ризик визначається як добуток імовірності інциденту на величину очікуваних втрат, що дозволяє отримати кількісні показники для порівняння та ранжування ризиків. Застосування моделі сприяє формуванню обґрунтованої політики інформаційної безпеки, оптимізації витрат на захисні заходи та підвищенню стійкості організації до кібератак, технічних збоїв і внутрішніх порушень.

У сучасних умовах цифровізації бізнес-процесів інформація виступає цінним ресурсом будь-якої організації. В той же час зростає кількість загроз, пов'язаних із несанкціонованим доступом, кібератаками, технічними збоями та внутрішніми порушеннями. Наслідки інцидентів інформаційної безпеки можуть мати різних характер, зокрема, фінансовий, репутаційний, що безпосередньо впливає на конкурентоспроможність та стабільність діяльності організації.

Управління ризиками інформаційної безпеки є невід'ємною складовою загальної системи менеджменту компанії. Проведення моніторингу та оцінювання ризиків уможливлює виявлення критичних загроз, кількісно визначити можливі втрати та розробити ефективні заходи протидії. Моделі кількісної оцінки ризиків уможливлюють перетворення абстрактних понять загроз на конкретні числові показники, що суттєво спрощує ухвалення управлінських рішень і оптимізацію витрат на захист інформації. Із результатів аналізу класичних моделей випливає, що вони здебільшого спрямовані на отримання точних кількісних показників без врахування факторів впливу [1, 2]. В той же час, процедура оцінки ризиків вимагає залучення кваліфікованих експертів, що вимагає суттєвих часових затрат та часто призводить до суб'єктивізму у прийнятті рішень. Для опису невизначеності досить популярною є нечітка логіка, що уможливлює описати неточність на основі бази продукційних правил й при цьому врахувати всі можливі стани системи [2,3,4], що наближає процес оцінювання ризиків до реальних умов, де часто неможливо чітко відокремити безпечні ситуації від критичних.

Зважаючи на це, виникає необхідність у розробці факторної моделі оцінки ризиків порушення інформаційної безпеки організації на основі апарату нечіткої логіки з метою підвищення її стійкості в умовах зростаючих кіберзагроз і факторної невизначеності.

Формалізація абстрактних понять можлива на основі моделі оцінки ризиків, яка дозволить описати процес ідентифікації активів, виявлення потенційних загроз та вразливостей, а також кількісно визначити рівень ризику через співвідношення ймовірності реалізації інцидентів і величини можливих збитків. Така модель стане основою для об'єктивного ранжування ризиків і визначення їх пріоритетів у сфері інформаційної безпеки, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню стійкості організації до потенційних загроз та забезпеченню безперервної діяльності.

Модель ґрунтується на припущення, що рівень ризику можна описати, як добуток імовірності реалізації загрози та величини потенційних збитків. Функціонування моделі починається з виокремлення інформаційних активів організації та ідентифікації їхньої цінності для бізнес-процесів. Інформаційними активами виступають інформаційні системи, бази даних, IT-інфраструктура, бізнес-процеси, тощо.

На наступному кроці відбувається аналіз середовища, у якому існують активи, з метою виявлення можливих джерел загроз і внутрішніх чи зовнішніх чинників, здатних порушити конфіденційність, цілісність й доступність інформації, зокрема кібератаки, витік даних, відмова обладнання, внутрішні порушення. Для кожної потенційної загрози визначають ймовірність реалізації, яка грунтується на статистичних даних та оцінках експертів.

Разом із попереднім кроком здійснюють оцінку розміру збитків, які можуть виникнути у випадку настання інциденту (штрафи, зупинка бізнесу, втрата контрактів), причому враховуються як прямі фінансові втрати, так і непрямі наслідки – репутація, втрата клієнтів.

Отримані показники інтегруються у єдину формулу, що дозволяє кількісно виразити рівень ризику:

$$R = P \times L, \quad (1)$$

де R – рівень ризику,
P – імовірність настання інциденту (0-1),
L – очікуваний розмір збитків (у грошовому вираженні).

На кроці агрегування та ранжування формується матриця ризиків й на її основі визначаються критичні ризики, що потребують першочергового захисту. Кольори переходять від зеленого (низькі ризики) до темно-червоного (критичні ризики).

Оскільки в моделі оцінки ризиків імовірність і збитки задаються не точними числами, а нечіткими множинами, то формула (1) набуде вигляду:

$$R = defuzz(\mu_R = f(\mu_P(x), \mu_L(y))), \quad (2)$$

де $\mu_R(x)$ – функція належності для імовірності загрози,

$\mu_L(y)$ – функція належності для рівня збитків,

f – множина нечітких правил (висновок на основі методу Мамдані);

μ_R – нечіткий результат оцінки ризиків,

$defuzz$ () – процедура дефазифікації, що перетворює нечітке значення у числову оцінку ризику R.

Модель (2) базується не на прямому числовому добутку, а на агрегації експертних правил із подальшим перетворенням у кількісну оцінку. Організація отримує і якісну характеристику (низький / високий ризик), і кількісну оцінку, яку можна використати в матриці ризиків.

Таким чином, сформовано модель оцінки ризиків порушення інформаційної безпеки, що поєднує кількісний підхід із методами нечіткої логіки. Зазначений підхід уможливлює врахування як формалізованих показників ймовірності загроз і масштабів можливих збитків, так і експертні рішення, які неможливо описати точно. Така модель уможливлює перетворення складного і багатофакторного процесу управління інформаційною безпекою на структуровану процедуру, придатну для інтеграції в загальну систему управління ризиками.

Список використаної літератури

[1] Корченко А. Г. Побудова систем захисту інформації на нечітких множинах. Теорія та практичні рішення. К.: МК-прес, 2016. 324 с.

[2] Кочетков О.В., Гаур Т.О., Машін В.М. Система оцінки ризиків інформаційної безпеки підприємства на основі нечіткої логіки // *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. 2019. № 1. С. 97-104.

[3] L. Dubchak, N. Vasylkiv, V. Kochan, A. Lyapandra, Fuzzy data processing method, in: 2013 *IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, IEEE, 2013. URL: https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662709.

[4] Chereshnyuk O., Panasyuk V., Sachenko S., A. Banasik S. and I. Golyash I. Fuzzy-multiple approach in choosing the optimal term for implementing the innovative project, in: 2017 *9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Bucharest, Romania, 2017. P. 533-536. URL: https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095138.

УДК 004.9

СЕРВІС ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Дорошук А. О., Тройніна А. С.
(7482565@stud.op.edu.ua, anastasiyatroinina@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

З поширенням фальсифікацій цифрових зображень постає питання розробки відповідного програмного забезпечення для його виявлення. В роботі розглянуто основні типи порушення

цілісності зображення і особливості їх виявлення. Запропоновано програмний засіб, що включає різні розглянуті методи.

Постановка проблеми. На сьогодні мультимедійний контент є важливою частиною повсякденного життя. Одним з найрозповсюдженіших його прикладів є цифрові зображення, що розповсюджуються в соціальних мережах, месенджерах тощо. Разом з їх поширенням зростає і кількість фальсифікацій, що створює проблеми для інформаційної безпеки. Відповідно, зростає потреба в програмному забезпеченні, яке виявляє ознаки підробок у цифрових зображеннях. Актуальною є задача розробки зручного для користувача програмного забезпечення, що виявляє найпоширеніші алгоритми обробки зображень.

Виклад суті дослідження. Оскільки фальсифікації цифрових зображень є дуже широким поняттям, розглянемо більш детально конкретні їх типи та способи виявлення.

Найчастіше стикаються з вставкою частини іншого зображення або клонуванням області наявного. Традиційні методи їх виявлення засновані на аналізі рівня стиснення різних частин зображення тощо, і не є однаково ефективними при виявленні різних типів підробок. Важливим є не лише виявлення неоригінальних фрагментів, а і їх локалізація. Одним з найкращих алгоритмів є MMFusion [1], що забезпечує високу точність в обох задачах. Приклад використання на зображенні з клонуванням фрагмента наведено на рис. 1.

Дана модель використовує архітектуру енкодер-декодер з двома гілками, що дозволяє враховувати різні типи ознак фальсифікацій.

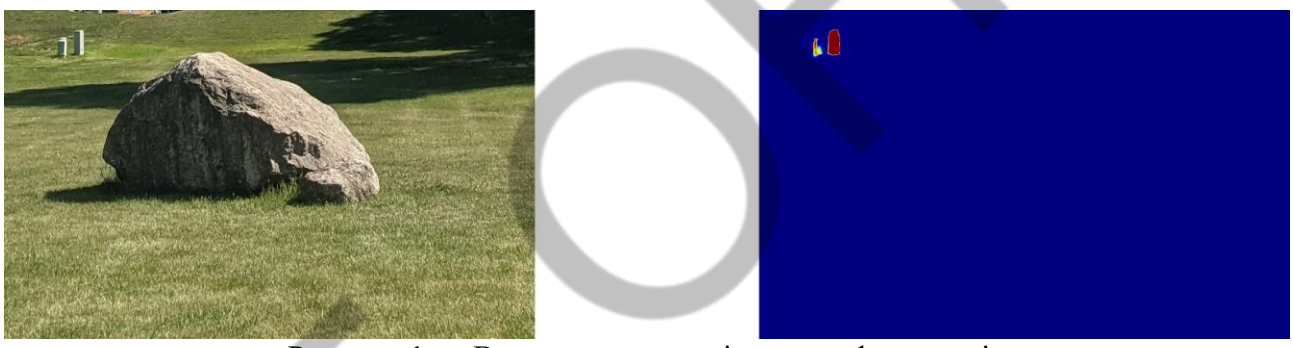


Рисунок 1 — Виявлення неоригінальних фрагментів

Іншим типом фальсифікацій є маніпуляції в метаданих. Для їх виявлення необхідно аналізувати наявність і цілісність даних про редагування зображення, дати створення і модифікації. Метадані також можна використовують онтології, що допомагає використовувати їх для ефективного пошуку аналогічних зображень у наявних джерелах [2], виявляти порушення авторських прав.

Окремо слід розглянути оцінювання ступеня стиснення та інтерполяції. Визначення ступеня стиснення дозволяє визначити, чи застосовувалася постобробка до зображення, а також дозволяє встановити факт його обробки за допомогою програмного забезпечення, що обов'язково стискає зображення. Для оцінювання стиснення варто проаналізувати спектр зображення за допомогою алгоритму, описаного в [3]. Спочатку необхідно виділити контури зображення, наприклад, за допомогою оператора Собеля. Далі треба класифікувати значення яскравості на контури та решту зображення. Зі зростанням ступеня стиснення кількість пікселів, визначених як контури, зростає. Конкретний поріг можна задати явно в межах від 1 до 10 відсотків від максимальної амплітуди сигналу яскравості [3] або визначити за допомогою методів машинного навчання.

Окремо варто розглянути виявлення факту збільшення роздільної здатності, що є особливо важливим при завантаженні стокових зображень. Відповідно до дослідження [4], найбільш ефективним для виявлення неоригінальної роздільної здатності є запропонована авторами модель TSARA з точністю 99.91%, що складається з десяти шарів, 4 пар згорткових і пулінгових та двох шарів класифікації ознак. Недоліком даної моделі є те, що вона призначена тільки для зображень з високою чіткістю в форматі 4K, які не є найбільш розповсюдженим форматом. Для інших роздільних здатностей можна використати інші алгоритми [4], що мають меншу точність.

НТБОНТУ

Важливою задачею з поширенням генеративних моделей, що створюють зображення, є виявлення факту їх штучної генерації [5]. На сьогоднішній день для цього застосовуються різні архітектури нейромереж, але немає широко визнаних бенчмарків для виявлення кращої.

Для створення сервісу з виявлення фальсифікацій зображень пропонується інтегрувати усі розглянуті методи, де кожен має аналізувати окремий тип підробок. Спільним має бути модуль предобробки, що зчитує зображення з файлу і надає його в визначеному форматі до інших програмних модулів. При розробці враховано, що методи зображень постійно змінюються. Відповідно, компоненти штучного інтелекту необхідно донавчати на оновленому датасеті, що дозволяє адаптувати їх до нових типів підробок. Застосування компоненто-орієнтованого підходу дозволяє замінити модуль на більш досконалий в разі необхідності.

Для забезпечення зручності використання було обрано реалізацію інтерфейсу користувача з використанням веб-сторінок, що дозволяє отримати доступ до нього з використанням будь-якої операційної системи.

Висновки. Вибір технології виявлення типу фальсифікацій цифрових зображень залежить від алгоритму, результат роботи якого треба виявити. Інтеграція модулів, що призначені для виявлення різних типів підробок, дозволяє створити сервіс з широкими можливостями і покращити зручність використання.

Список використаної літератури

[1] Triaridis, K., Mezaris, V. Exploring Multi-modal Fusion for Image Manipulation Detection and Localization. In: Rudinac, S., et al. MultiMedia Modeling. MMM 2024. Lecture Notes in Computer Science, 2024, vol 14556. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-031-53311-2_15

[2] О. Ошаровська, Аудіовізуальні об’єкти і метадані. Матеріали XVIII МНТК ВОТТП, 2018, ст. 185.

[3] O. Gofaizen, O. Osharovska and M. Patlayenko, "Details of high definition images and compression factor," *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelecrtronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 851-854, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336330.

[4] R. R. Shah, V. Anirudh Akundy and Z. Wang, "Real Versus Fake 4k - Authentic Resolution Assessment," *ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Toronto, ON, Canada, 2021, pp. 2185-2189, doi: 10.1109/ICASSP39728.2021.9413898.

[5] P. Edwards, J. -C. Nebel, D. Greenhill and X. Liang, "A Review of Deepfake Techniques: Architecture, Detection, and Datasets," in *IEEE Access*, vol. 12, 2024, pp. 154718-154742, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3477257.

УДК 004.89

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ КОНТЕНТУ ТА РЕАКЦІЙ АУДИТОРІЇ В TELEGRAM

Іванюк О. І. (ivaniuk@kart.edu.ua)
Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Запропоновано метод кількісної оцінки узгодженості змісту постів Telegram-каналів з реакціями аудиторії, що ґрунтується на автоматизованому описі постів великою мовною моделлю та перетворенні емодзі у числові профілі. На рівні поста обчислюється показник розбіжності DI, а на рівні каналу – агрегований індикатор ADI, призначений для порівняння каналів і моніторингу динаміки у фіксованих вікнах спостереження.

Вплив Telegram як каналу масової комунікації зростає, що робить нагальним різнобічне дослідження його суспільних ефектів [1]. У цьому контексті запропоновано підхід для аналізу одного з проявів такого впливу – узгодженості змісту постів із реакціями аудиторії у вигляді емодзі на рівні окремих каналів.

Аналіз охоплює множину каналів із увімкненими реакціями-емодзі за фіксований інтервал спостереження. Для кожного поста зберігається текст і вектор реакцій (типи емодзі та їх кількості), що використовується як агрегований індикатор зворотного зв'язку аудиторії [2].

Зміст постів автоматично оцінюється через API OpenAI великою мовною моделлю GPT-5 Nano із строгим структурованим виходом. Для кожного поста визначаються чотири безперервні шкали: валентність події (загальна емоційна оцінка події від негативної до позитивної, $p_{\text{val}} \in [-1,1]$), грайливість тону ($p_{\text{play}} \in [0,1]$), наявність сарказму/насмішки ($p_{\text{mock}} \in [0,1]$) та сенситивність теми ($p_{\text{sens}} \in [0,1]$); додатково фіксується довіра до такої оцінки ($q \in [0,1]$). Підказки до моделі окремо акцентують розпізнавання глузливих і іронічних постів, щоб відрізняти природний сміх від недоречних реакцій.

Семантика емодзі задається словником ваг: для кожного символу визначено три компоненти – валентність ($r_{\text{val}} \in [-1,1]$), грайливість ($r_{\text{play}} \in [0,1]$) та сарказм/насмішка ($r_{\text{mock}} \in [0,1]$). Для аналізованого корпусу попередньо укладається повний перелік емодзі, що охоплює всі зафіксовані реакції; кожному елементу призначаються відповідні ваги. На цій основі реакції перетворюються на узгоджені числові профілі за осями *val*, *play*, *mock*.

Для кожного поста обчислюється показник розбіжності $DI(p) \in [0,1]$, що інтегрує чотири аспекти: узгодженість валентності контенту з валентним профілем реакцій, близькість рівня грайливості реакцій до тону, надлишок насмішки відносно тону, а також штрафний внесок за грайливі (сміхові) реакції у сенситивних темах:

$$DI(p) = \frac{w_{\text{val}} D_{\text{val}}(p) + w_{\text{play}} D_{\text{play}}(p) + w_{\text{mock}} D_{\text{mock}}(p) + w_{\text{sens}} D_{\text{sens}}(p)}{w_{\text{val}} + w_{\text{play}} + w_{\text{mock}} + w_{\text{sens}}},$$

де компоненти:

$$D_{\text{val}}(p) = \max(0, -(q \cdot p_{\text{val}}) r_{\text{val}}),$$

$$D_{\text{play}}(p) = \left| r_{\text{play}} - p_{\text{play}} \right|,$$

$$D_{\text{mock}}(p) = \max(0, r_{\text{mock}} - p_{\text{mock}}),$$

$$D_{\text{sens}}(p) = p_{\text{sens}} \cdot r_{\text{play}},$$

де $w_{\text{val}}, w_{\text{play}}, w_{\text{mock}}, w_{\text{sens}} > 0$ – вагові коефіцієнти компонент.

$DI(p)$ надає стислий, інтерпретований вимір розбіжності на рівні окремого поста.

Оцінка для каналу подається індикатором $ADI(c) \in [0,1]$, що обчислюється як середнє $DI(p)$ постів за обраний період:

$$ADI(c) = \frac{1}{|P_{\text{c}}|} \sum_{p \in P_{\text{c}}} DI(p),$$

де P_{c} – множина постів з каналу c за аналізований період.

$ADI(c)$ стисло подає узгодженість контенту й реакцій у межах каналу та призначений насамперед для порівняння каналів і відстеження їхньої динаміки, а не як абсолютне мірило.

Практична користь полягає у виявленні публікацій з найбільшим $DI(p)$, пріоритезації ручної перевірки та побудові регулярного моніторингу. Інтерпретації мають враховувати контекст і достатню кількість реакцій; результати чутливі до якості автоматичної анотації та налаштувань словника емодзі. Метод масштабований: підтримує розширення словника, уточнення ваг, додавання часових зрізів. Подальші кроки дослідження – калібрування під окремі тематики, порівняльні бенчмарки між каналами та валідаційні перевірки на незалежних підвибірках.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] "Соціальні мережі, які диктують ритм новин," Інститут масової інформації (IMI), [Online]. Available: https://imi.org.ua/monitorings/sotsialni-merezhi-yaki-dyktuyut-rytm-novyn-doslidzhennya-imi-i65389 [Accessed: October 04, 2025].

[2] "Sentiment of Emojis," PLOS ONE, 07.12.2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144296 [Accessed: October 04, 2025].

УДК 004.62

ЕВОЛЮЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ РЕФАКТОРИНГУ ТА ЇЇ АДАПТАЦІЯ ДО ОНТОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Карповський Д.О, Шинкаренко В.І.
(karpovskyi.d@gmail.com, shinkarenko_vi@ua.fm)
Український державний університет науки та технологій (Україна)

В тезах розглядається становлення концепції рефакторингу, її перенесення з галузі програмування до сфери онтологічного моделювання та можливості застосування для оптимізації знаннєвих структур. Особливу увагу приділено операціям рефакторингу онтологій, методам їх оцінювання та перспективам автоматизації цього процесу із використанням сучасних інтелектуальних технологій.

Вступ

У сучасних знаннє-орієнтованих системах онтології відіграють ключову роль у забезпеченні семантичної сумісності даних, підтримці інтелектуального аналізу та інтеграції інформації з різних джерел. Водночас зі зростанням складності моделей постає потреба у систематичному вдосконаленні їхньої структури та змісту. Одним із найефективніших підходів до вирішення цього завдання є рефакторинг – процес реструктуризації без зміни змістового наповнення або поведінки системи. Еволюція поняття рефакторингу від програмного коду до онтологічних структур відкриває нові можливості для підвищення якості, модульності та повторного використання знань у складних інформаційних середовищах [1].

Дослідження рефакторингу

Початково рефакторинг застосовувався до програмного забезпечення як засіб поліпшення архітектури без зміни функціональності. Подальші дослідження розширили його застосування на інші артефакти – моделі баз даних, UML-схеми, логічні обмеження тощо. З часом було сформовано низку формальних методів і класифікацій, які дозволяють оцінювати якість програмних структур за допомогою метрик когерентності, зв'язності, зрозумілості й узгодженості. У контексті онтологічного моделювання такі принципи стали основою для визначення операцій рефакторингу онтологій, що спрямовані на підвищення читабельності, структурної впорядкованості та узгодженості знань [2].

Рефакторинг онтологій

Рефакторинг онтологій передбачає реструктуризацію класів, зв'язків, атрибутів та обмежень цілісності без втрати семантичного змісту. На відміну від програмного коду, онтології не мають поведінкової компоненти, тому основна увага зосереджується на збереженні семантики знань. До ключових завдань належать підтримка когерентності, запобігання дублюванню понять, усунення надлишкових зв'язків і підвищення рівня повторного використання інформаційних структур [3]. Операції рефакторингу онтологій поділяються на два основних типи: структурні (перейменування, злиття чи поділ класів, зміна типів зв'язків) та рефакторинг обмежень цілісності, що стосується логічних правил та умов узгодженості. Обидва типи операцій спрямовані на покращення внутрішньої структури без зміни смислового змісту [4].

Важливою складовою процесу рефакторингу є оцінювання ефективності змін. Для цього використовуються метрики якості онтологій, що характеризують ступінь зв'язності, когерентності, модульності та узгодженості термінології. Визначення кількісних показників дає змогу автоматизувати частину процесів аналізу та підвищити об'єктивність оцінювання [5].

Висновок

Подальші дослідження спрямовані на створення інтелектуальних інструментів, які дозволять автоматизувати процес рефакторингу онтологій із використанням методів машинного навчання. Такі підходи дадуть змогу прогнозувати ефективність трансформацій, виявляти оптимальні стратегії реорганізації та забезпечувати стабільну якість моделей у динамічних предметних галузях.

Рефакторинг онтологій є перспективним напрямом розвитку інженерії знань, який поєднує теоретичні принципи програмного рефакторингу з практичними потребами семантичного моделювання. Його впровадження забезпечує підвищення структурної узгодженості, спрощення супроводу та покращення можливостей повторного використання онтологічних ресурсів. Подальший розвиток методології рефакторингу онтологій передбачає формалізацію операцій, створення уніфікованого каталогу перетворень та розроблення автоматизованих засобів, що підвищать ефективність проєктування знаннє-орієнтованих систем нового покоління.

Список використаної літератури

[1]. Ambler, S.,Agile Database Techniques : Effective Strategies for the Agile Software Developer, Wiley, 2003

[2]. Zhang, J., Y. Lin, Generic and Domain-Specific Model Refactoring using a Model Transformation Engine. Model-driven Software Development - Research and Practice in Software Engineering. Springer, Springer, 2005

[3].Opdyke, W. F., Refactoring Object-Oriented Frameworks. Ph.D. Thesis., University of Illinois, 1992

[4]. Mens, K., T. Tourwe, Delving source code with formal concept analysis." Computer Languages, systems & structures., 2004

[5]. Shynkarenko, V., & Zhuchyi, L., Semantic Checking of Different Type Information Sources About Permitted Speeds in Railway Transport. CEUR Workshop Proceedings. 2022. Vol. 3171: International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: Main Conference, COLINS2022, 2022

УДК 004.056

ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГРОЗ І ФРЕЙМОВОРКИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ПІДПРИЄМСТВА

Кіщак М.М. Коробейнікова Т.І.
(k.marta.kishchak@gmail.com, tetianakorobeinikova@gmail.com)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

В тезах розглядаються основні методи оцінки загроз та управління ризиком в інформаційній безпеці підприємства, зокрема моделювання загроз за допомогою Attack Tree, Kill Chain та мапування на техніки атак, а також застосування ключових фреймворків ISO/IEC 27005, NIST RMF, OCTAVE і FAIR.

Загрози інформаційній безпеці підприємства – це потенційні події або дії, які можуть порушити конфіденційність, цілісність або доступність даних та систем, спричиняючи фінансові, репутаційні або операційні втрати.

Для ефективного захисту інформаційної інфраструктури підприємства важливо не лише знати потенційні загрози, а й розуміти, як вони можуть реалізуватися, і мати системний підхід до контролю ризиків. Моделювання загроз допомагає простежити сценарії атак та їхні наслідки (рис.1.1). До популярних методів належать Attack Tree, які показують різні шляхи, якими зловмисник може проникнути в систему, і Kill Chain, що дозволяє відстежити послідовність кроків атаки від початкового проникнення до досягнення кінцевої мети. Також широко використовується мапування на техніки атак, коли конкретні дії зловмисників зіставляються з відомими методами

захисту, що допомагає виявити слабкі місця в системі і спланувати заходи безпеки. Наприклад, якщо в компанії не оновлюються сервери або програмне забезпечення, це створює потенційні точки входу для кіберзагроз, які можна відобразити в Attack Tree і проконтролювати за допомогою Kill Chain.

Рисунок 1.1 — Процес оцінки ризиків та моделювання загроз

Фреймворки управління ризиком надають підприємствам методологію для оцінки і контролю загроз. Наприклад, ISO/IEC 27005 — міжнародний стандарт, який пояснює, як організувати управління ризиком в інформаційній безпеці та інтегрувати його у загальну систему управління безпекою компанії. Він допомагає систематизувати процеси, документувати ризики, визначати пріоритети та оцінювати ефективність заходів. NIST RMF — фреймворк від Національного інституту стандартів і технологій США, який пропонує покроковий підхід до оцінки ризиків, впровадження контролю та моніторингу безпеки. Він поєднує технічні та організаційні заходи, що дозволяє комплексно підходити до захисту систем та процесів. Ці фреймворки особливо корисні для підприємств із великою кількістю інформаційних систем, де необхідно узгоджувати заходи між різними підрозділами та контролювати ефективність на різних рівнях.

Інші підходи, такі як OCTAVE, зосереджуються на організаційних і людських аспектах безпеки, а FAIR дозволяє кількісно оцінювати фінансові наслідки ризиків. Також важливо враховувати, що сучасні загрози не обмежуються внутрішньою інфраструктурою підприємства: ризики можуть виникати через ланцюги постачання, сторонні сервіси, хмарні платформи або

навіть соціальні інженерні атаки. Тому комплексна система захисту повинна поєднувати технічні, організаційні та людські заходи, забезпечувати постійний моніторинг і оперативне реагування на нові загрози.

Поєднання моделювання загроз і застосування міжнародних фреймворків дозволяє підприємствам не лише реагувати на інциденти, а й проактивно планувати захист, оцінювати ефективність заходів і підвищувати рівень безпеки. Використання таких підходів робить інформаційну систему більш надійною та стійкою до сучасних кіберзагроз, а також допомагає керівництву приймати обґрунтовані рішення щодо пріоритетів і ресурсів для захисту активів компанії.

Таким чином, правильне моделювання загроз, поєднане з фреймворками управління ризиком, формує системний, багаторівневий підхід до інформаційної безпеки, що відповідає сучасним вимогам кіберзахисту та корпоративного управління.

Список використаної літератури

[1] І. А. Таченко, Т. І. Коробейнікова, С. М. Захарченко, «Огляд сучасного стану питання в галузі оцінювання ризиків мережевої безпеки,» *Scientific Collection «InterConf»*, (84): Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects», Rome, Italy: Dana, 2021, pp. 417–432.

[2] T. Korobeinikova, I. Tachenko, R. Chekhmestruk, P. Mykhaylov, O. Romanyuk and S. Romanyuk, «A General Method of Risk Estimation,» in *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Wrocław, Poland, 2023, pp. 410–413, doi: 10.1109/ACIT58437.2023.10275626.

[3] Т. І. Коробейнікова, А. Б. Ямнич, «Оцінка ризиків інформаційної безпеки для персоналу,» *International periodical scientific journal «SWorldJournal»*, № 20 (part 1), July 2023, pp. 43–51.

[4] ISO/IEC 27005:2018, *Information technology — Security techniques — Information security risk management*, International Organization for Standardization.

[5] NIST SP 800-37 Rev. 2, *Guide for Applying the Risk Management Framework to Federal Information Systems: A Security Life Cycle Approach*, National Institute of Standards and Technology, 2018.

[6] A. Shostack, *Threat Modeling: Designing for Security*, Wiley, 2014.

[7] B. Schneier, *Secrets & Lies: Digital Security in a Networked World*, Wiley, 2000.

[8] MITRE, *ATT&CK® Knowledge Base*, 2025. [Online]. Available: https://attack.mitre.org [Accessed: March 03, 2025].

[9] M. E. Whitman and H. J. Mattord, *Principles of Information Security*, Cengage Learning, 2021.

[10] ENISA, *Threat Landscape Reports 2020–2024*, European Union Agency for Cybersecurity. [Online]. Available: https://www.enisa.europa.eu [Accessed: March 03, 2025].

УДК 004.738.5:004.056

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ СМАРТКОНТРАКТІВ НА ПЛАТФОРМІ ETHEREUM

Ковальчук О.Я., Іваницький Р.І.
(o.kovalchuk@wunu.edu.ua, romik_iv@ukr.net)
Західноукраїнський національний університет (Україна),
Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка (Україна)

У роботі представлено методологію автоматизованої перевірки цілісності смартконтрактів для підвищення безпеки DeFi-протоколів. Розроблено Python-інструмент на базі API Etherscan для автоматизованого аналізу контрактів у мережі Ethereum для перевірки їх верифікації та визначення типу контракту (незмінний або оновлюваний). Запропонована методологія може бути використана для оцінювання ризиків при інтеграції смартконтрактів у DeFi-проекти, проведення юридичного аудиту та у навчальних цілях.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток децентралізованих фінансів (DeFi) супроводжується зростанням кіберзагроз, спрямованих на смартконтракти. Незмінність блокчейну робить будь-які вразливості в коді смартконтрактів критичними, оскільки їх неможливо виправити після розгортання. Зростаюча складність смартконтрактів, використання кросчейн мостів та залежність від зовнішніх оракулів створюють додаткові вектори атак. В умовах постійного зростання вартості активів під управлінням смартконтрактів виникає критична потреба у розробці ефективних інструментів автоматизованого аналізу їх безпеки для забезпечення захисту цифрової фінансової екосистеми.

Дослідження спрямоване на розробку автоматизованої методології аналізу смартконтрактів у мережі Ethereum для підвищення безпеки DeFi-екосистеми. У рамках роботи було розроблено Python-скрипт, що інтегрується з API Etherscan та забезпечує комплексну перевірку цілісності смартконтрактів.

У процесі проведення дослідження поставлено та вирішено такі завдання:

– створити автоматизований Python-скрипт для перевірки смартконтрактів через API Etherscan, що включає функції верифікації статусу контрактів та аналізу їх вихідного коду;
– реалізувати алгоритми визначення типу контрактів (незмінні/оновлювані), що є критичним для оцінювання потенційних ризиків безпеки;
– провести тестування для перевірки ефективності запропонованого підходу;
– визначити можливості використання методології для оцінювання ризиків перед інтеграцією контрактів у DeFi-проекти, юридичного аудиту та навчальних цілей.

У роботі запропоновано комплексний підхід до аналізу безпеки смартконтрактів, який поєднує автоматизовані методи верифікації, багатоетапне оцінювання цілісності та систематичне виявлення вразливостей. Ключовою особливістю цього підходу є інтеграція аналізу коду, архітектурної класифікації та валідації даних блокчейну в реальному часі через стандартизовані API. Основними перевагами запропонованого підходу є масштабована обробка великих наборів даних контрактів, автоматична ідентифікація як незмінних та структуроване представлення результатів, придатних для статистичного аналізу та моніторингу тенденцій в екосистемі DeFi.

Надійність смартконтрактів на платформі Ethereum визначає довіру користувачів і стабільність децентралізованих додатків (dApps). Вразливості, пов’язані з помилками в коді або логіці, можуть призвести до фінансових втрат і скомпрометувати весь блокчейн. Для зниження ризиків і забезпечення надійності смартконтрактів використовують низку ефективних механізмів безпеки. Основними з них є наступні:

– верифікація смартконтрактів:
  - формальна верифікація;
  - автоматизоване тестування;
  - комплексне тестування;

– аудит коду:
  - підготовчий етап;
  - технічний аналіз коду;
  - аналіз бізнес-логіки;
  - тестування безпеки;
  - формування звіту та рекомендацій;
  - постаудит та підтримка;

– децентралізована безпека:
  - використання перевірених рішень;
  - механізми контролю доступу;
  - обмеження ризиків;
  - програми дослідження вразливостей;
  - практика безпечного розгортання;
  - безперервний моніторинг.

НТБОНТУ

Для проведення експериментального дослідження було сформовано набір із 100 випадкових адрес Ethereum, отриманих з публічних оглядачів блокчейну. Вибірка включає як адреси смартконтрактів різного функціонального призначення, так і звичайні зовнішні облікові записи (EOA), що забезпечує можливість тестування алгоритмів розпізнавання типу адреси. Первинні дані про стани адрес збираються через один із основних сервісів для аналізу мережі Ethereum – API Etherscan. API надає доступ до такої інформації: байткоду контракту для визначення його наявності; верифікованого вихідного коду для подальшого аналізу; історії транзакцій та поточного стану контракту. Для аутентифікації використовується особистий API-ключ, що гарантує стабільний доступ до сервісів платформи.

Процес ідентифікації смартконтрактів базується на перевірці наявності байткоду за заданою адресою через API Etherscan. Адреса класифікується як смартконтракт у разі наявності неппорожнього байткоду, що відрізняє її від зовнішніх EOA. Верифікація контракту виконується шляхом перевірки доступності вихідного коду на платформі Etherscan. Статус «верифікованого» означає, що власник контракту завантажив вихідний код, який відповідає байткоду, збереженому в блокчейні, забезпечуючи прозорість і можливість подальшого аналізу. Класифікація контрактів за типом архітектури виконується через семантичний аналіз вихідного коду з пошуком специфічних ключових слів і шаблонів. Контракти категоризуються як «незмінні» за відсутності механізмів оновлення логіки або як «оновлювані» контракти за наявності проксі-шаблонів чи адміністративних функцій модифікації.

Аналіз смартконтрактів реалізовано через послідовність автоматизованих перевірок, які включають первинну ідентифікацію типу адреси, валідацію статусу верифікації та класифікацію архітектурного типу контракту. Кожна перевірка виконується через HTTP-запити до API Etherscan з подальшою обробкою JSON-відповідей. Алгоритм аналізу включає обробку помилок та винятків, які можуть виникнути через недоступність API, відсутність верифікованого коду або технічні проблеми з мережевим з’єднанням. Система надає інформаційні повідомлення про результат кожної перевірки та причини можливих невдач.

Запропонована методологія реалізує систематичний підхід до аналізу цілісності смартконтрактів через послідовність взаємопов’язаних перевірок. Перший етап включає базову ідентифікацію адреси як смартконтракту через верифікацію наявності виконуваного коду в блокчейні. Другий етап полянає у валідації прозорості контракту через перевірку статусу верифікації вихідного коду на оглядачі блокчейну. Це забезпечує можливість подальшого статичного аналізу та підтверджує відкритість контракту для аудита. Третій етап охоплює архітектурну класифікацію контракту для визначення його можливості модифікації після розгортання. Розрізнення між «незмінними» та «оновлюваними» контрактами є критично важливим для довгострокового оцінювання ризиків та довіри користувачів. Наш запропонований комплексний підхід передбачає аналіз і верифікацію смартконтрактів у мережі Ethereum через API Etherscan. Він забезпечує отримання інформації про смартконтракти з мережі Ethereum, аналіз коду смартконтрактів, перевірку їхньої цілісності, відповідності стандартам та пошук потенційних вразливостей.

Аналіз випадково вибраних адрес Ethereum виявив важливі аспекти безпеки та прозорості смарт-контрактів. Зокрема, 80% проаналізованих адрес було ідентифіковано як «смартконтракти», що підтверджує широке використання таких технологій у блокчейні Ethereum. Цей результат свідчить про зростаючу роль смартконтрактів у DeFi та водночас підкреслює необхідність ретельного аналізу та перевірки безпеки. 60% контрактів було верифіковано на платформі Etherscan, що забезпечує відкритий доступ до їхнього вихідного коду. Такий доступ є вирішальним для підвищення прозорості та довіри до контрактів, оскільки він дає змогу проводити зовнішні аудити та виявляти вразливості. Однак, 40% контрактів залишилися неверифікованими. Це створює потенційні ризики, оскільки їхня функціональність і поведінка невідомі користувачам та розробникам. Неверифіковані контракти становлять значну проблему безпеки, з тієї причини, що їх може бути складніше перевірити на наявність шкідливого коду чи вразливостей. Серед верифікованих контрактів лише 20% виявилися незмінними. Незмінні контракти мають перевагу з точки зору безпеки, оскільки їхній код не може бути змінений після розгортання, що знижує ризики атак через оновлення. Водночас 10% контрактів було ідентифіковано як оновлювані. Такі контракти забезпечують більшу гнучкість, проте підвищують ризик експлуатації через вразливості в механізмах оновлення або централізований контроль над

процесом. Для 30% контрактів тип залишився невідомим, що вказує на обмеження запропонованого методу у визначенні структури або специфіки певних контрактів. Це може бути пов'язано зі складністю аналізу деяких фрагментів коду або відсутністю відповідних маркерів у вихідному коді.

Проведене дослідження підтверджує ефективність комплексного автоматизованого підходу до аналізу цілісності та безпеки смартконтрактів в екосистемі Ethereum. Запропонована методологія дозволяє швидко ідентифікувати статус контрактів, їх прозорість та архітектурні особливості, що значно підвищує рівень безпеки в DeFi. Унікальність розробленого рішення полягає у поєднанні масштабованої автоматизації, інтеграції з відкритими API та можливості систематичного аналізу великих масивів контрактів, що робить інструмент перспективним для застосування в аудитах, освітніх програмах та попередньому оцінюванні ризиків. Подальшими напрямами дослідження є вдосконалення алгоритмів класифікації, інтеграція методів штучного інтелекту для виявлення прихованих вразливостей та розширення функціоналу у векторі мультичейн-аналізу, що сприятиме зниженню ризиків у DeFi та підвищенню довіри користувачів до смартконтрактів.

References

[1] Alsunaidi S. J., Aljamaan H., & Hammoudeh M. MultiTagging: A vulnerable smart contract labeling and evaluation framework. *Electronics, 13(23),* 4616, 2024, DOI: 10.3390/electronics13234616.

[2] Guo J., Lu L., & Li J. (2024). Smart contract vulnerability detection based on multi-scale encoders. *Electronics, 13(3),* 489, 3034, DOI: 10.3390/electronics13030489.

[3] Lashkari B., & Musilek P. (2023). Evaluation of smart contract vulnerability analysis tools: A domain-specific perspective. *Information, 14(10),* 533, 2023, DOI: 10.3390/info14100533.

[4] Kovalchuk O., Shevchu, R., & Banak, S. Cryptocurrency crime risks modeling: Environment, e-commerce, and cybersecurity issue. *IEEE Access, 12,* 50673-50688, 2024, 10.1109/ACCESS.2024.3386428.

[5] Taherdoost H. Smart contracts in blockchain technology: A critical review. *Information, 14(2),* 117, 2023. https://doi.org/10.3390/info14020117.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК

Корецький В.А. (koretckiyvasily@gmail.com)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

Постановка проблеми. У сучасному кіберпросторі кількість, складність та швидкість поширення кібератак невпинно зростає. Зловмисники дедалі частіше використовують Zero-Day уразливості, складні стійкі загрози (APT), а також шифрування та поліморфізм для приховування своїх дій. У таких умовах старі, сигнатурні системи виявлення вторгнень (IDS) просто не справляються. Саме тому ця тема є надзвичайно актуальною.

Викладення основного матеріалу. Аналізуючи сучасні методи боротьби з мережевими атаками, ми неминуче приходимо до Систем Виявлення Вторгнень (СВВ, або IDS) та Систем Запобігання Вторгнень (СЗВ, або IPS). Це ключові інструменти для моніторингу, аналізу та реагування на підозрілу активність у мережах та комп'ютерних системах. Це основні класи засобів, призначених для моніторингу, аналізу та реагування на підозрілу активність у комп'ютерних системах і мережах.

Системи СВВ/СЗВ класифікуються за двома основними ознаками: за місцем моніторингу та за методикою аналізу. За місцем моніторингу такі системи діляться на мережеві (NIDS/NIPS), хостові (HIDS/HIPS) та гібридні.

Системи мережевого (NIDS/NIPS) типу моніторять трафік, що проходить через певний сегмент мережі (аналізує копію трафіку або стоїть "у розриві"). З переваг цього типу можна відзначити захист всієї підмережі та виявлення атак до досягнення цілі. В недоліки цього типу систем входять не можливість бачити шифрований трафік, недостатня швидкість обробки для високошвидкісних мереж, не здатність бачити локальних атак на хості.[1]

Системи хостового (HIDS/HIPS) типу працюють на окремому кінцевому пристрої (хості), аналізуючи системні журнали, файли аудиту, зміни конфігурації, системні виклики та активність користувачів. З переваг цього типу можна відзначити можливість бачити локальні атаки (навіть після обходу мережевого захисту), можливість аналізувати зашифрований трафік. Найбільшими слабкими місцями цього типу є потреба встановлення на кожному хості та легкість виводу системи з ладу при компрометації хоста.[2]

Системи гібридного типу комбінують NIDS і HIDS, об'єднуючи дані з різних джерел для більш повного аналізу. Такий тип системи має високу ефективність, здатність виявляти складні та багатоетапні атаки, але має велику складніть впровадження та адміністрування.

За методикою аналізу системи СВВ/СЗВ можна поділити на такі типи: на основі сигнатур (Signature-based) та на основі аномалій (Anomaly-based).

Системи на основі сигнатур працюють по принципу порівняння мережевого трафіку/системних подій з базою відомих шаблонів (сигнатур) атак. Це надає висока точність виявлення відомих атак, низький відсоток хибних спрацювань (False Positive). Але така система вимагає постійного оновлення бази сигнатур та не здатна виявляти нові (zero-day) атаки та модифіковані версії відомих атак.

Системи на основі аномалій створюють "профіль" нормальної поведінки (трафіку, користувачів, системи) і виявляють будь-які суттєві відхилення від цього профілю. Такий тип системи здатний виявляти раніше невідомі (zero-day) атаки, але має можливість високого відсотка хибних спрацювань (False Positive) та вимагає періоду "навчання" для формування нормального профілю.[3]

Сучасні засоби виявлення атак активно інтегрують передові технології для подолання обмежень традиційних методів. Штучний інтелект та Машинне навчання використовуються в системах на основі аномалій для більш точного моделювання нормальної поведінки та виявлення складних, прихованих атак, які не мають чітких сигнатур (наприклад, повільні DDoS-атаки, прихований трафік). Нейромережні технології (багатошарові персептрони) демонструють високу ефективність у визначенні певних категорій атак.[4]

Network Detection and Response (NDR) – це еволюція NIDS/NIPS, яка використовує поведінковий аналіз для виявлення аномалій у мережевому трафіку, забезпечує контекстний аналіз і автоматизоване реагування. Extended Detection and Response (XDR) об'єднує дані з мережі, кінцевих точок (EDR), електронної пошти та хмарних середовищ для комплексного аналізу інцидентів і реагування на них в усій IT-інфраструктурі.[5]

Аналіз на рівні додатків (Application-based IDS) фокусується на аналізі подій, пов'язаних із конкретними додатками (наприклад, веб-додатками), дозволяючи виявляти атаки, спрямовані на вразливості ПЗ.

Технології "Пасток" (Honeypots) – це імітація вразливих систем або сервісів для залучення зловмисників які дозволяють вивчати тактики атак і збирати розвідувальну інформацію, не наражаючи на небезпеку основні ресурси.

Сучасні засоби виявлення мережевих атак еволюціонують від простих сигнатурних систем до комплексних, інтелектуальних платформ (NDR, XDR), які використовують машинне навчання та поведінковий аналіз для виявлення невідомих (аномальних) загроз. Найефективнішим підходом вважається гібридне використання різних типів систем (NIDS/HIDS/NDR/EDR) та методів (сигнатурний + аномальний) у рамках стратегії глибокоешелонованого захисту.

Список використаної літератури

[1] Intelligent Techniques for Detecting Network Attacks: Review and Research Directions / M. Aljabri et al. Sensors. 2021. Vol. 21, no. 21. P. 7070. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/s21217070 [date of access: 01.10.2025].

[2] A Survey of Intrusion Detection Systems Leveraging Host Data / R. A. Bridges et al. ACM Computing Surveys. 2020. Vol. 52, no. 6. P. 1–35. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3344382 [date of access: 03.10.2025].

[3] Verma A., Paneru E., Baaniya B. Anomaly-Based Network Intrusion Detection System. Journal of Lumbini Engineering College. 2022. Vol. 4, no. 1. P. 38–42. [Online]. Available: https://doi.org/10.3126/lecj.v4i1.49364 [date of access: 02.10.2025].

[4] Kocher G., Kumar G. Machine learning and deep learning methods for intrusion detection systems: recent developments and challenges. Soft Computing. 2021. Vol. 25, no. 15. P. 9731–9763. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s00500-021-05893-0 [date of access: 03.10.2025].

[5] Rozendaal K., Dissanayake-Mohottalalage T., Mailewa A. Neural Network Assisted IDS/IPS: An Overview of Implementations, Benefits, and Drawbacks. International Journal of Computer Applications. 2022. Vol. 184, no. 12. P. 21–28. [Online]. Available: https://doi.org/10.5120/ijca2022922098 [date of access: 02.10.2025].

УДК 004.65

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦІНКИ ДЕСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ У БЕЗПЕЦІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кравченко Д. В., Косенко С. І.
(kravshenko_dys@gmail.com, studylearnerstudy@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В тезах розглянуто застосування методу Монте-Карло для кількісної оцінки деструктивних факторів, що впливають на безпеку інформаційних систем. Запропоновано стохастичну модель, яка враховує технічні, організаційні та поведінкові загрози з урахуванням їх взаємозалежності. Проведено моделювання з використанням 100 000 ітерацій, що дозволило отримати статистично стабільні показники ризику для різних сценаріїв. Результати експериментів продемонстрували, що найбільший вплив на рівень небезпеки мають поведінкові та організаційні чинники, які формують асиметричний розподіл ризику. Метод Монте-Карло довів ефективність у прогнозуванні критичних станів системи та визначенні порогових значень стійкості. Зроблено висновок про перспективність використання цього підходу для підтримки управлінських рішень у сфері кібербезпеки..

Безпека інформаційних систем сьогодні є однією з ключових складових цифрової інфраструктури, оскільки зростання обсягів даних, швидкості їх обробки та складності взаємодій підвищує ризики виникнення деструктивних впливів. Класичні підходи до оцінки безпеки часто базуються на детермінованих моделях, які не враховують стохастичну природу реальних загроз [1]. Невизначеність параметрів, мінливість зовнішнього середовища, випадковість появи вразливостей і поведінка зловмисників роблять традиційні методи малоефективними для реалістичного прогнозування ризиків. Тому застосування методів статистичного моделювання, зокрема методу Монте-Карло, відкриває нові можливості для оцінювання деструктивних факторів у системах безпеки [2]. Цей підхід дозволяє відтворювати широкий спектр випадкових сценаріїв, оцінювати ймовірність критичних подій та розробляти стратегії реагування. Мета даної роботи полягає у розробленні концептуальної моделі оцінки деструктивних факторів на основі методу Монте-Карло та аналізі його ефективності в контексті ризик-орієнтованої безпеки інформаційних систем.

Метод Монте-Карло ґрунтується на статистичному моделюванні процесів за допомогою випадкових чисел для оцінювання складних стохастичних систем [3]. У контексті інформаційної безпеки цей підхід дозволяє оцінювати не лише ймовірність реалізації загроз, а й вплив різних комбінацій факторів на загальний рівень стійкості системи [4]. У межах дослідження розглянуто три групи деструктивних факторів: технічні, організаційні та поведінкові. До технічних належать відмови обладнання, помилки конфігурації, мережеві атаки, до організаційних — недотримання політик безпеки та людські помилки, а до поведінкових — внутрішні порушення, соціальна інженерія та зловмисні дії користувачів. Для кожного фактору визначено параметри розподілу ймовірностей виникнення та інтенсивності наслідків. Вхідними змінними моделі виступають частота подій, рівень впливу, час відновлення і вартість втрат. На основі цих параметрів генеруються тисячі ітерацій, що імітують можливі стани системи протягом певного періоду часу. Результатом моделювання є розподіл можливих значень збитків або порушення доступності

системи, який дозволяє оцінити середній ризик і його дисперсію. Такий підхід забезпечує не лише кількісну оцінку небезпеки, але й надає можливість прогнозувати поведінку системи при зміні вхідних умов.

Концепція досліджуваної системи моделювання складається з трьох рівнів: рівня генерації випадкових подій, рівня оцінювання наслідків і рівня агрегації результатів. На першому рівні відбувається вибір випадкових значень параметрів згідно з обраними розподілами. Для ймовірності реалізації атак застосовано бета-розподіл, який відображає обмеженість значень у діапазоні від 0 до 1. Для параметра часу відновлення використано логнормальний розподіл, що дозволяє враховувати перевагу коротких інтервалів при наявності рідкісних тривалих простоїв. Рівень оцінювання наслідків реалізує розрахунок функції втрат залежно від інтенсивності факторів. Збитки оцінюються у відносних одиницях, що відповідають частці порушення функціональності системи. На рівні агрегації результати кожної ітерації об’єднуються для формування статистичного розподілу загального ризику. Для забезпечення достовірності моделі використано не менше 10^5 симуляцій, що гарантує стабільність середніх значень. Алгоритм моделювання реалізовано мовою Python із використанням бібліотек NumPy і SciPy, що забезпечило можливість паралельного обчислення та зменшення часу симуляції. Розроблена архітектура допускає розширення за рахунок додаткових типів факторів або зміни розподілів залежно від специфіки конкретної системи.

Особливу увагу приділено кореляції між факторами, оскільки у реальних умовах вони не є незалежними. Наприклад, технічна відмова може спровокувати людську помилку під час відновлення, а соціальна інженерія підвищує ймовірність внутрішнього порушення політики безпеки. Для відтворення таких зв’язків використано матрицю коваріації, яка дозволяє моделювати одночасну появу кількох подій із заданим ступенем взаємозалежності. Таке рішення підвищує точність оцінки системного ризику і робить модель ближчою до реальних сценаріїв кіберінцидентів.

Для перевірки працездатності моделі проведено симуляції з різними наборами параметрів. У першому експерименті досліджено систему з переважанням технічних факторів, у другому — з домінуванням людського чинника, у третьому — з рівномірним розподілом загроз. За 10^5 ітерацій середнє очікуване значення втрат у першому випадку становило 0.42 від максимального рівня збитків, у другому — 0.57, а у змішаному сценарії — 0.48. Стандартне відхилення коливалося від 0.09 до 0.14 залежно від варіанту, що свідчить про відносну стабільність результатів. Аналіз розподілу ризику показав, що для сценарію з переважанням людських факторів спостерігається більш виражений «довгий хвіст», тобто невелика, але помітна ймовірність катастрофічних наслідків. Це підтверджує необхідність урахування непередбачуваної поведінки користувачів під час оцінювання безпеки. Зведені результати аналізу експериментів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу експериментів

№ експ	Тип факторів	Середнє значення ризику	Стандартне відхилення	Розподіл ризику	Класс
1	Технічні	0.42	0.09	Симетричний, помірна дисперсія	Переважають передбачувані технічні збої, ризик стабільний
2	Людські (поведінкові)	0.57	0.14	Асиметричний, «довгий хвіст»	Висока варіативність наслідків, значна роль непередбачуваності
3	Змішаний (технічні + організаційні)	0.48	0.11	Близький до нормального	Збалансований розподіл загроз, помірний рівень ризику

НТБОНТУ

Для оцінки точності використання методу Монте-Карло результати порівняно з аналітичними розрахунками очікуваного ризику при незалежних подіях. Відхилення середніх значень не перевищувало 3%, що свідчить про адекватність моделі. Додатково проведено аналіз чутливості, який виявив, що найвагомішими параметрами є ймовірність виникнення внутрішніх інцидентів і швидкість відновлення після технічних відмов. При зростанні ймовірності людської помилки на 20% загальний очікуваний ризик підвищується приблизно на 12%. Це вказує на значний вплив нефізичних факторів у загальному профілі безпеки.

Використання методу Монте-Карло також дозволило визначити критичні межі стійкості системи. За отриманими результатами, якщо частота серйозних збоїв перевищує 0.15 на одиницю часу, система переходить у стан підвищеної небезпеки, при якому сукупний ризик перевищує 0.6 від максимально можливого. Водночас при зменшенні частоти до рівня 0.05 ризик знижується до 0.3, що відповідає безпечному режиму функціонування. Це демонструє потенціал методу Монте-Карло як інструменту прогнозування критичних станів і прийняття рішень щодо зміцнення безпеки.

Висновки. Проведене дослідження доводить ефективність методу Монте-Карло для оцінювання деструктивних факторів у сфері інформаційної безпеки. На відміну від класичних детермінованих підходів, стохастичне моделювання дозволяє враховувати невизначеність, кореляцію між подіями та варіативність наслідків. Розроблена модель показала, що основні ризики формуються не лише технічними збоями, а й поведінковими та організаційними чинниками, які часто ігноруються при формальних перевірках. Метод продемонстрував високу стійкість результатів за великої кількості ітерацій і дозволив виявити критичні пороги стабільності системи. Практичне застосування такого підходу може бути корисним для розроблення політик безпеки, планування інцидентного реагування та оцінювання потенційних збитків. У подальших дослідженнях доцільно розширити модель з урахуванням часових залежностей між подіями, включити економічні показники вартості втрат та інтегрувати результати моделювання у системи підтримки управлінських рішень. Отже, метод Монте-Карло є перспективним засобом кількісного аналізу ризиків, що поєднує гнучкість, точність і можливість адаптації до складних умов сучасних інформаційних систем.

Список використаної літератури

[1] Panilov, P. A. “Using Bayesian Models and Monte Carlo Methods to Predict Cyber Threats”, Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Management, Computer Sciences and Informatics, 2024, no. 4, pp. 79-88. [Online]. Available: https://www.mathnet.ru/eng/vagtu827 [Accessed: September 02, 2025].

[2] Nazareth, D. L., Choi, J., Ngo-Ye, T. “Investing in Security-as-a-Service for E-commerce Infrastructure by Small and Medium Enterprises: a Monte Carlo Approach”, Journal of Systems and Information Technology, 2024, Vol. 26 No. 2, pp. 257-275. [Online]. Available: https://doi.org/10.1108/JSIT-04-2023-0071 [Accessed: September 07, 2025].

[3] Hajar Dahhak, Nadia Afifi, Imane Hilal. “Dynamic Sharding and Monte Carlo for Post-Quantum Blockchain Resilience”, Cryptography, 2025, 9(2), article 22. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/cryptography9020022 [Accessed: September 09, 2025].

[4] “Power System Dynamic Data Generation Based on Monte Carlo Simulations for Machine Learning Applications”, Jaime Cepeda et al., Engineering Proceedings, 2023, 47(1), article 6. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/engproc2023047006 [Accessed: September 12, 2025].

УДК 004.65:336.76

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ У БЕЗПЕЦІ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кравченко Д. В., Косенко С. І.(kravshenko_dys@gmail.com, studylearnerstudy@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В тезах здійснено системний аналіз проблематики виявлення деструктивних факторів у безпеці сучасних інформаційних систем з урахуванням зростання складності кіберзагроз і багаторівневої структури цифрових інфраструктур. Автором обґрунтовано необхідність переходу від сигнатурних підходів до поведінкового аналізу який дозволяє фіксувати приховані та

відкладені у часі атаки. Показано що ключовою труднощами є розрізнення між аномальною але легітимною активністю і початком деструктивного впливу особливо в умовах розподіленого середовища та шифрованого трафіку. Розглянуто роль людського фактора соціальної інженерії та вразливостей у ланцюгах постачання як непрямих джерел ризику які складно виявити технічними засобами. Наголошено на доцільності застосування багатовимірного аналізу взаємозв'язків між компонентами системи у часовому і структурному вимірі. Запропоновано орієнтуватися на адаптивні моделі довіри здатні пояснювати причину визнання події деструктивною. Отримані результати спрямовані на формування інтелектуальних систем кіберзахисту які працюють не лише реактивно а й превентивно.

Проблематика виявлення деструктивних факторів у безпеці сучасних інформаційних систем набуває особливої актуальності у зв'язку з інтенсивною цифровізацією та зростанням залежності суспільства від комп'ютеризованих інфраструктур. Традиційні підходи до кіберзахисту більше не забезпечують належного рівня стійкості оскільки загрози еволюціонують швидше ніж механізми їх виявлення.

Інформаційні системи стають поліструктурними і розподіленими що створює значні труднощі для побудови єдиної картини ризиків й ускладнює класифікацію деструктивних впливів як зовнішніх так і внутрішніх. Особливої небезпеки набувають приховані та відкладені у часі атаки які використовують легітимні канали взаємодії й активуються лише за певних умов [1].

У зв'язку з цим постає завдання не лише автоматичного фіксування ознак атак але й глибинного аналізу факторів їхнього зародження дифузії та маскування у штатному функціонуванні систем.

Сучасні інформаційні системи розглядаються як багаторівневі утворення що включають апаратний рівень комунікаційний шар програмну логіку дані та користувацьку поведінку й кожен з цих рівнів може містити потенційні вектори деструктивного впливу. Аналіз проблематики їхнього виявлення передбачає вивчення таких явищ як поліморфність шкідливих кодів прихована ескалація привілеїв використання соціальної інженерії для обхідних механізмів а також експлуатація алгоритмічної вразливості у системах з штучним інтелектом.

Одним з найскладніших завдань є розрізнення між нетиповою але легітимною поведінкою та ознаками підготовки атаки оскільки надмірна чутливість алгоритмів породжує велику кількість помилкових спрацьовувань що знижує довіру до системи безпеки. Іншою важливою проблемою є часовий аспект коли наслідки деструктивного впливу проявляються із запізненням наприклад у результаті закладених логічних бомб або поступового збирання інформації шпигунським програмним забезпеченням [2].

Також складність виникає у багатокористувацьких середовищах де деструктивний фактор може генеруватися самими користувачами через несвідомі дії недостатній рівень цифрової грамотності або конфлікт інтересів. Технології хмарних обчислень та контейнеризації створюють нові сценарії горизонтального переміщення атак де проникнення у малозахищений сегмент дозволяє атакувальнику поступово розширювати свій вплив на інші компоненти системи.

Маскування загроз відбувається також через використання зашифрованого трафіку динамічну зміну сигнатур та застосування стеганографічних методів що робить неефективними класичні підходи до перехоплення.

На цьому фоні дедалі більшої уваги потребує розробка методів поведінкового аналізу та побудова моделей довіри які дозволяють виявляти зміни у взаємодії компонентів системи замість пошуку наперед визначених шаблонів. Підхід на основі багатовимірного аналізу цифрових слідів користувачів і компонентів дає можливість оцінити їхню нормальну активність і фіксувати відхилення що мають кумулятивний характер навіть якщо кожна окрема подія виглядає безпечною [3].

Додатково слід враховувати ризики пов'язані з ланцюгами постачання коли шкідливий код або вразливість потрапляє у систему ще на етапі виробництва програмного забезпечення або мікросхем і виявлення таких закладок вимагає глибокого реверс-інжинірингу.

Виявлення деструктивних факторів у такому контексті потребує поєднання технічних засобів моніторингу з когнітивними підходами до аналізу мотивації потенційного порушника чи групи порушників.

HTB OHTU

Система безпеки повинна сприйматися не як статичний бар'єр а як адаптивний організм що здатен розпізнавати патерни ризику на різних рівнях взаємодії і формувати реакцію з випередженням можливої атаки.

Виявлення деструктивних факторів у сучасних інформаційних системах є складною міждисциплінарною задачею яка потребує синтезу технічних методів аналізу з поведінковим моделюванням. Основною проблемою залишається відсутність єдиного критерію деструктивності оскільки одна й та сама дія може бути як шкідливою так і штатною залежно від контексту.

Ефективний підхід має ґрунтуватися на багатовимірному аналізі взаємозв'язків між компонентами системи у часовому та структурному аспектах з урахуванням еволюції загроз. Перспективними є методи які поєднують машинне навчання з інтерпретованими моделями довіри що здатні пояснювати причину визнання фактору деструктивним. Подальший розвиток у цьому напрямі сприятиме підвищенню стійкості цифрових інфраструктур і зменшенню залежності від механізмів реактивного захисту.

Список використаної літератури

[1] "Cyber Threat Landscape Report", ENISA, 2023. [Online]. Available: https://www.enisa.europa.eu/publications/threat-landscape-2023 [Accessed: September 12, 2025]

[2] "Zero Trust Architecture", National Institute of Standards and Technology, 2020. [Online]. Available: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-207/final [Accessed: September 19, 2025]

[3] "Advanced Persistent Threats: Detection and Analysis", FireEye Intelligence, 2022. [Online]. Available: https://www.mandiant.com/resources/apt-reports [Accessed: September 21, 2025]

УДК 004.89:004.62

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА КОНТРОЛЮ ПОТОКОВИХ ДАНИХ

Кравченко Р.В. (krav.rom.vik@gmail.com)

Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто інтелектуальні методи аналізу та контролю потокових даних у динамічних інформаційних системах. Показано, що традиційні статистичні та порогові методи не забезпечують достатньої адаптивності в умовах змінної структури потоку та коливань швидкості передавання. Запропоновано модель, яка поєднує адаптивну фільтрацію, кластеризацію та прогнозування на основі рекурентних нейронних мереж. Імітаційні експерименти підтвердили, що використання інтелектуального підходу дозволяє знизити середню затримку передавання на 30%, зменшити втрати даних у 2 рази та підвищити точність виявлення аномалій до 92%. Модель може бути застосована у системах моніторингу потоків, кібербезпеці, транспортних і промислових інформаційних мережах, де важлива швидкість і достовірність обробки даних у реальному часі.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні системи опрацьовують великі обсяги потокових даних у режимі реального часу, що вимагає високої точності, швидкодії та стійкості до змін зовнішніх умов. Зростання складності потоків — через появу нових сенсорних джерел, мережевих сервісів і розподілених обчислювальних платформ — ускладнює забезпечення належної якості даних і виявлення аномалій у процесі передавання чи обробки інформації. Традиційні алгоритми фільтрації та моніторингу часто не встигають реагувати на динамічні зміни характеристик потоків, що призводить до втрат або спотворень даних. Це зумовлює необхідність розроблення інтелектуальних методів аналізу та контролю потокових даних, які поєднують можливості машинного навчання, прогнозування та адаптивного керування для забезпечення стабільної якості інформаційних процесів у реальному часі.

Метою роботи є розроблення інтелектуальних методів аналізу та контролю потокових даних, які забезпечують підвищення якості, достовірності та швидкодії обробки інформаційних потоків у динамічних середовищах за рахунок адаптивного використання алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати сучасні підходи до обробки та контролю потокових даних у розподілених інформаційних системах і визначити їхні обмеження в умовах високої варіативності потоків.
2. Визначити ключові параметри, що впливають на якість потокових даних — затримку, втрати пакетів, частоту оновлення, кореляцію між потоками та наявність аномалій.
3. Розробити концептуальну модель інтелектуального контролю потоків, яка поєднує адаптивну фільтрацію, предиктивний аналіз та механізми самооновлення моделі.
4. Створити імітаційне середовище для перевірки ефективності запропонованих методів на прикладі інформаційної системи моніторингу реального часу.
5. Оцінити якість і стабільність роботи інтелектуальних алгоритмів порівняно з традиційними статистичними та евристичними підходами.

Суть дослідження. Ефективний контроль якості потокових даних у динамічних інформаційних системах потребує застосування адаптивних і прогнозних методів, здатних реагувати на зміни характеристик потоку в реальному часі. Традиційні статистичні підходи, що базуються на фіксованих порогах або ковзних середніх, не враховують нелінійні залежності між параметрами потоку та не здатні адаптуватися до змін у структурі вхідних даних. Це зумовлює необхідність розроблення інтелектуальної моделі, яка поєднує елементи машинного навчання, кореляційного аналізу та адаптивної фільтрації.

Проведемо **аналіз параметрів потокових даних.** Для оцінки якості потоку $D(t)$ розглядаються основні характеристики:

- **затримка** $\tau(t)$ — час між моментом формування та отримання пакета;
- **втрата даних** $L(t)$ — частка втрачених пакетів у потоці;
- **стабільність потоку** $\sigma(t)$ — варіація швидкості передавання;
- **енергетичні витрати** $E(t)$ — потужність, необхідна для підтримки обробки.

Інтегральний показник якості потоку визначається як

$$Q = \alpha_1(1 - L) + \alpha_2(1 - \sigma) + \alpha_3\left(1 - \frac{\tau}{\tau_{\max}}\right) + \alpha_4\left(1 - \frac{E}{\mathrm{E}_{\max}}\right),$$

де α_i — вагові коефіцієнти важливості критеріїв.

Запропонуємо модель інтелектуального контролю, що передбачає двоетапну обробку даних:

1. Онлайн-аналіз потоків із застосуванням алгоритмів кластеризації (наприклад, *DBSCAN* або *k-means*) для виявлення відхилень у структурі даних.
2. Прогнозування стану потоку за допомогою рекурентної нейромережі (*LSTM*), що дозволяє передбачати аномалії або деградацію якості до їх фактичного прояву.

Рішення про корекцію потоку приймається при досягненні критичного порогу прогнозованого зниження показника Q, що забезпечує превентивне управління якістю.

Адаптивна фільтрація. Для компенсації короткочасних коливань і шумів використовується модифікований фільтр Калмана, у якому коефіцієнт оновлення K_t динамічно змінюється залежно від довірчої оцінки прогнозу нейромережі:

$$K_t = \beta \cdot \frac{Var(P_t)}{Var(P_t) + MSE(y_t)},$$

де $Var(P_t)$ — дисперсія прогнозованих значень, $MSE(y_t)$ — середньоквадратична похибка моделі, β — параметр адаптації.

Експериментальні результати. Імітаційна модель була реалізована в середовищі *Python / TensorFlow* для потоків з 10 000 елементів при змінній частоті оновлення. Результати порівняння показані в таблиці 1.

Отримані результати свідчать, що застосування інтелектуальної моделі дозволяє знизити середню затримку приблизно на 25–35%, зменшити втрати даних майже вдвічі та підвищити точність виявлення аномалій на понад 10% у порівнянні з класичними методами. Впровадження адаптивного контролю забезпечує стійкість системи до змін швидкості потоку та нестабільності каналів зв'язку.

Таблиця 1. Порівняння ефективності методів контролю потоків

Метод	Середня затримка (мс)	Втрата даних (%)	Точність виявлення аномалій (%)	Інтегральний показник якості Q
Класичний пороговий контроль	78	4,6	71,3	0,68
Статистична фільтрація	62	3,1	83,5	0,76
Інтелектуальна модель (запроп.)	45	1,9	92,7	0,87

Висновки. У результаті дослідження розроблено інтелектуальний підхід до аналізу та контролю потокових даних, який поєднує методи машинного навчання, адаптивної фільтрації та прогнозування. Порівняльне моделювання показало, що запропонована модель забезпечує зменшення затримок на 25–35%, зниження втрат даних удвічі та підвищення точності виявлення аномалій на понад 10% порівняно з традиційними методами контролю.

Реалізація моделі у системах моніторингу потокових процесів дозволяє підвищити стабільність, достовірність та ефективність обробки інформації в режимі реального часу.

Подальші дослідження спрямовуються на розширення моделі з використанням гібридних нейромереж і автоматизованого вибору параметрів для оптимізації якості даних у багатоканальних потоках.

Список використаної літератури

[1] Blázquez-García A., Conde A., Mori U., Lozano J. A. A review on outlier/anomaly detection in time series data. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 120112–120145. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3109014.

[2] Montiel J., Halford M., Mastelini S. M., Bolmier G., Sourty R., Vaysse R., Zouitine A., Gomes H. M., Read J., Bifet A., Abdessalem T. River: Machine learning for streaming data in Python. *Journal of Machine Learning Research*. 2021. Vol. 22, Art. 110. P. 1–7. URL: http://jmlr.org/papers/v22/20-1380.html

[3] Tuli S., Casale G., Jennings N. R. TranAD: Deep transformer networks for anomaly detection in multivariate time series. *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2022. Vol. 15, No. 6. P. 1201–1214. DOI: 10.14778/3514061.3514067.

[4] Поперешняк С. В., Панченко С. В., Федорченко О. Д., Ільїн С. А. Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи. *Проблеми програмування*. 2024. № 2–3. С. 334–342. DOI: 10.15407/pp2024.02-03.334.

УДК 004.056.5:004.9

ПОВЕДІНКОВІ ІНДИКАТОРИ ЯК ФАКТОР РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ

Крупа Н. О. (nkrupa98@gmail.com)

Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто підхід до раннього виявлення кіберзагроз на основі аналізу поведінкових індикаторів користувачів. На відміну від сигнатурних методів, які орієнтуються на вже відомі шаблони атак, запропонована модель дозволяє виявляти потенційно небезпечну активність за допомогою моніторингу динаміки користувацької поведінки у реальному часі. Розроблена трирівнева структура включає рівень спостереження (збір телеметрії), аналітичний рівень (кластеризація та моделювання нормальної поведінки) і рівень прийняття рішень (ідентифікація аномалій). У моделі використовуються показники частоти запитів, ентропії сесій, часових інтервалів, географічних відстаней між сесіями та глибини переходів. Експериментальні результати показали, що впровадження поведінкових індикаторів дозволяє скоротити середній час виявлення аномалій на 30–40 % та зменшити кількість хибнопозитивних спрацьовувань на

20–25 %. Отримані результати підтверджують доцільність використання поведінкової аналітики як основи для побудови систем раннього попередження кіберзагроз.

Постановка проблеми. Зі зростанням складності кіберзагроз та інтенсивності інформаційних атак особливої актуальності набувають методи раннього виявлення аномальної активності. Традиційні системи виявлення вторгнень (IDS/IPS) базуються на сигнатурному підході, який не дозволяє своєчасно виявляти нові або комбіновані типи атак.

Поведінкові індикатори користувачів — частота дій, часові інтервали між запитами, структура навігації, взаємодія з інтерфейсом — містять приховані закономірності, що можуть свідчити про підготовку або реалізацію кіберзагрози. Формування моделей поведінки й виявлення її відхилень є перспективним напрямом для підвищення готовності кіберзахисних систем до атак нульового дня та інсайдерських порушень.

Мета дослідження. Розробити модель аналізу поведінкових індикаторів користувачів для раннього попередження кіберзагроз, що забезпечує адаптивне реагування систем безпеки в реальному часі.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати сучасні методи поведінкової аналітики (User Behavior Analytics, UEBA) та визначити їх придатність для раннього попередження кіберзагроз.
2. Сформувати класифікацію поведінкових індикаторів і визначити ключові метрики (session entropy, click rate, navigation depth, dwell time).
3. Розробити алгоритм виявлення аномалій на основі відхилень поведінкових патернів користувачів від базових моделей.
4. Провести експериментальне моделювання для оцінки ефективності методу на тестових даних систем електронної комерції.

Суть дослідження. Сучасні інформаційні системи, зокрема корпоративні платформи й системи електронної комерції, генерують великі обсяги поведінкових даних — журнали дій користувачів, часові ряди транзакцій, навігаційні шляхи, патерни кліків та взаємодії з контентом. У цих потоках прихована інформація, здатна сигналізувати про зародження або підготовку кібератак задовго до їх явного прояву.

Поведінковий аналіз (Behavioral Analytics) дозволяє виявляти аномалії у динаміці користувацької активності (Табл 1). Наприклад, різке зростання частоти запитів, спроби доступу поза звичним часовим вікном або зміна геолокації можуть свідчити про компрометацію облікового запису чи виконання автоматизованої атаки (ботнет, credential stuffing тощо).

Таблиця 1. Основні поведінкові індикатори для раннього попередження кіберзагроз

Позначення	**Параметр**	**Опис**	**Одиниця вимірювання**
f_r	Частота запитів	Кількість дій користувача за одиницю часу	запити/сек
Δt	Інтервал між подіями	Середній час між діями користувача	сек
E_s	Ентропія сесії	Ступінь різноманітності дій у межах однієї сесії	відн. од.
D_p	Глибина переходів	Середня кількість внутрішніх переходів на сайті	кроки
L_g	Географічна відстань між сесіями	Відстань між місцями входу користувача в різний час	км
A_t	Час активності	Середній час активних дій у добовому циклі	год
R_a	Рівень аномальності	Ступінь відхилення від нормального профілю	%

Зібрані параметри агрегуються у вигляді часових векторів

$$X_t = [f_r, \Delta t, E_s, D_p, L_g, A_t],$$

для яких застосовується алгоритм виявлення аномалій, наприклад Isolation Forest, DBSCAN або Autoencoder LSTM.

Виявлені відхилення формують поведінкові сигнали $R_a(t)$, які подаються у систему раннього реагування SIEM/SOAR. Таким чином, поведінкові аномалії виконують роль ранніх індикаторів підготовки атаки, доповнюючи класичні методи моніторингу.

Схема на рисунку 1 демонструє послідовність обробки поведінкових даних — від первинного збору телеметрії до автоматизованого формування сигналів про потенційну загрозу.

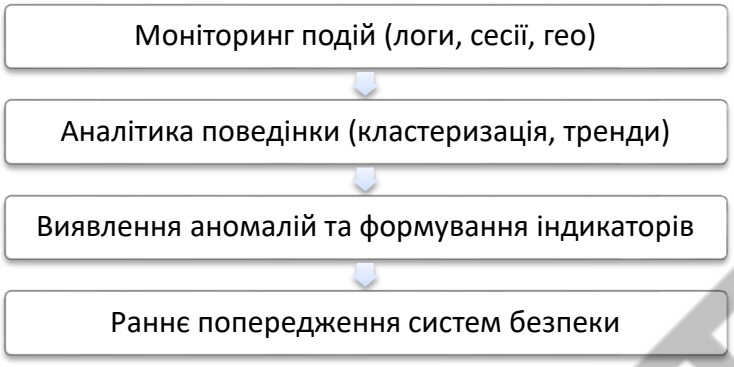


Рисунок 1 - Узагальнена схема моделі поведінкового аналізу для раннього виявлення кіберзагроз

Для систематизації підходу розроблено узагальнену модель аналізу поведінкових індикаторів, що включає три рівні:

1. Рівень спостереження (Monitoring Layer) — збір телеметрії про події користувачів (логи, дії, геолокації, типи запитів).
2. Аналітичний рівень (Analytic Layer) — побудова моделей нормальної поведінки користувача за допомогою кластеризації та часових статистик.
3. Рівень прийняття рішень (Decision Layer) — виявлення аномалій і формування сигналів раннього попередження системам безпеки.

Модель працює у замкненому циклі, де кожне виявлене відхилення уточнює профіль нормальної поведінки користувача, забезпечуючи самонавчання системи.

Отримані результати експериментального моделювання підтвердили, що впровадження поведінкових індикаторів дозволяє скоротити середній час виявлення аномальної активності на 30–40 %, а також зменшити кількість хибнопозитивних спрацьовувань на 20–25 % порівняно з класичними сигнатурними методами.

Висновки. Поведінкові індикатори користувачів є важливим джерелом інформації для систем раннього попередження кіберзагроз, оскільки вони відображають приховані закономірності в активності, які не завжди помітні традиційним засобам безпеки. Запропонована модель дозволяє інтегрувати аналітичні та когнітивні методи у єдиний цикл управління — від збору телеметрії до формування сигналів реагування. Завдяки використанню кластеризаційних і статистичних підходів забезпечується самонавчання системи, підвищується точність виявлення аномалій і зменшується обсяг ручного втручання аналітиків SOC. Результати дослідження демонструють, що застосування поведінкової аналітики в поєднанні з алгоритмами машинного навчання сприяє переходу від реактивного до превентивного типу кіберзахисту. Це створює передумови для побудови нових поколінь систем кібербезпеки, здатних адаптуватися до динамічних умов інформаційного середовища.

Список використаної літератури

[1] Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly Detection: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–58. DOI: 10.1145/1541880.1541882

[2] ENISA. (2023). Threat Landscape 2023. European Union Agency for Cybersecurity. https://www.enisa.europa.eu/topics/threat-risk-management

[3] Brown, T., & Grosse, E. (2022). User and Entity Behavior Analytics (UEBA) for Insider Threat Detection. *IEEE Access*, 10, 78524–78538. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3189072

УДК 004.056

ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ЛОГУВАННЯ ЯК СКЛАДОВА ПІДВИЩЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кузик Я.М. (yaroslav.kuzyk@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У роботі розглянуто проблему перенасиченості журналів в інформаційних системах та впливу надлишкових записів на роботу кіберзахисту. Пропонується підхід до роботи з моделлю Risk-Aware Minimal Logging (RML) – архітектура збору та аналізу логів, яка спроєктована таким чином, щоб оптимізувати обсяг даних, зберігаючи при цьому гарантії виявлення ключових сценаріїв відхилень. Модель базується на вибірці змін та ризик-зважених каналах логування. Робота має практичну цінність для підприємств, які прагнуть забезпечити кібербезпеку за обмежених ресурсів та людських помилок.

Постановка проблеми. Проведений аналіз існуючих підходів показав, що більшість систем логування, зокрема рішення класу SIEM (Splunk, ELK Stack, IBM QRadar) та UEBA-платформи, орієнтовані на масовий збір подій без врахування контексту. Це призводить до перевантаження інфраструктури, високих витрат на зберігання і складності подальшої аналітики фахівцями. У практиці це проявляється, коли система фіксує тисячі звичайних подій входу в акаунт, але не виділяє повторні невдалі спроби входу з різних геолокацій чи пристроїв для одного облікового запису – ця спроба підбору паролю лишається непоміченою, хоча всі необхідні дані є в журналах. Недоліки таких рішень полягають у статичності політик збору та відсутності адаптації до поточного ризику. Для усунення цих проблем пропонується оптимізована архітектура логування, що використовує мінімально-достатній набір каналів, вагову оцінку ризику подій і динамічне регулювання рівня деталізації збору, забезпечуючи фокус на аномаліях, які реально впливають на кібербезпеку.

Перелік вирішених завдань. У межах дослідження було проаналізовано сучасні стандарти та практики логування NIST SP 800-92 [1], CIS Controls [2] та OWASP, а також інструменти SIEM для оцінки їх ефективності у виявленні внутрішніх інцидентів. Проведено порівняльний аналіз моделей збору подій за критеріями обсягу, часу реагування та релевантності сигналів. Визначено ключові недоліки існуючих підходів, а саме надмірний обсяг даних, відсутність адаптації до ризику й неможливість визначення пріоритету подій. На основі отриманих результатів розроблено оптимізовану модель архітектури логування, яка поєднує мінімально-достатній набір каналів збору з ризик-орієнтованим механізмом фільтрації та адаптивним рівнем деталізації.

Суть дослідження. Запропонований підхід ґрунтується на концепції Risk-Aware Minimal Logging - системі, що адаптивно змінює рівень деталізації збору залежно від ваги ризику події. Якщо традиційні рішення, такі як Splunk, ELK Stack чи QRadar, орієнтовані на масове збирання журналів і подальшу аналітику [3], то розроблена модель фокусується на динамічному балансі між кількістю даних та їх корисністю.

У процесі роботи розглянуто реальний сценарій: у корпоративному середовищі система безпеки пропустила серію несанкціонованих входів, оскільки логи аутентифікації містили надмірну кількість звичайних подій, що приховали критичні сигнали. У розробленій архітектурі така ситуація вирішується за рахунок адаптивного перерозподілу пріоритетів - канали з підвищеним ризиком (аутентифікація, доступ до критичних сервісів, зовнішні підключення) автоматично переходять у режим розширеного логування, тоді як другорядні події агрегуються або фільтруються. Це дозволяє зменшити обсяг логів до 40–60 %, одночасно підвищивши точність детекту [4].

Ключовим елементом запропонованої системи є таблиця відповідності каналів ризику, що визначає мінімально-достатній набір джерел і параметрів для забезпечення повного покриття сценаріїв (табл. 1).

НТБОНТУ

Таблиця 1. Модель оптимізованих каналів логування за рівнями ризику

Канал подій	**Мінімальні параметри**	**Рівень ризику**	**Тип реакції**	**Очікуваний ефект**
Аутентифікація користувачів	user_id, ip, geo, attempts, result	Високий	Повний збір та кореляція	Виявлення підбору паролів
Зміна прав доступу	actor, target, role_before/after	Високий	Сповіщення та журнал	Контроль ескалацій привілеїв
Мережеві з'єднання	src_ip, dst_ip, port, bytes	Середній	Семплінг	Аналіз нетипової активності
Системні події	service, pid, status, uptime	Низький	Агрегація	Зменшення шуму

Додатково модель враховує ситуації масованої атаки, коли одночасно активуються кілька модулів, а саме коли відбуваються паралельні спроби несанкціонованих входів, зміни привілеїв і підозрілі мережеві з'єднання. У таких випадках система автоматично підвищує рівень деталізації одразу для всіх каналів, пов'язаних із виявленими джерелами ризику, активує тимчасовий режим повного журналювання та створює узагальнену подію «корельований інцидент». Це дозволяє зафіксувати між канальні взаємозв'язки та запобігти ситуації, коли окремі події виглядають незначними, але у сукупності утворюють складну багаторівневу атаку.

Запропонована архітектура підтримує зворотний зв'язок: результати аналізу подій впливають на оновлення ваг ризику та політик логування. Це створює замкнений цикл самостіної оптимізації – від збору даних до адаптації системи під реальний контекст загроз. Отримана модель може бути реалізована у вигляді легкого Python-агента або як розширення до існуючої SIEM-платформи, що не потребує повного реінжинірингу інфраструктури, але забезпечує відчутне підвищення кіберстійкості системи та швидкості реагування на інциденти.

Висновки. Запропонована модель оптимізованої архітектури логування претендує на ефективність у підвищенні рівня кібербезпеки без збільшення обсягів зібраних даних. Реалізація принципу Risk-Aware Minimal Logging забезпечує адаптивне керування деталізацією збору залежно від ваги ризику та дозволяє зосередитися на подіях, що мають реальний вплив на безпеку системи. Проведений аналіз показав, що використання мінімально-достатнього набору каналів скорочує обсяг логів у середньому на 50 %, водночас зменшуючи час виявлення інцидентів. Механізм кореляції подій різних типів дозволяє швидко реагувати навіть у випадках багатоканальних атак, коли одночасно активуються кілька джерел ризику. Розроблений підхід може бути впроваджений як розширення для існуючих SIEM-рішень або у вигляді окремого агента моніторингу, що робить його придатним для практичного застосування в корпоративних і державних інформаційних системах.

Список використаної літератури

[1] National Institute of Standards and Technology (NIST), Guide to Computer Security Log Management (SP 800-92), Gaithersburg, MD, USA, 2006. [Online]. Available: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-92.pdf

[2] Center for Internet Security, CIS Controls v8: Security Logging and Monitoring, East Greenbush, NY, USA, 2021. [Online]. Available: https://www.cisecurity.org/controls

[3] P. Dolan-Gavitt, A. Brumley, J. M. Smith, "Efficient Logging for Incident Response in Large-Scale Systems," Proceedings of the 2020 USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC '20), Boston, MA, USA, pp. 355–368, 2020. [Online]. Available: https://www.usenix.org/conference/atc20/presentation/dolan-gavitt

[4] M. D. Bailey, A. Oprea, "Data Reduction Techniques for Scalable Security Monitoring," Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy Workshops (SPW 2021), San Francisco, CA, USA, pp. 120–127, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/SPW53761.2021.00021

HTDOHTY

УДК 004.056

СТІЙКІ ДО ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРУ СИСТЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ

Кузик Я.М. (yaroslav.kuzyk@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У дослідженні сформульовано підхід до побудови адаптивного шару кіберзахисту, який знижує ризики, що пов'язані з людськими помилками під час адміністративних і експлуатаційних дій [1]. Обґрунтовано доцільність створення адаптивного механізму кіберзахисту, який автоматично аналізує зміни конфігурацій та відновлює політики безпеки до безпечного профілю. Подано приклади практичних ситуацій, де розкривається проблема неузгоджених дій користувачів, і запропоновано модель реагування на нього та самовідновлення.

Постановка проблеми. Типовою ситуацією є випадки, коли адміністратори під час налагодження тимчасово вимикають модулі безпеки (наприклад, фільтри XSS чи SQL-ін'єкцій), але забувають повернути їх після завершення робіт. В результаті веб застосунок може опинитися у вразливому стані та створити потенційний канал для атак. Подібні інциденти відбуваються навіть у таких великих компаніях, як Equifax або Verizon, де людські помилки в конфігураціях спричинили витоки мільйонів записів. Отже, проблеми полягає не лише у виявленні зовнішніх загроз, а й у контролі за внутрішніми змінами, спричиненими користувачами або адміністраторами.

Перелік вирішених завдань. Проведено аналіз сучасних підходів до адаптивного кіберзахисту, зокрема моделей самовідновлення, поведінкового моніторингу та ризик-орієнтованого керування політиками [2]. Окреслено принципи формування системи, здатної автоматично оцінювати зміни конфігурацій і підтримувати безпечний стан навіть за помилкових дій користувачів. Узагальнено результати попередніх досліджень, що дозволяє сформулювати власне бачення механізму адаптивного відновлення політик безпеки в інформаційних системах.

Суть дослідження. У межах дослідження розглянуто реальний випадок, який демонструє, як людський фактор може перетворити добре побудовану систему кіберзахисту на вразливу [3]. Під час роботи над веб-застосунком, розробник тимчасово змінив політики безпеки для тестування та налагодження функціоналу: частину правил брандмауера було вимкнено, параметри верифікації запитів спрощено. Після перенесення змін у головний проєкт ці зміни не повернули до початкового стану, а системи контролю WAF та IDS не сприйняли це як відхилення. Вразливість існувала протягом кількох днів і залишалася непоміченою, допоки користувачі не повідомили про несанкціоновані входи. Аналіз логів показав, що за час існування дефекту зловмисники отримали доступ до облікових записів усіх користувачів, які увійшли в профіль протягом цього періоду.

Проблема полягала не лише у відключенні окремих політик, а у відсутності механізму, здатного розпізнати, що конфігураційний стан системи відрізняється від звичайного. Звичайний моніторинг орієнтується на зовнішні загрози спроби атак, перевищення навантаження чи аномальну активність користувачів, але не аналізує зміну власних параметрів безпеки. У наведеному прикладі фаєрвол сприймав нові умови як норму, бо не мав еталону для порівняння. Це демонструє ключову відмінність між традиційним і адаптивним підходом: перший фіксує події, а другий співставляє поточний стан із моделлю безпечної поведінки.

Запропонований підхід ґрунтується на створенні замкненого циклу контролю, що поєднує спостереження, оцінювання ризику та корекцію. У ньому кожна зміна в системі проходить через контур самоперевірки, а саме від фіксації параметра до автоматичного відновлення безпеки. Такий цикл формує зворотний зв'язок між діями користувачів і станом системи, забезпечуючи динамічну рівновагу між гнучкістю та стійкістю. У найпростішому вигляді цей процес можна подати у вигляді моделі (табл. 1), де послідовність етапів описує, як система збирає дані, оцінює ризик і коригує поведінку.

У процесі аналізу було встановлено, що наявні технології Open Policy Agent, HashiCorp Sentinel, ArgoCD, Flux, SIEM чи UEBA реалізують окремі елементи такого контуру, але не забезпечують його повної замкненості. Запропонована модель усуває цей недолік: система зберігає еталонний профіль безпеки, автоматично порівнює його з поточними параметрами та виконує самокорекцію у разі відхилення. У результаті отримується адаптивна архітектура, здатна

скоротити час між виникненням вразливості та її усуненням і підтримувати стабільний рівень захищеності навіть у випадку людських помилок.

Таблиця 1. Модель замкненого циклу адаптивного контролю

Етап	Вхідні дані	Ключові дії	Очікуваний результат	Приклад реакції
1.Спостереження	Логи подій, зміни конфігурацій, показники WAF/IDS	Збір і фільтрація сигналів; виявлення відхилень від еталонного профілю	Формування набору індикаторів стану	Зниження кількості заблокованих запитів фіксується як потенційна аномалія
2. Оцінювання ризику	Індикатори з попереднього етапу	Порівняння поточного стану з історичними нормами; класифікація за рівнем ризику	Визначення порогового рівня безпеки	Різке зростання SQL-запитів із нетиповими параметрами визначається як критичний ризик
3. Корекція (Self-Healing)	Результати оцінювання ризику	Ініціація дій самокорекції: відновлення політик, активація фільтрів, обмеження доступів	Повернення системи до безпечного стану	Система автоматично відновлює правила WAF і сповіщає адміністратора
Зворотний зв’язок	Нові метрики після корекції	Перевірка ефективності, оновлення еталонів	Самонавчання й адаптація системи	Зменшення частоти інцидентів підтверджує успішність циклу

Висновки. Технічно впровадити подібну систему можна навіть без складних засобів машинного навчання. Достатньо створити легкий моніторинговий модуль, який періодично перевіряє ключові конфігураційні файли, журнали подій і статуси систем безпеки. Зміни фіксуються за допомогою контрольних хешів або Git-сховища, а базові метрики – це рівень блокувань WAF, кількість помилок автентифікації, частота аномальних запитів порівнюється з історичними нормами. Якщо виявлено відхилення понад заданий поріг, система автоматично відновлює останню безпечну конфігурацію або активує захисні політики. Такий підхід можна реалізувати скриптом у межах CI/CD-процесу чи окремим Python-агентом, який працює у фоновому режимі, не потребує складного налаштування та легко інтегрується у вже наявну інфраструктуру.

Список використаної літератури

[1] IBM Security, “Cost of a Data Breach Report 2024.” [Online]. Available: https://www.ibm.com/security/data-breach (accessed Oct. 22, 2025).

[2] NIST, “Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations (SP 800-53 Rev. 5),” Dec. 2020 (upd. 2023). [Online]. Available: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-53/rev-5/final (accessed Oct. 22, 2025).

[3] OWASP, “OWASP Top 10: 2021—The Ten Most Critical Web Application Security Risks.” [Online]. Available: https://owasp.org/www-project-top-ten/ (accessed Oct. 22, 2025).

НТБОНТУ

УДК 004.56

СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ КІБЕРАТАК У КООРПЕРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ

Кур'ята О. С. (oleksandrakurata@gmail.com),
Кічак Б.В. (ki4ack.bogdan@gmail.com)
Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)

В тезах розглянуто важливість функціонування захисту інформації в мережах, хостах та середовищах, які піддаються кібератакам, враховуються ключові особливості систем виявлення та попередження, принципи системи реагування, її види.

У сучасному середовищі приватних компаніях, фінансових та державних установ, навчальних організацій або інфраструктур стратегічно важливе місце займає питання безпеки інформації. У нашому суспільстві, де рівень комп’ютерbзації з кожним днем все більше розвивається, також паралельно у арифметичній прогресії зростає рівень кібератак, злочинність стала інформаційною. У наш час, коли кібератаки можуть призвести до витоку конфіденційної інформації, фінансових збитків або просто зупинити функціонування багатьох корпорацій, вміння не лише швидко реагувати на інциденти, а й вчасно їх виявляти та запобігати є найважливішим фактором існування.

Мова йде про системи, що спроможні відстежувати та розбирати мережеву активність, зіставляти події й вчасно надавати попередження – по суті, це інструменти виявлення і запобіганням кібератакам. Серед фундаментальних частин архітектури захисту виділяється система виявлення та запобігання вторгненням (IDS). Такого роду системи поділяються за місцем розташування – мережеві та хостові (рис. 1) – і за принципом роботи: сигнатурний аналіз, виявлення аномалій або змішаний.

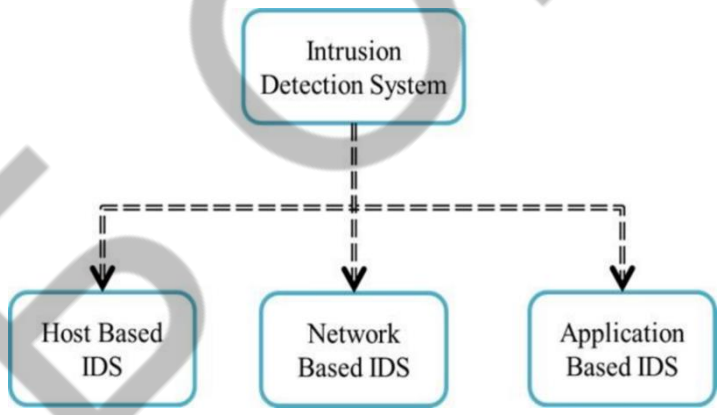


Рис. 1 Типи IDS

Сигнатурний аналіз системи зіставляє потік подій в мережі із заздалегідь виявленими аномаліями, які були внесені в базу – це забезпечує доволі високу точність у розпізнаванні знайомих системі аномалій, і не охоплює нові види загроз. Принцип виявлення аномалій, навпаки, сканує відхилення від «звичайної» активності мережі чи окремого хоста, таким чином відкривається можливість виявити раніше невідомі атаки, але підвищує ризик фальшивих сигналів. Змішаний принцип поєднує обидва принципи, намагаючись знайти баланс між точністю та варіативністю. У організаціях зазвичай рекомендують застосовувати змішаний принцип – збирати дані з різноманітних джерел, відстежувати події в мережі та виконувати аналіз зібраної інформації.

Окрім системи виявлення та запобіганням вторгнення, організації можуть використовувати більш комплексний підхід на рівнях тієї самої мережі, яка була розглянута (брандмауери, що контролюють доступ і фільтрують трафік), застосунків (контроль доступу, аутентифікація) забезпечувати безпеку контрольних точок моніторингу (маршрутизатори, шлюзи, комутатори, сервери) та загалом вручну захищати дані (шифруванням, робити резервні копії тощо). У

контексті України варто згадати компанію «Київстар», яка пропонує комплексне рішення, що об'єднує:

- NGFW (Next Generation Firewall) – це брандмауер, який не тільки фільтрує трафік, а робить глибокий аналіз;
- UTM (Urchin Tracking Module) – спеціалізований параметр в URL, що відстежує джерела трафіку на сайт;
- захист електронної пошти організації;
- захист від DDoS-атак;
- перевірку аномалій з подальшими розширеними звітами;
- антивірусні засоби та інші інструменти мережевої безпеки.

В процесі впровадження системи захисту інформації будь-якого типу, варто зазначити технічні й організаційні нюанси. Ключовим залишається повний контакт між відділом IT та відділом інформаційної безпеки, глибоке усвідомлення ризиків працівниками, формування політик безпеки, підготовка персоналу та постійний контроль за інцидентами.

Серед актуальних викликів – ризик великої кількості хибних спрацювань, підвищені вимоги до ресурсів корпорації та довга процедура налаштування та інтеграції таких систем для вже існуючої інфраструктури. Водночас український кібербезпековий простір спостерігає, що атаки зосереджені переважно на телекомунікації, фінансові та державні установи. Пріорітет залишається захист мережевих інфраструктур і запобіганням DDoS-атакам. Отже, успішне подальше використання такого роду захисту вимагає не лише технічної досконалості, а і її тонкого налаштування під специфіку підприємства, навчання працівників, а також безперервної актуалізації та аналітику.

У корпоративних мережах системи, які одночасно виявляють та попереджають кібератаки, стали невід'ємною частиною функціонування будь-якої стратегії кіберзахисту. Поєднання принципів сигнатурного аналізу та виявлення аномалій, що одночасно моніторять, взаємозв'язують і візуалізують дані, суттєво підвищують рівень захищеності. Перспектива еволюції таких систем для майбутніх цифрових викликів має охоплювати не лише автоматизацію процедур, а й застосування штучного інтелекту для виявлення нових видів аномалій, яких з подальшим розвитком комп'ютерної інтеграції у наш світ буде все більше. Такий підхід дозволить компаніям залишатися готовими до сучасних і майбутніх викликів.

Список використаної літератури

1. Методичні та стратегічні підходи до захисту мережевої інфраструктури корпоративних систем. «Методи та засоби комплексного захисту корпоративної …» archive.mcnd.org.ua
2. Київстар бізнес «Захист мережевої інфраструктури від кібератак за допомогою комплексних рішень від Київстар» https://hub.kyivstar.ua/articles/zahyst-merezhevoyi-infrastruktury-vid-kiberatak-za-dopomogoyu-kompleksnyh-rishen-vid-kyyivstar
3. Кібербезпека підприємства: сучасні методи захисту мережевої інфраструктури від кібератак https://itorakul.com.ua/kiberbezpeka-pidpryyemstva

УДК 351:342.57

ФОРМУВАННЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Кушніков В.В. (vadkush81@gmail.com)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

В тезах здійснюється огляд теоретико-методологічних особливостей формування державної політики у сфері інформаційної безпеки. Зокрема, визначаються переваги застосування інформаційних технологій у різних сферах життєдіяльності; виокремлюються напрямки формування скоординованої державної політики у сфері інформаційної безпеки.

Основним чинником розвитку інформаційного суспільства є виробництво та застосування людиною інформації науково-технічного й іншого призначення. Кодифікацію знань та технологічний прогрес можна визначити в якості системоутворюючих чинників, котрі забезпечують соціальний прогрес. Формуванню культури, економіки та психології сприяють певні умови, що формуються під впливом електроніки та техніки. Відповідно, теорія постіндустріального суспільства, з погляду нині знаходиться в межах формування сучасної концепції інформаційного суспільства. Вищезазначене обумовлює актуальність обраної теми дослідження.

Враховуючи вищезазначену актуальність теми дослідження, метою роботи є огляд теоретико-методологічних особливостей формування державної політики у сфері інформаційної безпеки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі завдання:

- визначити переваги застосування інформаційних технологій у різних сферах життєдіяльності;
- виокремити напрямки формування скоординованої державної політики у сфері інформаційної безпеки.

Використання інформаційних технологій у таких сферах, як, наприклад, сільське господарство, виробництво тощо, збільшують обсяг вільного часу, уможливлює підвищення рівня освіти й культури в суспільстві. При відбувається вдосконалення структури держави: інформаційні й інтелектуальна влада проникають в межі законодавчої, виконавчої та судової влади.

Незважаючи на те, що технологічна революція може поглибити соціальні та географічні відмінності, життя людей за допомогою інформаційних технологій покращується. Інформаційні технології шляхом моментального доступу до інформації розширюють права громадян, з'являється можливість не тільки споживати інформацію, а також виробляти її. Крім того, інформаційні технології збільшують можливості людей; це пов'язано з активною участю у процесі прийняття політичних рішень, внаслідок прозорості, що надається технологіями, а також спостереження за діяльністю урядів. Громадяни мають відповідні засоби (цифровий підпис та методи шифрування інформації), які певною мірою забезпечують захист приватного життя, комунікацій та особистих послань.

Враховуючи вищезазначене, скоординовану політику держави у сфері інформаційної безпеки можна сформулювати у таких напрямках:

- забезпечення юридичних прав та підвищення рівня технологічних можливостей населення для доступу до інформаційних ресурсів;
- збереження незалежності свободи слова у процесі поширення інформації у будь-якому технологічному середовищі;
- реалізація концепції універсального доступу, що передбачає гарантію держави на набір послуг, що постійно розширюється, своїм громадянам (телефонний зв'язок, електронна пошта, мультимедійна освіта);
- турбота про психологічне здоров'я молодого покоління, дотримання інтересів національних меншин в інформаційному середовищі;
- захист національної мови, культурних цінностей від експансії в інформаційній сфері, збереження художньої та наукової спадщини шляхом переведення у цифрову форму;
- переорієнтування освітньої системи згідно з запитами інформаційного суспільства, запровадження нових форм навчання;
- дотримання умов усіх видів інформаційної безпеки, розробка ефективних методів протидії комп'ютерним та технологічним злочинам;
- охорона інтелектуальної власності;
- створення законодавчої бази для розвитку конкуренції, боротьба з монополізмом, контроль за концентрацією власності у ЗМІ;
- цілеспрямоване використання нових технологій для розвитку відкритої демократичної держави, заснованої на принципах діалогу з населенням.

Таким чином, аналіз умов, в котрих формується нове суспільство, усвідомлення його в цілісності за сприяння інформаційних технологій спричиняє необхідність виокремлення шляхів

безпечного розвитку, нейтралізації ефектів негативного характеру, спричинених застосуванням інформаційних технологій, переосмислення ціннісних орієнтирів.

Подальше формування безпечного соціуму, котрий базується на використанні інформаційних технологій, з метою забезпечення суспільної еволюції в межах динамічної рівноваги, потребує відповідного забезпечення інформаційної безпеки.

Список використаної літератури

[1] Панченко О. А. Інформаційна безпека в епоху турбулентності: державно-управлінський аспект. Київ : КВІЦ, 2020. 331 с.

[2] Савосько Т. Особливості формування державної інформаційної політики. *Аспекти публічного управління*. 2024. № 12(1). С. 22–28.

[3] Ситник Г. П., Клименко Н. Г., Горєліков І. О. Державна політика забезпечення інформаційної безпеки та кібербезпеки, як її складової: проблеми та шляхи їх вирішення. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2024. № 5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Duur_2024_5_6.

УДК 004.65

ОБМЕЖЕННЯ КЛАСИЧНИХ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПІДХОДИ ДЛЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Кушнір В.М., Вовк Р.Б. (vladyslava.kushnir-ip233@nung.edu.ua**)**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)

У роботі досліджуються ключові причини невідповідності класичних реляційних баз даних вимогам сучасного машинного навчання, з акцентом на їхні обмеження при роботі з великими обсягами різнорідних даних. Аналізуються такі недоліки, як структурна жорсткість, обмежена горизонтальна масштабованість, слабка інтеграція з ML-екосистемами, низька ефективність для аналітичних запитів (OLAP), складність обробки динамічних даних і недостатня підтримка високих паралельних навантажень. Особливу увагу приділено впливу цих обмежень на продуктивність підготовки даних і моделювання. Розглянуто адаптації реляційних баз, такі як колонкові сховища та in-memory підходи, а також альтернативні технології, зокрема NoSQL-бази, Data Lake, графові бази даних, потокові системи (Apache Kafka, Flink) і спеціалізовані ML-платформи (TensorFlow Extended, Kubeflow). Окреслено переваги гібридних архітектур і їхню роль у забезпеченні ефективної обробки даних для ML-застосунків, включаючи врахування етичних і регуляторних вимог, таких як GDPR. Результати роботи мають практичне значення для розробників і дослідників, які прагнуть оптимізувати інфраструктуру даних для задач машинного навчання.

У сучасних умовах стрімкого розвитку штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання ефективне зберігання й обробка даних стає критично важливим для конкурентоспроможності організацій. Традиційні реляційні бази даних довгий час забезпечували надійність і підтримку ACID-транзакцій у бізнес-процесах, проте зростання обсягів і різноманіття даних створює нові виклики. Класичні реляційні підходи, оптимізовані для структурованих таблиць із фіксованою схемою, не завжди забезпечують необхідну гнучкість, масштабованість і швидкість обробки, що робить актуальним пошук альтернативних рішень для задач машинного навчання.

Алгоритми машинного навчання вимагають роботи з масивними масивами інформації, де домінують неструктуровані або напівструктуровані формати, такі як текстові документи, зображення, відеопотоки, сенсорні сигнали чи часові ряди. Для досягнення високої точності моделі необхідні оперативна трансформація, очищення, інтеграція з іншими джерелами та постійне оновлення даних, оскільки тренувальні набори мусять відображати динамічні зміни в реальному світі. Реляційні бази даних стикаються з фундаментальними викликами, оскільки вони оптимізовані переважно для структурованих таблиць із фіксованою схемою, де кожне поле має чіткий тип і зв’язки, що обмежує гнучкість у обробці різноманітних даних [1] .

Одним із ключових обмежень є жорстка структурна орієнтація реляційних систем, яка ускладнює зберігання та обробку неструктурованих даних. Наприклад, для представлення зображень, текстів чи відеофайлів доводиться вдаватися до складної нормалізації, розбиття на атрибути або використання BLOB-полів, що призводить до витратних операцій перетворення й знижує швидкість доступу. Це особливо проблематично для задач машинного навчання, де дані часто потребують швидкого векторизування чи фічеризації, наприклад, для створення ембедінгів або обробки великих масивів числових даних у нейронних мережах. Крім того, при масштабуванні до терабайтних чи петабайтних обсягів продуктивність реляційних баз різко падає через обмежену горизонтальну масштабованість: традиційні запити на з'єднання таблиць (JOIN) або агрегування даних стають затратними, а індексація не завжди справляється з високим навантаженням на читання, необхідним для ітеративного навчання моделей. У розподілених системах реляційні бази вимагають складних механізмів реплікації, що може призводити до затримок у синхронізації даних і ускладнює забезпечення консистентності при високих навантаженнях [2].

Ще одним суттєвим бар'єром є слабка інтеграція з екосистемою машинного навчання. Реляційні бази не підтримують нативно інструменти на кшталт TensorFlow, PyTorch чи Spark MLlib, що змушує розробників експортувати дані через ETL-процеси (Extract, Transform, Load). Ці процеси є ресурсомісткими й часто призводять до дублювання наборів у спеціалізованих сховищах, таких як Hadoop Distributed File System, що породжує додаткові витрати на зберігання, ризики розбіжностей у даних і ускладнення адміністрування. Наприклад, підготовка даних для тренування моделі може займати до 80% часу розробки, що знижує швидкість ітерацій і конкурентні переваги, особливо в галузях, де швидкість реакції на зміни даних є критичною, таких як фінансовий сектор чи e-commerce.

Додатковим недоліком є обмежена підтримка високонавантажених аналітичних запитів, характерних для машинного навчання. Реляційні бази, такі як MySQL чи Oracle, оптимізовані для транзакційних операцій (OLTP), а не для аналітичної обробки великих обсягів даних (OLAP), яка є основою для ML-задач. Наприклад, виконання складних запитів для агрегації чи обчислення статистичних метрик на великих наборах даних може бути повільним через послідовну природу обробки в реляційних системах. Це контрастує з потребами ML, де часто потрібна паралельна обробка даних на кластерах для швидкого виконання операцій, таких як обчислення градієнтів чи тренування моделей [1].

Ще одним аспектом є складність роботи з динамічними даними. У машинному навчанні тренувальні набори часто змінюються в реальному часі, наприклад, у системах рекомендацій або прогнозування попиту. Реляційні бази, орієнтовані на статичні схеми, ускладнюють швидке внесення змін до структури даних без значних витрат на модифікацію схеми чи міграцію даних. Наприклад, додавання нових фічер до набору даних може вимагати перебудови таблиць, що є затратним у термінах часу та ресурсів, особливо для великих баз даних. Це знижує гнучкість і адаптивність, необхідні для швидкого прототипування моделей [1].

Водночас, реляційні бази мають обмеження в обробці високих паралельних навантажень, характерних для ML-застосунків. Наприклад, під час тренування моделей часто виконуються численні паралельні запити для вибірки даних, що може перевантажувати реляційні системи через їхню орієнтацію на послідовну обробку транзакцій. Це особливо помітно в сценаріях із великою кількістю одночасних користувачів або процесів, таких як розподілене навчання моделей на кількох GPU. У таких випадках реляційні бази можуть стати «вузьким місцем» через обмеження в пропускній здатності [1].

Однак реляційні бази не є абсолютно непридатними; їх можна адаптувати для задач машинного навчання через модифікації архітектури. Наприклад, впровадження колонкових сховищ, як у системах на базі PostgreSQL з розширеннями типу Citus, оптимізує аналітичні запити, прискорюючи читання великих наборів даних за рахунок зберігання колонок замість рядків [3]. In-memory бази, такі як Redis чи адаптовані версії Oracle In-Memory Database, переносять дані в оперативну пам'ять для швидкого доступу, що ідеально для обробки фічер у ML. Такі адаптації, поєднані з інтеграцією через API, дозволяють реляційним системам частково задовольняти потреби ML, зберігаючи переваги ACID і цілісності, а також забезпечуючи сумісність з існуючими бізнес-системами.

Тому дедалі частіше вдаються до альтернативних підходів, які краще пристосовані до специфіки машинного навчання. NoSQL-бази, такі як MongoDB для документоорієнтованих даних

чи Cassandra для часових рядів, пропонують гнучкі схеми, що спрощують зберігання неструктурованої інформації без попередньої нормалізації [4]. Сховища типу Data Lake, наприклад, на базі Apache Hadoop, дозволяють накопичувати дані в сирому вигляді, з подальшою обробкою через інструменти на кшталт Apache Spark, який забезпечує паралельні обчислення на кластерах для швидкого тренування моделей. Гібридний підхід, де реляційні бази відповідають за транзакційну обробку структурованих даних, а аналітичні завдання делегується розподіленим системам, таким як Databricks чи Google BigQuery, інтегрується з ML-пайплайнами для автоматизації ETL і фічеризації, дозволяючи оптимізувати ресурси та підвищувати ефективність.

Спеціалізовані платформи, орієнтовані на машинне навчання, такі як TensorFlow Extended (TFX) або Kubeflow, створюють end-to-end рішення, де дані не лише зберігаються, але й автоматично версіонуються, валідуються та оптимізуються для тренування, мінімізуючи ручні втручання. У сценаріях із реальним часом, як у автономних транспортних засобах чи рекомендаційних системах, ці платформи забезпечують потокову обробку даних, що є недосяжним для класичних реляційних баз через їхню орієнтацію на статичні транзакції. Наприклад, TFX дозволяє автоматизувати весь цикл обробки даних — від збору до розгортання моделей, забезпечуючи безперервне оновлення даних у реальному часі, а також інтеграцію з хмарними сервісами для масштабування.

Також перспективним напрямком є використання графових баз даних, таких як Neo4j або Amazon Neptune, для задач машинного навчання, пов’язаних із мережами та відносинами, наприклад, у рекомендаційних системах чи аналізі соціальних мереж. Ці бази ефективно моделюють складні взаємозв’язки між сутностями, що дозволяє швидко витягувати фічери на основі графових алгоритмів, таких як PageRank чи спільнотний детектинг, без складних JOIN-запитів [5]. Інтеграція з ML-фреймворками, як Graph Neural Networks у PyTorch Geometric, робить їх ідеальними для доменів із реляційними даними, де традиційні бази стикаються з обчислювальними обмеженнями, і дозволяє застосовувати передові методи, такі як графове навчання для прогнозування зв’язків.

Крім того, у контексті етичних і регуляторних вимог, альтернативні системи часто пропонують кращі інструменти для управління даними, такі як вбудовані механізми анонімізації чи дотримання GDPR, що є критичним для ML-застосунків у чутливих галузях, як охорона здоров’я чи фінанси. Наприклад, платформи на кшталт Snowflake дозволяють поєднувати реляційні та нереляційні підходи з вбудованою підтримкою ML, забезпечуючи безпечне зберігання та обробку даних без компромісів у продуктивності. Такі платформи також підтримують автоматизоване управління метаданими, що полегшує відстеження походження даних і забезпечує їхню відповідність нормативним вимогам.

Таким чином, класичні реляційні бази даних, попри свою фундаментальну роль в інформаційних системах, стикаються з суттєвими обмеженнями в контексті машинного навчання, пов’язаними зі структурною жорсткістю, проблемами масштабування, недостатньою інтеграцією з аналітичними інструментами, обмеженою підтримкою аналітичних запитів, складністю роботи з динамічними даними та низькою ефективністю при високих паралельних навантаженнях. Ці фактори призводять до зростання витрат на підготовку даних і зниження продуктивності моделювання. Розвиток адаптованих версій реляційних систем, перехід до спеціалізованих платформ і використання гібридних архітектур відкривають шлях до ефективної підтримки інтелектуальних технологій, забезпечуючи обробку великих і різнорідних масивів даних у динамічному середовищі, а також враховуючи етичні аспекти та регуляторні вимоги.

Список використаної літератури

[1] "RDBMS Benefits and Limitations." [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/dbms/rdbms-benefits-and-limitations. [Accessed: Oct. 03, 2025].
[2] "What are the Limitations of Relational Databases." [Online]. Available: https://milvus.io/ai-quick-reference/what-are-the-limitations-of-relational-databases. [Accessed: Oct. 03, 2025].
[3] "What is Citus?" [Online]. Available: https://docs.citusdata.com/en/v9.4/get_started/what_is_citus.htm. [Accessed: Oct. 03, 2025].
[4] "Is SQL or NoSQL Better for Machine Learning?" [Online]. Available: https://www.yugabyte.com/key-concepts/is-sql-or-nosql-better-for-machine-learning. [Accessed: Oct. 03, 2025].

[5] "Announcing Graph Native Machine Learning in Neo4j." [Online]. Available: https://neo4j.com/blog/machine-learning/announcing-graph-native-machine-learning-in-neo4j. [Accessed: Oct. 03, 2025].

УДК 004.77, 004.056

АЛГОРИТМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ В ХМАРНИХ ІНФРАСТРУКТУРАХ

Лисков В.І. (Vitalii.Lyskov@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі досліджено алгоритмічні підходи до забезпечення відмовостійкості в хмарних обчислювальних системах. Проаналізовано основні проблеми сучасних методів - реплікації, контрольних точок, протоколів консенсусу та прогнозування відмов на основі машинного навчання - щодо масштабованості, накладних витрат та точності прогнозів. Запропоновано гібридну архітектуру, що об'єднує реактивні та превентивні механізми відновлення, з адаптивним балансуванням ресурсів.

Хмарні обчислювальні інфраструктури (IaaS, PaaS, SaaS) характеризуються високою складністю та динамічністю розподілених ресурсів, що створює системні ризики відмов. З поширенням великих мовних моделей (Large Language Models, LLM) та їхньою інтенсивною експлуатацією, навантаження на хмарні інфраструктури значно зросло, що підвищує ймовірність апаратних і програмних відмов та загострює проблеми масштабованості. Існують три основні типи відмов, кожен з яких має свої особливості та виклики: Crash-failures (збої вузлів): виникають через апаратні або програмні помилки, коли вузол припиняє свою роботу, не порушуючи при цьому цілісності даних [2]. Omission-failures (пропуск запитів або повідомлень): виникають, коли вузол не надсилає або не отримує повідомлення, що може призвести до втрати даних або затримки в обробці [1]. Byzantine-failures (некоректна або зловмисна поведінка вузлів): виникають, коли вузол діє неправильно або зловмисно, що може призвести до пошкодження даних або порушення узгодженості системи [3].

Відмовостійкість (Fault Tolerance, FT) визначається здатністю системи зберігати коректну функціональність при часткових збоях компонентів, забезпечуючи високу доступність і безперервність обслуговування [1]. Для кожного з зазначених типів відмов застосовуються певні методи забезпечення відмовостійкості, проте вони мають обмеження. Так реплікація збільшує доступність даних, але потребує додаткових ресурсів [4]. Контрольні точки зменшують втрати прогресу, але оптимізація частоти та розподілу залишається складною [6]. Протоколи консенсусу такі як Paxos або Raft забезпечують узгодженість даних, проте з ростом кількості вузлів їх масштабування ускладнюється та призводить до збільшення затримок [4]. Прогнозування відмов на основі ML залежить від якості телеметрії та складності моделей [8].

Отже, традиційні методи відмовостійкості у хмарних інфраструктурах демонструють обмежену здатність до масштабування, підвищені ресурсоємність та недостатню ефективність у прогнозуванні відмов. З цього випливає необхідність досліджень і розробки комплексних алгоритмічних моделей, здатних одночасно забезпечувати стійкість до всіх типів відмов та ефективне керування ресурсами в сучасних хмарних обчислювальних середовищах.

Для вирішення наявних проблем пропонується підхід, який передбачає впровадження адаптивної проактивної моделі відмовостійкості [9], що переходить від реактивного відновлення до уникнення збоїв. Модель базується на інтеграції трьох ключових алгоритмічних компонентів. По-перше, AI-Driven прогнозування використовує машинне навчання для завчасного виявлення несправних вузлів (надаючи ймовірність збою P та час до відмови T_{T-F}) та ініціювання предиктивної міграції , що забезпечує низький RTO (Recovery Time Objective) [8]. По-друге, для керування ресурсами вбудовується Аналіз Витрат і Вигод (CBA). Алгоритм CBA мінімізує операційний Overhead, автономно обираючи найбільш економічно вигідну FT-дію з ієрархії (від локального рестарту до Live Migration). CBA також дозволяє балансувати постійні

накладні витрати на дорогі FT-механізми, як-от BFT-протоколи, які необхідні для захисту критичних вузлів від Byzantine-failures [4]. По-третє, використовуються адаптивні стратегії Checkpointing, що динамічно коригують частоту збереження стану залежно від навантаження та ризику, вирішуючи проблеми синхронізації у великих системах [10]. Цей гібридний підхід забезпечує масштабованість та гарантовану стійкість, хоча ефективність моделі залежить від точності даних моніторингу.

Висновки. У роботі проведено аналіз типів відмов у хмарних інфраструктурах та існуючих алгоритмічних методів забезпечення відмовостійкості, зокрема реплікації, контрольних точок і протоколів консенсусу. Виявлено їхні обмеження щодо масштабованості, накладних витрат і ефективності превентивного реагування на збої. Запропоновано гібридний підхід, який інтегрує класичні механізми з прогнозуванням на основі машинного навчання та адаптивним управлінням ресурсами, що забезпечує підвищену стійкість системи, скорочує час простою та оптимізує використання обчислювальних ресурсів у сучасних масштабованих хмарних середовищах. Водночас результати роботи відкривають перспективи для подальших досліджень у напрямку підвищення точності прогнозів та зниження складності налаштування інтегрованих компонентів моделі (СВА).

Список використаної літератури

[1] A. Avizienis, J. C. Laprie, B. Randell, and C. Landwehr, “Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing,” IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, vol. 1, pp. 11–33, 2004.
[2] R. van Renesse and P. R. Rodriguez, “Fault Models in Distributed Systems,” Cornell Univ., Ithaca, NY, Tech. Rep., 2004
[3] L. Lamport, R. Shostak, and M. Pease, “The Byzantine Generals Problem,” ACM Transactions on Programming Languages and Systems, vol. 4, no. 3, pp. 382–401, 1982.
[4] K. Xiong and H. Perros, “Service performance and analysis in cloud computing,” in Proc. 1st IEEE Congress on Services (SERVICES'09), Los Angeles, CA, USA, Jul. 2009, pp. 693–700.
[6] Z. Liu, H. Wang, Z. He, Y. Liu, and Q. Liu, “A cooperative partial snapshot algorithm for checkpoint-rollback recovery of large-scale and dynamic distributed systems,” arXiv:2103.15285, 2021.
[8] T. B. K. Yadav and A. K. Singh, “AI-Driven Fault Detection and Self-Repair: Enhancing Cloud Computing Reliability,” ResearchGate, 2024.
[9] F. Salfner, et al., “Timely Virtual Machine Migration for Pro-Active Fault Tolerance,” in Proc. IEEE Global Communications Conf. (GLOBECOM), Atlanta, GA, USA, Dec. 2013, pp. 2289–2293.
[10] Z. Liu, H. Wang, Z. He, Y. Liu, and Q. Liu, “A cooperative partial snapshot algorithm for checkpoint-rollback recovery...,”

UDC 004.05

SELECTION OF DATA STORAGE METHODS FOR WEATHER FORECAST BIG DATA COLLECTION

Liutenko Iryna, Yaroslav Kravets
(cherliv68@gmail.com, beeengine1983@gmail.com)
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)

Problem statement.

In previous studies, the authors analyzed data obtained from publicly accessible weather websites [1]. For this purpose, web pages were collected from sources such as MeteoFor.com.ua, MeteoPost.com, MeteoProg.com, Sinoptik.ua, and Meteo.ua. The cumulative daily data volume reached approximately 500 megabytes. As data collection has been continuously conducted since 2012, the long-term accumulation of information has resulted in terabytes of stored content, leading to a need for a cost-effective and reliable storage solution. Moreover, the choice of the storage method directly influences the selection of software libraries and APIs during system development. The outcome of this study may be of

practical relevance to software engineers and Big Data specialists who face similar challenges, namely, the accumulation of substantial data volumes under conditions of limited financial resources and intermittent Internet connectivity.

Solution of the problems.

Several approaches are available for addressing the data storage requirements. These include local storage solutions such as internal Hard Disk Drives (HDDs) and Solid-State Drives (SSDs), as well as remote storage via cloud-based platforms (Fig. 1). The following sections provide a comparative analysis of these options with respect to cost, reliability, accessibility, and scalability.

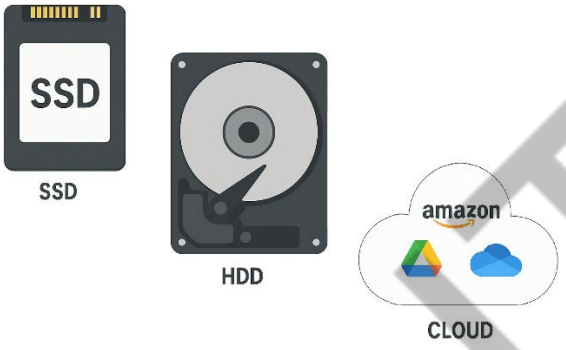


Figure 1 – Storage options considered for collecting Weather Big Data

To begin with, it is worth examining Hard Disk Drives (HDDs). From a cost-per-unit-of-storage perspective, HDDs remain the most economical option [2], making them well-suited for storing large volumes of data at a relatively low cost. However, in terms of data security and physical reliability, HDDs are more susceptible to mechanical damage resulting from shocks or drops [3], which places them at a disadvantage compared to Solid-State Drives (SSDs). This limitation can be partially mitigated through the use of RAID configurations; nevertheless, such an approach would at least double the overall cost, thereby diminishing the economic superiority of HDDs over SSDs. It should be noted, however, that the proposed data acquisition system is unlikely to be subjected to significant physical impact, rendering this drawback largely negligible.

Next, Solid-State Drives (SSDs) should be considered. At the current market prices, SSDs typically offer lower storage capacity compared to HDDs within the same budget range. Consequently, the cost per unit of stored data is higher for SSDs than for HDDs. However, SSDs provide significantly faster data access speeds, which is a critical advantage for applications involving intensive data retrieval and processing. In addition, SSDs exhibit higher reliability, particularly with respect to resistance to mechanical impact. Nevertheless, in the event of failure, data recovery from an SSD is generally more complex and less likely to succeed compared to HDDs. Therefore, SSDs are better suited for systems where performance and access speed are prioritized, whereas they may be less optimal for long-term storage of large data sets.

Finally, cloud storage should be examined. One of its key advantages is the ability to scale capacity according to user requirements, allowing for both expansion and reduction of storage volume as needed [4]. Major service providers such as Microsoft, Google, and Amazon typically implement data redundancy mechanisms, which significantly reduce the risk of data loss. However, the reliance on remote infrastructure introduces additional risks, including potential unauthorized access or data deletion by cyber attackers. Furthermore, loss of internet connectivity results in complete unavailability of stored data—an issue that is particularly relevant in the context of Ukraine. It should also be noted that, for long-term storage of large and continuously growing datasets, the overall cost of cloud storage exceeds that of traditional hard drives. Therefore, while cloud storage offers convenience and high interoperability for managing large datasets, it requires a considerable level of trust in the service provider and entails substantially higher financial expenditure.

In summary, several approaches are available for storing Big Data, including HDDs, SSDs, and cloud-based services. HDDs remain the most common choice for large-scale storage due to their low cost and high capacity, although they are more vulnerable to mechanical damage. SSDs offer significantly

faster access speeds and greater reliability but at a higher cost per unit of storage. Cloud storage, in turn, enables virtually unlimited capacity on remote servers and provides high levels of security through encryption and redundancy; however, it depends on continuous internet availability and requires trust in the service provider. In practical applications, hybrid strategies that combine local storage with cloud-based solutions are often employed to balance performance, cost, and reliability. The characteristics of each storage method were compared and summarized in Table 1:

Table 1 — Comparison of Data Storage Methods for Weather Forecast Big Data

Characteristic	**HDD (Hard Disk Drive)**	**SSD (Solid State Drive)**	**Cloud Storage**
Storage Capacity	Large, suitable for big datasets	Medium, limited capacity	Almost unlimited, scalable
Speed	Low	Very high	Depends on internet connection
Reliability	Vulnerable to mechanical damage	More resistant, no moving parts	Data safely stored on servers
Data Security	Depends on user (antivirus, backups)	Good, but recovery is difficult in case of failure	High — encryption, backups, password protection
Cost	Low	Higher than HDD	Depends on plan and usage
Data Access	Local only	Local only	Accessible from anywhere via the internet
Best For	Archives, large files	Software and data processing	Collaboration and backup of large datasets

Conclusions.

This study examined various options for storing large-scale weather data, focusing on Hard Disk Drives (HDDs), Solid-State Drives (SSDs), and cloud storage services (e.g., Amazon, Google, Microsoft). The analysis indicates that HDDs are the most suitable option under the given constraints, which include limited financial resources, potential instability of internet access in Ukraine, and the requirement to store several hundred gigabytes of data. Even when accounting for redundancy measures, HDD-based storage remains more cost-effective than both SSDs and cloud solutions.

Nevertheless, if sufficient funding were available, a hybrid storage approach could be considered—using HDDs as the primary storage medium and maintaining a cloud-based mirror for backup purposes. In such a scenario, archived or compressed storage in the cloud would be preferable to minimize ongoing operational costs.

References

[1] Karina Melnyk, Yaroslav Kravets, Iryna Liutenko, Svitlana Yershova, Oksana Ivashchenko, Dmytro Yershov and Olena Odyntsova, “Multi-Agent Approach for the Unification of Meteorological Data”. https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper37.pdf

[2] Ms.Hepisuthara, Dr. Priyankasharmab, “Comparative Analysis Study on SSD, HDD, and SSHD”. https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/download/1644/1391/3063

[3] Gao, F., Yap, F.F., Yan, Y., “Shock analysis of non-operating hard disk drives based on a multibody dynamic formulation”. https://doi.org/10.1007/s00542-005-0052-4

[4] Maram Mohammed, Omar Batarfi, “Cloud Scalability Considerations”. https://www.researchgate.net/publication/274175451_Cloud_Scalability_Considerations

ЗАСТОСУВАННЯ GOOGLE AUTHENTICATOR У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ

Матвеєв Р.В., Терейковська Л.О. (fark097u6@gmail.com , tereikovskal@ukr.net)
Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)

Сучасна технологія Google Authenticator у сфері електронного документообігу дозволяє суттєво підвищити рівень конфіденційності та захисту документів, а також інформаційної інфраструктури компаній. Актуальність використання подібних рішень зумовлена зростанням кількості кіберзагроз, спрямованих на викрадення документів, конфіденційних даних та інтелектуальної власності. Традиційні методи аутентифікації, що базуються лише на введенні логіна та пароля, є вразливими до сучасних атак. Використання Google Authenticator забезпечує багатофакторну перевірку користувача, що значно знижує ризики несанкціонованого доступу. Найпоширенішими видами атак, проти яких ефективно діють технології багатофакторної аутентифікації, є фішинг (phishing), брутфорс-атаки (brute-force attacks) та кейлогери (keyloggers).

Метою даного дослідження є визначення перспективності використання технології Google Authenticator у сучасних системах електронного документообігу.

Для оцінювання перспективності використання технології Google Authenticator в електронному документообігу було проаналізовано науково-практичні джерела. Так, у роботі [1] розглянуто основні принципи багатофакторної аутентифікації користувачів, її переваги порівняно з традиційними методами захисту, а також недоліки автентифікації, що ґрунтується лише на парі логін–пароль. Зазначено, що така система є вразливою до фішингу, атак типу brute-force та дії кейлогерів. Фішинг - метод соціальної інженерії, що полягає у шахрайському отриманні конфіденційних даних користувача шляхом імітації легітимних вебресурсів. Брутфорс-атака передбачає систематичний перебір комбінацій паролів або ключів доступу із використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Кейлогери є шкідливими програмами, призначеними для фіксації натискань клавіш і перехоплення введених даних. Для підвищення стійкості до таких загроз застосовується багатофакторна аутентифікація (Multi-factor authentication), зокрема реалізована в Google Authenticator. Вона ґрунтується на алгоритмі TOTP (Time-based One-Time Password), який генерує одноразові шестизначні коди, що змінюються кожні 30 секунд, забезпечуючи додатковий рівень захисту навіть у разі компрометації пароля.

Висновки

Аналіз науково-прикладних робіт показав, що використання Google Authenticator є ефективним, доступним та надійним способом підвищення рівня безпеки електронного документообігу та електронних даних загалом. Інтеграція цього та подібних інструментів забезпечує не лише захист від несанкціонованого доступу, а й підтримання цілісності даних. Електронний документообіг сьогодні є невід'ємною складовою діяльності більшості організацій, тому основним завданням подальшого розвитку є підвищення його зручності та безпеки.

Список використаної літератури

1. Papaspirou V., Papathanasaki M., Maglaras L. A novel optimized probabilistic neural network approach for intrusion detection and categorization. *Information 2023,* 14(7), 386; https://doi.org/10.3390/info14070386.

УДК 336.743

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНОНІМНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ ОБМІНУ КРИПТОВАЛЮТ

Овчаренко О.В., Котлик С.В. (oleh.ovcharenko6@gmail.com, sergknet@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У статті розглянуто сучасні технології забезпечення анонімності та безпеки під час обміну криптовалютами. Визначається проблема відкритості більшості блокчейн-мереж, що створює ризики втрати приватності користувачів і можливість відстеження їхніх транзакцій. Пояснено важливість використання спеціальних криптографічних методів для захисту персональних даних у цифровій фінансовій сфері. Проведено порівняльний аналіз чотирьох технологій анонімізації — CoinJoin, RingCT, zk-SNARKs і Stealth-адрес, наведено принципи їх роботи та оцінено ефективність за рівнем конфіденційності, стійкістю до атак і складністю реалізації. У висновках підкреслюється доцільність комбінування різних методів для досягнення балансу між приватністю, швидкодією та зручністю використання. Розвиток технологій анонімізації визначено як ключовий фактор підвищення безпеки й довіри до криптовалют у сучасному інформаційному середовищі.

Вступ. Криптовалюта сьогодні є однією з найпомітніших інновацій у сфері фінансів і цифрової економіки. Вона поєднує криптографічні методи, розподілені мережі та економічні механізми, формуючи альтернативну систему розрахунків без потреби у банках чи посередниках. Криптовалюта – це цифровий вид грошей, що працює на основі технології блокчейн, де всі угоди записуються у розподіленій таблиці без залучення централізованих структур [1]. Такий підхід забезпечує прозорість, незалежність і децентралізацію, але водночас створює низку нових проблем у сфері безпеки та конфіденційності.

Відкритість більшості блокчейн-мереж означає, що будь-який користувач може переглядати історію транзакцій, аналізувати рух коштів і навіть встановлювати зв’язки між учасниками. Це створює ризики для приватності, особливо тоді, коли криптовалюти використовуються для персональних чи комерційних операцій. Проблема анонімності стає критично важливою, оскільки навіть у системах, де не передбачено розкриття персональних даних, зберігається можливість ідентифікації користувачів за допомогою поведінкових чи технічних ознак [2].

Постановка проблеми та актуальність. Незважаючи на високу стійкість криптографічних механізмів, багато блокчейн-мереж залишаються відкритими для аналізу транзакцій. Кожна угода в таких системах має публічний запис, який дозволяє відстежувати рух грошей і встановлювати зв’язки між адресами гаманців [2]. Це породжує явище **деанонімізації** — процесу визначення особи власника гаманця через аналіз даних транзакцій, часових закономірностей або IP-адрес. Подібні дії можуть здійснювати не лише правоохоронні органи, а й зловмисники, що безпосередньо загрожує праву користувачів на приватність.

Крім ризику втрати анонімності, зберігається низка безпекових загроз: фішингові атаки, злам гаманців, підміна адрес одержувачів, витоки приватних ключів та компрометація централізованих бірж. За даними **Chainalysis Crypto Crime Report 2023**, лише у 2022 році через подібні інциденти було викрадено криптовалют на суму понад **10 мільярдів доларів США** [3]. Це свідчить про те, що навіть за умов використання блокчейн-технологій користувачі залишаються вразливими без застосування спеціальних рішень для забезпечення конфіденційності та захисту даних.

Таким чином, дослідження технологій, спрямованих на підвищення рівня анонімності, є надзвичайно актуальним у контексті розвитку цифрових фінансів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз та порівняння сучасних технологій анонімізації транзакцій у криптовалютних мережах, таких як CoinJoin, Ring Confidential Transactions (RingCT), zk-SNARKs і Stealth-адреси, а також оцінка їх ефективності в забезпеченні конфіденційності та безпеки обміну криптовалютами.

Основними завданнями є:

- розглянути принципи роботи зазначених технологій;
- визначити рівень анонімності, який вони забезпечують;

– оцінити їх стійкість до атак і складність реалізації;
– сформулювати рекомендації щодо комбінування технологій для досягнення оптимального балансу між приватністю, швидкодією та зручністю використання.

Огляд технологій забезпечення анонімності

1. Технологія CoinJoin. CoinJoin — це метод групування кількох транзакцій в одну спільну операцію. Його суть полягає у змішуванні вхідних і вихідних адрес таким чином, щоб неможливо було визначити, хто кому відправив кошти [4]. Кожен учасник підписує свою частину транзакції, а результат виглядає як одна велика операція з численними відправниками та одержувачами. Це значно ускладнює аналітичне відстеження коштів і зменшує ризик деанонімізації. Недоліком підходу є потреба в координації між учасниками та певна вразливість до статистичного аналізу.

2. Ring Confidential Transactions (RingCT). Технологія RingCT, що лежить в основі криптовалюти **Monero**, використовує кільцеві підписи для приховування як сум, так і учасників угод [5]. У межах однієї транзакції реальний відправник змішується з кількома фіктивними, що унеможливлює визначення джерела коштів. Одночасно метод дозволяє зберегти перевірюваність правильності операцій без розкриття деталей. Це забезпечує високий рівень анонімності, але потребує значних обчислювальних ресурсів.

3. zk-SNARKs. Zero-Knowledge Succinct Non-Interactive Argument of Knowledge — це криптографічна технологія, що дозволяє підтверджувати правильність транзакції без розкриття жодних її даних. Вона використовується у криптовалюті **Zcash** [6] і забезпечує найвищий рівень конфіденційності серед відомих методів. Однак її реалізація вимагає складних математичних доказів і потужного апаратного забезпечення, що ускладнює масштабне впровадження.

4. Stealth-адреси. Stealth-адреси передбачають створення одноразової адреси для кожної операції, що значно ускладнює спроби відстежити одержувача чи аналізувати його фінансову активність [7]. Навіть якщо відправник і одержувач здійснюють багато угод, кожна з них виглядає як унікальна й не пов’язана з попередніми. Технологія широко використовується в Monero та інших проєктах із підвищеною приватністю.

Методика дослідження та порівняльний аналіз. Для оцінки ефективності зазначених методів було використано багатокритеріальний аналіз, який враховує рівень анонімності, стійкість до атак, складність реалізації та зручність використання.

Отримані результати показали, що технології zk-SNARKs і RingCT забезпечують найвищий рівень конфіденційності, але відзначаються високою обчислювальною складністю. Натомість CoinJoin і Stealth-адреси є простішими у впровадженні, однак менш ефективними щодо протидії аналітичним атакам. Висновки аналізу свідчать про доцільність комбінування цих технологій для досягнення збалансованої моделі захисту даних. Наприклад, поєднання CoinJoin зі Stealth-адресами або zk-SNARKs може одночасно забезпечити прийнятний рівень приватності, продуктивності та доступності.

Результати дослідження. Проведене дослідження показало, що способи збереження анонімності у мережах криптовалют суттєво різняться за своїми характеристиками — рівнем конфіденційності, стійкістю до атак та складністю реалізації.
– найвищий рівень анонімності демонструють zk-SNARKs та RingCT, які дозволяють повністю приховати учасників і суми транзакцій;
– середній рівень забезпечують CoinJoin і Stealth-адреси — вони значно ускладнюють аналітичне відстеження, але не гарантують повної невидимості;
– комбіновані рішення можуть надати оптимальний баланс між безпекою й ефективністю.

Важливо зазначити, що навіть найсучасніші технології не усувають усіх загроз. Анонімність у криптовалютах завжди є компромісом між відкритістю мережі та необхідністю захисту користувачів.

Висновки. У статті розглянуто ключові технології анонімізації в обміні криптовалютами та проаналізовано їхні сильні й слабкі сторони. Дослідження показало, що способи збереження анонімності у мережах криптовалюти сильно різняться за захистом конфіденційності, здатністю витримувати напади та легкістю виконання.

З’ясовано, що розвиток криптографічних методів — таких як CoinJoin, RingCT, zk-SNARKs і Stealth-адреси — є важливим етапом еволюції цифрових фінансових систем. Вони не лише підвищують безпеку користувачів, а й сприяють формуванню довіри до криптовалют у сучасному інформаційному середовищі.

Найвищий рівень анонімності дають zk-SNARKs і Ring Confidential Transactions (RingCT), що дозволяє повністю приховати учасників і суми проведених угод. Але ці рішення вимагають великих обчислювальних ресурсів, що обмежує їх використання у великих мережах. Легші у застосуванні технології, як CoinJoin та Stealth-адреси, навпаки, надають базовий рівень захисту, але роблять угоди менш видимими — хоча не виключають можливість їх аналітичного стеження. CoinJoin підвищує складність визначення відправника через змішування кількох операцій, тоді як Stealth-адреси створюють одноразові адреси для кожної угоди, ускладнюючи спроби пов'язати угоди з певним користувачем.

Порівняння цих методів показує, що досягти повної анонімності неможливо. Проте комбінування способів — наприклад, застосування CoinJoin разом зі Stealth-адресами або zk-SNARKs — може забезпечити баланс між безпекою, швидкодією та зручністю використання у процесі обміну криптовалют. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на створення гібридних систем анонімізації, оптимізованих для швидкодії, масштабованості та сумісності з різними блокчейн-платформами. Тільки поєднання технічних, криптографічних і нормативних підходів здатне забезпечити належний рівень безпеки у світі децентралізованих фінансів.

Список використаної літератури

[1] Що таке криптовалюта? *CryptoSummer*: [Веб-сайт]. 2024. URL: https://cryptosummer.com.ua/kryptovalyuta/ (дата звернення: 15.10.2025).
[2] Чи є транзакції Bitcoin анонімними і чи можна відстежити власника? *CRYPTA*: [Веб-сайт]. 2024. URL: https://crypta.kyiv.ua/obrazovanie-i-sovety/chi-e-tranzakcii-bitcoin-anonimnimi-i-chi-mozhna/ (дата звернення: 15.10.2025).
[3] *Crypto Crime Report 2023*. Chainalysis: [Веб-сайт]. 2023. URL: https://www.chainalysis.com/blog/2023-crypto-crime-report-introduction (дата звернення: 15.10.2025).
[4] *CoinJoin: Bitcoin privacy for the real world*. Bitcoin Forum: [Веб-сайт]. 2013. URL: https://bitcointalk.org/index.php?topic=279249.0 (дата звернення: 15.10.2025).
[5] *Ring Confidential Transactions* / *Ledger Journal*. Pittsburgh, 2016. Вип. 1, т. 1. С. 1–18.
[6] *Z.cash*: [Веб-сайт]. URL: https://z.cash/learn/what-are-zk-snarks/ (дата звернення: 16.10.2025).
[7] *Stealth Address. Getmonero*: [Веб-сайт]. 2024. URL: https://www.getmonero.org/resources/moneropedia/stealthaddress.html (дата звернення: 15.10.2025).

УДК 004.021

ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ ЗАСОБАМИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

Опанасюк М. С. (mykyta.opanasiuk@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі проведено аналіз ключових підходів до побудови рекомендаційних систем, що сприяють персоналізації користувацького досвіду в різних сучасних застосунках. Розглянуто основні типи алгоритмів: колаборативну та контентну фільтрацію. Досліджено їхні переваги, недоліки та прямий вплив на якість користувацької взаємодії, що є важливим для розв'язання проблеми інформаційного перевантаження. Обґрунтовано, що найефективнішим рішенням є застосування гібридних систем, які поєднують сильні сторони обох підходів.

Сучасний цифровий простір характеризується експоненціальним зростанням обсягів даних. У таких умовах користувачі часто стикаються з проблемою інформаційного перевантаження, що ускладнює пошук релевантного контенту, товарів чи послуг. Ефективним інструментом для розв'язання цієї проблеми є рекомендаційні системи, які аналізують дані про поведінку та уподобання користувачів для надання персоналізованих рекомендацій [1]. Вони знижують когнітивне навантаження, підвищують залученість аудиторії та створюють «ефект несподіваної

знахідки» (serendipity). Їх інтеграція дозволяє значно покращити користувацький досвід, підвищити лояльність та залученість аудиторії [2].

На сьогодні виділяють два фундаментальних підходи до побудови рекомендаційних систем [3]:

1. Колаборативна фільтрація (Collaborative Filtering) – один з найпопулярніших методів, що базується на аналізі поведінки великої групи користувачів. Алгоритм знаходить користувачів зі схожими смаками («сусідів») і рекомендує об'єкти, які сподобалися «сусідам», але ще не були оцінені поточним користувачем. Головними перевагами є здатність надавати неочевидні, але релевантні рекомендації та незалежність від характеристик самих об'єктів. Однак цей підхід має недоліки, такі як «проблема холодного старту» (неможливість надати рекомендації новим користувачам або для нових товарів) та низька продуктивність на розріджених даних.
2. Контентна фільтрація (Content-Based Filtering) – цей підхід фокусується на характеристиках (атрибутах) самих об'єктів. Система вивчає профіль інтересів користувача на основі об'єктів, які він позитивно оцінив у минулому, і рекомендує схожі за змістом об'єкти. Перевагою є прозорість рекомендацій та відсутність «проблеми холодного старту» для нових об'єктів. Водночас метод схильний до надмірної спеціалізації (рекомендує лише дуже схожі об'єкти) і погано враховує нові інтереси користувача.

Для подолання недоліків окремих підходів доцільно застосовувати гібридні рекомендаційні системи, які комбінують методи колаборативної та контентної фільтрації, а також інші підходи, наприклад, демографічні дані чи знання про предметну область [4]. Наприклад, застосунок може використовувати контентну фільтрацію для нових користувачів, а після накопичення даних про їхню поведінку підключати колаборативні методи. Таке поєднання дозволяє досягти вищої точності, надійності та різноманітності рекомендацій, надаючи користувачеві збалансований та релевантний досвід.

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що вибір конкретного алгоритму або їх комбінації залежить від специфіки задачі, доступних даних та бізнес-цілей. Найбільш ефективним підходом є використання гібридних рекомендаційних систем, які поєднують переваги колаборативної та контентної фільтрації, забезпечуючи точніші й різноманітніші результати. Впровадження таких систем безпосередньо вирішує поставлену проблему інформаційного перевантаження, знижуючи когнітивне навантаження на користувача та підвищуючи його залученість, що підтверджує відповідність отриманих результатів поставленій задачі.

Список використаної літератури

[1] C. C. Aggarwal, Recommender Systems. Cham: Springer Int. Publishing, 2016. Accessed: Oct. 1, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3

[2] R. Burke, “Hybrid recommender systems: Survey and experiments,” User Model. User-Adapted Interaction, vol. 12, no. 4, pp. 331–370, 2002. Accessed: Oct. 1, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1023/a:1021240730564

[3] B. P. Knijnenburg, M. C. Willemsen, Z. Gantner, H. Soncu, and C. Newell, “Explaining the user experience of recommender systems,” User Model. User-Adapted Interaction, vol. 22, no. 4-5, pp. 441–504, Mar. 2012. Accessed: Oct. 1, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s11257-011-9118-4

[4] A. V. Shinde, D. D. Patil, and K. K. Tripathi, “A Comprehensive Survey on Recommender Systems Techniques and Challenges in Big Data Analytics with IOT Applications,” Rev. Gestao Soc. Ambient., vol. 18, no. 2, Mar. 2024, Art. no. e05195. Accessed: Oct. 1, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-097

УДК 004:415

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Панченко В.І., Ткаченко П.Д. (Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

Робота присвячена проблемі забезпечення ефективності процесу тестування мобільних застосунків в умовах неоднорідної екосистеми, яка характеризується різноманіттям апаратного забезпечення, версій операційних систем, типів мереж та сценаріїв взаємодії користувачів. Поєднання зазначених інструментів з системами безперервної інтеграції та хмарними середовищами тестування дозволяє підвищити рівень автоматизації, розширити охоплення сценаріїв і забезпечити стабільну якість програмного продукту незалежно від платформи чи пристрою.

Проблема створення ефективного процесу тестування мобільних застосунків зумовлена неоднорідністю їхньої екосистеми: різноманіттям апаратного забезпечення, версій операційних систем Android та iOS, типів мереж і сценаріїв взаємодії користувачів, таких як жести на сенсорному екрані, зміна орієнтації чи фонові процеси. Існуючі методи тестування, розроблені для настільних програм, не враховують особливостей мобільних пристроїв, зокрема обмеженість заряду батареї, що впливає на продуктивність при тривалому використанні, переривання від дзвінків чи повідомлень, а також зміни геолокації, які впливають на GPS-залежні модулі. Розглянуті особливості пливають на зростання витрат на ручне відтворення сценаріїв і пропуск серйозних помилок, таких як витоки пам’яті чи проблеми з інтерфейсом на екранах різної роздільної здатності. Процес розробки сучасних застосунків у більшості випадків будується за допомогою швидких методологій, таких як скрам (Scrum). У швидких циклах розробки, характерних для гнучких методологій, необхідна автоматизація, але брак єдиних інструментів ускладнює поєднання ручного та автоматичного тестування, особливо для застосунків, створених на кросплатформених технологіях, таких як Flutter чи React Native. Таким чином, організація процесу тестування є складним завданням, де недостатня інтеграція інструментів знижує ефективність і якість продукту.

Мета дослідження – дослідження і оцінка сучасних інструментів тестування мобільних застосунків, зокрема Appium, Espresso, XCUITest і Selenium, для створення ефективного сценарію тестування, що забезпечує високу продуктивність, гнучкість до змін у екосистемі та раціональне використання ресурсів.

Досліджено вплив інструментів на етапи процесу тестування: планування тестових випадків на основі користувацьких сценаріїв, виконання регресійного тестування для перевірки змін після випуску продукту та моніторинг за допомогою засобів аналізу збоїв у реальному часі.

У роботі проведено теоретичний огляд літератури за стандартами ISTQB Mobile Testing Syllabus. Основна увага приділена інструментам:

- Appium, як інструмент із відкритим кодом, який підтримує кросплатформне тестування, дозволяючи створювати універсальні сценарії, які охоплюють як Android, так і iOS, зменшуючи потребу в дублюванні коду [1];
- WebDriver, що дозволяє створювати сценарії на Java чи Python для роботи з реальними пристроями або емуляторами;
- Espresso, розроблений для Android, що оптимізує виконання тестів завдяки синхронізації з інтерфейсом користувача, що зменшує помилкові результати та забезпечує швидке виконання тестів, що критично для коротких циклів розробки [2];
- XCUITest, інтегрований у Xcode для iOS, що забезпечує точне відтворення користувацьких дій через Accessibility API, підтримуючи сценарії на Swift чи Objective-C для автоматизації тестів інтерфейсу. Також він дозволяє точно моделювати взаємодії в iOS-екосистемі, інтегруючись із TestFlight для тестування бета-версій;
- Selenium, адаптований для мобільного веб-тестування, який забезпечує перенесення сценаріїв із настільних платформ, що полегшує тестування гібридних застосунків, але потребує додаткових бібліотек, таких як TouchAction у Appium, для обробки сенсорних жестів, прокручування чи масштабування [3].

Результати дослідження показали, що для забезпечення комплексного процесу тестування та валідації мобільного застосунку необхідно використовувати комбінацію розглянутих інструментів разом з системами безперервної інтеграції, такими як Jenkins, а також хмарними платформами, наприклад, AWS Device Farm, що забезпечує тестування на широкому спектрі пристроїв.

Для вирішення виникаючих викликів необхідно використовувати всі можливості інструментів. Appium із бібліотеками TouchAction забезпечує точне відтворення сенсорних жестів, що необхідно для тестування складних взаємодій, таких як тривале натискання чи багатоточкові жести. Selenium підтримує тестування веб-інтерфейсів у гібридних застосунках, але його ефективність зростає при комбінації з Appium для нативних елементів. Espresso та XCUITest оптимізують тестування платформоспецифічних функцій, таких як push-повідомлення чи апаратні сенсори. Для подолання неоднорідності Android-екосистеми застосовано хмарні платформи, які використовують статистичний відбір для охоплення найпоширеніших конфігурацій пристроїв. Інструменти поведінкового тестування, сумісні з Appium, дозволяють переводити вимоги в чіткі сценарії, що сприяє узгодженості між розробниками та тестувальниками. Безпеку тестування API забезпечує інтеграція інструментів для виявлення вразливостей, таких як SQL-ін’єкції, на етапі модульного тестування. Комплексний підхід, що поєднує автоматизацію тестів за допомогою Appium, Espresso, XCUITest і Selenium, скорочує час випуску продукту та підвищує якість за рахунок кращого покриття коду.

Висновок: проведене дослідження підтверджує, що ефективна організація процесу тестування мобільних застосунків потребує комплексного підходу, який поєднує різні інструменти та методології. Застосування Appium, Espresso, XCUITest і Selenium забезпечує оптимальне покриття функціональних і нефункціональних аспектів тестування, тоді як інтеграція із системами CI/CD і хмарними платформами сприяє підвищенню масштабованості та точності результатів. Такий підхід дозволяє скоротити час розробки, мінімізувати ризики виникнення критичних помилок і підвищити загальну якість мобільних застосунків.

Список використаної літератури

[1] Verma N. Mobile Test Automation with Appium: Mobile application testing made easy / Nishant Verma., 2017. – 256 p.
[2] Espresso [Online]. Available: https://developer.android.com/training/testing/espresso [Accessed: October 04, 2025].
[3] Garg N. Test Automation using Selenium WebDriver with Java: Step by Step Guide / Navneesh Garg., 2014. – 404 p.

УДК 004.932

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ АЕРОЗЙОМКИ

Панченко В.І., Цяпа Г.П. (Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

У роботі розглянуто сучасні методи та засоби ефективної обробки зображень аерозйомки, спрямовані на підвищення продуктивності обчислювальних процесів при збереженні високої точності та якості результатів. Проаналізовано підходи до геометричної та радіометричної корекції аерофотознімків, включно з поліноміальними моделями, проективними перетвореннями, методами атмосферної компенсації, топографічної нормалізації та мозаїкування.

Розвиток технологій дистанційного зондування землі призводить до виникнення великих обсягів даних аерофотозйомки. Такий обсяг даних створює необхідність їх ефективної обробки, зберігання та аналізу. Зображення, отримані з безпілотних літальних апаратів та пілотованих повітряних суден, характеризуються високою роздільною здатністю, значними геометричними та радіометричними спотвореннями, які були викликані умовами знімання, параметрами апаратури

НТБОНТУ

та атмосферними впливами. Також, виникає проблема забезпечення оперативності обробки великих даних при збереженні високої точності результатів, що критично важливо для картографування, моніторингу навколишнього середовища, планування територій та аварійно-рятувальних операцій.

Метою дослідження є дослідження методів та засобів ефективної обробки зображень аерозйомки, що забезпечують підвищення продуктивності обчислювального процесу та збереженні або покращенні якісних характеристик.

Геометрична корекція аерофотознімків становить основний етап їх обробки, спрямований на усунення систематичних спотворень, обумовлених особливостями процесу знімання. Класичний підхід базується на використанні поліноміальних моделей, що встановлюють функціональний зв'язок між координатами точок на знімку та відповідними координатами в заданій системі відліку [1].

Поліноми першого порядку забезпечують лінійне перетворення та ефективні для корекції знімків з незначними спотвореннями при виправленні знімків, знятих з невеликої висоти, або як груба початкова корекція. Для більш складних випадків, що викликані центральною проєкцією або кривиною поверхні землі, необхідне застосування поліномів другого порядку. Третій порядок використовується, коли спотворення значні, але його використання вимагає більшої кількості опорних точок, що може викликати виникнення великої помилки між опорними точками.

Альтернативним підходом є використання методів проективного перетворення, які базуються на колінеарних рівняннях фотограмметрії та враховують геометричні параметри знімальної системи.

Диференційне трансформування передбачає розбиття знімка на окремі елементи, для кожного з яких виконується індивідуальна корекція з урахуванням локальних висотних характеристик.

Радіометрична обробка аерофотознімків спрямована на усунення систематичних впливів, що спотворюють розподіл яскравостей на зображенні. Атмосферна корекція є важливим етапом обробки, оскільки атмосферне розсіювання та поглинання впливають на якість відображення об'єктів. Метод віднімання темного об'єкта базується на припущенні про наявність на знімку областей з нульовою або близькою до нуля відбивною здатністю, яскравість яких обумовлена виключно атмосферним розсіюванням.

Параметричний підхід використовує моделі переносу випромінювання в атмосфері, що враховують спектральні характеристики атмосферних складових, геометрію знімання та параметри сонячного освітлення. Метод топографічної нормалізації на основі закону Ламберта передбачає моделювання впливу рельєфу на інтенсивність відбитого випромінювання.

Для створення загального знімку області використовуються методи мозаїкування, що забезпечують плавні переходи між суміжними знімками. Ключовою задачею є вибір оптимальної лінії розрізу, яка повинна проходити через області з мінімальними розбіжностями між суміжними знімками. Метод динамічного програмування дозволяє знайти оптимальний шлях мінімальної вартості через матрицю. Радіометричне вирівнювання суміжних знімків є необхідною умовою створення якісного мозаїчного зображення.

Глобальні методи вирівнювання базуються на визначенні функцій перетворення яскравостей для кожного знімка таким чином, щоб мінімізувати розбіжності в зонах перекриття.

Обробка масштабних аерофотознімків – складна задача для обчислювальних систем, що вимагає необхідність застосування спеціалізованих апаратних засобів прискорення обчислень. Використання графічних процесорів загального призначення для паралельної обробки даних демонструє значний приріст продуктивності порівняно з традиційними центральними процесорами завдяки масово-паралельній архітектурі [2].

Висновки: проведене дослідження методів і засобів обробки зображень аерозйомки підтверджує необхідність комплексного підходу, який поєднує геометричну, радіометричну, атмосферну та топографічну корекцію із застосуванням паралельних обчислень. Використання сучасних алгоритмів і апаратних прискорювачів дозволяє значно підвищити ефективність обробки, точність геоприв'язки та якість кінцевих зображень.

ITEOHTY

Список використаної літератури

[1] Remondino F. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons / F. Remondino, C. Fraser // IAPRS: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden 25-27 September 2006. − Volume XXXVI. − Part 5. − P. 266−272.

[2] Toutin T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. INT. J. Remote sensing. – 2004. – Vol. 25. – No. 10. – P. 1893–1924.

УДК 336.7:004.056:005.334

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА У ФІНАНСОВІЙ СФЕРІ: РОЛЬ БЛОКЧЕЙН У МІНІМІЗАЦІЇ КІБЕРРИЗИКІВ

Подельський С.В. (podelskiy@gmail.com)
Київський авіаційний інститут (Україна)

Фінансовий сектор зазнає все більше кібератак, близько п'ятої частини всіх інцидентів припадає саме на фінансові установи. Це створює критичні ризики для збереження даних, коштів і довіри клієнтів. Традиційні централізовані системи безпеки часто виявляються вразливими до зламів і шахрайства, не забезпечуючи достатнього захисту. Технологія блокчейн пропонує новий підхід до інформаційної безпеки через децентралізований характер, криптографічний захист та прозорість записів. У тезах розглянуто проблему кіберризиків у фінансовій сфері та проаналізовано, як впровадження блокчейн-рішень допомагає мінімізувати ці ризики. Показано основні переваги блокчейну для кібербезпеки фінансових процесів, виконані завдання дослідження та сформульовано висновки щодо перспектив і викликів використання блокчейну для захисту фінансової інформації.

Постановка проблеми:

Фінансова сфера є однією з найбільш вразливих до кібератак. За даними МВФ, майже 20% зареєстрованих кіберінцидентів у світі спрямовані проти фінансових компаній, передусім банківських установ [1]. Зловмисники намагаються викрасти кошти або конфіденційні дані, що може підірвати стабільність фінансової системи. Централізовані інформаційні системи банків і фінансових компаній мають єдині точки відмови, тож успішна атака на центральний сервер чи базу даних призводить до компрометації великих масивів даних. Поширені загрози включають несанкціонований доступ до рахунків, крадіжку персональних даних клієнтів, підробку транзакцій та інші види фінансового шахрайства. Недостатня прозорість традиційних систем ускладнює своєчасне виявлення шахрайських операцій, що також грає на руку зловмисникам. Отже, забезпечення належного захисту інформації у фінансовій сфері є нагальною проблемою, від вирішення якої залежить довіра користувачів та стабільність ринків.

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення рівня інформаційної безпеки у фінансовому секторі шляхом аналізу можливостей технології блокчейн для мінімізації кіберризиків. Для досягнення цієї мети визначено такі основні завдання:

- проаналізувати основні кіберзагрози у фінансовій сфері та причини їх виникнення;
- дослідити принципи технології блокчейн і з'ясувати, яким чином вони можуть нейтралізувати виявлені кіберризики;
- оцінити переваги та обмеження впровадження блокчейн-рішень у фінансових установах з точки зору інформаційної безпеки, а також сформулювати рекомендації щодо застосування блокчейн для захисту фінансових даних.

Результати дослідження:

Блокчейн-технологія характеризується розподіленою (децентралізованою) структурою зберігання даних, криптографічними методами захисту та механізмами консенсусу. На відміну від централізованих баз даних, у блокчейні відсутня єдина точка відмови – копії реєстру транзакцій зберігаються на багатьох вузлах мережі, що практично унеможливлює одночасний компроміс усіх копій даних. Кожна транзакція підтверджується криптографічно і додається до незмінюваного реєстру: після включення блоку в ланцюжок змінити або видалити запис неможливо без

погодження більшості учасників мережі. Така непідробність і незмінність даних блокує спроби шахрайської підробки фінансової інформації. Крім того, усі записи в реєстрі прозорі й доступні для перегляду уповноваженими сторонами, що підвищує довіру та полегшує аудит фінансових операцій. Децентралізація системи усуває залежність від окремого серверу чи центру обробки, знижуючи ризик успішної кібератаки на інфраструктуру [2]. Таким чином, базові властивості блокчейну – незмінність, децентралізація і прозорість – безпосередньо сприяють посиленню захищеності фінансових даних.

В ході дослідження встановлено, що блокчейн може ефективно протидіяти ряду специфічних кіберзагроз у фінансовій галузі. Зокрема, шахрайство з фінансовими транзакціями та крадіжка особистих даних клієнтів значно ускладнюються завдяки застосуванню криптографічних підписів і розподіленому зберіганню інформації. Жодна зі сторін не може таємно змінити запис у блокчейні, тому спроби транзакційного шахрайства (наприклад, повторне витрачання тих самих коштів або зміна деталей переказу) блокуються на рівні мережевого консенсусу. Смарт-контракти – програмні алгоритми на базі блокчейну – дозволяють автоматизувати виконання фінансових угод та контроль за дотриманням умов. Це зменшує вплив людського фактору і виключає можливості для махінацій з боку посередників, адже умови контракту виконуються автоматично і протоколюються у незмінному реєстрі. Таким чином, блокчейн не лише підвищує безпеку даних, але й мінімізує операційні ризики, пов’язані з людськими помилками чи зловживаннями.

Практичні приклади застосування блокчейну у фінансовій сфері вже підтверджують його ефективність для підвищення безпеки. Банківські установи експериментують з блокчейн-платформами для захисту платежів і міжбанківських розрахунків. Звіти демонструють, що використання блокчейну в цифровому банкінгу сприяє різкому зниженню ризику несанкціонованих втручань у транзакції [3][4]. Зокрема, опитування співробітників комерційних банків показало, що інтеграція блокчейн-рішень дійсно зменшує кіберризики фінансових транзакцій у банківських системах. В галузі платежів технологія розподіленого реєстру вже використовується для безпечних міжнародних переказів, де вона скорочує шахрайство з кредитними операціями і підвищує ефективність ідентифікації клієнтів (KYC) завдяки децентралізованим системам верифікації. Регуляторні органи також зацікавлені у блокчейні: технологія дозволяє в режимі реального часу відстежувати підозрілі транзакції, що допомагає дотримуватися вимог протидії відмиванню грошей (AML) та інших норм фінансової безпеки. Крім банків, блокчейн починає застосовуватися і на фінансових ринках: дослідження свідчать, що впровадження технології розподіленого реєстру у торгівлі цінними паперами та клірингових розрахунках підвищує їхню захищеність, зменшуючи випадки шахрайства і операційних збоїв [5]. Смарт-контракти при цьому можуть автоматизувати дотримання регуляторних вимог і звітність, знижуючи людський фактор та ймовірність помилок. Таким чином, у різних сегментах фінансової сфери блокчейн демонструє потенціал суттєвого зміцнення кібербезпеки.

Виклики впровадження блокчейну. Незважаючи на відчутні переваги, широке впровадження блокчейн-технологій у фінансовій галузі стикається з низкою викликів. По-перше, це масштабованість: публічні блокчейни (наприклад, біткоїн, етеріум) мають обмежену пропускну здатність і високі енергозатрати, що ускладнює обробку великого обсягу транзакцій у режимі реального часу. Хоча приватні (консорціумні) блокчейни частково вирішують проблему продуктивності, їх використання потребує узгоджених стандартів між учасниками ринку. По-друге, існують проблеми інтеграції: фінансові установи володіють розгалуженими легасі-системами, які складно повністю перебудувати під нову технологію. Необхідно забезпечити сумісність блокчейн-рішень з наявними базами даних та протоколами, що потребує часу і значних інвестицій. По-третє, регуляторна невизначеність залишається суттєвим стримуючим фактором. У багатьох країнах немає чітких правил і правових норм щодо використання блокчейну у фінансових операціях. Фінансові регулятори обережно ставляться до нової технології через побоювання щодо відмивання коштів, захисту споживачів та фінансової стабільності. Для подолання цих бар’єрів необхідно розробити стандарти і нормативну базу, що дозволять безпечно інтегрувати блокчейн у фінансову інфраструктуру. Нарешті, варто врахувати, що сама по собі блокчейн-технологія не гарантує абсолютної безпеки – вразливими залишаються прикладні рівні (наприклад, безпека гаманців та приватних ключів користувачів). Тому блокчейн має доповнюватися іншими кібербезпековими заходами (системи керування доступом, моніторинг аномалій тощо) для створення комплексного захисту.

Висновки:

У ході виконання поставлених завдань підтверджено, що використання технології блокчейн може значно підвищити рівень інформаційної безпеки у фінансовій сфері. Блокчейн забезпечує цілісність та автентичність фінансових даних за рахунок криптографічного підтвердження транзакцій і незмінності записів, що унеможливлює приховане втручання зловмисників. Децентралізована архітектура розподіляє ризики між багатьма вузлами, знижуючи ймовірність успішної атаки або відмови системи порівняно з традиційними централізованими моделями [2][3]. Проведений аналіз літератури та сучасних практик показав, що блокчейн-технології вже застосовуються для боротьби з кіберзагрозами – від запобігання шахрайству в банківських транзакціях до захисту даних на фондових ринках – і дають позитивний ефект у мінімізації кіберризиків [4]. Разом з тим, впровадження блокчейну супроводжується певними труднощами, зокрема питаннями масштабованості, інтеграції з існуючими системами та правового регулювання. Для повноцінної реалізації потенціалу блокчейну у забезпеченні кібербезпеки фінансового сектору необхідно вирішити ці питання, а також підвищувати цифрову грамотність персоналу та користувачів щодо безпечної роботи з новими децентралізованими системами. Отже, блокчейн виступає перспективним інструментом мінімізації кіберризиків у фінансовій сфері, який здатний зміцнити захист даних і довіру до цифрових фінансових послуг. Його успішна реалізація вимагатиме комплексного підходу – поєднання технологічних інновацій з організаційними та нормативними змінами. В умовах зростання кіберзагроз та цифровізації фінансів, інтеграція блокчейну в кібербезпекові стратегії фінансових установ є доцільною і своєчасною, щоб забезпечити стійкість і надійність сучасної фінансової екосистеми.

Список використаної літератури

[1] F. Natalucci, M. S. Qureshi, and F. Suntheim, “Rising Cyber Threats Pose Serious Concerns for Financial Stability,” IMF Blog, 09.04.2024. [Online]. Available: https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2024/04/09/rising-cyber-threats-pose-serious-concerns-for-financial-stability

[2] Megha, “Blockchain: A Survey on Blockchain Future Shield for Financial Data Security,” International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS), vol. 14, no. 7, pp. 645–653, 2025. [Online]. Available: https://www.ijltemas.in/DigitalLibrary/Vol.14Issue7/645-653.pdf

[3] S. B. Ehsan, M. N. Saquib, and A. M. Kakon, “Blockchain-based Cybersecurity Solutions for Secure Financial Transactions in Digital Banking Systems,” International Journal of Computer Applications, vol. 186, no. 59, pp. 6–13, Dec. 2024. [Online]. Available: https://ijcaonline.org/archives/volume186/number59/ehsan2024.pdf

[4] A. A. Eyadat, A. S. Alamaren, and S. L. Almomani, “The Influence of Blockchain Technology on Reducing Cybersecurity Risks in Financial Transactions of Commercial Banks,” Frontiers in Blockchain, vol. 8, 2025. [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2025.00008/full

[5] S. D. Williams, R. C. Schmidt, and L. Mendez, “Blockchain in Financial Markets: Enhancing Security, Reducing Risks,” 2024. [Online]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4569874

УДК 004.8:004.67

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ КОЛЕКЦІЙНИХ ДАНИХ У КОНТЕКСТІ ГЕЙМІФІКАЦІЇ ТА ЦИФРОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Поперешняк Д.І. (spopereshnyak@gmail.com)

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)

Робота присвячена інтелектуальним підходам до аналізу, класифікації та рекомендацій у системах управління колекціями, що функціонують у цифрових і гейміфікованих середовищах. Мета дослідження — підвищити ефективність роботи з різнорідними даними шляхом інтеграції мультимодальних векторних подань, композитних метрик подібності, механізмів дедуплікації та

гібридних рекомендаційних моделей. Запропонована архітектура забезпечує зменшення надлишковості, зростання точності класифікації й релевантності рекомендацій, водночас зберігаючи масштабованість системи. Результати свідчать про універсальність підходу та його придатність для освітніх, медіа- та корпоративних застосувань.

Постановка проблеми. У сучасних цифрових середовищах відбувається стрімке зростання обсягів колекційних даних, що охоплюють освітні ресурси, мультимедійний контент, ігрові артефакти та інтерактивні медіа. Використання гейміфікації та інноваційних механік підсилює цю тенденцію, адже користувачі активно генерують нові дані, взаємодіють між собою та з системами. Традиційні інструменти управління не забезпечують достатнього рівня аналітики, автоматичної класифікації та персоналізації. Це зумовлює потребу у застосуванні інтелектуальних технологій, здатних обробляти різнорідні мультимодальні дані та формувати персоналізовані рекомендації.

У цій роботі пропонується модель інтелектуальної системи, здатної працювати з колекціями різної природи (фізичні об’єкти, цифрові файли, мультимедійні ресурси). В основу моделі покладено поєднання кількох підходів: метрик подібності, методів багатоміткової класифікації та алгоритмів рекомендацій. Така інтеграція дозволяє не тільки структурувати колекцію, а й автоматично виявляти дублікати, пропонувати нові зв’язки між елементами та формувати персоналізовані рекомендації.

Завдання дослідження. У рамках роботи вирішувалися такі завдання:

- аналіз існуючих підходів до організації та класифікації колекцій у цифрових ігрових та освітніх середовищах;
- формалізація моделі об’єктів колекції з урахуванням мультимодальних ознак (числових, текстових, візуальних, категоріальних);
- розробка методів обчислення подібності та багатоміткової класифікації;
- створення механізму виявлення дублікатів та надлишкових записів;
- інтеграція рекомендаційної підсистеми для підтримки гейміфікованих сценаріїв та цифрових середовищ.

Суть дослідження. Запропонована модель інтегрує декілька ключових компонентів: формалізацію мультимодальних даних у вигляді векторних подань, застосування композитних метрик для обчислення подібності, багатоміткову класифікацію та механізми виявлення дублікатів. Особлива увага приділена рекомендаційним системам, які в контексті гейміфікації дозволяють формувати персоналізовані сценарії взаємодії користувача з колекціями.

Для кращого розуміння структури запропонованої системи на рисунку подано її узагальнену архітектурну модель (рис. 1). Схема відображає послідовність етапів роботи системи — від введення об’єктів колекції та їх збереження у хмарному середовищі до формування результатів для користувача у вигляді організованої колекції, рекомендацій та аналітичних звітів.

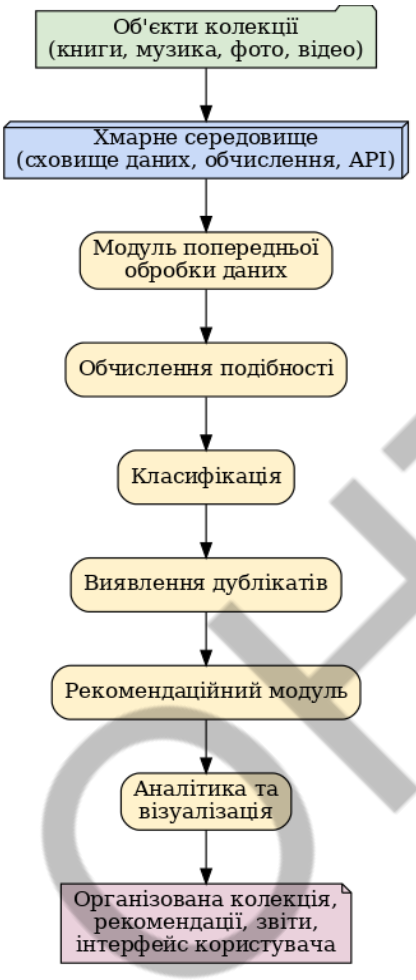
Таким чином, представлена архітектурна модель відображає інтеграцію математичних підходів у єдине хмарне середовище, яке забезпечує масштабованість, ефективність та зручність роботи з колекціями.

У дослідженні використано як реальні мультимедійні набори (цифрові книги, музика, ігрові дані), так і синтетично згенеровані колекції, що дозволило оцінити ефективність моделей у різних масштабах. Результати підтвердили, що застосування інтелектуальних методів (нейронні мережі для аналізу зображень, BERT для текстів, кластеризаційні алгоритми для дедуплікації) забезпечує точну класифікацію, релевантні рекомендації та збереження продуктивності при збільшенні обсягів даних.

Висновки. Запропонована модель інтелектуальних технологій аналізу та класифікації колекційних даних довела свою ефективність у цифрових середовищах, що поєднують освітні, ігрові та мультимедійні сценарії. Вона забезпечує інтегроване вирішення завдань аналізу подібності, класифікації, дедуплікації та рекомендацій, що підвищує якість управління колекціями. Експерименти підтвердили здатність системи забезпечувати точність класифікації, надійність у виявленні дублікатів та релевантність рекомендацій при збереженні високої продуктивності навіть за великих обсягів даних. Це доводить її практичну придатність для застосування як у приватних колекціях, так і в масштабних інформаційних інфраструктурах.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання моделі як у гейміфікованих освітніх системах, так і у медіаплатформах чи ігрових середовищах. Перспективи

подальших досліджень пов’язані з інтеграцією методів глибинного навчання та розширенням можливостей рекомендаційних механізмів для складних цифрових екосистем.



*

Рисунок 1 - Узагальнена модель інтелектуальної системи управління колекціями у хмарному середовищі*

Список використаної літератури

[1] R. Kaur, A. Singh, and P. Singh, “Data deduplication techniques for efficient cloud storage management: A systematic review,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 80, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2016.12.019.

[2] L. Ogiela and M. R. Ogiela, “Cognitive security paradigm for cloud computing applications,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 32, no. 8, e5316, 2020, doi: 10.1002/cpe.5316.

[3] A. Roy, “Recommender systems: Algorithms, challenges, and trends,” *Journal of Big Data*, vol. 9, no. 1, pp. 1–32, 2022, doi: 10.1186/s40537-022-00592-5.

[4] M.-L. Zhang and Z.-H. Zhou, “A review on multi-label learning algorithms,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 26, no. 8, pp. 1819–1837, 2014, doi: 10.1109/TKDE.2013.39.

[5] F. Ricci, L. Rokach, and B. Shapira, Eds., *Recommender Systems Handbook*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2015, doi: 10.1007/978-1-4899-7637-6.

НТБОНТУ

УДК 681.32

ЛОКАЛІЗАЦІЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Прищепа О.І., **Бовнегра Л.В.**
(pryshchepa.8986565@stud.op.edu.ua, bovnegra.l.v@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі виконано аналіз методів виявлення фальсифікації в цифрових зображеннях та обрано сучасні методи виявлення фальсифікації, пов'язані з аналізом коефіцієнтів ДКП матриці ЦЗ. Запропоновано практичний метод локалізації фальсифікації та проведені обчислювальні експерименти для дослідження трьох типів фальсифікації.

Вступ. Сьогодні розвиток технологій характеризується постійним зростанням значення інформації та її широким використанням у різних сферах діяльності людини. Природно, що задачі інформаційної безпеки набувають особливої актуальності. В сучасних умовах створення, зберігання та передачі інформації в електронному вигляді виникає необхідність перевірки цілісності цифрових сигналів, зокрема, цифрових зображень, що обумовлено бурхливим розвитком програмних засобів для створення та редагування цифрових зображень, які дають можливість для фальсифікації. Під фальсифікацією розумітимемо навмисне порушення цілісності цифрового зображення.

Мета. Метою є дослідження методів виявлення фальсифікації зображень для розробки практичного методу локалізації фальсифікації цифрового зображення, задля підвищення безпеки передачі інформації.

1. Аналіз методів виявлення фальсифікації в цифрових зображеннях

Різноманітність методів виявлення фальсифікації цифрового зображення (ЦЗ) обумовлена широким вибором засобів та умов проведення фальсифікації.

Для виявлення заміни деякої частині ЦЗ на іншу частину цього ж зображення запропоновано метод лексикографічного впорядковування коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (ДКП) блоків ЦЗ. Однакові групи відповідають однаковим просторовим областям і можуть свідчити про наявність фальсифікації [1]. Проте, цей метод не може використовуватися, якщо деяка область одного ЦЗ замінюється на частину іншого зображення. Для детектування фальсифікації в цьому випадку проводиться аналіз статистичної характеристики третього порядку в частотної області. Недоліком методу є неможливість визначення вставки, якщо вона проведена на границі двох текстур.

Існують також методи виявлення фальсифікації, що використовують аналіз кореляції між пікселями ЦЗ [2]. Такі геометричні перетворення ЦЗ, як масштабування і поворот, викликають появу періодичної кореляції, яка не властива оригінальним зображенням і вказує на фальсифікацію. Однак ці методи не дають результатів, якщо зображення зберігається з використанням стиснення.

Більшість сучасних цифрових фотоапаратів використовують формат JPEG [1] (із втратою інформації). Тому сучасні методи виявлення фальсифікації пов'язані з аналізом коефіцієнтів ДКП матриці ЦЗ.

У стандартній схемі стиснення JPEG кольорове зображення (RGB) спочатку переводиться у простір YCbCr. Кожний канал ділиться на блоки 8x8 пікселів та, використовуючи ДКП, отримуємо частотний спектр матриці ЦЗ. Кожний коефіцієнт ДКП, f_i, квантується з якістю q:

$$f_i^q = \left[\frac{f_i}{q}\right] \cdot q \qquad (1.1)$$

2. Практичний метод локалізації фальсифікації

Метод базується на дослідженні функції квадрата середньоквадратичного відхилення значень коефіцієнтів ДКП від значень повторно відквантованих коефіцієнтів ДКП матриці ЦЗ з різними коефіцієнтами квантування. Для визначення значення кроку квантування треба побудувати графік функції:

$$F(q) = \sum_{i=1}^{n} \left(f_i - f_i^q\right)^2 \qquad (1.2)$$

де n – кількість коефіцієнтів ДКП, що відповідають заданій частоті;

f_i – коефіцієнт ДКП; f_i^q визначається за формулою (1.1); $q \in (1; 30]$.

У результаті проведення обчислювального експерименту, виявилось, що наявність локальних мінімумів функції (1.2) залежить не лише від наявності або відсутності фальсифікації ЦЗ, але від умов її проведення. Наявність фальсифікації І-го типу передбачає появу другого локального мінімуму. При фальсифікації ІІ-го типу поява другого локального мінімуму функції (1.2) пояснюється стисненням деякої частини ЦЗ з використанням коефіцієнту квантування β. Крім того, значення функції (1.2) в локальному мінімумі, що відповідає коефіцієнту квантування α, стане більше, ніж відповідне значення в оригінальному ЦЗ. Якщо проведена фальсифікація ІІІ-го типу, разом з локальним мінімумом γ, відповідним останньому стисненню сукупного ЦЗ, передбачається наявність третього локального мінімуму, відповідного коефіцієнту квантування β і зменшення локального мінімуму, відповідного коефіцієнту квантування α.

Один із результатів обчислювального експерименту наведено на рисунку 1.

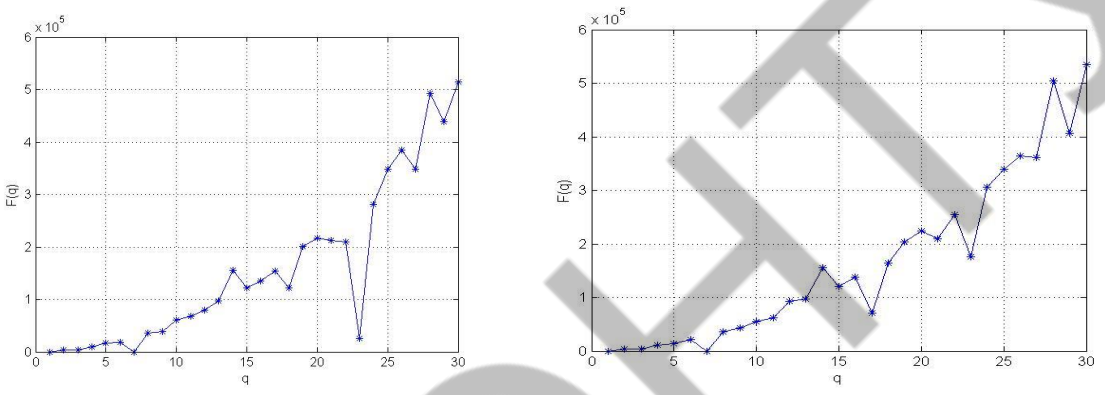


Рисунок 1 – Графік функції F(q)
(а) – для оригінального ЦЗ із коефіцієнтами квантування α=23, γ=7; (б) – для фальсифікації ЦЗ І-го типу з коефіцієнтами квантування α=23, β=17, γ=7.

Висновок. Дослідження дозволяють зробити висновок, що: якщо 2 коефіцієнта квантування виявляться кратними, то на графіку функції (1.2) виникають додаткові локальні мінімуми в значеннях q, кратних коефіцієнтам; за наявності фальсифікації графік функції показує - третій коефіцієнт квантування, відповідний фальсифікованій області, однозначно не визначається; коефіцієнт квантування, відповідний останньому стисненню всього ЦЗ, визначається як локальний мінімум функції зі значенням F(q) = 0.

Список використаної літератури

[1] Конахович Г., Прогонов Д., Пузиренко О. Комп'ютерна стеганографічна обробка й аналіз мультимедійних даних.К.:Центр навчальної літератури,2018. 558с.

[2] Кобилін О.А., Творошенко І.С. Методи цифрової обробки зображень: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2021.124 с.

УДК 0004.056

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ПОШКОДЖЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВНАСЛІДОК ДІЙ КІБЕРАТАК

Саввова П. В. (polinasavvova6@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

Тези присвячені аналізу сучасних методів діагностики пошкодженого програмного забезпечення внаслідок дій кібератак. В них розглянуто еволюцію підходів від традиційних сигнатурних методів до інтегрованих систем на основі штучного інтелекту. Показано неефективність класичних методів проти поліморфного шкідливого коду, що обумовлює необхідність застосування машинного навчання для аналізу поведінки програм та виявлення

аномалій. Висвітлено роль поведінкового аналізу та моніторингу в реальному часі для виявлення загроз на ранніх стадіях. Розкрито значення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у скороченні часу реагування на кіберінциденти. Підкреслено важливість цифрової криміналістики для забезпечення юридичної сили доказів та реконструкції подій атаки.

Сучасне цифрове суспільство стикається з безпрецедентним зростанням кількості та складності кібератак, що становлять критичну загрозу для функціонування інформаційних систем державних установ, комерційних організацій та приватних користувачів. Еволюція технологій кіберзлочинності, зокрема застосування штучного інтелекту для генерації поліморфного шкідливого коду, здатного створювати тисячі варіантів і уникати виявлення традиційними засобами захисту, вимагає переосмислення існуючих підходів до забезпечення кібербезпеки.

Сама ж діагностика пошкодженого програмного забезпечення після кібератак являє собою комплексний процес, що виходить за межі простого виявлення шкідливого коду і включає детальний аналіз компрометованих компонентів, визначення масштабів пошкодження, реконструкцію ланцюга подій атаки та забезпечення юридичного значення зібраних доказів. Ефективність діагностики безпосередньо впливає на можливість своєчасного відновлення функціональності систем, мінімізацію фінансових та репутаційних втрат, а також попередження подібних інцидентів у майбутньому, що обумовлює критичну важливість розробки та вдосконалення методів діагностики пошкодженого програмного забезпечення.

Актуальність дослідження визначається стрімкою еволюцією кіберзагроз та зростанням складності програмних систем. Поява моделей шкідливого програмного забезпечення як послуги знижує технічний поріг для проведення атак, а складність сучасних систем створює велику кількість можливостей для злому. На національному рівні важливість систематизованого підходу підтверджується прийняттям Наказу Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 03.07.2023 № 570, що встановлює єдині стандарти реагування на кіберінциденти.

Діагностика пошкодженого програмного забезпечення базується на інтеграції різноманітних методологічних підходів, що поєднують класичні методи аналізу з новітніми технологіями штучного інтелекту. Традиційний сигнатурний аналіз, що передбачає порівняння досліджуваних файлів з базою даних відомих шаблонів шкідливого коду, зберігає свою ефективність як перший рівень швидкої ідентифікації відомих загроз, однак виявляється недостатнім при протидії поліморфному та метаморфному шкідливому програмному забезпеченню. Обмеження традиційних методів стають критичними при аналізі складних багатоетапних атак, де зловмисники комбінують легітимні інструменти системного адміністрування з власними розробками, не залишаючи чітких сигнатур у файловій системі та модифікуючи налаштування системи через легітимні процеси.

У відповідь на такі виклики активно розвивається застосування методів машинного навчання для діагностики, що демонструють високу ефективність у разі невідомих загроз. Нейронні мережі аналізують код програми як візуальне зображення, що дозволяє виявити схожість між різними варіантами шкідливого програмного забезпечення.

Поведінковий аналіз представляє фундаментальну зміну парадигми від виявлення відомих загроз до ідентифікації аномальної поведінки системи через створення базових профілів нормального функціонування та постійний моніторинг відхилень. Системи відстежують мережеву активність, використання системних ресурсів, операції з файловою системою та взаємодію між процесами, що дозволяє виявляти загрози на ранніх стадіях розгортання. Моніторинг у реальному часі інтегрує телеметрію від сенсорів з хмарною аналітикою загроз та індикаторами атак на основі штучного інтелекту. Особливу цінність цей підхід демонструє при виявленні внутрішніх загроз та атак через компрометацію облікових записів, ідентифікуючи множинні невдалі спроби автентифікації, нетипові з'єднання або підозрілу передачу даних.

Зростаюча складність процесів діагностики обумовила розвиток спеціалізованих автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для відновлення пошкодженого програмного забезпечення. Такі системи являють собою комплексні рішення, що інтегрують аналітичні можливості різних діагностичних методів з експертними знаннями у галузі кібербезпеки та процедурами реагування на інциденти, забезпечуючи оперативний та обґрунтований вибір оптимальної стратегії відновлення з урахуванням типу атаки, масштабів пошкодження та критичності скомпрометованих компонентів. Архітектура таких систем включає

модулі збору та агрегації даних з різноманітних джерел, аналітичний модуль для класифікації типу атаки та оцінки масштабів пошкодження, а також модуль формування рекомендацій щодо послідовності дій з локалізації інциденту та відновлення функціональності. Впровадження автоматизованих систем підтримки прийняття рішень суттєво скорочує час реагування на кіберінциденти, дозволяє автоматично аналізувати великі обсяги діагностичних даних та пропонувати оптимальні сценарії реагування на основі накопиченого досвіду, а механізми зворотного зв'язку забезпечують адаптацію та вдосконалення рекомендацій.

Критичним аспектом діагностики є систематизація виявлених пошкоджень через класифікацію та кодування дефектів програмного забезпечення, що дозволяє стандартизувати процес документування інцидентів та забезпечити ефективний обмін інформацією між фахівцями. Вона є необхідною передумовою для автоматизації процесів діагностики та створення інтелектуальних систем підтримки прийнятих рішень, які можуть ефективно аналізувати та категоризувати різноманітні типи можливостей програмного забезпечення.

Ще одним важливим аспектом є цифрова криміналістика, яка грає критичну роль у комплексній діагностиці, забезпечуючи методологічну основу для збору, збереження та аналізу цифрових доказів. Починається процес зі створення точних копій компрометованих систем для аналізу без ризику зміни оригінальних даних. У цей процес також додається систематичне дослідження файлових систем, реєстру операційної системи, журналів подій та мережевого трафіку, яке дозволяє реконструювати повний ланцюг подій атаки. Оцінка масштабів шкоди, завданої кібератакою, включає визначення впливу на конфіденційність, цілісність та доступність даних, а також документування, створене в комплекті, що забезпечує юридичну силу доказів із збереженням встановлених стандартів для можливого судового розгляду.

Сучасна діагностика еволюціонує в напрямку створення інтегрованих платформ, що об’єднують різні системи захисту в єдину екосистему з централізованою аналітикою для вибору складних атак. Штучний інтелект збільшує свою роль в автоматизації процесів діагностики, де системи аналізують великий обсяг даних про загрози та пропонують оптимальні стратегії реагування. Перспективними напрямками розвитку захисту від кібератак є застосування технологій блокчейн для забезпечення незмінності журналів подій та розробка квантово-стійкої криптографії для захисту діагностичних даних. Проте також важливим аспектом залишається стандартизація процесів діагностики та міжнародної співпраці в галузі обміну інформацією про загрози.

Проведений аналіз методів діагностики пошкодженого програмного забезпечення внаслідок кібератаки показав, що традиційні сигнатурні методи не забезпечують достатнього рівня захисту від сучасних загроз через неможливість виявлення нових варіантів шкідливого коду. Це обумовлює необхідність інтеграції методів машинного навчання, які демонструють високу ефективність у виявленні невідомих загроз через аналіз поведінки програми та аномалій у роботі системи. Поведінковий аналіз та моніторинг у реальному часі може виявити атаки на ранніх стадіонах, що критично важливо для мінімізації збитків. Автоматизовані системи підтримки прийняття рішень значно підвищують ефективність реагування на інциденти шляхом швидкого аналізу діагностичних даних та формування оптимальних стратегій відновлення. Цифрова криміналістика забезпечує юридичну значущість зібраних доказів та можливість повної реконструкції ланцюга подій атаки. Ще одним важливм аспектом є впровадження національних стандартів реагування на кіберінциденти та розвиток інтегрованої платформи діагностики на основі штучного інтелекту як стратегических напрямків забезпечення кібербезпеки держави.

Список використаної літератури

[1] Ю. Є. Добришин, С. М. Сидоренко, та М. В. Ворохоб, "Автоматизована система підтримки прийняття рішення щодо відновлення пошкодженого програмного забезпечення внаслідок впливу кібератак," Кібербезпека: освіта, наука, техніка, с. 452–464, 2023. doi: 10.28925/2663-4023.2023.20.174182.

[2] Ю. Є. Добришин, "Класифікація та кодування дефектів програмного забезпечення внаслідок дії кібератак," Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, вип. 58, 2025. doi: 10.36910/6775-2524-0560-2025-58-08.

[3] Адміністрація Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, "Про затвердження Методичних рекомендацій щодо реагування суб'єктами забезпечення кібербезпеки на різні види подій у кіберпросторі," Наказ № 570, 03 лип. 2023.

[4] "Виявлення варіантів шкідливого коду за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN) з трансферним навчанням," PMC, 04 квіт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12190273/.

УДК 004.9

BIG DATA. ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ: MAPREDUCE

Сенюк Є.О., Мельничук В.Е.(seniuk.yehor@gmail.com)
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (Україна)

У статті розглянуто процесний підхід до обробки великих даних на прикладі парадигми MapReduce. Описано основні фази моделі — розбиття, відображення (map), перетворення/пересортування (shuffle) та зведення (reduce), а також наведено приклади практичного застосування в різних галузях: індексація вебу, обробка логів, аналітика в реальному часі, біоінформатика та фінансові обчислення. Розглянуто переваги й обмеження підходу та сучасні альтернативи, що доповнюють або замінюють MapReduce.

Зростання обсягів даних в останні роки створює потребу в ефективних алгоритмах та інфраструктурі обробки масивних наборів інформації. Традиційні підходи до обробки даних не завжди масштабуються лінійно, що ставить задачу проектування процесних моделей, здатних забезпечити надійність, розподіл навантаження та відновлення при відмовах. MapReduce — одна з таких парадигм, що заклала підвалини сучасної екосистеми Big Data.

Парадигма MapReduce поділяє обробку даних на дві ключові функції: map та reduce. Етап 'map' відповідає за перетворення вхідного набору даних у проміжні пари ключ-значення, які потім перетягуються через етап 'shuffle' — групування за ключем та сортування. На етапі 'reduce' для кожного ключа виконується об'єднання або агрегація проміжних значень. Такий процес легко розпаралелюється: незалежні блоки даних обробляються на різних вузлах кластеру, що забезпечує масштабування та стійкість до збоїв. Схематичне зображення ключових фаз наведено на рисунку 1.1.

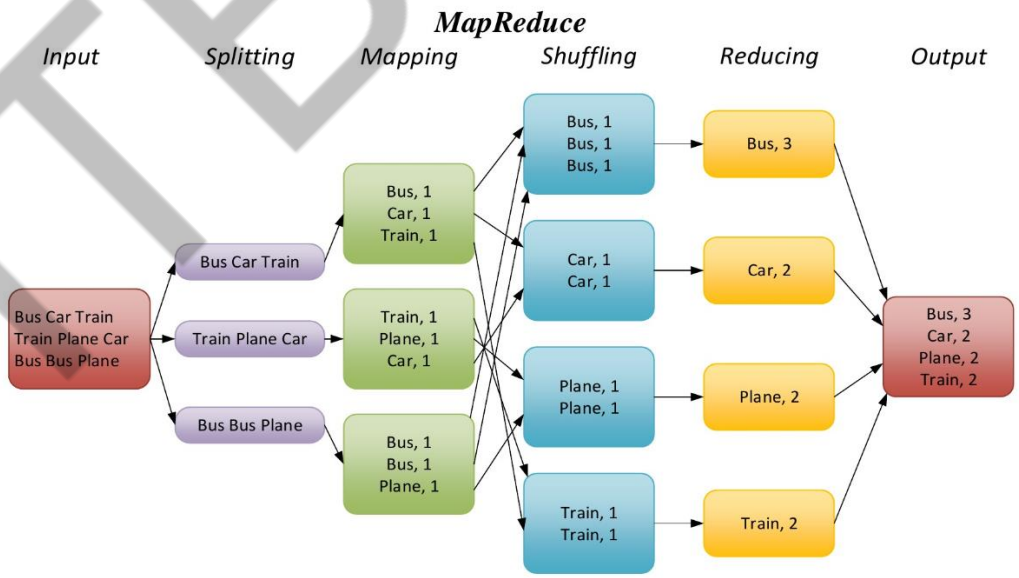


Рис. 1.1. Основні фази парадигми *MapReduce*.

На схемі показано послідовність фаз обробки: на вході маємо великі текстові блоки, які розбиваються (splitting) на частини і подаються на операцію map (mapping). Кожен mapper генерує пари ключ-значення (наприклад, 'Bus, 1'), після чого йде етап shuffle — групування однакових

ключів до відповідних reducer'ів, які зводять проміжні дані до підсумкового результату. Схема ілюструє принципи паралельності, розподілу та агрегування, що є центральними для процесного підходу MapReduce.

MapReduce використовується в задачах, де необхідно обробити значні масиви даних. Зокрема, індексація вебу та пошукових індексів, а саме обробка сотень терабайтів тексту для побудови зворотного індексу. Окрім цього, відбувається аналіз логів та ETL-процесів, що агрегують та готують дані для подальшої аналітики. Наступна функція – це обробка даних інтернет-речей (IoT), тобто підсумок телеметрії від великої кількості пристроїв. MapReduce також використовується у сфері біоінформатики (для паралельних операцій при порівнянні геномів та обробці секвенувань), машинному навчанні (обчислення на великих вибірках градієнтів, статистик та проміжних метрик), а також у фінансовій аналітиці та ризик-менеджменті (для агрегації транзакцій та побудові індексів ризику).

MapReduce відзначається простотою моделі програмування, сильною масштабованістю та вбудованою стійкістю до відмов. Однак він має обмеження у реалізації задач з низькою затримкою або потокових обчислень: класична модель орієнтована на пакетні (batch) задачі. На практиці часто використовують гібридні підходи: збереження великих партійних обчислень за MapReduce (Hadoop) та застосування інструментів для стрімінгу/інтерактивної обробки (Apache Spark, Flink) для задач із реальними часовими вимогами.

Висновки. Процесний підхід MapReduce залишається фундаментальною моделлю для обробки великих даних: він задає архітектурні й алгоритмічні принципи, що дозволяють масштабувати обробку та забезпечувати відмовостійкість. Для практичної реалізації слід оцінювати характер задач (batch чи stream), обсяг даних та вимоги до затримки. Комбінування MapReduce-підходів з сучасними фреймворками дозволяє отримати гнучку, ефективну та придатну для промислового використання екосистему Big Data.

Список використаної літератури

[1] J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters," in Proc. 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), 2004.
[2] T. White, "Hadoop: The Definitive Guide," 4th ed., O'Reilly Media, 2015.
[3] M. Zaharia et al., "Resilient Distributed Datasets: A Fault-Tolerant Abstraction for In-Memory Cluster Computing," in Proc. 9th USENIX Conf. on Networked Systems Design and Implementation, 2012.
[4] Apache Hadoop, "Apache Hadoop Project" [Online]. Available: https://hadoop.apache.org/

УДК 004.75:004.056

БЕЗПЕКА ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ З МУЛЬТИТЕНАНТНІСТЮ

Сердюк Н.М., Вольгуст М.С.
(nataliya.serdyuk@nure.ua, maksym.volhust@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У тезах розглянуто проблему забезпечення інформаційної безпеки в умовах мультитенантної архітектури хмарних систем для інтелектуальних безперервних виробництв. Основну увагу приділено механізмам ізоляції даних та контролю доступу, які є критично важливими для захисту інформації та стабільності роботи системи. Описано застосування Namespaces, мережевих політик та ролей доступу (RBAC) у Kubernetes, а також шифрування TLS для захисту переданих даних. Запропонований підхід підтверджує ефективність мультитенантних систем як інструменту управління великими даними з високим рівнем безпеки.

Сучасні інтелектуальні виробництва характеризуються генерацією великих обсягів даних у режимі реального часу. Ці дані надходять від численних IoT-пристроїв, сенсорів та автоматизованих систем керування, що створює значні виклики для їх обробки, зберігання та

НТБОНТУ

захисту. Традиційні інформаційні системи часто виявляються недостатньо гнучкими й обмеженими у масштабуванні, що призводить до зниження продуктивності та підвищених ризиків витоків даних.

Ефективним рішенням у таких умовах є використання мультитенантної архітектури в хмарних інформаційних системах [1]. Цей підхід забезпечує одночасне обслуговування багатьох клієнтів із повною ізоляцією їхніх даних та оптимальним розподілом ресурсів. Особливої актуальності набуває питання **захисту інформації**: від коректного налаштування політик доступу та механізмів ізоляції залежить не лише стабільність роботи системи, але й безпека виробничих процесів.

Метою даної роботи є дослідження підходів до організації безпеки та управління даними в мультитенантних хмарних системах для інтелектуальних безперервних виробництв.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно:

– проаналізувати особливості функціонування мультитенантних архітектур;

– визначити основні механізми забезпечення безпеки;

– оцінити практичну ефективність застосування цих механізмів на прикладі виробничих процесів;

– розробити рекомендації щодо підвищення надійності та захищеності хмарних систем у промислових застосуваннях.

Мультитенантна архітектура — це підхід, який дозволяє одній інформаційній системі одночасно обслуговувати декілька клієнтів (тенантів) на спільній інфраструктурі. При цьому дані та операції кожного користувача ізольовані, що забезпечує конфіденційність та стабільність роботи системи.

У контексті хмарних технологій мультитенантність має важливе значення для інтелектуальних виробництв. Вона дозволяє ефективно розподіляти ресурси між різними підрозділами чи клієнтами, знижувати витрати на інфраструктуру та підвищувати гнучкість. Основними технологіями, що забезпечують реалізацію цього підходу, є **контейнеризація (Docker)** та **оркестрація (Kubernetes)**, які дозволяють масштабувати систему та керувати ресурсами в динамічному середовищі [2].

Так, виробнича лінія з обслуговування теплообмінників у харчовій промисловості. працює у режимі безперервного навантаження та генерує великі масиви даних від десятків сенсорів: температуру, тиск, швидкість потоку теплоносія [3]. Традиційна інформаційна система при пікових навантаженнях часто стикається з перевантаженням бази даних та уповільненням обробки запитів. У мультитенантній архітектурі завдяки ізоляції середовищ кожен підрозділ підприємства отримує власний контейнер із виділеними ресурсами. Якщо одна лінія виробництва різко збільшує обсяг даних, система автоматично масштабує кількість контейнерів і розподіляє навантаження без впливу на інші підрозділи. У результаті підприємство уникає простоїв, забезпечує своєчасне технічне обслуговування обладнання та знижує ризик аварійних зупинок виробництва.

Таблиця 1 – Основні механізми безпеки в мультитенантних хмарних системах

Механізм	Призначення	Приклад реалізації
Namespaces (Kubernetes)	Ізоляція середовищ для кожного тенанта	Виділення ресурсів
Network Policies	Контроль мережевих з’єднань	Заборона доступу між контейнерами
RBAC	Розмежування прав доступу користувачів	Ролі «адмін», «тенант»
TLS-шифрування	Захист даних при передачі	HTTPS, gRPC secure

Але однією з ключових проблем мультитенантних систем є загроза несанкціонованого доступу або витоку даних. Для її вирішення застосовуються кілька рівнів захисту:

- **ізоляція середовищ у Kubernetes, що** використовує Namespaces для кожного тенанта та дозволяє відокремлювати обчислювальні процеси та уникати взаємного впливу;
- **мережеві політики (Network Policies), які** контролюють взаємодію між контейнерами та

запобігають доступу одного клієнта до ресурсів іншого;

- **Role-Based Access Control (RBAC), що** визначає права доступу користувачів відповідно до їхніх ролей, забезпечуючи суворе дотримання політик безпеки;
- **шифрування TLS** гарантує захист даних при передачі між підсистемами та зовнішніми сервісами.

Завдяки цим механізмам мультитенантна архітектура може підтримувати високу надійність і конфіденційність навіть за умов великої кількості одночасних клієнтів. Основні механізми безпеки в мультитенантних хмарних системах наведені у табл.1.

Для інтелектуальних безперервних виробництв, що інтегрують IoT-пристрої та алгоритми аналізу даних, надійність і безпека інформаційних систем мають критичне значення. Запропоновані механізми мультитенантної архітектури забезпечують стабільність роботи системи навіть за умов пікових навантажень, оскільки автоматичне масштабування та балансування ресурсів дозволяють уникати перевантажень і підтримувати безперервність обчислювальних процесів. Важливим аспектом є захист даних клієнтів, який гарантує відсутність перетину інформаційних потоків між різними тенантами та знижує ризики витоків. Крім того, архітектура зберігає гнучкість для інтеграції з AI/ML-сервісами, що відкриває можливості для аналізу даних у реальному часі, прогнозування виробничих аномалій та оптимізації розподілу ресурсів. Впровадження мультитенантних систем у виробничі середовища дозволяє одночасно підвищити продуктивність, знизити витрати на інфраструктуру та забезпечити високий рівень інформаційної безпеки.

Висновки

Мультитенантні хмарні системи демонструють високу ефективність в управлінні великими даними інтелектуальних виробництв. Використання контейнеризації та оркестрації забезпечує ізоляцію середовищ, динамічний розподіл ресурсів і надійний захист даних у режимі реального часу. Практичне застосування, зокрема у виробничих лініях теплообмінників у харчовій та енергетичній промисловості, підтверджує здатність такої архітектури підтримувати безперервну роботу обладнання навіть при різкому зростанні навантажень. Система дозволяє уникати простоїв, підвищує стабільність і безпеку процесів, а також знижує витрати на інфраструктуру завдяки спільному використанню ресурсів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію більш складних AI/ML-рішень для прогнозування технічних збоїв і оптимізації виробничих процесів. Перспективним є також впровадження таких систем у промислових підприємствах України та країн ЄС, що забезпечить підвищення конкурентоспроможності та рівня інформаційної безпеки у сфері високотехнологічного виробництва.

Список використаної літератури

[1] N. Serdiuk and M. Volhust, “Advantages of the cloud information system architecture with multitenant support,” in *Proc. XI Int. Conf. “Information Technology and Implementation” (IT&I-2024) Satellite Conf.*, Kyiv, Ukraine, Nov. 21, 2024. [Online]. Available: http://iti.fit.univ.kiev.ua/en/archive/

[2] Н. М. Сердюк, М. С. Вольгуст, «Ефективне управління великими даними в інтелектуальних виробництвах через мультитенантні хмарні системи,» *Наукові праці ДНТУ, серія “Проблеми моделювання та автоматизації проектування”*, №1 (21), 2025. [Електронний ресурс]. Доступно: https://pmap.donntu.edu.ua/uk/issues/no121-2025

[3] O. Ilyunin, O. Bezsonov, S. Rudenko, N. Serdiuk, S. Udovenko, P. Kapustenko, S. Plankovsky, and O. Arsenyeva, “The neural network approach for estimation of heat transfer coefficient in heat exchangers considering the fouling formation dynamic,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 51, p. 102615, 2024. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904924002336

УДК 004.056.5:519.876.5

МОДЕЛІ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ВИБОРУ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Сиваченко І. О. (igor.syvachenko@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У дослідженні розглянуто проблему оптимізації вибору складу засобів захисту інформації в умовах воєнного часу, коли ресурси є обмеженими, а структура загроз — динамічно змінною. Запропоновано ризик-орієнтований підхід, який поєднує кількісне оцінювання ризиків, економічну ефективність контрзаходів і багатокритеріальну оптимізацію. Розроблена модель базується на оцінюванні імовірності реалізації загроз, очікуваних збитків і ефективності впроваджених засобів безпеки, що дозволяє формувати раціональний набір технічних і програмних рішень за умов обмеженого бюджету. У роботі наведено узагальнену схему ризик-орієнтованого вибору контрзаходів, а також формалізовано критерії — вартість, ефективність і покриття ризиків. Отримані результати можуть бути використані для побудови систем підтримки прийняття рішень у сфері кіберзахисту, які забезпечують адаптивність, прозорість і аналітичну обґрунтованість процесу вибору засобів захисту інформації.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні системи функціонують у середовищі постійно зростаючих кіберзагроз, де напади мають комбінований характер і використовують як технічні, так і соціоінженерні вектори. Традиційні підходи до формування складу засобів захисту інформації (ЗЗІ) ґрунтуються переважно на нормативних вимогах або експертному виборі, без урахування реальних ризиків, ймовірності їх настання та вартості наслідків. У воєнних і кризових умовах, коли ресурси обмежені, а загрози динамічно змінюються, постає потреба в науково обґрунтованих моделях прийняття рішень, що дозволяють оптимізувати конфігурацію ЗЗІ за критеріями ризику, вартості та ефективності.

Розв’язання цієї проблеми потребує розроблення ризик-орієнтованої моделі вибору засобів безпеки, яка забезпечить баланс між рівнем захисту, ресурсними витратами та пріоритетами об’єктів інформаційної інфраструктури.

Мета дослідження — розроблення моделей і методів ризик-орієнтованого вибору засобів захисту інформації, що дозволяють формувати оптимальний набір технічних і програмних рішень на основі оцінювання ризиків, ефективності та вартості їх впровадження в умовах змінного рівня загроз.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати сучасні підходи до оцінювання ризиків інформаційної безпеки (NIST, ISO/IEC 27005, ENISA) та визначити їх обмеження у контексті динамічних загроз.
2. Формалізувати критерії вибору засобів захисту на основі багатокритеріальної оцінки (вартість, ефективність, покриття ризиків).
3. Розробити математичну модель ризик-орієнтованого вибору ЗЗІ, що враховує ймовірність реалізації загроз, наслідки інцидентів та вартість контрзаходів.
4. Реалізувати метод оптимізації складу ЗЗІ з використанням комбінованих алгоритмів (наприклад, зваженого методу Парето або еволюційних стратегій).
5. Провести експериментальну перевірку запропонованої моделі на тестовому наборі сценаріїв кіберзагроз для корпоративного середовища.

Суть дослідження.

У процесі забезпечення інформаційної безпеки ключовим завданням є збалансування рівня захисту і вартості впровадження контрзаходів. Традиційний нормативний підхід часто призводить до надлишкових витрат або недостатнього покриття ризиків.

Ризик-орієнтований підхід (Risk-Based Security) базується на кількісному оцінюванні ризиків за формулою:

$$R_i = P_i \cdot C_i,$$

Де R_i — ризик реалізації загрози i;

P_i — імовірність настання події;

C_i — величина збитків від реалізації.

Для кожного можливого набору засобів захисту Z_j визначається знижений ризик $R_i(Z_j)$ та витрати $Cost_j$. Завдання оптимізації полягає у мінімізації сумарного ризику при обмежених ресурсах:

$$min \sum_i R_i(Z_j) \quad \text{за умови} \quad \sum_j Cost(Z_j) \leq B,$$

де B — доступний бюджет на впровадження засобів безпеки.

Для реалізації моделі формується матриця ефективності контрзаходів, що відображає їхній вплив на різні категорії загроз:технічні, організаційні, людські фактори (табл.1).

Така таблиця дозволяє формалізувати процес вибору за допомогою **багатокритеріальної оптимізації**, де критерії мають різну вагу залежно від стратегічних цілей організації.

Запропонована модель прийняття рішень включає такі логічні рівні:

1. **Ідентифікація ризиків** — визначення загроз і вразливостей відповідно до профілю активів.
2. **Оцінювання ризику** — розрахунок імовірності, збитків і їх вагових коефіцієнтів.
3. **Оптимізаційний модуль** — побудова множини Парето-оптимальних рішень, що мінімізують ризик при заданих витратах.
4. **Рекомендаційний рівень** — інтерактивний вибір конфігурації ЗЗІ на основі сценарного аналізу або пріоритетів користувача.

Таблиця 1. Основні критерії оцінки засобів захисту інформації

Позначення	**Параметр**	**Опис**	**Одиниця вимірювання**
P_i	Ймовірність загрози	Оцінка частоти реалізації події	відн. од.
C_i	Потенційні збитки	Очікувані втрати при реалізації загрози	ум. од.
E_j	Ефективність засобу	Частка зниження ризику після впровадження	%
$Cost_j$	Вартість впровадження	Фінансові витрати на засіб	тис. євро
W_j	Вага важливості контрзаходу	Пріоритетність відповідно до критичності	відн. од.

Модель реалізується у вигляді адаптивної системи підтримки прийняття рішень (DSS), що дозволяє оновлювати оцінки ризиків у реальному часі при зміні загрозового середовища.

У процесі ризик-орієнтованого вибору засобів захисту інформації важливо не лише оцінити окремі показники ризику, а й забезпечити їх інтеграцію у цілісний цикл прийняття рішень. Запропонована модель ґрунтується на послідовності взаємопов'язаних етапів — від ідентифікації активів і ризиків до оптимізаційного аналізу та формування рекомендацій щодо розподілу ресурсів. Її структурна логіка представлена на рисунку 1.

Схема відображає замкнений цикл управління ризиками інформаційної безпеки, у якому дані про активи та загрози трансформуються у кількісні оцінки ризиків, після чого за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації визначається раціональний набір контрзаходів. Завершальний етап передбачає формування рекомендацій та бюджетного плану з урахуванням обмежень ресурсів і пріоритетності активів. Така послідовність забезпечує адаптивність процесу прийняття рішень і дозволяє оперативно коригувати склад засобів захисту при зміні зовнішніх або внутрішніх умов.

Експериментальне моделювання показало, що застосування ризик-орієнтованої оптимізації дозволяє знизити сумарний рівень ризику на 25–30% при збереженні тих самих бюджетних обмежень. Модель забезпечує гнучке балансування між технічними, організаційними й фінансовими чинниками, а також адаптацію до змін рівня загроз у воєнний час або в умовах кіберконфліктів.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило доцільність застосування ризик-орієнтованого підходу при виборі засобів захисту інформації в умовах динамічного загрозового середовища. Запропонована модель дозволяє перейти від формального дотримання нормативів до аналітично обґрунтованого прийняття рішень, у якому враховуються імовірності реалізації загроз, очікувані збитки та ефективність окремих контрзаходів. Використання багатокритеріальної оптимізації забезпечує можливість узгодження суперечливих чинників — вартості, рівня безпеки та пріоритетності активів.

НТБОНТУ

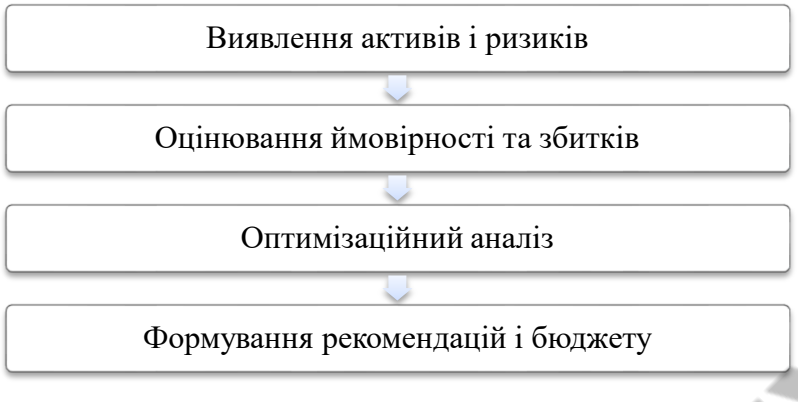


Рисунок 1 - Узагальнена схема ризик-орієнтованого вибору засобів захисту інформації.

Розроблена модель показала ефективність у зниженні сукупного ризику при збереженні бюджетних обмежень, що особливо актуально в умовах воєнного часу та обмежених ресурсів. Її впровадження сприяє формуванню адаптивних систем підтримки рішень у сфері кіберзахисту, здатних оперативно реагувати на зміни структури загроз. Таким чином, ризик-орієнтований підхід може стати основою для побудови нової генерації стратегій інформаційної безпеки, орієнтованих на ефективність, стійкість і керованість процесів захисту.

Список використаної літератури

[1] ISO/IEC 27005:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security risk management. Geneva: International Organization for Standardization, 2022. 62 p.

[2] NIST SP 800-30 Rev.1. Guide for Conducting Risk Assessments / J. F. Stoneburner, A. Y. Goguen, A. Feringa, et al. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2012. 95 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-30r1.

[3] NIST SP 800-53 Rev.5. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations / R. Ross, M. McEvilley, J. C. Oren. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2020. 487 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-53r5.

[4] Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process // International Journal of Services Sciences. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSci.2008.017590.

[5] Karabacak B., Sogukpinar I. ISRAM: information security risk analysis method // Computers & Security. 2005. Vol. 24, No. 2. P. 147–159. DOI: 10.1016/j.cose.2004.07.002.

УДК 004.056

ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПЕНТЕСТУ ГОТОВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДО КІБЕРАТАК

Скіцько О.І. (oiskitsko@gmail.com)
Національна академія СБ України (Україна)

Об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ) є постійними цілями для кібератак. Саме тому проведення пентесту, є необхідністю для оцінки реальної готовності цих систем до кібератак і кіберінцидентів.

В роботі надано узагальнений порядок використання інструментів для проведення пентесту. Важливо розуміти, що конкретний набір і послідовність інструментів залежить від типу інформаційно-комунікаційної системи (енергетика, транспорт, водопостачання, АСУ), її архітектури, рівня доступу та узгоджених цілей пентесту.

Проведення пентесту вимагає не лише глибоких знань сучасних кіберзагроз та методів їх експлуатації, але й обережності, щоб не завдати шкоди функціонуванню життєво важливим системам.

Слід зазначити, що кожен об'єкт критичної інфраструктури унікальний, тому підхід до його перевірки є індивідуальним. Однак існують загальні етапи та групи інструментів, які застосовуються для отримання інформації щодо рівня готовності об’єктів критичної інфраструктури до кібератак і кіберінцидентів. Нижче наведено логічний порядок використання інструментів, який рекомендується застосовувати під час пентесту.

Наведено як перелік програм, так і послідовність їх застосування, що дозволяє крок за кроком виявити слабкі місця – від пасивного сканування до симуляції складних атак.

1. Збір інформації про об'єкт перевірки, інструменти етапу планування та розвідки (Reconnaissance and Planning):

- основне завдання – зібрати якомога більше інформації про об'єкт перевірки. Сформувати «паспорт» об'єкта (фактична, юридична адреса, перелік та місця розташування окремих підрозділів об’єкту та визначення їх функціонального призначення, перелік заходів та засобів фізичної безпеки (розміщення камер, датчики, огорожі, охоронні пости, контроль в’їзду, ворота, тип ідентифікації тощо).

Збір інформації з відкритих джерел (OSINT):

Google Dorking/Shodan: (пошук публічно доступної інформації про об’єкт пентесту, співробітників, технології, відкриті порти та сервіси, що стосуються ОКІ) [1; 2];

Whois/DNS-запити [3; 4]:

- дослідження реєстраційних даних про IP-адреси та автономні системи, отримання інформації про доменні імена, IP-адреси, DNS-сервери, які можуть належати до інфраструктури [5];
- дослідження доменного імені та даних реєстрації доменів DNS (WHOIS, dns.robtex.com, domains.checkparams.com), Shodan.io, FOFA, ZoomEye, Censys;

створення карти периметру мережі (карти маршрутів та мережеві пристрої) Tracing ICMP, TCP (NMAP), Maltego/SpiderFoot: автоматизовані інструменти для агрегації даних та візуалізації зв'язків) [6];

сканування відкритих портів (TCP, UDP), ідентифікація служб та версій програмного забезпечення для відкритих портів, ідентифікація версій операційних систем (*NMAP, masscan*) [7];

Wireshark/tcpdump - пасивне сканування: аналіз мережевого трафіку для виявлення активних систем, протоколів, можливих застарілих версій програмного забезпечення [8, 9].

визначення служб HTTP та URL-адрес (Robtex - хостінг, сайти на одному IP, доступність ресурсу, перевірка на віруси;

соціальні мережі та професійні платформи (*LinkedIn, Facebook, Telegram, портали новин, портали вакансій, prozorro* тощо)*:* пошук інформації про співробітників, їхні посади, технічні навички, можливі "зливи" інформації. Важливий елемент для подальшої соціальної інженерії;

Wayback Machine/Ghunt: перегляд старих версій веб-сайтів для виявлення інформації [10];

Тестування точок доступу Wi-Fi:

WI-FI модуль, створення карти покриття бездротових точок доступу за місцем розташування ОКІ;

Wifite, Aircrack-ng: визначення переліку бездротових точок доступу (у тому числі прихованих) [11];

Nmap, Ettercap, Nexpose: тестування виявлених безпровідних мереж на предмет можливості отримання доступу до внутрішніх мереж ОКІ.

2. Сканування та ідентифікація вразливостей (Scanning and Vulnerability Identification):

після збору інформації проводиться сканування для виявлення відкритих портів, сервісів та потенційних вразливостей:

Сканери портів та мережі:

сканування вразливостей мережевого периметра: *Nessus, Pentest Tools* [12];

сканування вразливостей веб-ресурсів: *OWASP ZAP, BurpSuite, Netsparker, Acunetix, nuclei* [13];

аналіз застарілих версій програмних служб, що мають опубліковані вразливості: *сайти вендорів, www.cvedetails.com, exploit-db.com, 0day.today, vulners.com.*

Інструменти для ICS/SCADA (для промислових систем управління):

Shodan (Enterprise): для пошуку публічно доступних SCADA/ICS систем (з дозволу замовника);

ModbusPal, S7CommTool, EtherNet/IP-tools: інструменти для взаємодії з промисловими протоколами, тестування вразливостей [14];

Nmap з ICS/SCADA скриптами (наприклад, nmap --script scada-modbus-discover): для виявлення промислових протоколів;

Metasploit Framework (з відповідними модулями для ICS/SCADA): для експлуатації відомих вразливостей;

ICS-specific fuzzers: для пошуку невідомих вразливостей шляхом надсилання некоректних даних.

3. Отримання доступу та експлуатація (Gaining Access and Exploitation):

Перевірка потенційних вразливих місць. Розробка сценаріїв та моделей потенційних атак. Тестові спроби експлуатації виявлених вразливостей для отримання несанкціонованого доступу та розвитку атак (публічні експлойти та фреймворки, різноманітні інструменти для злому, такі як ті, що входять до дистрибутива Kali Linux, та інші):

Фреймворки для експлуатації:

Metasploit Framework: інструмент, що містить величезну базу експлойтів та корисних навантажень (payloads) [15].

Impacket: набір інструментів для роботи з мережевими протоколами, що дозволяє виконувати різні атаки (наприклад, перехоплення хешів, Pass-the-Hash).

Атаки Bruteforce на обрані інтерфейси програм:

John the Ripper/Hashcat: для зламування хешів паролів;

Hydra: для брутфорсу логінів/паролів до мережевих сервісів (SSH, FTP, HTTP тощо);

Інструменти соціальної інженерії:

Mail list validator, Maltego, Apollo.io, Hunter.io: дослідження поштових серверів та ідентифікація поштових скриньок;

Email sender deluxe: надсилання електронних листів працівникам ОКІ з метою отримання даних для подальшого розвитку атаки на внутрішні ресурси;

SET (Social-Engineer Toolkit): для створення фішингових сторінок, розсилок, симуляції атак за допомогою соціальної інженерії.

Інструменти для підвищення привілеїв (Post-Exploitation):

Mimikatz: для вилучення облікових даних з пам'яті Windows [16];

PowerSploit: для аналізу та використання вразливостей у доменних мережах Active Directory.

4. Підтримка доступу (Maintaining Access).

Збереження доступу для подальших дій (створення "бекдорів" та "шелів"):

Netcat: мережевий інструмент для створення "бекдорів", передачі файлів;

PowerShell Empire: фреймворк для безфайлових атак (fileless attacks) та підтримки доступу.

5. Тестування веб-ресурсів відповідно до OWASP v4:

OWASP Web Security Testing Guide (WSTG) версії 4.0 (або 4.1/4.2) - комплексний посібник, який надає детальний фреймворк та методики для тестування безпеки веб-додатків [17].

Тестування веб-ресурсів відповідно до OWASP WSTG v4:

приведе до проведення систематичного та всебічного тестування безпеки веб-додатку, що охоплює широкий спектр вразливостей, які можуть бути використані зловмисниками. Методологія WSTG v4 охоплює як пасивні, так і активні методи тестування, і є орієнтованою на виявлення не лише відомих вразливостей, але й логічних недоліків у роботі додатка.

Важливим є не просто набір інструментів, а методологія та підхід їх застосування. Це включає розуміння поведінки зловмисників, глибокий аналіз архітектури системи, пошук неочевидних взаємозв'язків та постійне вдосконалення власного "інструментарію" і знань.

Висновки

Застосування спеціалізованих інструментів під час пентесту ОКІ – це не просто технічна операція, а комплексний, багатовекторний підхід, що вимагає глибокого розуміння як технічних аспектів, так і специфіки функціонування критичної інфраструктури.

Без розуміння цілей атаки, логіки функціонування ОКІ та потенційних векторів компрометації, інструментарій буде неефективним. Для ОКІ, де збої можуть мати катастрофічні наслідки, використання автоматизованих сканерів без людського аналізу є недопустимим.

Ландшафт кіберзагроз постійно змінюється, особливо в умовах війни, де ворожі кібергрупи активно вдосконалюють свої методи. Отже, інструментарій, що використовується для пентесту, також має постійно оновлюватися та розширюватися.

Застосування інструментів під час пентесту ОКІ вимагає від фахівця не лише технічних знань у використанні програм, а й глибокого розуміння системної архітектури, операційних процесів, людського фактору та актуальних загроз.

Список використаної літератури

1. Konrad Ravenstone Google Dorks на службі у OSINT. [Online]. Available: https://kr-labs.com.ua/blog/google-dorks-for-osint/ [Accessed: October 07, 2025].
2. Shodan. cybermarket.com.ua. [Online]. Available: https://cybermarket.com.ua/product/shodan/ [Accessed: October 07, 2025].
3. Альвіна WHOIS: з чого складається база доменів і як її використовувати. rx-name.ua. [Online]. Available: https://rx-name.ua/blog/whois-z-chogo-skladayetsya-baza-domeniv-i-yak-yiyi-vykorystovuvaty [Accessed: October 07, 2025].
4. Як працює DNS. hostiq.ua. [Online]. Available: https://hostiq.ua/blog/ukr/how-does-dns-work/ [Accessed: October 07, 2025].
5. Endpool. №1. Ethical Hacking Labs. Відбиток і розвідка. hackyourmom.com. [Online]. Available: https://hackyourmom.com/servisy/%E2%84%961-ethical-hacking-labs-vidbytok-i-rozvidka/ [Accessed: October 07, 2025].
6. Get Nmap 7.97 here. nmap.org. [Online]. Available: https://nmap.org/ [Accessed: October 07, 2025].
7. Robert David Graham. MASSCAN: Mass IP port scanner. github.com. [Online]. Available: https://github.com/robertdavidgraham/masscan [Accessed: October 07, 2025].
8. The world's leading network protocol analyzer. www.wireshark.org. [Online]. Available: https://www.wireshark.org/ [Accessed: October 07, 2025].
9. Tcpdump and libpcap. www.tcpdump.org. [Online]. Available: https://www.tcpdump.org/ [Accessed: October 07, 2025].
10. Wayback Machine APIs. archive.org. [Online]. Available: https://archive.org/help/wayback_api.php [Accessed: October 07, 2025].
11. Встановлення налаштування та використання Wifite на Kali Linux. spy-soft.net. [Online]. Available: https://spy-soft.net/wifite-linux/ [Accessed: October 07, 2025].
12. What you can do with Pentest-Tools.com. pentest-tools.com. [Online]. Available: https://pentest-tools.com/ [Accessed: October 07, 2025].
13. Konrad Ravenstone. Основи пентестингу з BurpSuite. kr-labs.com.ua. [Online]. Available: https://kr-labs.com.ua/blog/penetration-testing-with-burpsuite/ [Accessed: October 07, 2025].
14. Modbus Simulator. docs.iotechsys.com. [Online]. Available: https://docs.iotechsys.com/edge-xpert23/device-services/modbus/modbus-simulator.html [Accessed: October 07, 2025].
15. The world’s most used penetration testing framework. www.metasploit.com. [Online]. Available: https://www.metasploit.com/ [Accessed: October 07, 2025].
16. Отримання облікових даних Адміністратора або кілька способів роботи з Mimikatz. hackyourmom.com. [Online]. Available: https://hackyourmom.com/kibervijna/otrymannya-oblikovyh-danyh-administratora-abo-kilka-sposobiv-roboty-z-mimikatz/ [Accessed: October 07, 2025].
17. WSTG - v4.2. owasp.org. [Online]. Available: https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v42/ [Accessed: October 07, 2025].

УДК 004.42

АНАЛІЗ МЕРЕЖЕВОЇ АКТИВНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРАЦІВНИКІВ

Супрун О.В., Карпенко Н. В. (suprun-o@365.dnu.edu.ua)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

У статті розглядаються сучасні підходи до оцінювання ефективності роботи працівників, робота яких виконується за допомогою комп'ютера. Автори статті пропонують використовувати для цього аналіз цифрових слідів, які залишає користувач під час роботи у електронних застосунках різних видів. Наведено результати експериментального дослідження мережевої активності користувачів. Запропонований підхід дозволяє підвищити об'єктивність оцінки продуктивності персоналу та ефективність управління робочими процесами на підприємстві.

Бурхливий розвиток цифрових технологій зумовлює зміни у діяльності підприємств, що проявляються в автоматизації управлінських процесів, переході до цифрових бізнес-моделей, підвищенні ролі даних у прийнятті рішень та необхідності формування нових компетенцій персоналу. При цьому постає питання забезпечення об'єктивної оцінки ефективності праці співробітників при роботі з програмними застосунками.

Зростання обсягів оброблюваної інформації, різноманіття цифрових інструментів та необхідність підвищення продуктивності праці вимагають впровадження сучасних підходів до моніторингу і аналізу діяльності персоналу. Систематичне визначення ключових показників ефективності (KPI), таких як час, витрачений на виконання завдань, кількість і якість виконаних задач, продуктивність за годину роботи чи швидкість обробки даних у застосунках, дозволяє встановити стандарти для оцінки результативності персоналу [1].

На основі даних, зібраних за допомогою тайм-трекінгу, логування активності у програмному забезпеченні й автоматизованих системах управління проєктами, здійснюється кількісна оцінка роботи, виконаної конкретним працівником [2]. Для вимірювання продуктивності праці також використовуються аналітичні формули, що дозволяють зіставити кількість виконаних завдань із часом, витраченим на їх виконання, або з числом залучених працівників [3].

Важливим елементом процесу визначення ефективності роботи працівника стає оцінювання якості його результатів із урахуванням експертних оцінок керівників та відгуків від замовників [1]. Для комплексного відображення ефективності роботи персоналу застосовуються системи вагових коефіцієнтів для окремих метрик, що дає змогу отримати інтегральний підсумковий показник [3]. Окрім цього, значна увага приділяється впровадженню спеціалізованого програмного забезпечення, яке автоматизує процес збору, аналізу та візуалізації даних, а отримані звіти допомагають ухвалювати обґрунтовані рішення щодо оптимізації робочих процесів [4].

Було запропоновано технологію Task mining [5], яка автоматично фіксує і аналізує дії користувачів у програмних застосунках, щоб зрозуміти, як саме виконуються окремі завдання. Вона збирає дані про взаємодію користувача з комп'ютером, такі як кліки мишкою, натискання клавіш, використання програм, операції копіювання та вставки і час, витрачений на кожен крок. Аналізуючи ці дані, task mining дозволяє виявляти неефективні операції, повторювані процеси, "вузькі місця" та можливості для автоматизації й оптимізації роботи. Але task mining, зазвичай, аналізує знімок екрану користувача для виявлення контексту завдань (наприклад, робота у Word, спілкування у месенджері, виконання завдання у визначеній програмі тощо), що потребує значних ресурсів для їх зберігання та розпізнавання. Крім того, task mining фіксує введення символів та переміщення курсору миші по екрану, а ці обидві дії є порушенням принципів інформаційної безпеки, оскільки у відкритому вигляді фіксується введення паролів та іншої чутливої інформації, що може бути використано зловмисниками.

Оскільки у сучасному цифровому середовищі кожна дія користувача в мережі Інтернет супроводжується створенням цифрового сліду, який залишається у вигляді записів у мережевих журналах, файлах cookie, історії з'єднань (netflow) чи технічних метаданих, то цей відбиток є своєрідною «цифровою тінню» користувача, за допомогою якої можна ідентифікувати не лише сам факт активності, але й додаток, який є джерелом активності мережевого трафіку.

Кожен додаток або сервіс, що взаємодіє з мережею, генерує свої власні характерні запити, які дозволяють відстежити, який саме застосунок ініціював мережеву активність. Наприклад, було проаналізовано роботу месенджера Telegram та виявлені шаблони активності, наведені в таблиці 1. У випадку передачі повідомлень або файлу після кожного пакету з даними йде пакет підтвердження передачі.

Таблиця 1 – Характеристика мережевої активності користувачів за протоколами та розміром пакетів

Активність користувача	Протокол	Кількість і розмір пакетів	Пакет підтвердження передачі
Обмін повідомленнями	TCP	Одиночні пакети невеликого розміру	60 біт
Дзвінок (голос або відео)	UDP	Множинні пакети різного розміру	–
Передача файлу	TCP	Множинні пакети розміром 1294 біт	66 біт

Подібний експеримент був проведений у web-версії Telegram. Там також можна виділити шаблони активності дій користувача. На рис. 1 наведено мережеву активність під час прийому декількох текстових повідомлень. Кожному повідомленню відповідає по 2 піка на графіку: високий пік – це передача самого повідомлення, низький пік – це передача службової інформації, наприклад, про доставку чи перегляд повідомлення.

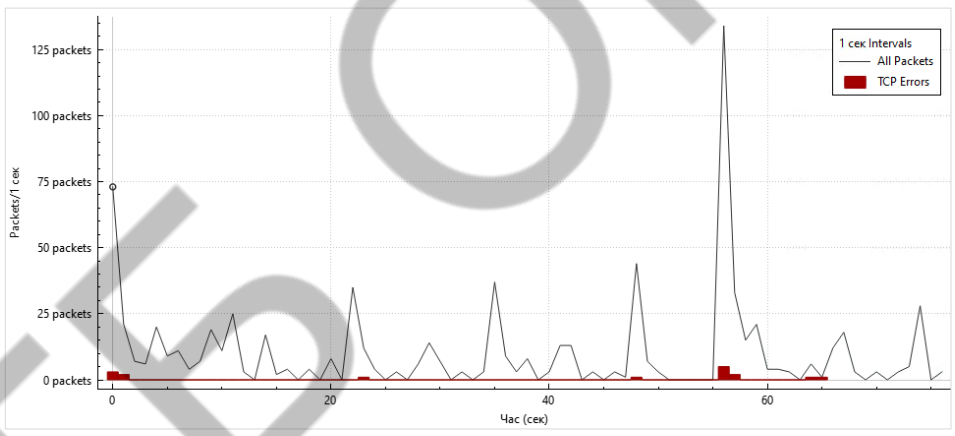


Рисунок 1. – Мережева активність під час прийому текстових повідомлень

На рис. 2 наведено графік мережевої активності під час голосового дзвінка. Перший пік відповідає встановленню зв'язку, після піку знаходиться "плато", яке відповідає голосовій передачі. На рис. 3 показано зміну мережевої активності під час передачі файлу розміром 70 кБайт. Перший пік (низький) відповідає активації меню вибору файлу для передачі, а другий пік (високий) – це передача файлу.

Дані, зібрані з мережевого трафіку є важливими як для різноманітної аналітики, наприклад для оцінювання ефективності користувача, так і для забезпечення безпеки інформаційних систем.

Висновки

У статті проаналізовано підходи для оцінювання ефективності роботи працівника, який виконує свої обов'язки за допомогою комп'ютера. Збір даних про активність користувачів інформаційних систем дозволяє візуалізувати їх дії для подальшого аналізу та виявлення "вузьких" міст бізнес-процесів та неефективних робітників.

Досліджено "цифрові сліди", які формуються в мережевому трафіку при використанні desktop та web-додатку Telegram. Базуючись на результаті досліджень було запропоновано оцінювати дії користувача, аналізуючи мережевий трафік, згенерований програмами, що також може стати основою для оцінки поведінки користувачів для виявлення зловмисників.

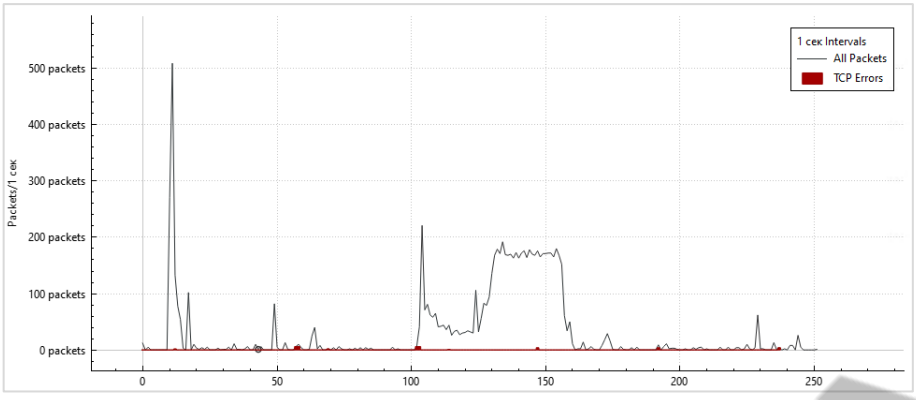


Рисунок 2. – Мережева активність під час голосового дзвінка

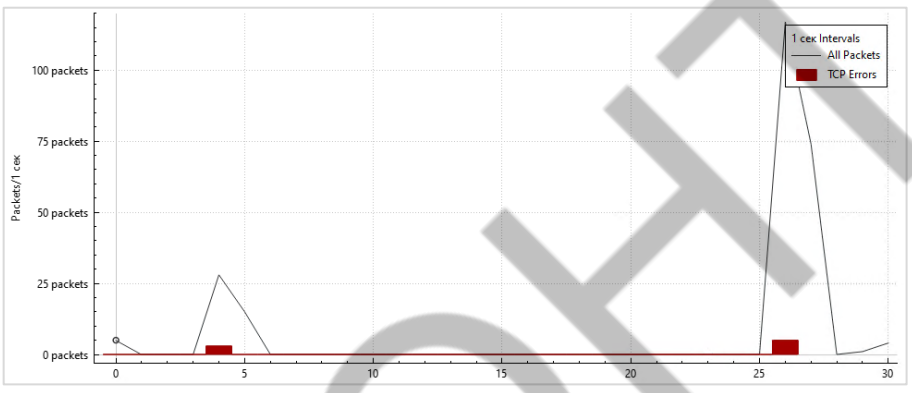


Рисунок 3. – Мережева активність під час передачі файлу

Список використаної літератури

[1] T.D.N. Vuong and L.T. Nguyen, “The Key Strategies for Measuring Employee Performance in Companies: A Systematic Review,” Sustainability, vol. 14, p. 14017, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/su142114017

[2] Y.H. Ko and I.G. Baek, “The Effect of Computer Monitoring on Employees' Productivity in Telecommuting Arrangements,” SSRN, Apr. 29, 2024. [Online]. Available: https://ssrn.com/abstract=4810633

[3] J. Malara, E. Plebankiewicz, and M. Juszczyk, “Formula for Determining the Construction Workers Productivity Including Environmental Factors,” Buildings, vol. 9, p. 240, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/buildings9120240

[4] L.G. Tanasescu, A. Vines, A.R. Bologa, and O. Vîrgolici, “Data Analytics for Optimizing and Predicting Employee Performance,” Appl. Sci., vol. 14, p. 3254, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/app14083254

[5] A. Martínez-Rojas, P. Munoz, and F. Gumiel, "A screenshot-based task mining framework for disclosing task workflows from user interactions," Journal of Systems and Software, vol. 201, p. 111583, Apr. 2023. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030643792300176X

УДК 004.056

ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ФІШИНГОВИМ АТАКАМ

Тимошенко Л.М., Тихонов І.В.(l.m.timoshenko@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі виконано аналіз традиційних методів захисту від фішингу, запропоновано модель машинного навчання для автоматичної класифікації веб-ресурсів на «легітимні» та «фішингові» на основі аналізу їхніх ключових характеристик, та досліджено якості моделі з використанням певних метрик.

Вступ. Фішингові атаки є однією з найпоширеніших та найнебезпечніших загроз у кіберпросторі. Їх мета – викрадення конфіденційних даних користувачів, таких як логіни, паролі та фінансова інформація, шляхом маскування під легітимні веб-ресурси. Традиційні методи захисту, що базуються на чорних списках, часто виявляються неефективними проти нових атак через високу швидкість створення та реєстрації фішингових доменів. У зв'язку з цим, актуальною задачею є розробка інтелектуальних систем, здатних проактивно ідентифікувати загрози.

Мета. Розробка та дослідження моделі машинного навчання (МН) для автоматичної класифікації веб-ресурсів на «легітимні» та «фішингові» на основі аналізу їхніх ключових характеристик для підвищення ефективності систем протидії кіберзагрозам.

Основна частина.

В якості основи для моделі МН було виділено декілька груп ознак (features), що характеризують веб-сторінку. На відміну від класичних підходів, запропонована модель аналізує три ключові вектори даних:

– ознаки на основі URL: довжина URL, кількість піддоменів, наявність IP, використання нестандартних портів, наявність символів «@», «-»;

– ознаки на основі HTML: кількість тегів <form>, наявність <iframe>, перенаправлення, кількість посилань на зовнішні домени;

– ознаки на основі домену: вік домену (Domain Age), наявність SSL-сертифікату, термін дії сертифікату, рейтинг у пошукових системах [1].

Загальний вектор ознак X для кожного сайту можна представити як:

$$X = (x_1, x_2, \ldots, x_n),$$

де n – загальна кількість виділених ознак.

Задача зводиться до бінарної класифікації, де кожному вектору X необхідно присвоїти мітку $y \in \{0, 1\}$ – фішинг, а 0 – легітимний сайт. Для навчання моделі було використано алгоритми Support Vector Machine (SVM) та Random Forest (RF) [2].

Для оцінки якості розробленої моделі класифікації використовується набір стандартних метрик, що розраховуються на основі компонентів матриці. Доцільно розрахувати показники:

– TP (True Positive) – кількість фішингових сайтів, коректно визначених як фішинг;

– TN (True Negative) – кількість легітимних сайтів, коректно визначених як легітимні;

– FP (False Positive) – «хибна тривога», кількість легітимних сайтів; помилково визначених як фішинг;

– FN (False Negative) – «пропуск загрози», кількість фішингових сайтів, помилково визначених як легітимні [3].

На основі цих показників розраховуються ключові метрики:

– точність (Accuracy) – загальна частка правильних прогнозів;

– влучність (Precision) – частка об'єктів, вірно названих «фішингом»;

– повнота (Recall) – частка фішингових сайтів, які модель зуміла знайти.

Для оцінки якості моделі використовувалися метрики Accuracy, Precision, Recall та F1-Score. Попередні результати демонструють, що модель Random Forest показує високу точність ідентифікації (до 95%) та здатна коректно класифікувати значну частину раніше невідомих загроз.

Висновки. Розроблено та протестовано модель машинного навчання для детектування фішингових веб-ресурсів. Експериментальні дослідження підтвердили високу ефективність обраного підходу, зокрема використання поєднання методів, для виявлення загроз на основі комплексного аналізу характеристик сайту.

Результати можуть бути використані при проєктуванні інтелектуальних модулів для веб-браузерів, поштових клієнтів та корпоративних систем безпеки з метою проактивного захисту користувачів від фішингових атак.

Список використаної літератури

[1] Коваленко А.В., Петренко С.М. Використання алгоритмів машинного навчання для детектування фішингових сайтів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. Львів, 2023. Т. 4, №1. С.

58-67.
[2] Сидоренко В.В., Іванов Д.Ю. Порівняльний аналіз моделей Random Forest та SVM у задачах виявлення фішингу. *Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології»*. Київ. 2024. С. 112-114.
[3] PhishTank. Open Database of Phishing Sites. URL: https://phishtank.org/

УДК 004.75:658:33-044.922(043.2)

ЗНАЧЕННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРИСКОРЕНОЇ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Усенко М. П. (mpu.mailbx@gmail.com)
Бандоріна Л.М. (bandorina7@gmail.com)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

Огляд ролі хмарних технологій у країнах з ринком, що формується. Розглядається значення хмарних рішень для прискореної цифрової трансформації економіки, підвищення продуктивності бізнесу, розвитку людського капіталу та формування прозорих і стійких державних сервісів.

Актуальність проблеми. Країни з ринком, що формується, включаючи Бразилію, Південну Африку та Мексику, на даний момент перебувають у фазі глибокої структурної трансформації власних економічних систем [1]. Основний виклик для подібних економік полягає у подоланні залежності від традиційно притаманних їм торгівлі та сільського господарства та переходу до моделей, що базуються на знаннях та технологіях. За умов глобальної цифровізації, саме хмарні технології стали одним з найбільш потужних та доступних інструментів, що дають можливість пришвидшити модернізацію інфраструктури, підвищити ефективність бізнесу та виконувати інтергацію у світову економіку на нових умовах. Головна особливість країн, що розвиваються, у тому, що вони швидко розвиваються, але мають мало ресурсів. Хоч у цих країн є велике населення і можливості для виробництва, багато з них залежать від змін світових цін на сировину, мають нестачу грошей і слабку IT-інфраструктуру. У такому середовищі цифрові технології, особливо хмарні сервіси, компенсують дефіцит фізичних потужностей і стають ключовим фактором врівноваження можливостей за рахунок більш доступних обчислювальних ресурсів у хмарі, без зайвих капіталовкладень забезпечують масштабованість підприємств, створюючи гнучку основу для інновацій.

Особливу актуальність хмарні технології набувають для тих країн, де їх державні стратегії орієнтовані на стимулювання інвестицій у цифровий сектор та формування нових технологічних екосистем. Для таких країн використання хмарних рішень поступово буде формувати таке цифрове середовище, у якому малі підприємства, державні установи і стартапи без необхідності залучення великих інвестицій отримають доступ до сучасних інструментів. Подібні зміни дозволять радикально змінити модель економічного розвитку, зменшать бар'єри входу на ринок та прискорять інноваційний цикл. Окрім цього, хмарні технології сприятимуть створенню нових робочих місць та підвищенню цифрової грамотності населення.

Перехід до так званої «хмарної економіки» у країнах, що розвиваються, заохочуватиме зростання попиту на фахівців у галузях аналітики даних, програмування, кібербезпеки, адміністрування систем та інших. Тобто, підвищення технологічної компетенції призводитиме до зростання продуктивності, що у свою чергу зумовить зростання економічної стійкості. Отже, впровадження хмарних технологій буде не просто елементом технологічного прогресу, а стане стратегічним напрямком в найближчі десятиліття, який визначатиме конкурентоспроможність означених країн.

Методи для вирішення проблеми. Розвиток хмарних технологій у країнах, економіка яких розвивається, має бути комплексним і включати інституційні, технологічні та освітні методи. Першим кроком має бути створення цифрової інфраструктури, здатної підтримувати масштабовані і, головне, безпечні хмарні рішення.

Країни з обмеженими ресурсами можуть реалізовувати такий процес поетапно, починаючи з державної підтримки хмарних центрів обробки даних та впровадження гібридних хмарних моделей, які поєднуватимуть локальні та публічні хмари. Такий спосіб організації хмарної структури дозволить, по-перше, знизити витрати, а по-друге - тримати у безпеці уразливі дані, що буде особливо важливим при взаємодії з міжнародними інвесторами.

За даними Конференції ООН з торгівлі та розвитку UN CTAD, «у 2024 році на інфраструктуру інформаційно-комунікаційних технологій країн, що розвиваються, було спрямовано всього 9 млрд дол. США з необхідних 62 млрд дол., для підтримки глобального цифрового зростання» [2]. Такий значний розрив у фінансуванні свідчить про масштабний дефіцит цифрових потужностей. Без його усунення стає неможливим сталий розвиток хмарної економіки.

Ключовим аспектом у вирішення даної проблеми є стимулювання приватно-державного партнерства. Для підприємств, на яких впроваджуються хмарні технології, уряди країн, можуть підтримувати політику надання пільг та субсидій, укладати контракти на постачання хмарних послуг з провідними хмарними провайдерами. Такі заходи допоможуть швидше передавати технології й отримувати доступ до сучасних рішень у сфері роботи з даними, автоматизації та аналізу Будь-яка вигідна взаємодія між державними інститутами та приватним капіталом, у свою чергу, забезпечить довгострокові інвестиції у хмарну інфраструктуру.

Окремо варто звернути увагу на розвиток науки й освіти, адже зміни неможливі без людей, які вміють ефективно користуватися хмарними технологіями. У даному контексті, стають пріоритетними програми підготовки фахівців з управління архітектурою хмарних систем, IT-інфраструктурою та кібербезпеки. За даними звіту Організації економічного співробітництва та розвитку OECD, «у 2021 році понад 60 % підприємств, які намагалися найняти ІКТ-фахівців, зіткнулися з труднощами при заповненні вакансій»[3], можна зробити висновки, що саме дефіцит кваліфікованих кадрів стає одним з ключових обмежень цифрової трансформації. Інвестування у сферу освіти та підготовка кваліфікованих фахівців здатні будуть підвищити конкурентоспроможність національних економік та сформувати стійку основу для технологічного підприємництва. Також програми підтримки стартап-середовищ та перепідготовки фахівців дозволять економікам країн, що розвиваються, прискорити впровадження хмарних рішень у приватному та державному секторах. Ще одним важливим інструментом є підтримка малого та середнього бізнесу через хмарні платформи. Для компаній у країнах з економікою, що розвивається, саме хмарні технології зможуть відкрити доступ до таких сучасних інструментів як хмарні бухгалтерські системи, платформи електронної комерції, засоби аналітики великих даних, тощо. Застосування SaaS і PaaS моделей надання хмарних послуг дає змогу знизити капітальні витрати підвищуючи тим самим гнучкість операцій, що матиме особливу цінність в умовах високої макроекономічної волатильності.

Ще один важливий напрям — це використання хмарних сервісів у державному управлінні. Електронний уряд, цифрові реєстри та системи зберігання соціальних даних можуть працювати на національних хмарних платформах, що зробить владу більш відкритою та підвищить довіру до неї. Це, у свою чергу, знижуватиме корупційні ризики та буде підвищувати ефективність адміністрування, створюючи сприятливе середовище для залучення інвестицій. Не менш важливо приділити увагу кібербезпеці, адже під час переходу на хмарні технології потрібно створити чіткі правила для зберігання, обробки та захисту даних. Для цього слід пристосувати міжнародні стандарти, такі як ISO/IEC 27017 і GDPR, до власного законодавства. Все це створюватиме сприятливі умови для безпечного функціонування цифрових екосистем та зміцнюватиме довіру бізнесу та громадян до хмарних технологій. Підтримка з боку держави та міжнародних партнерів допоможе об’єднати технологічні ініціативи й дозволить країнам із економікою, що розвивається, стати частиною світових виробничих ланцюгів, створюючи цифрову інфраструктуру для торгівлі, фінансів та логістики. Таким чином, використання хмарних технологій для управління ланцюгами поставок дозволить забезпечити оперативний доступ до даних, мінімізувати ризики та оптимізувати витрати.

Отже, методологічна основа впровадження хмарних технологій у країнах з економікою, що розвивається, включатиме три рівні:

- інфраструктурний;
- інституційний;
- когнітивний.

Сукупність цих заходів дозволить сформувати екосистему, що буде здатна не тільки адаптуватися до технологічних змін, але й зможе генерувати нові моделі зростання. Для країн з економіками, що розвиваються, це означатиме перехід від експортно-сировинної залежності до інноваційно-орієнтованої моделі, у якій інформаційні потоки стануть основним джерелом конкурентної переваги.

Висновок. Впровадження хмарних технологій у країнах з економікою, що розвивається, може створити умови для прискореної цифрової трансформації, компенсуючи дефіцит фізичної інфраструктури та обмежених фінансові ресурси. Вони дозволять малим і середнім підприємствам отримувати доступ до сучасних інструментів управління, сприятимуть зростанню продуктивності та стимулюватимуть формування нових робочих місць. Одночасно хмарні рішення зможуть посилити прозорість державних сервісів і підвищити довіру інвесторів. У сукупності така методологічна основа може сформувати інноваційну екосистему, що буде здатна підвищити конкурентоспроможність економіки і створити стійку платформу для довгострокового технологічного розвитку.

Список використаної літератури

1. Brazil Overview: Development news, research, data | World Bank URL: https://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview (дата звернення 12.10.2025)
2. Global investment in the digital economy surges but remains uneven | UN Trade and Development (UNCTAD) URL: https://unctad.org/news/global-investment-digital-economy-surges-remains-uneven (дата звернення 15.10.2025)
3. OECD Digital Economy Outlook 2024 (Volume 2) (EN) URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/11/oecd-digital-economy-outlook-2024-volume-2_9b2801fc/3adf705b-en.pdf (дата звернення 17.10.2025)

УДК 004.8:004.56

АНАЛІЗ ОБМЕЖЕНЬ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ПЗ

Цапковатий Р.В. (roman.tsapkovatyi@cs.sumdu.edu.ua)
Сумський Державний Університет (Україна)

У тезах розглядаються фундаментальні обмеження сучасних методів статичного аналізу безпеки програмного забезпечення (SAST). Незважаючи на те, що SAST є ключовим інструментом у практиках безпечної розробки (DevSecOps) для виявлення вразливостей на ранніх етапах, його ефективність суттєво знижується через низку проблем. Нижче проводиться аналіз цих обмежень, зокрема, детально розглядається проблема точності та високий рівень хибно-позитивних спрацювань (False Positives), технічні труднощі глибокого аналізу коду, такі як аналіз потоків даних, та нездатність SAST виявляти цілі класи вразливостей, наприклад, логічні помилки. Розуміння цих обмежень є критичним для побудови комплексної стратегії безпеки ПЗ.

Інтеграція безпеки в життєвий цикл розробки (SDLC) стала стандартною практикою, де SAST відіграє провідну роль. Їхня перевага полягає у здатності аналізувати вихідний код, байт-код або бінарний код без необхідності запуску програми, що дозволяє ідентифікувати потенційні дефекти безпеки на ранніх стадіях. Це значно здешевлює процес виправлення помилок. Однак, попри десятиліття розвитку, ці рішення не є "срібною кулею", і практичне застосування стикається з викликами, що знижують їхню цінність.

Найбільш обговорюваним обмеженням є проблема точності, що проявляється у двох формах: **хибно-позитивні (False Positives, FP)** та **хибно-негативні (False Negatives, FN)** спрацювання. FP – це ситуації, коли інструмент повідомляє про неіснуючу вразливість. Це, мабуть, найбільший головний біль при впровадженні SAST. Дослідження показують, що розробники часто перевантажені великою кількістю таких попереджень. Це явище, відоме як «втома від попереджень» (alert fatigue), призводить до того, що команди починають ігнорувати результати сканування, включно з реальними загрозами [3]. Цей негативний цикл проілюстровано на Рис. 1.

FP вимагає значних людських ресурсів для валідації (тріажу) кожного попередження. FN, у свою чергу, є пропуском реальної вразливості, що створює неправдиву ілюзію безпеки.

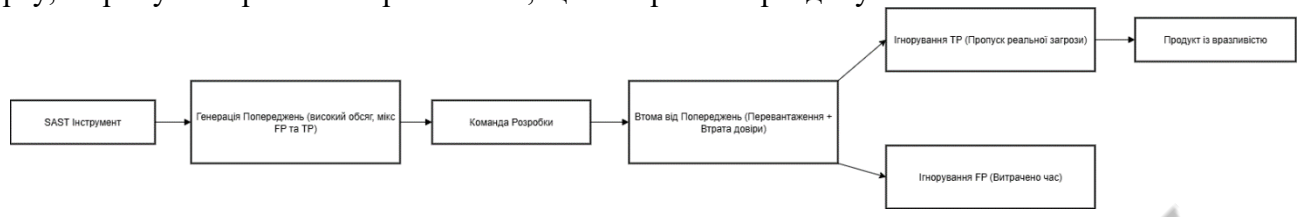


Рисунок 1. Цикл виникнення "Втоми від попереджень" (Alert Fatigue)

Високий рівень FP та FN часто є наслідком технічних обмежень SAST в аналізі складних програмних систем. Це, по-перше, **проблеми аналізу потоків даних (data-flow analysis)**. Хоча сучасні SAST-інструменти намагаються відстежувати рух "забруднених" (tainted) даних від джерела до точки виконання, їхні можливості обмежені. Вони можуть втратити контекст, якщо дані проходять через складні перетворення або логіка санітизації є нетривіальною [2]. По-друге, це **складнощі міжпроцедурного та міжкомпонентного аналізу**. Сучасні програми рідко є монолітними. Відстеження потоку даних або стану між модулями чи мікросервісами є надзвичайно складною задачею для статичного аналізатора [1]. По-третє, це **чутливість до шляху (path sensitivity)**, коли SAST аналізує всі можливі шляхи виконання коду, включно з тими, які логічно неможливі, що також є значним джерелом FP.

Також найважливішим стратегічним обмеженням є те, що SAST фундаментально не здатен виявляти певні класи вразливостей. **Логічні вразливості (Business Logic Flaws)** залишаються поза увагою, оскільки SAST шукає технічні дефекти (напр., SQL-ін'єкції) і не "розуміє" бізнес-логіку програми. Наприклад, SAST не може визначити, чи має право звичайний користувач отримувати доступ до даних адміністратора, якщо з точки зору коду запит є синтаксично коректним [4]. Крім того, **проблеми конфігурації та середовища** (неправильні налаштування сервера, слабкі політики у хмарному середовищі, незахищені ключі API) також ігноруються, оскільки аналізується лише код додатків [1].

Узагальнена класифікація розглянутих обмежень представлена у (табл. 1).

Табл. 1. Класифікація обмежень сучасних SAST-інструментів

Категорія обмеження	**Конкретна проблема (Обмеження)**	**Наслідок / Вплив на Практику**
Обмеження Точності	1. Хибно-позитивні спрацювання (FP)	• "Втома від попереджень" (Alert fatigue) у розробників [3]. • Високі витрати часу на ручну валідацію.
	2. Хибно-негативні спрацювання (FN)	• Створення хибного відчуття безпеки. • Пропуск реальних, але нетипових вразливостей.
Технічні Обмеження (Глибина Аналізу)	1. Аналіз потоків даних	• Втрата контексту при складних перетвореннях даних [2]. • Нездатність розпізнати кастомні методи санітизації.
	2. Міжпроцедурний аналіз	• Пропуск вразливостей, що виникають на стику модулів/мікросервісів [1].
Обмеження Області Виявлення	1. Логічні вразливості	• Повна "сліпота" до проблем в бізнес-логіці [4].
	2. Конфігураційні помилки	• Ігнорування проблем середовища, хмарних налаштувань, секретів [1].

Таким чином, у підсумку, статичний аналіз безпеки ПЗ залишається незамінним інструментом у арсеналі DevSecOps. Він забезпечує важливий перший рівень захисту та дозволяє виправляти помилки на ранніх етапах. Однак, вкрай важливо розуміти його обмеження. Проблеми з точністю [3], технічні складнощі аналізу сучасних розподілених систем [1, 2] та нездатність виявляти логічні вразливості [4] означають, що SAST не може бути єдиним інструментом безпеки. Ефективна стратегія повинна доповнювати SAST іншими методами, такими як динамічний аналіз (DAST), інтерактивний аналіз (IAST), аналіз компонентів (SCA) та, що найважливіше, ручний огляд коду (code review) та тестування на проникнення.

Список використаної літератури

[1] K. R. et al., "A survey on static analysis and dynamic analysis for software vulnerability detection," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, vol. 35, no. 1, pp. 263-284, 2023.

[2] Y. Pang, Y. Xue, and X. Niu, "A comprehensive survey on data flow analysis for software vulnerability detection," ACM Comput. Surv., vol. 55, no. 13s, pp. 1-38, 2023.

[3] J. Musch and K. G., "Why johnny the developer can't triage: A usability study and classification of modern SAST," in 2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 2022, pp. 876-892.

[4] Y. Meng, W. Shi, K. Zhang, J. Xuan, and Z. Chen, "Logic-bomb: A logic-driven framework for testing mission-critical systems," in 2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2023, pp. 2005-2017.

УДК 004.056.55

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ УРАЗЛИВОСТЕЙ У ГЕНЕРАТОРАХ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ

Цебак О.А., Войтусік С.С. (oleh.a.tsebak@lpnu.ua, stepan.s.voitusik@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

В тезах розглянуто застосування методів машинного навчання для виявлення вразливостей у генераторах псевдовипадкових чисел (ГПВЧ), які є ключовим елементом сучасних криптографічних систем. Показано, що традиційні статистичні тести мають обмежені можливості щодо виявлення складних залежностей у псевдовипадкових послідовностях. Методи машинного навчання відкривають нові можливості для аналізу якості ГПВЧ, дозволяючи виявляти приховані закономірності та прогнозувати потенційні слабкі місця.

Генератори псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) є одним з ключових компонентів криптографічних систем, оскільки саме від їхньої якості залежить надійність формування ключів, ініціалізаційних векторів та інших криптографічних параметрів. Недостатній рівень випадковості може призвести до передбачуваності послідовностей та, як наслідок, до компрометації всієї системи захисту даних. Традиційно оцінка якості ГПВЧ здійснюється за допомогою статистичних тестів, серед яких найбільш поширеними є пакети NIST SP 800-22, Diehard та TestU01. Ці методи дозволяють виявляти окремі відомі закономірності, проте мають обмежену здатність щодо фіксації складних кореляцій або прихованих залежностей, які можуть існувати у вихідних послідовностях [1].

У сучасних умовах розвитку криптоаналізу виникає потреба у використанні нових інструментів, здатних виявляти нетривіальні закономірності у даних. Одним із перспективних напрямів є застосування методів машинного навчання, які довели свою ефективність у виявленні прихованих структур у великих наборах інформації. Алгоритми машинного навчання можуть не лише аналізувати вихідні послідовності, але й навчатися на них, формуючи моделі, здатні ідентифікувати відхилення від ідеальної випадковості. Таким чином, вони стають важливим доповненням до класичних статистичних тестів [2].

Використання методів машинного навчання у сфері аналізу ГПВЧ проявляється у кількох напрямах. Один із них пов’язаний з прогнозуванням наступних елементів послідовності. Якщо

точність передбачення виявляється істотно вищою за випадкове вгадування, це може свідчити про існування прихованої закономірності та, відповідно, про уразливість генератора. Дослідження показують, що нейронні мережі, зокрема рекурентні архітектури на основі LSTM, здатні виявляти довготривалі залежності у псевдовипадкових послідовностях, які залишаються непомітними для класичних тестових пакетів.

Інший напрям полягає у застосуванні методів виявлення аномалій (anomaly detection). У цьому випадку алгоритм навчається на великій кількості послідовностей, що відповідають ідеальним характеристикам випадковості, а потім використовується для ідентифікації тих даних, які відхиляються від встановленої моделі. Такий підхід особливо цінний у випадку реального часу, коли необхідний постійний моніторинг роботи генератора, наприклад у криптографічних протоколах із високими вимогами до безпеки.

Застосування глибоких нейронних мереж та сучасних моделей, зокрема трансформерів, відкриває нові можливості для криптоаналізу. Ці системи здатні працювати з великими масивами даних і виявляти нелінійні залежності, які практично неможливо визначити іншими методами. Наприклад, у дослідженнях, присвячених лінійним конгруентним генераторам, було показано, що нейронні мережі здатні навчатися відновлювати внутрішній стан генератора з невеликої кількості спостережень, що суттєво перевищує можливості традиційного аналізу [3].

Важливою сферою є також тестування апаратних ГПВЧ, які часто використовуються у спеціалізованих пристроях. У таких системах зовнішні фактори, наприклад електромагнітні завади або апаратні дефекти, можуть впливати на якість випадковості. Методи машинного навчання дають змогу автоматично виявляти відхилення у роботі апаратних генераторів та сигналізувати про потенційні проблеми без необхідності проведення тривалого статистичного аналізу [4].

Разом із очевидними перевагами застосування машинного навчання існують і певні виклики:
- ефективність моделей значною мірою залежить від обсягу та якості навчальних даних. Недостатня кількість вибірок може призвести до перенавчання і, як наслідок, до некоректних висновків щодо криптостійкості;
- інтерпретація результатів роботи складних моделей, наприклад глибоких нейронних мереж, є нетривіальним завданням. Навіть якщо алгоритм виявив закономірність у послідовності, необхідно підтвердити чи має вона практичне значення з точки зору криптографічної безпеки [5].

Застосування штучного інтелекту у криптографічних дослідженнях має також перспективи у контексті постквантової криптографії. Умови, коли класичні криптографічні алгоритми піддаватимуться атакам квантових комп’ютерів, потребують посиленої уваги до якості генераторів випадкових чисел. Використання методів машинного навчання як інструменту додаткової перевірки та забезпечення адаптивності ГПВЧ може стати одним із напрямів створення систем захисту нового покоління.

Ще одним важливим напрямом досліджень є застосування методів explainable AI (XAI) для інтерпретації рішень моделей. У класичному криптоаналізі кожне відхилення від випадковості має чітке математичне пояснення, тоді як у випадку нейронних мереж результати часто залишаються «чорною скринькою». Використання підходів XAI дозволяє зрозуміти, які саме ознаки у послідовності вважаються моделлю підозрілими, і чи відповідають вони відомим криптоаналітичним критеріям. Це відкриває шлях до більшої інтеграції ML-рішень у практичні системи безпеки, де прозорість і відтворюваність результатів мають критичне значення.

Практичне застосування машинного навчання для аналізу ГПВЧ також потребує врахування обчислювальних витрат. Якщо класичні статистичні тести можна виконати відносно швидко навіть на малопотужних пристроях, то глибокі нейронні мережі вимагають значних ресурсів. Це ставить питання доцільності використання ML-алгоритмів у вбудованих або мобільних системах. Можливим компромісом є створення гібридних підходів, коли ML використовується на етапі попереднього дослідження або у хмарних середовищах, а в реальному часі генератори перевіряються класичними методами [6].

У цьому контексті варто відзначити, що інтеграція методів машинного навчання в криптографію є двоспрямованим процесом. З одного боку, ШІ допомагає покращити криптостійкість систем, але з іншого — сам може стати інструментом для здійснення атак. Наприклад, можна використовувати ML для прискорення відновлення внутрішнього стану генератора або для пошуку слабких місць у криптографічних протоколах. Це підкреслює

необхідність розвитку захисних механізмів, які будуть враховувати потенційне використання ШІ з боку зловмисників.

Додатковим вектором розвитку є використання синтетичних даних для навчання та тестування алгоритмів машинного навчання у сфері криптоаналізу. Оскільки отримання великої кількості послідовностей від різних ГПВЧ може бути обмеженим, дослідники застосовують методи генерації синтетичних вибірок, які зберігають характерні властивості реальних генераторів. Це дозволяє прискорити процес навчання моделей та зменшити залежність від апаратних ресурсів, водночас підвищуючи універсальність розроблених рішень [7].

Водночас інтеграція ML у процес оцінки та побудови ГПВЧ вимагає відповідного нормативного та стандартизаційного підґрунтя. Існуючі стандарти, такі як NIST SP 800-22, орієнтовані переважно на статистичні методи аналізу. Тому у перспективі доцільним є розроблення нових підходів, які офіційно визнаватимуть результати, отримані за допомогою машинного навчання, як частину процедури сертифікації криптографічних генераторів. Це дозволить перейти від дослідницьких експериментів до широкого впровадження інтелектуальних методів у практику інформаційної безпеки.

Таким чином, застосування машинного навчання у сфері дослідження та вдосконалення генераторів псевдовипадкових чисел можна розглядати як новий міждисциплінарний напрям, що поєднує криптографію, теорію випадковості, штучний інтелект та обчислювальні науки. Впровадження таких підходів у практичні системи здатне значно підвищити рівень безпеки інформаційних технологій, однак водночас вимагає розробки нових методологій оцінки, стандартизації та перевірки результатів. Це робить дослідження у цій сфері актуальними та перспективними для подальших наукових праць.

Список використаної літератури

1. Rukhin A. et al. *A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications (NIST SP 800-22).* NIST, 2010.
2. Al-Saidi N. et al. Machine Learning Applications in Cryptography: A Survey. *Applied Sciences,* 2022.
3. Kočiský T., Bošnjak M. Predicting LCG Outputs with Recurrent Neural Networks. *ArXiv preprint arXiv:1805.00000,* 2018.
4. Fischer V., Drutarovský M. True Random Number Generators in Cryptography. *Lecture Notes in Computer Science,* 2012.
5. Papernot N., McDaniel P. Interpretability in Machine Learning Security. *IEEE Security & Privacy,* 2018.
6. Zhang Y., Wang S. Resource-Aware Machine Learning for Cryptographic Applications. *IEEE Access,* 2021.
7. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning.* MIT Press, 2016.

УДК 004.056

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПЕРЕДАВАННІ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИМИ КАНАЛАМИ

Чернявський О. Ю., Герасимов С. В. (oleg.combat74@gmail.com, gsvnr@ukr.net)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

У доповіді розглянуто варіант удосконалення технічних засобів для захисту інформації при передаванні даних інформаційними каналами за рахунок використання в каналах сигналів складної (не типової) форми. Запропоновані аналітичні співвідношення для синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами на основі час-імпульсної модуляції, які дозволили отримати аналітичні вирази для обчислення коефіцієнта амплітудної модуляції для різних видів час-імпульсної модуляції вихідної послідовності імпульсів несучої довільної форми. Запропонований метод синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами на

основі час-імпульсної модуляції дозволяє підвищити завадозахищеність, тобто забезпечить захист інформації при передаванні даних інформаційними каналами.

На сьогодні широко застосовуються інформаційні канали при передаванні даних між різними користувачами, у тому числі й між користувачами критичної сфери [1]. Головним елементом таких інформаційних каналів є технічні засоби передавання даних (провідні, радіотехнічні, електромагнітні тощо). Технічні засоби передавання даних повинні забезпечувати цілісність і конфіденційність інформації, мати систему заходів і процедур, що захищають дані від несанкціонованого доступу, пошкодження або знищення [2, 3]. При цьому безпровідні інформаційні канали (переважно радіотехнічні) мають високий ризик щодо несанкціонованого доступу до інформації як з метою викрадання даних, так і з метою їх підмінювання (порушення цілісності). Тому, удосконалення технічних засобів передавання даних інформаційними каналами для забезпечення захисту інформації є актуальною науково-технічною задачею.

У доповіді показано один із варіантів удосконалення технічних засобів для захисту інформації – синтезу сигналів складної форми – сигналів для передавання даних інформаційними каналами із застосуванням методів, які забезпечують потрібний рівень завадозахищеності. Обґрунтовано, що для синтезу інформаційних сигналів складної (не типової) форми (до типової відносять гармонійну синусоїдальну або прямокутну імпульсну форми) з метою підвищення завадозахищеності необхідно використовувати методи формування амплітудно-модульованих сигналів в області низьких частот огинальної (до кількох кілогерц) та несучої (десятки кілогерц). Такі методи засновані на проміжному формуванні амплітудно-імпульсно-модульованих сигналів і подальшої їх вузькосмугової фільтрації для виділення амплітудно-модульованих сигналів із синусоїдальними огинальною та несучою [4, 5]. Наведені методи значно перевершують класичні аналогові методи формування амплітудно-модульованих сигналів за точністю та частотним діапазоном (в області низьких частот огинальної та несучої), забезпечують високі показники щодо завадозахищеності та похибки (порядку тисячних часток відсотка) завдання коефіцієнта амплітудної модуляції в області малих його значень [6].

Запропоновано використання цифрової обробки сигналів для формування амплітудно-імпульсно-модульованих сигналів з подальшою їх вузькосмуговою фільтрацією для виділення огинальної та несучої [6-8]. Показано, що вказаним вимогам задовольняє метод формування амплітудно-модульованих сигналів на основі модуляції часових параметрів прямокутними імпульсами. Зазначено, що у той самий час цей спосіб формування амплітудно-модульованих сигналів не завжди забезпечує необхідні значення коефіцієнта гармонік огинальної. Очевидно, коефіцієнт гармонік огинальної може бути зменшений при інших, складніших (нетипових) законах модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів несучої [6, 8].

Наведено результати дослідження закону модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів, що використовується із подальшою їх вузькосмуговою фільтрацією для формування амплітудно-модульованих сигналів складної форми. Доведено переваги запропонованої форми модуляції часових параметрів імпульсів порівняно із відомою гармонійною. Розглянуто найбільш загальний випадок, коли форма імпульсів несучої може бути будь-якою та описується довільною функцією. Такий випадок пропонується застосовувати при функціонуванні інформаційного каналу в умовах значної кількості завад. Розраховано та представлено аналітичну форму імпульсної послідовності несучої запропонованого сигналу для передавання даних інформаційними каналами.

Обґрунтовано, що при малих коефіцієнтах модуляції часових параметрів імпульсів несучої довільної форми вихідний сигнал вузькосмугового фільтра є амплітудно-модульованим із синусоїдальної огинальною із потрібним значенням коефіцієнта амплітудної модуляції сигналів для передавання даних інформаційними каналами.

Розроблено метод синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами із визначеним законом модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів із подальшою їх вузькосмуговою фільтрацією для формування прецизійних амплітудно-модульованих сигналів для передавання даних інформаційними каналами.

Запропоновані аналітичні співвідношення для синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами на основі час-імпульсної модуляції мають узагальнений характер і дозволяють отримати аналітичні вирази для обчислення коефіцієнта амплітудної модуляції для різних видів час-імпульсної модуляції вихідної послідовності імпульсів несучої довільної форми.

Теоретично доведено, що найбільш раціонально як несучу при синтезі сигналів для передавання даних інформаційними каналами використовувати послідовність імпульсів прямокутної форми.

Розглянуто можливі види модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів несучої. Обґрунтовано для синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами застосовувати наступні види модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів несучої:

фазова модуляція при постійній тривалості імпульсів несучої;

широтна модуляція або модуляція тривалості імпульсів, що несе при рівномірному їх слідуванні;

модуляція фронту імпульсів несучої;

модуляція зрізу імпульсів несучої.

Наведено результати дослідження запропонованого закону зміни часових параметрів прямокутних імпульсів несучою для зазначених видів модуляції.

Розроблені аналітичні співвідношення для синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами на основі час-імпульсної модуляції також є вихідними для дослідження різних видів модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів несучої.

Запропонований метод синтезу сигналів для передавання даних інформаційними каналами на основі час-імпульсної модуляції дозволяє підвищити завадозахищеність, тобто забезпечить захист інформації при передаванні даних інформаційним каналом. Наведено результати теоретичного обґрунтування можливості практичного використання розроблених сигналів та оцінювання практичної спроможності від застосування розроблених сигналів для передавання даних інформаційними каналами із забезпеченням потрібного рівня захисту інформації (завадозахищеності).

Подальші дослідження у галузі технічної складової захисту інформації пропонується направити на оцінювання різних видів модуляції часових параметрів прямокутних імпульсів несучої, визначення переваг і недоліків таких нетипових видів модуляції сигналів для передавання даних інформаційними каналами.

Список використаної літератури

[1]. Herasymov S., Yevseiev S., Milevskyi S., Balitskyi N., Zaika V., Povaliaiev S., Golovashych S., Huk O., Smirnov A., Rubel K. Development of a method for automatic control of monitoring means for information protection objects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(9) (132), 2024, pp. 25–38. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.319058.

[2]. Herasimov S., Roshchupkin E. Control of the serviceability of the radio electronic equipment of the communication system. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Х.: НАНГУ, 2023, с. 39-40.

[3]. Shmatko O., Herasymov S., Lysetskyi Y., Yevseiev S., Sievierinov O., Voitko T., Zakharzhevskyi A., Makogon H., Nesterov A., Bondarenko K. Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(9) (126), 2023, pp. 39–49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511.

[4]. Herasymov S., Soroka V., Milevskyi S., Voropay N., Zviertsev H. and Motalyhin Y. Development of a Method for Digital Synthesis of Electrical Signals with a Normalized Harmonic Coefficient. 2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Istanbul, Turkiye, 2023, pp. 1-5. https://doi.org/10.1109/HORA58378.2023.10156678.

[5]. Герасимов С. В., Гаценко Л. В. Моделювання генерації сигналів спеціальної форми для контролю технічного стану радіоелектронного обладнання. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції, Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2022, т. 2, с. 176.

[6]. Yevseiev S., Herasymov S., Kuznietsov O., Opirskyy I., Volkov A., Peleshok Y., Sinitsyn I., Milevskyi S., Matovka T., Rizak V. Method of assessment of frequency resolution for aircraft. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(9) (122), 2023, pp. 34-45. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277898.

[7]. Herasimov S., Soroka V., Yevseiev S., Milevskyi S. and Bondarenko K. Development of a Method for Measuring small Nonlinear Distortions of Periodic Electrical Signals. 2022 International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2022, pp. 49-52. https://doi.org/10.1109/ISMSIT56059.2022.9932685.

[8]. Herasimov S., Roshchupkin E. Parameters of monitoring the technical condition of airspace radio engineering monitoring systems. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Х.: НАНГУ, 2022, с. 31-32.

УДК 004.89

ДЕКОМПОЗИЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ПОШУКУ ПІДГРАФІВ У СИНТАКСИЧНИХ ГРАФАХ ДЛЯ СИНТАКСИКО-СЕМАНТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

Чорний А.О., Досин Д.Г. (andrii.o.chornyi@lpnu.ua, dmytro.h.dosyn@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Робота продовжує результати [1] *щодо пошуку ізоморфних підграфів у синтаксичних графах для синтаксико-семантичних трансформацій на рівні SPARQL-серверів. Експериментально встановлено, що отримані раніше оцінки часу є стійкими лише для малих шаблонів (3 вузли), тоді як для шаблонів із ≥5 вузлами виникає критичне зростання часу та похибки через автоморфізми та кратні збіги. Запропоновано декомпозиційний підхід: розбиття шаблону на 3-вузлові підграфи з незалежним пошуком і подальшою коректною рекомпозицією за обмеженнями узгодженості та усуненням автоморфізмів. Підхід узгоджується з сучасними системами і алгоритмами декомпозиції шаблонів* [2], [3] *і зберігає придатність серверних індексів (SPO, POS, OSP)* [4] *для практичних обсягів даних. Наведено результати вимірювань, що ілюструють розходження між очікуваними й фактичними часами для m=3 та деградацію для m=5.*

У попередній роботі [1] запропоновано універсальний двоетапний пошук шаблонів у RDF-поданні: (i) побудова гомоморфного перетину шаблону з синтаксичним графом через BGP-запит із абстрактними вузлами/предикатами (інстанціювання порожніх вузлів), та (ii) відбір ізоморфних збігів за допомогою автоматично згенерованих блоків SPARQL-фільтрів. Розрахунки та перші експерименти показали практично поліноміальну поведінку завдяки індексам SPO/POS/OSP і кешуванню на рівні SPARQL сервера графової БД Apache Jena Fuseki. Це відповідає відомим результатам про виразну силу SPARQL: поєднання BGP з блоками FILTER дозволяє реконструювати субграфові ізоморфні збіги, тоді як чистий BGP відповідає дуальній/сильній симуляції [5].

Мета даного дослідження полягала у тому, щоб зафіксувати межі застосовності підходу [1] для більших шаблонів, встановити причини погіршення точності/швидкодії, та сформувати алгоритмічне рішення на основі декомпозиції шаблонів із гарантіями коректної рекомпозиції.

Додаткові вимірювання засвідчили, що для m=3 поведінка узгоджується з очікуваним поліномом, тоді як для m=5 кількість кандидативних відповідностей і число симетричних вкладень різко зростають. На практиці це призводить до перевищення лімітів часу та хибнопозитивних збігів. Вилучення евристики «усунення надлишкових пар фільтрації» в генераторі фільтрів дало часткове, але недостатнє покращення; введення порядкового обмеження на триплети не ліквідує автоморфізми. Це наштовхнуло на висновок, що необхідна декомпозиція шаблону.

За допомогою декомпозиційного підходу запропоновано розкладати початковий шаблон на систему підграфів, що перекривають один одного, розміру 3 вузли (графлетів) з накладанням локальних обмежень сумісності на перетинах. Пошук кожного графлета виконується SPARQL-запитом з BGP та фільтрами за формою, як у роботі [1], а рекомпозиція формулюється як CSP із: (i) канонічним маркуванням змінних (усунення автоморфізмів), (ii) пріоритезацією порядку з'єднання за селективністю, (iii) відсіюванням за локальною шириною дерева. Це узгоджується з ідеями розщеплення з поділом обчислень у мішках декомпозиції дерева (ASDMatch) [6] та системним варіантом підрахунку/узгодження через підпатерни (DwarvesGraph) [2]. Для структурованих класів графів, зокрема планарних, декомпозиція наближує відому

HTBOHTY

лінійність для фіксованих шаблонів [7]. Ми також враховуємо прийоми декомпозиції у рамках CP-моделей [3].

В рамках практичної інтеграції зі стеком RDF/SPARQL розклад шаблону задається у вигляді набору RDF-підшаблонів і відповідностей між їх вузлами; кожен підшаблон має власний SELECT-блок із локальними фільтрами, а рекомпозиція реалізується як з'єднання з явними рівностями вузлів перетину та забороною канонічно еквівалентних відображень. Компонент планувальника вибирає порядок з'єднань за оцінкою вартості на основі кардинальностей попередніх стадій [6], а індексування triple-store (SPO/POS/OSP) [4] дозволяє зберегти практичну поліноміальність для великих корпусів. Для коректності та відтворюваності трансформацій ми спираємося на алгебраїчний підхід DPO з доведеною формалізацією та властивістю Чорч—Россера для незалежних застосувань правил [8]. У контексті RDF/SPARQL також враховано алгебраїчне моделювання POIM, яке трактує CONSTRUCT як правило перезапису L←K→R та відтворює офіційну семантику SPARQL [9].

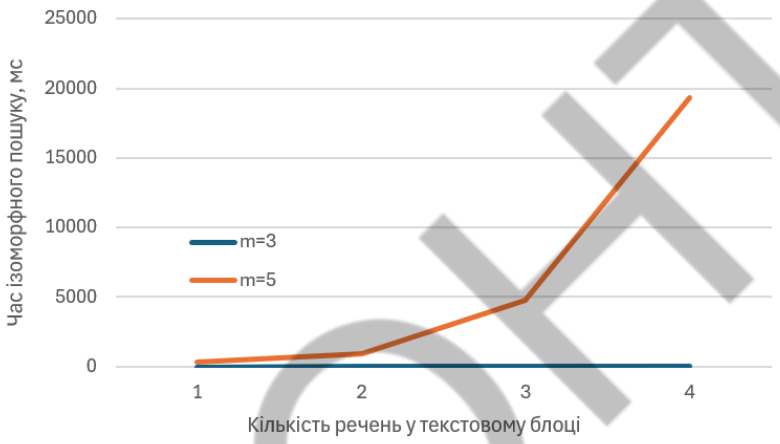


Рис. 1. Час пошуку ізоморфізмів за шаблонами кардинальністю m=3 та m=5.

За результатами експериментальних досліджень для шаблону m=3 (шаблон із трьох триплетів, описаний у [1]) ми відтворили часові вимірювання на наборах від 1 до 4 речень. Порядок фактичного часу пошуку ізоморфізму узгоджується з очікуваним поліномом, а для m=5 спостерігається комбінаційний вибух уже на 2–3 реченнях і подальші тайм-аути. На Рис. 1 наведено порівняння часу ізоморфного пошуку для m=3 і m=5; на Рис. 2 – порівняння фактичного й очікуваного часу для m=3.

Висновки. Декомпозиційна стратегія є природним продовженням підходу [1] і вирішує дві ключові проблеми для більших шаблонів: зменшує простір пошуку та усуває хибні збіги завдяки канонічному маркуванню та відсіченню автоморфізмів при рекомпозиції. Наступні кроки – автоматизація вибору декомпозиції (з урахуванням селективності триплетів) і інтеграція адаптивного спільного обчислення в мішках декомпозиції [6] у серверний планувальник SPARQL.

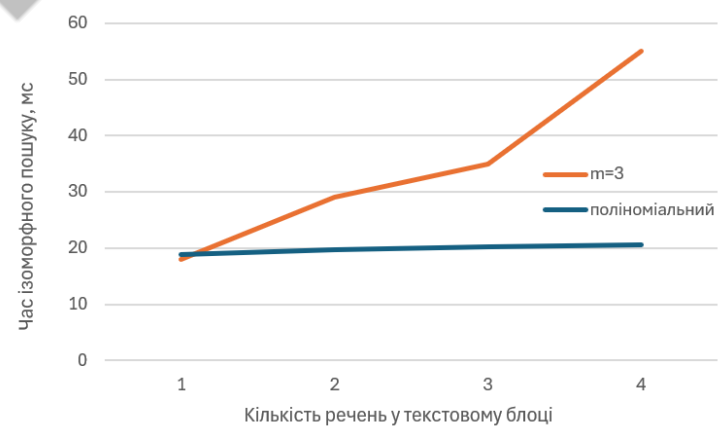


Рис. 2. Час пошуку ізоморфізмів за шаблоном кардинальністю m=3 та очікуваний час.

Список використаної літератури

[1] A. Chornyi, A. Berko та D. Dosyn, «DEVELOPMENT OF A PATTERN SEARCH ALGORITHM IN GRAPH REPRESENTATIONS OF TEXTUAL DATA FOR AN ONTOLOGY CONSTRUCTION SYSTEM,» *Journal of Lviv Polytechnic National University "Information Systems and Networks",* 2025.

[2] J. Chen та X. Qian, «DwarvesGraph: A High-Performance Graph Mining System with Pattern Decomposition,» *arXiv:2008.09682,* 2022.

[3] S. Zampelli, M. Mann, Y. Deville та R. Backofen, «Decomposition Techniques for Subgraph Matching,» *CoRR,* 2008.

[4] W. Ali, M. Saleem, B. Yao, A. Hogan та A.-C. N. Ngomo, «A Survey of RDF Stores & SPARQL Engines for Querying Knowledge Graphs,» *VLDB,* 2021.

[5] S. Mennicke, D. Nagel, J.-C. Kalo, N. Aumann та W.-T. Balke, «Reconstructing Graph Pattern Matches Using SPARQL,» в *Lernen, Wissen, Daten, Analysen, LWDA 2017 - Conference Proceedings,* Rostock, Germany, 2017.

[6] Q. Li, J. X. Xy та Z. He, «Subgraph Matching: A New Decomposition Based Approach,» *PVLDB,* т. 18, № 11, p. 4282–4294, 2025.

[7] D. Eppstein, «Subgraph Isomorphism in Planar Graphs and Related Problems,» *Tech. Rep.,* 1994.

[8] R. Söldner та D. Plump, «Formalising the double-pushout approach to graph transformation,» *Logical Methods in Computer Science,* p. 3:1–3:37, 04 October 2024.

[9] D. Duval, R. Echahed та F. Prost, «An Algebraic Graph Transformation Approach for RDF and SPARQL,» в *Eleventh International Workshop on Graph Computation Models (GCM 2020)*, 2020.

УДК 004.42

ФОРМАЛІЗОВАНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ ЗАСОБАМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Шевченко В. В. (vladashevchenko@knu.ua**)**
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

У роботі розглянуто формалізовану модель керування доступом на основі ролей (RBAC) для мікросервісної архітектури з використанням апарату теорії множин. Показано, що ієрархічна структура ролей із відношенням наслідування дозволяє ефективно успадковувати дозволи та спрощує управління складними політиками доступу у мікросервісному середовищі. Отримані результати демонструють ефективність формалізованої моделі, реалізованої мовою функціонального програмування Scheme, що забезпечує точний формальний опис і перевірку правил авторизації.

Постановка проблеми. Мікросервісна архітектура є основою сучасних розподілених систем, де кожен сервіс виконує чітко визначену функцію. Зі зростанням кількості мікросервісів експоненційно зростає складність управління доступом як між внутрішніми сервісами, так і для зовнішніх клієнтів. Для вирішення цієї проблеми застосовується модель керування доступом на основі ролей (Role-Based Access Control, RBAC). RBAC дозволяє приймати рішення щодо контролю доступу, ґрунтуючись на чітко визначених ролях та призначених їм дозволах. Це забезпечує доступ до мікросервісів та ресурсів лише авторизованим користувачам або іншим сервісам [1].

Реалізація RBAC у мікросервісних середовищах ускладнюється через специфіку самої архітектури – розподіленість компонентів і необхідність забезпечення централізованої, але

НТБОНТУ

водночас ефективної авторизації. Це зумовлює потребу у формалізованій математичній моделі, яку можна точно перевіряти, аналізувати та автоматично трансформувати в програмний код.

Перелік вирішених завдань:

1.Проаналізовано проблеми управління доступом у мікросервісних системах.

2.Розроблено формалізовану модель RBAC із визначенням основних сутностей: користувачів, ролей, дозволів та ієрархії ролей.

3.Встановлено механізм успадкування дозволів через ієрархію ролей для визначення ефективної множини ролей користувача та централізованого управління політиками доступу.

4.Проведено демонстраційну реалізацію моделі RBAC мовою Scheme для формальної верифікації правил доступу.

Виклад суті дослідження. У моделі RBAC користувачі не отримують дозволи безпосередньо. Натомість, кожному користувачу призначаються ролі, а вже ці ролі визначають набір дозволів (прав). Основними сутностями моделі є: користувачі (Users), ролі (Roles), дозволи (Permissions) та ієрархія ролей (Role Hierarchy), у якій старші ролі успадковують дозволи молодших. Такий підхід спрощує управління складними політиками доступу та підвищує гнучкість системи авторизації.

Модель RBAC формалізується за допомогою апарату теорії множин, у межах якого ролі, дозволи та користувачі описуються як множини з визначеними відношеннями між ними. Ієрархія ролей задається як частково впорядкована множина *Roles* із відношенням наслідування (≥), що відображає механізм спадкування: якщо *Role1* ≥ *Role2*, то старша роль *Role1* успадковує всі дозволи ролі *Role2*.

Для кожного користувача формується **ефективна множина ролей** – сукупність безпосередньо призначених ролей та всіх ролей, які ці ролі успадковують. Саме ця множина використовується під час процесу авторизації для визначення доступу до ресурсів і сервісів. Така ієрархічна структура забезпечує повторне використання дозволів, спрощує керування складними політиками доступу та підвищує масштабованість системи [2].

У мікросервісній архітектурі запити користувачів надходять через **API Gateway,** де виконується функція *authorize*. Вона перевіряє перетин множини ролей, що міститься у токені користувача, із множиною дозволених ролей цільового сервісу. Додатково можуть враховуватися контекстні умови доступу, зокрема час запиту, IP-адреса або поточний стан системи, що дозволяє реалізувати гнучкі політики безпеки.

Нижче наведено демонстраційний фрагмент реалізації моделі RBAC з використанням функціональної мови програмування Scheme. Вибір Scheme обґрунтований її математичною природою та акцентом на чистих функціях, що ідеально підходить для формального опису та верифікації властивостей системи управління доступом.

```
; Ієрархія ролей: старші ролі успадковують молодші
(define role-hierarchy '((admin (user)) (user (guest)) (guest ())))
; Токени користувачів із призначеними ролями
(define tokens '((tokenA (admin)) (tokenB (user)) (tokenC (guest))))
; Дозволені ролі для кожного сервісу
(define services '((service1 (admin)) (service2 (admin user)) (service3 (guest user))))
; Перевірка, чи є елемент у списку
(define (contains? x lst)
  (cond ((null? lst) #f)
        ((equal? x (car lst)) #t)
        (else (contains? x (cdr lst)))))
; Перетин двох списків
(define (intersection lst1 lst2)
  (cond ((null? lst1) '())
        ((contains? (car lst1) lst2)
         (cons (car lst1) (intersection (cdr lst1) lst2)))
        (else (intersection (cdr lst1) lst2))))
; Об’єднання списків без дублікатів
(define (union lst1 lst2)
```

```
  (if (null? lst1)
      lst2
      (if (contains? (car lst1) lst2)
          (union (cdr lst1) lst2)
          (cons (car lst1) (union (cdr lst1) lst2)))))
; Обчислення всіх ролей користувача з урахуванням ієрархії
(define (compute-effective-roles roles)
  (if (null? roles)
      '()
      (union
        (let ((entry (assoc (car roles) role-hierarchy)))
          (if entry
              (cons (car roles) (compute-effective-roles (cadr entry)))
              (list (car roles))))
        (compute-effective-roles (cdr roles)))))
; Авторизація користувача для сервісу (true, якщо є спільна роль)
(define (authorize token service)
  (let ((t (assoc token tokens)) (s (assoc service services)))
    (and t s (not (null? (intersection (compute-effective-roles (cadr t))(cadr s)))))))
; Демонстрація: #t = доступ дозволено, #f = доступ заборонено
(display (authorize 'tokenA 'service1)) (newline) ; #t - admin
(display (authorize 'tokenB 'service1)) (newline) ; #f - user не має доступу до admin
(display (authorize 'tokenB 'service3)) (newline) ; #t - user успадковує guest
(display (authorize 'tokenC 'service3)) (newline) ; #t - guest
```

Запропонований підхід формалізує процес авторизації у мікросервісному середовищі. Кожен токен містить набір ролей користувача, тоді як кожен сервіс визначає перелік допустимих ролей, необхідних для доступу. Функція *authorize* перевіряє, чи має токен ролі, що надають право доступу до певного ресурсу. Використання ієрархії ролей підвищує точність моделі, забезпечує централізоване управління політиками доступу, спрощує перевірку правил авторизації, сприяє надійності системи та полегшує тестування окремих компонентів.

Висновки. Розроблена формалізована модель RBAC для мікросервісної архітектури охоплює користувачів, ролі, дозволи та ієрархію ролей, що забезпечує централізоване та кероване управління доступом у розподіленому середовищі. Демонстраційна реалізація, виконана мовою функціонального програмування Scheme, підтверджує можливість точного формального опису й перевірки правил авторизації. Запропонована модель може бути використана як основа для побудови практичних систем авторизації в мікросервісах і реалізована у різних програмних середовищах і мовах програмування, зокрема Node.js, Python тощо.

Список використаної літератури

[1] Jimmy Fagerholm “Securing a Microservice Architecture – 5 Pillars”. [Online]. Available: https://identio.fi/en/blog/securing-a-microservice-architecture-5-pillars/ [Accessed: October 14, 2025]
[2] “What Is Role-Based Access Control (RBAC)? A Complete Guide”. [Online]. Available: https://frontegg.com/guides/rbac [Accessed: October 16, 2025]
[3] Newman S. *Building Microservices.* 2nd edition, O’Reilly, 2021.

НТБОНТУ

УДК 004.056

КІБЕРБЕЗАХИСТ В ДОБУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Штефан А.-В.В. (anna-viktoriia.shtefan.me.2023@lpnu.ua)
Національний університет "Львівська політехніка" (Україна)

У тезах розглядається поняття кібербезпеки в умовах розвитку штучного інтелекту, її роль у захисті інформаційних систем та основні принципи забезпечення безпеки. Актуальність дослідження обумовлена стрімким розвитком цифрових технологій і збільшенням кількості кібератак на державні, корпоративні та приватні інформаційні ресурси. Також наводяться відомі приклади застосування ШІ для підвищення рівня безпеки. Висновок підтверджує актуальність використання ШІ для забезпечення кібербезпеки та окреслює найбільшу проблему підходу — можливість використання ШІ у кібератаках та потребу у постійному оновленні знань і технологій.

Сьогодні інформаційні технології розвиваються дуже швидко, а роль штучного інтелекту (ШІ) у повсякденному житті та бізнес-процесах постійно зростає. ШІ знаходить застосування у різних сферах — від автоматизації виробництва до управління фінансами та охорони здоров'я. Разом із цим зростанням можливостей з'являються й нові кіберзагрози. З одного боку, ШІ сприяє підвищенню рівня захисту інформаційних систем, з іншого — може стати інструментом для проведення кібератак. Тема кібербезпеки в умовах розвитку штучного інтелекту є особливо актуальною, адже від ефективності заходів протидії загрозам залежить безпека державних, корпоративних та приватних інформаційних ресурсів.

Штучний інтелект змінює кібербезпеку швидше, ніж багато фахівців встигають реагувати. Зловмисники вже використовують ШІ для автоматизації розвідки, створення складних фішингових атак та експлуатації вразливостей, тоді як захисники перевантажені величезними обсягами даних і сповіщень. ШІ може вирівняти умови гри, але лише за умови правильного його застосування професіоналами. Багато організацій інтегрують ШІ у процеси безпеки — від цифрової криміналістики до оцінки вразливостей і моніторингу кінцевих точок. Він дозволяє аналізувати великі обсяги даних та виявляти невідомі загрози, пришвидшуючи розслідування. Проте через швидке впровадження моделей ШІ без належної перевірки та відсутність культури безпеки ризики зростають, особливо щодо конфіденційності та захисту даних. Деякі організації взагалі забороняють його використання, через нерозуміння потенційних загроз. Важливий баланс між зниженням ризиків, підвищенням ефективності та швидким прийняттям рішень — будь-яка помилка може мати критичні наслідки для безпеки організації [1].

Позитивним аспектом використання штучного інтелекту в кібербезпеці є здатність систем аналізувати великі обсяги даних у режимі реального часу та виявляти аномалії, які сигналізують про потенційні загрози, наприклад, нетипову поведінку користувачів або спроби несанкціонованого доступу. Крім того, ШІ дозволяє автоматизувати захисні заходи, швидко реагуючи на загрози: блокувати підозрілі дії, створювати резервні копії даних або ізолювати уражені вузли мережі. Важливим є також прогнозування атак — моделі штучного інтелекту здатні передбачати ймовірні сценарії кібератак, що дає змогу заздалегідь підготувати системи та зменшити ризики. Разом із можливостями ШІ зростає і рівень кіберзагроз. Зловмисники використовують ШІ для створення складних вірусів, фішингових листів та автоматизованих атак, які важко виявити традиційними методами. Крім того, ШІ дозволяє створювати реалістичні глибокі підробки — відео, аудіо або тексти, які можуть застосовуватися для маніпуляцій, шахрайства або кібершантажу. Окрему загрозу становлять атаки на самі системи ШІ: подача некоректних даних може призводити до неправильних рішень і порушень безпеки.

Серед основних загроз кібербезпеки в епоху штучного інтелекту — зростання швидкості та складності атак, оскільки ШІ дозволяє автоматизувати їх, роблячи масовими та важкими для виявлення. Однією з головних проблем є шкідливе програмне забезпечення, яке може приховано встановлюватися у системах і виконувати різні шкідливі дії: від реплікації та шифрування файлів до блокування доступу користувачів і викрадення конфіденційних даних. Особливо небезпечними є програми-вимагачі, що шифрують файли та вимагають викуп, віруси, які заражають системи і роблять їх непридатними, а також атаки на відмову в обслуговуванні (DoS), що перевантажують мережу фальшивими запитами. Поширеними залишаються фішингові атаки, які імітують

легітимні джерела для викрадення паролів та платіжних даних через електронну пошту, SMS або соціальні мережі. Крім зовнішніх загроз, існують і внутрішні — навмисні чи ненавмисні дії співробітників, які можуть призвести до витоку конфіденційної інформації через недбалість або корисливі мотиви [2].Крім того, актуальною є проблема приватності та захисту персональних даних, адже алгоритми ШІ обробляють великі обсяги особистої інформації, що підвищує ризик витоків і зловживань. Значну загрозу становить і вразливість критичної інфраструктури: енергетика, транспорт, фінансові та медичні системи дедалі більше залежать від автоматизованих рішень на основі ШІ, і їх компрометація може мати серйозні наслідки для суспільства. Нарешті, розвиток ШІ створює потребу у висококваліфікованих фахівцях, оскільки стандартні підходи до кібербезпеки часто не встигають за новими загрозами, а ефективне управління сучасними системами захисту вимагає спеціальних знань і навичок.

Для забезпечення кібербезпеки в умовах активного використання штучного інтелекту застосовуються кілька практичних підходів. По-перше, використовуються системи ШІ для захисту, які аналізують мережевий трафік, виявляють аномалії та реагують на підозрілі дії без участі людини. По-друге, важливо розробляти етичні та правові норми, що регулюють використання ШІ для запобігання зловживанням та забезпечення приватності даних. Не менш критичною є підготовка кадрів і підвищення обізнаності працівників у сфері кібербезпеки, оскільки людський фактор часто стає слабким місцем у системі захисту. Нарешті, через глобальний характер кібератак необхідна активна взаємодія міжнародних організацій, що включає обмін інформацією про загрози та спільні заходи для їхнього запобігання.

Отже, штучний інтелект радикально змінює підходи до кібербезпеки: з одного боку, він підвищує ефективність захисту інформаційних систем, а з іншого — породжує нові ризики. Для ефективного управління кібербезпекою необхідно поєднувати технологічні засоби, правове регулювання та підготовку фахівців. Сучасні організації мають впроваджувати інтелектуальні системи захисту, враховувати можливі загрози з боку зловмисників та активно розвивати політику безпеки, що відповідає викликам цифрової ери. Лише комплексний підхід дозволяє зменшити ризики та забезпечити надійну роботу інформаційних систем у майбутньому.

Список використаної літератури

[1] “Кібербезпека в епоху штучного інтелекту”, Oksim, 14.04.2025.[Online]. Available: https://www.oksim.ua/kiberbezpeka-v-epohu-shtuchnogo-intelektu/ [Accessed: October 20, 2025].

[2] “Роль штучного інтелекту в кібербезпеці: передбачення та запобігання атакам”, EBA, 05.02.2024.[Online]. Available: https://eba.com.ua/rol-shtuchnogo-intelektu-v-kiberbezpetsi-peredbachennya-ta-zapobigannya-atakam/ [Accessed: October 20, 2025].

УДК 519.711

АСИМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ШИФРУВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ

Щербакова Ю. А., Драшпуль Н.В.(y.shcherbakova@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «ХАІ» (Україна)

Проведено дослідження асиметричних методів шифрування в технології блокчейн-систем. Досліджено їх криптографічні властивості, побудовано математичну модель, реалізовано демонстраційну програмне середовище роботи методів RSA, Paillier і ElGamal.

Сучасні блокчейн-системи пропонують інноваційний метод зберігання та обробки даних, який ефективно запобігає підробці, втраті та несанкціонованому доступу. Використання таких алгоритмів шифрування, як RSA, Paillier та ElGamal, забезпечує безпеку транзакцій і автентичність даних. Водночас, у контексті загроз, які можуть виникнути в результаті розвитку квантових обчислень, з’являються нові виклики для продуктивності та криптографічної стійкості цих алгоритмів [1].

Мета роботи: дослідити застосування асиметричних алгоритмів шифрування в блокчейн-технологіях, побудувати математичну модель, реалізувати демонстраційне програмне середовище

роботи методів RSA, Paillier і ElGamal. Проаналізувати асиметричні методи шифрування в контексті блокчейн-технологій, дослідити їхні криптографічні властивості.

Блокчейн-система є розподіленою структурою збереження даних, у якій інформація організована у вигляді послідовно зв'язаних блоків. Кожен блок містить зашифровані транзакції, мітку часу, службову інформацію та хеш попереднього блоку. Завдяки цій структурі забезпечується надійний механізм контролю цілісності даних: будь-яка спроба зміни інформації в одному блоці призводить до порушення цілого ланцюга.

Таким чином, блокчейн-система виступає не просто сховищем даних, а структурованою криптографічною платформою, де взаємодія елементів: шифрування, управління ключами, перевірка автентичності та захист від атак, – забезпечує надійність і стабільність усієї системи. Інтеграція асиметричних алгоритмів у кожен етап обробки транзакцій формує архітектуру, здатну працювати у відкритому середовищі без централізованого контролю.

Алгоритми RSA, Paillier та ElGamal можуть відіграти важливу роль у вирішенні деяких проблем безпеки блокчейн-систем:

- RSA є критично важливим компонентом технології блокчейн, що забезпечує надійний механізм для створення цифрових підписів, перевірки транзакцій, керування парами ключів, перевірки ідентичності та забезпечення безпечного зв'язку. Його асиметрична природа з окремими відкритим і закритим ключами забезпечує конфіденційність і цілісність даних у блокчейні, одночасно дозволяючи здійснювати прозорі та безпечні транзакції [3];
- Paillier хоча й не є традиційним стандартом у практичних реалізаціях блокчейн-систем, вирізняється своїми унікальними гомоморфними властивостями, які дозволяють виконувати математичні операції безпосередньо над зашифрованими даними, не розшифровуючи їх. Це відкриває нові можливості для захищених обчислень і підвищення приватності у децентралізованих системах. Завдяки цьому Paillier вважається перспективним для реалізації складних криптографічних протоколів і конфіденційних транзакцій у блокчейн-технологіях [4];
- ElGamal широко використовується у блокчейн-контексті завдяки можливості створення цифрових підписів та безпечного шифрування повідомлень. Він базується на складності логарифмування у скінчених групах, що забезпечує криптографічну стійкість [5].

З огляду на постійне зростання обсягів даних і складність блокчейн-систем, а також появу нових загроз, важливо не лише застосовувати надійні асиметричні алгоритми, але й постійно досліджувати нові криптографічні методи, що поєднують високий рівень безпеки з оптимальною продуктивністю. Такий підхід дозволить забезпечити стійкість блокчейн-систем у майбутньому та підвищити їх ефективність у розподілених і децентралізованих середовищах [2].

У рамках цього проекту блокчейн розглядається як розподілена система, де дані зберігаються у вигляді пов'язаних блоків, кожен з яких містить транзакцію, її хеш та хеш попереднього блоку. Основні принципи, які моделюються в демонстраційній системі:

- незмінність даних за рахунок хешування;
- підтвердження транзакцій через дешифрування та перевірку цілісності;
- зберігання послідовності блоків;
- асинхронне опрацювання подій, що імітує паралельну роботу вузлів мережі;
- обчислення без розшифрування.

По результатах роботи опрацьованої програми маємо такі висновки.

RSA продемонстрував високу стабільність, передбачуваність результатів і хорошу швидкодію. Він ідеально підходить для систем, де потрібна надійність при великій кількості транзакцій або запитів.

Paillier показав себе як цінний інструмент у тих випадках, коли важливо не просто зберігати дані в зашифрованому вигляді, а й працювати з ними – виконувати обчислення без розшифрування.

ElGamal, зі свого боку, хоча й поступається іншим за продуктивністю, забезпечує надійне та стійке до атак шифрування. Завдяки використанню випадкових значень при кожному шифруванні, він гарантує високу непередбачуваність, що особливо важливо для захисту критично важливих даних.

У підсумку – кожен із розглянутих алгоритмів має свої унікальні переваги та може ефективно використовуватись у залежності від задачі. Особливо це актуально для блокчейн-

систем, де важливо не тільки захистити дані, але й забезпечити прозорість, контроль цілісності та можливість безпечної взаємодії між користувачами без посередників. Асиметричне шифрування є ключовим елементом цього процесу – і саме тому воно залишається основою сучасної криптографії в децентралізованих технологіях.

Список використаної літератури

1. Blockchain Encryption Technology: A Critical Defense for Protecting Sensitive Information [Електронний ресурс] // 57blocks.io. – 2024. – Режим доступу: https://57blocks.io/blog/blockchain-encryption-technology
2. The Quantum Threat to Blockchains [Електронний ресурс] // AMINA Research. – 2025. – Режим доступу: https://aminagroup.com/research/the-quantum-threat-to-blockchains/
3. RSA and DSA Leading the Way: Blockchain Security in 2024 [Електронний ресурс] // HyScaler. – 2023. – Режим доступу: https://www.hyscaler.com/insights/rsa-and-dsa-in-blockchain-security/
4. Aannkkiittaa. Paillier Homomorphic Encryption: A Comprehensive Guide [Електронний ресурс] // Medium. – 2020. – Режим доступу: https://medium.com/@aannkkiittaa/paillier-homomorphic-encryption-a-comprehensive-guide-ce7fe2c245bd
5. ElGamal Encryption Algorithm [Електронний ресурс] // GeeksforGeeks. – 2024. – Режим доступу: https://www.geeksforgeeks.org/elgamal-encryption-algorithm/

УДК 004.056

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ

Ямнич А. Б., Коробейнікова Т. І.
(andrii.b.yamnych@lpnu.ua, tetiana.i.korobeinikova@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

У тезах розглядається персонал як критичний актив підприємства в контексті забезпечення кібербезпеки. Обґрунтовується необхідність удосконалення процесів управління персоналом шляхом інтеграції компетентнісного підходу та факторів кіберзахисту. Для цього пропонується методологія формування критеріїв оцінювання. Також описано розроблення багаторівневої моделі компетенцій та класифікаційної сітки для контролю доступу до ресурсів. Висновки підкреслюють, що інтеграція цих інструментів, включаючи модель RBAC–Blockchain, дозволяє підвищити точність оцінки персоналу та загальну стійкість організації.

В епоху прискореної цифрової трансформації бізнесу та постійного зростання кіберзагроз, збереження конфіденційності, цілісності та доступності інформаційних ресурсів набуває критичного значення. На сьогоднішній день персонал підприємства розглядається не лише як робоча сила, але й як один із найважливіших критичних активів, чия поведінка та рівень кваліфікації безпосередньо впливають на стійкість усієї системи інформаційної безпеки. Статистика інцидентів підтверджує, що значна частина витоків даних та кібератак є наслідком або ненавмисних помилок, або зловмисних дій внутрішніх співробітників, чиї компетенції або не відповідають рівню доступу, або є недостатніми для ефективної протидії сучасним загрозам.

Це створює серйозну проблему: традиційні, статичні системи контролю доступу не мають механізмів для динамічного обліку рівня компетентності працівників. Вони часто надають надлишкові привілеї, які не відображають фактичну здатність співробітника безпечно працювати з критичними даними. Внаслідок цього, відсутність уніфікованої та інтегрованої методології оцінювання персоналу ускладнює своєчасне виявлення слабких ланок та прийняття обґрунтованих кадрових рішень, які б посилювали загальний захист.

Виходячи з цієї гострої потреби, дане дослідження було спрямоване на розроблення інноваційного інструментарію, який забезпечує підвищення захисту інформаційних ресурсів шляхом прямої інтеграції об’єктивної оцінки компетентності персоналу у механізм контролю

доступу. Основним завданням було не лише створити нову модель оцінювання, але й забезпечити її ефективну взаємодію з інфраструктурою кіберзахисту.

В процесі роботи було комплексно вирішено низку взаємопов'язаних завдань. Спершу обґрунтовано необхідність використання гнучкої, багаторівневої моделі компетенцій [1], адаптованої спеціально для персоналу, що взаємодіє з критичними інформаційними активами, з акцентом на вимоги сучасної кібербезпеки. Водночас сформовано багатомірну матрицю [2] для класифікації інформаційних ресурсів підприємства, що дозволяє точно визначати ступінь їхньої критичності та пов'язані ризики. Кульмінацією стало пропонування гібридної, стійкої до маніпуляцій моделі контролю доступу, яка базується на поєднанні Role-Based Access Control (RBAC) та технології Blockchain [3]. Таке поєднання дозволяє не лише гнучко надавати права, прив'язуючи їх до актуального рівня оцінених компетенцій, але й забезпечувати незмінність та прозорість усіх логів доступу.

Методологія, запропонована в роботі, ґрунтується на інтеграції компетентнісного підходу [4] з критично важливими параметрами кіберзахисту. Це дозволяє перейти від сприйняття персоналу лише як трудової одиниці до розгляду його як критичного активу, цінність якого є змінною і вимагає постійної об'єктивної фіксації.

Для реалізації цієї концепції було розроблено низку ключових інструментів. По-перше, удосконалено підхід до формування профілю компетентностей працівника, який включає чотири основні блоки: професійні навички, особистісні характеристики, цінності та мотивацію. Розроблений алгоритм дає змогу порівнювати ідеальний (хочу), поточний (маю) та запланований (можу) рівні розвитку компетенцій, що є основою для цілеспрямованого кадрового планування та виявлення зон ризику . Візуалізацію такого порівняльного профілю наведено на Рисунку 1.

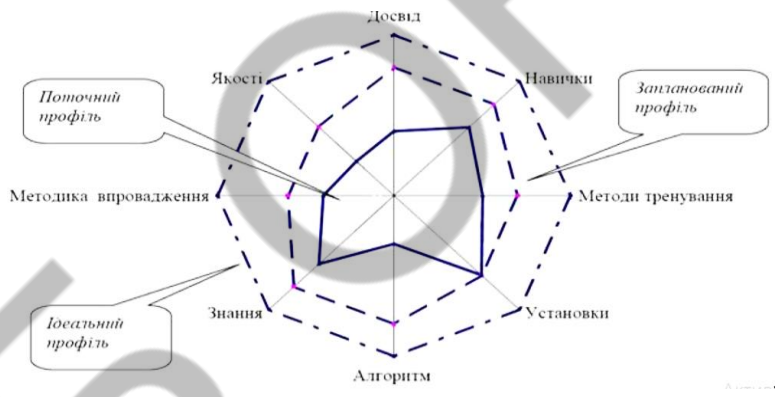


Рисунок 1 – Профіль компетентності працівника

По-друге, для підвищення точності оцінки фахівців зі схожими функціями, запроваджено багаторівневу модель оцінювання компетенцій. Цей підхід використовує індикатори поведінки, які різняться для різних рівнів працівників однієї спеціальності, забезпечуючи більш об'єктивне визначення їхньої цінності та уникнення формального підходу до атестацій.

По-третє, критичним елементом для забезпечення захисту ресурсів стала розроблена класифікаційна сітка контролю доступу. Ця сітка дозволяє визначати критичність ресурсів залежно від частоти доступу та рівня важливості . Це дає можливість ідентифікувати ключові точки ризику в інформаційній інфраструктурі, що відображено на Рисунку 2.

НТБОНТУ

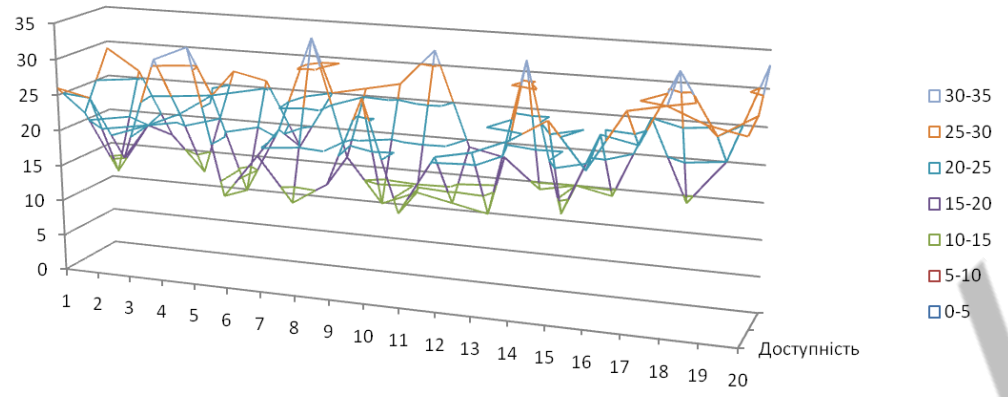


Рисунок 2 – Класифікаційна сітка

Нарешті, для забезпечення незмінності політик та підвищення прозорості управління правами доступу, запропоновано інтеграцію комбінованої моделі RBAC–Blockchain. Ця модель використовує властивості блокчейну для фіксації усіх дозволів та змін прав доступу у розподіленому реєстрі, що підвищує рівень підзвітності та надійність механізму контролю доступу. Принципова схема цієї інноваційної моделі представлена на Рисунку 3. Загалом, підхід поєднує вимірювальну та розвиваючу функції оцінювання, фіксуючи поточний стан і формуючи базу для підвищення цінності персоналу як активу.

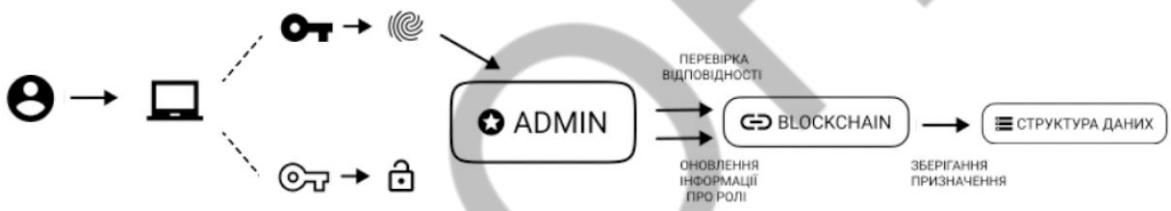


Рисунок 3 – Модель RBAC-BLOCKCHAIN

Висновки

Запропонована методологія формування критеріїв оцінювання персоналу, інтегрована з механізмами контролю доступу, дозволила досягти поставленої мети щодо підвищення захищеності інформаційних ресурсів підприємства. Головні висновки та ключові переваги розробленого підходу полягають у наступному:

По-перше, дослідження обґрунтувало необхідність комплексного підходу до оцінювання, який поєднує вимірювальну функцію (об’єктивна фіксація поточного стану) та розвиваючу функцію (формування бази для підвищення цінності працівників як активу підприємства). Застосування багаторівневої моделі компетенцій підвищує точність визначення цінності працівників, які виконують подібні функції, сприяючи об’єктивному розподілу кадрового потенціалу.

По-друге, інтеграція компетентнісного профілю із класифікаційною сіткою доступу до ресурсів дозволяє враховувати не лише професійні навички, але й особистісні якості, мотиваційні фактори та рівень лояльності. Це дає можливість цілеспрямовано планувати професійне зростання та виявляти зони, що потребують додаткового навчання або підтримки.

По-третє, впровадження комбінованої моделі RBAC–Blockchain забезпечує децентралізоване, прозоре та захищене управління правами доступу, зберігаючи незмінний журнал усіх змін і підвищуючи підзвітність користувачів. Цей механізм посилює кіберзахист підприємства та дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з людським фактором, оскільки унеможливлює несанкціоновану зміну політик доступу.

У результаті, запропонована методологія дозволяє підприємствам узгодити управління людськими ресурсами із загальною стратегією кіберзахисту, підвищуючи тим самим стійкість та конкурентоспроможність організації в умовах цифровізації та зростання кіберзагроз.

Список використаної літератури

[1] З. П. Сташевський та Ю. І. Грицюк, «Значення моделей компетенцій у системі управління освітнім проєктом підготовки фахівця з інформаційної безпеки,» Lviv Polytechnic National University Institutional Repository, с. 49–55, 2013, [Online]. Available: http://ena.lp.edu.ua.

[2] Т. І. Коробейнікова та А. Б. Ямнич, «Багатовимірна матриця класифікації інформації для оцінки ризиків інформаційної безпеки,» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, (2), с. 91–106, 2024.

[3] А. Б. Ямнич та Т. І. Коробейнікова, «Модель контролю доступу персоналу до інформаційних ресурсів підприємств на основі RBAC та технології blockchain,» Вісник Хмельницького національного університету, 343(6–1), с. 380–386, 2024, doi: 10.31891/2307-5732-2024-343-6-1-58.

[4] Л. С. Вербовська, «До вибору методу набуття компетенцій як головної складової розвитку персоналу,» Економічний простір, (151), с. 123–135, 2019, doi: 10.32782/2224-6282/151-11.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ У СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ПОДІЙ

Янкін І.С., Гунченко Ю.О.
(yankiniigor@gmail.com, gunchenko@onu.edu.ua)
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)

У дослідженні розглядаються три типи індексів для подієво-орієнтованих систем - атрибутивні, місткові та числові, що порівнювалися з базовим неіндексованим пошуком подій за обчислювальною складністю пошуку. В результаті аналізу визначено відмінності у складності виконання запитів та встановлено оптимальні випадки для застосування кожного типу індексації, що підтверджує практичну доцільність використання кореляційних індексів для підвищення продуктивності подієвих архітектур.

Сучасні подієво-орієнтовані системи активно впроваджуються у сферах, де важливими є точність відтворення стану даних та швидкість обробки інформації, що включають в себе фінансові сервіси, IoT-платформи, аналітичні і моніторингові рішення. Проте з ростом обсягів подій та складності їхніх зв'язків виникають значні труднощі з ефективним виконанням запитів до журналів подій [1].

Традиційні методи пошуку, орієнтовані на статичні данні або фіксовані атрибути, не забезпечують необхідної продуктивності в умовах складних операцій пошуку, притаманних для систем на основі подій. Як наслідок, навіть прості аналітичні запити вимагають повного перегляду журналу, що призводить до збільшення часу обробки та зниження масштабованості систем.

Одним із підходів до подолання цієї проблеми є використання кореляційних індексів, які фіксують зв'язки між атрибутами - причинно-часові, семантичні або агрегатні. Такі структури дають змогу локалізувати пошук і зменшити обчислювальне навантаження. Проте на сьогодні бракує порівнянь ефективності різних типів індексів та оцінки доцільності їх застосування для типових операцій, що виконуються над журналами подій.

Таким чином, метою дослідження є проведення порівняльного аналізу ефективності різних типів кореляційних індексів у системах на основі подій для визначення їхнього впливу на обчислювальну складність та доцільність використання.

У процесі дослідження було здійснено послідовний порівняльний аналіз трьох основних типів кореляційних індексів з базовим неіндексованим пошуком подій:

- Атрибутивних
- Місткових
- Числових

Порівняння проводилося за сукупністю критеріїв, що визначають ефективність запитів у системах на основі подій: середній час відповіді, кількість операцій введення-виведення,

обчислювальна складність, локальність пошуку та стабільність результатів під час зміни схеми подій.

Дослідження проводилося на узагальненій моделі подієвої системи, у якій кожна подія описувалася як елемент множини $E = \{e_i\}$. Базовий неіндексований пошук передбачає складність *O(n)* для виконання критеріїв пошуку та додатково *O(n)* для побудови агрегату для кожної зі знайдених подій. Такий підхід використовувався у якості найменш ефективного для подальшого порівняння ступені зменшення обчислювальної складності для різних типів пошуку з застосуваннях кореляційних індексів.

Отримані результати демонструють суттєве зменшення обчислювальної складності виконання запиту порівняно з базовим пошуком. Для пошуку за атрибутами, приріст складає $\frac{\mathrm{N}}{A}$, де N - загальна кількість елементів у журналі подій, A - середня кількість подій що складають агрегат. Цей випадок демонструє класичну перевагу прямого переходу до об'єкту у подієвих системах і є найбільш розповсюдженим. Він є найбільш ефективним для атрибутного пошуку у середовищі з стабільними контрактами зв'язків між об'єктами і низькою ступеню втрати даних [2]. Для таких середовищ ми можемо визначити, що $A=N/V$, де N - загальна кількість елементів у журналі подій, A - середня кількість подій що складають агрегат, V – кількість різних значень для кореляційного індексу, що розглядається. У такому випадку ми можемо переписати приріст як $\frac{N/V}{N} = V$, що і призводить до суттєвого виграшу у швидкодії для випадків, що розглядаються.

Для місткових індексів, які описують транзитивні зв'язки між подіями приріст у випадку для пошуку третього рангу або інакше - пошуку транзитивних зв'язків третього рівня - складає $\frac{\mathrm{AN}}{\mathrm{A+R}}$, де N - загальна кількість елементів у журналі подій, A - середня кількість подій що складають агрегат, R - кількість подій, що повертається для кожної події, що задовольняє критеріям пошуку другого рівня. Цей метод може бути застосований для аналізу транзитивних залежностей або об'єднання подій, що зберігаються у різних підсистемах без узгодженого атрибутного зв'язку між системами [3]. Такий підхід є оптимальних для даних систем, оскільки дозволяє нам перейти від складності $O(n^{k+1})$, де n – кількість подій в окремій системі (для спрощення вважатимемо, що кількість подій в кожній системі приблизно однакова), а k – рівень пошуку, що виконується, яка є ступеневою до лінійної складності завдяки використання атрибутивних зв'язків, через які визначаються транзитивні залежності, що дозволяє нам виконати послідовні переходи до об'єктів в кожній системі і отримати лінійну складність замість виконання чисельних повних сканувань журналів подій.

Числові індекси продемонстрували найбільший приріст $\frac{d}{p_\theta}$, де d - кількість атрибутів, що використовуються для обчислення числової залежності між двома подіями, а p_θ- щільність зв'язків при пороговому значені θ. Варто зазначити, що окрім ефективності, цей підхід також надає можливість проводити пошук схожих подій та аномалій без чітко визначених критеріїв пошуку та найкраще справляється з проблемою якості даних. Інші розглянуті підходи не можуть бути використані для даних задач, оскільки однозначно визначають зв'язки між подіями і не допускають визначення міри зв'язаності, яка є необхідною для таких операцій. У випадку пропущених або спотворених ключів інші підходи вимушені переходити у режим евристичного пошуку з проведенням повного сканування журналу для визначення подібних ознак подій, що нівелює приріст від індексації. Для систем з поганою якістю даних це може повністю нівелювати приріст від індексу. На відміну від них, числовий індекс дозволяє знаходити пов'язані події без потреби у точних ключах, зберігаючи продуктивність і змістовну цінність результатів, що робить його оптимальним для таких сценаріїв. Однак, разом з тих він вимагає найдорожчого попереднього обчислення і є найбільш складних для підтримки.

Приведені вище результати підтверджують доцільність використання кореляційних індексів та демонструють, що їх впровадження у подієві системи дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати під час запитів до подієвих журналів і забезпечує асимптотичне покращення продуктивності.

Отже, в рамках даного дослідження було встановлено відмінності у складності виконання запитів між базовим і кореляційно індексованим пошуком у системах на основі подій за допомогою порівняльного аналізу та були визначені оптимальні випадки для їх застосування.

Таким чином, доведено практичну доцільність впровадження кореляційної індексації як ефективного інструменту оптимізації запитів у подієво-орієнтованих системах.

Список використаної літератури

[1] L. Lamport, “Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system,” *Communications of the ACM*, vol. 21, no. 7, pp. 558–565, 1978. doi: 10.1145/359545.359563.
[2] D. Dakic, D. Stefanovic, T. Vuckovic, M. Zizakov, and B. Stevanov, “Event log data quality issues and solutions,” *Mathematics*, vol. 11, no. 13, p. 2858, 2023. doi: 10.3390/math11132858.
[3] S. Rozsnyai, A. Slominski, and G. T. Lakshmanan, “Discovering event correlation rules for semi-structured business processes,” in *Proc. 5th ACM Int. Conf. on Distributed Event-Based Systems (DEBS ’11)*, 2011, pp. 198–205. doi: 10.1145/2002259.2002272.

УДК 004.056

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ КОНТЕНТУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПРИХОВАНИМ ЗАГРОЗАМ У ЗОБРАЖЕННЯХ

Яцев А.В., Журавель І.М., Сколоздра М.М.(andrii.yatsev.asp.2025@lpnu.ua, ihor.m.zhuravel@lpnu.ua, myroslava.m.skolozdra@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розглянуто архітектуру та практичне застосування технології знешкодження та реконструкції контенту (англ. Content Disarm and Reconstruction – CDR) для нейтралізації прихованих загроз у зображеннях. Також проведено аналіз методів обробки відповідних файлів. Досліджено здатність CDR до запобігання можливим загрозам у контенті без втрати якості зображення. Наведено результати експериментів, які демонструють ефективність очищення файлів від потенційно шкідливого вмісту.

Проблема. Зображення все частіше використовуються як носії прихованих потенційно шкідливих вставок, що вбудовуються за допомогою стеганографії й можуть активуватися під час взаємодії з файлом. Традиційні засоби перевірки, що ґрунтуються на сигнатурному або поведінковому виявленні, не завжди здатні виявити такі загрози, а особливо атаки нульового дня. Тому виникає потреба в засобах, що здатні не лише виявити, а й знищити шкідливий вміст. Технологія Content Disarm and Reconstruction забезпечує автоматичне знешкодження й реконструкцію графічних файлів, видаляючи потенційно небезпечні вставки без втрати цілісності даних, що робить її ефективним засобом протидії прихованим загрозам.

Вирішені завдання. Розглянуто та випробувано механізм знешкодження та реконструкції контенту для графічних файлів, який видаляє потенційно небезпечний вміст і відновлює чисту структуру документа.

Актуальність задачі. Поширення шкідливого програмного забезпечення під час обміну цифровим контентом є одним з основних викликів безпеки. CDR-технологія – це важливий інструмент, що запобігає загрозам та забезпечує безпеку передачі даних мережею.

Зловмисники все частіше використовують звичайні файли для приховування шкідливих скриптів, маскуючи їх у зображення за допомогою стеганографії, що ускладнює їхнє виявлення навіть спеціалізованими засобами. Відкриття такого зображення може активувати прихований скрипт, що може завдати шкоди. Для протидії подібним загрозам необхідні інструменти, що здатні автоматично виявляти і знешкоджувати заражені зображення до їхнього потрапляння до користувача.

Традиційна перевірка файлів поєднує антивірусне виявлення та детонацію у пісочниці. Обидва підходи — механізми виявлення, що покладаються на розпізнавання шкідливого коду у файлах, тому деякі загрози можуть лишатися невиявленими. CDR-технологія реалізує підхід за принципом нульової довіри, а саме витягує оригінальний контент, знешкоджує потенційні вектори

атаки і відновлює файл у повністю функціональну й безпечну версію. Для цього CDR потребує розуміння структури файлу та його компонентів, що дозволяє очищати файл без пошкодження. Це робить дану технологію ефективною проти атак нульового дня.

Зображення формату JPEG містить три основні частини [1]: заголовок (тип, розмір, метадані про створення та власника), метадані (роздільна здатність, стиснення) та дані пікселів, що формують кольори зображення.

Архітектура CDR (рис. 1) приймає такий файл, витягує RGB-дані й формує нове зображення, видаляючи метадані та шкідливі вставки. Щоб знищити прихований вміст, CDR-технологія застосовує три методи обробки: зміну розміру, застосування фільтрів і транскодування [2]. Зміна розміру зображення змінює його масштаб та RGB-таблицю, зберігаючи структуру. Фільтри змінюють кольори, контраст, яскравість і текстуру зображення, мінімально спотворюючи вихідні дані, що дозволяє пошкодити вбудований шкідливий код або стеганографічні вставки.

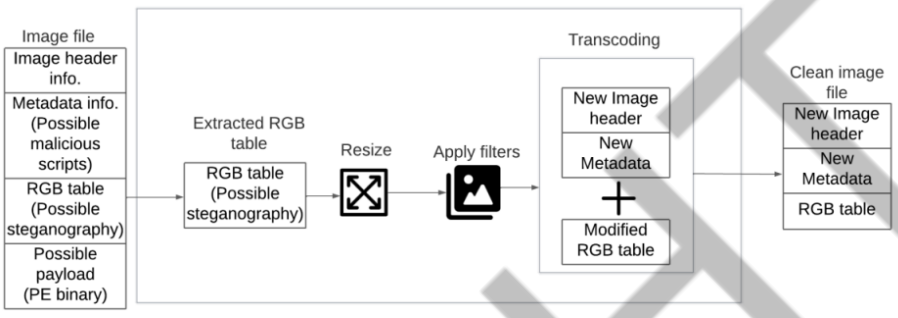


Рис. 1. Архітектура CDR

Транскодування — перетворення файлу між форматами (наприклад, JPEG у PNG у JPEG), що змінює структуру й ускладнює декодування шкідливого коду. Система не модифікує оригінал напряму, а відтворює новий файл з тієї ж RGB-таблиці, відкидаючи метадані, заголовки та будь-який небажаний вміст.

Дослідження. У даному дослідженні використано набір даних, що містив 1 805 інфікованих та 3 283 чистих JPEG зображень. Інфіковані файли містили вбудовані скрипти, а також було використано стеганографічні атаки: OpenSteg — приховування в найменш значущих бітах RGB, DCT-Image-Steganography — кодування в коефіцієнтах дискретного косинусного перетворення, модифікований LsbSteg — запис у найбільш значущому біті RGB, що робить вбудований вантаж помітним і спричиняє радикальніші зміни зображення.

Для оцінки якості змінених зображень використано універсальний індекс якості зображення (UQI), пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR) та структурна схожість (SSIM). UQI вимірює спотворення яскравості та контрасту, PSNR показує співвідношення сигнал/шум і ефективність перетворень, SSIM оцінює відмінності контрасту, яскравості та структури об’єктів. Високі значення цих показників відповідають кращій якості зображення.

Результати. Спершу було випробувано CDR на зображеннях з шкідливим вмістом з VirusTotal, після того було перевірено здатність CDR знешкодити та реконструювати файли, що були атаковані чисті зображення з Kaggle стеганографічними інструментами (табл. 1). Проведено порівняння окремих методів і їх комбінації в CDR щодо впливу на якість (табл. 2).

Таблиця 1. Рівень успішності кожної частини CDR окремо та CDR у цілому

steg-attack	Dataset	Resize	Filters	Tr-code	ICDR
-	VT	0%	0%	100%	100%
OpenSteg	Kaggle	100%	100%	100%	100%
DCT	Kaggle	100%	100%	100%	100%
MSB	Kaggle	100%	100%	100%	100%

Оброблено файли і досягнуто 100% видалення шкідливого програмного забезпечення — CDR знешкодив усі перевірені файли. Тестування показало, що оптимальне масштабування зображення — 97%, забезпечуючи баланс між якістю та видаленням стеганографії. Для фільтрації найефективніше поєднання гаусового розмиття та фільтра підвищення різкості, що спотворює

зображення з мінімальною втратою якості. Тестування на файлах із атаками OpenSteg, DCT та MSB показало: окремі засоби знешкодження іноді неефективні самостійно, але їх комбінація знешкоджує більшість загроз. Також оцінка якості показала, що при копіюванні RGB кінцева якість не погіршується значно.

Таблиця 2. Середній вплив на якість

	UQI	PSNR	SSIM
Resize	0.99945	41.1892	0.9954
Transcode	0.99866	37.5694	0.96888
Filters	0.99819	36.9803	0.97541
CDR	0.99644	32.9294	0.96274

Висновки. Хоч незалежне застосування окремих засобів інколи досягає високої ефективності, використання повної CDR-архітектури важливе через невідоме розміщення шкідливого коду. Технологія забезпечує високий рівень запобігання загрозам при незначній втраті якості та ефективно знищує шкідливий вміст у всіх складових JPEG-файлів.

Список використаної літератури

[1] E. Hamilton, *JPEG File Interchange Format*, C-Cube Microsystems, USA, Tech. Rep., Sep. 1992. [Online]. Available: https://www.w3.org/Graphics/JPEG/jfif3.pdf. [Accessed: Oct. 19, 2025].
[2] E. Belkind, R. Dubin, and A. Dvir, *Open Image Content Disarm and Reconstruction (ICDR)*, arXiv, 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2307.14057 [Accessed: Oct. 19, 2025].

НТБ ОНТУ

Розділ 3.

Автоматизація та управління технологічними процесами

UDC 621.795.8

AUTOMATED LASER MARKING OF PRECIOUS METALS AS A STEP TOWARD INDUSTRY 4.0 STANDARDS

Bernatskyi A.V., Bondarieva V.I, Harder D.A., Hryn A.P., Lukashenko V.A.
(bernatskyi@paton.kiev.ua, bondarieva@paton.kiev.ua, harder@paton.kiev.ua, hryn@paton.kiev.ua, lukashenko@paton.kiev.ua)
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)

The automation of 3D metal technologies is now one of the main drivers of industrial progress. Unlike traditional manufacturing, additive production of metals requires new approaches to monitoring, control, and integration with digital design tools. The key tasks are stable process management, minimization of defects, and connection to enterprise-level systems. Robotics, artificial intelligence, and digital twins help transform 3D metal production into a predictable and efficient process. This report outlines the main directions, challenges, and prospects of automation in this field.

In the last decade, 3D technologies with metal materials have gone far beyond the stage of prototypes and small experiments. They are becoming a full-fledged part of industrial production. It is enough to look at aerospace, medicine, or automotive, where parts made by additive methods are already not just tested, but actually used in operation. However, the main issue here is not only the printers themselves, but the level of automation of all processes surrounding them. Without well-built automation, additive technologies will remain niche and expensive.

When we talk about automation in 3D metal technologies, we usually mean much more than the direct process of laying metal powder or wire with a laser or electron beam. Automation here starts even before the first layer is formed. It begins with the digital model of the product, continues with process planning and simulation, and ends with control of the microstructure, mechanical properties, and certification of the finished part. This is why such production is considered part of the Industry 4.0 paradigm: the boundary between the “virtual” and “real” worlds is practically erased.

The entire cycle usually starts with CAD models. At this stage, automation appears in the form of optimization algorithms that allow not just to draw a part, but to immediately check its strength, thermal behavior, and manufacturability. These calculations are embedded directly in the design process, significantly reducing the human factor. Engineers are less busy with routine work, while computers search for the best design options.

After that, the baton is passed to CAM systems, which automatically generate the printing strategy. This means that the computer chooses the thickness of the layers, the movement of the laser beam, the angles of scanning, and other important parameters. Already at this stage, the quality of the future product is determined. And if earlier all this required many hours of manual adjustments, today automated systems take on the bulk of the work.

A separate important trend is the use of digital twins. This concept is especially well suited for 3D metal materials, where the result is influenced by many physical processes – heating, cooling, solidification, and the formation of microstructures. Simulation in real time allows one to predict where defects may appear, how residual stresses will develop, and whether the final properties of the part will meet the requirements. Moreover, such a digital twin is not static: it constantly receives data from sensors and is updated during the process.

Here we come to perhaps the most critical part – monitoring. Additive production of metals is unstable by nature. Small deviations in temperature or powder feed can cause porosity, cracks, or warping. That is why automation here is built on dense networks of sensors. Optical systems track the size of the melt pool, thermal cameras show how the heat spreads across the layer, microphones "listen" to the sound of melting, and electrical probes measure process currents. All this data goes into adaptive control systems that can instantly adjust the power of the laser, the speed of the scan, or the supply of material.

This creates something like a closed loop, where the machine "sees" its own work and corrects itself without waiting for human intervention. In fact, the operator increasingly plays the role of supervisor rather than direct controller. For industries such as aviation or medicine, this is critical, because a part must not only be manufactured, but also certified as reliable. And here too, automation comes to the rescue – every build cycle is logged in detail, all sensor readings are stored, and the system generates a "passport" for the part, proving its quality.

It is important to understand that automation concerns not only the deposition process itself, but also the entire infrastructure around it. For example, metal powders must be handled carefully: they are expensive, sensitive to oxygen, and potentially dangerous for humans. That is why automated systems sift, dose, and recycle powders in a closed cycle, minimizing contact with the environment. Robots remove finished parts from platforms, clean chambers, and prepare machines for the next job. Hybrid systems that combine additive and subtractive machining in one machine are also developing: a part is grown by deposition, and then the same robot performs milling for finishing.

Metallurgy remains a separate and very complex issue. Additive technologies are not just "3D printing with metal," but processes that fundamentally change the way alloys behave. For example, titanium alloys require strict atmosphere control, while aluminum tends to form pores, and nickel alloys are prone to cracking. Automation in this case means systems that maintain the right environment, automatically regulate heat input, and select parameters for a given alloy. Without this, it is impossible to ensure reproducibility of properties from part to part.

Artificial intelligence is gradually penetrating here as well. Its role is not limited to analyzing huge arrays of data from sensors, although this is already a lot. Neural networks are trained to predict where a defect may appear even before it happens, and suggest adjustments to avoid it. AI is also used to optimize strategies: instead of an engineer trying dozens of parameter combinations, the algorithm finds the optimal ones much faster. The more parts are manufactured, the smarter such systems become – they "learn" from experience.

Automation of additive technologies also requires integration with the wider production environment. Printers and robots are no longer isolated machines but elements of a smart factory. They are connected to MES and ERP systems that manage schedules, logistics, and costs. Production is increasingly moving toward the concept of "digital warehouses": instead of keeping physical stock, enterprises store digital models and produce the necessary parts on demand. This is only possible thanks to automated control and traceability.

At the same time, it would be wrong to paint a picture of perfect and seamless automation. Problems remain. The cost of such systems is high, and the payback is not always obvious for small companies. The amount of data generated is enormous, and effective ways to process and store it are still being developed. Standards are still insufficient, which complicates the interaction of equipment from different manufacturers. Finally, there is a shortage of specialists who understand both the engineering and the IT side of such technologies.

Nevertheless, the direction is clear. Factories of the future are moving toward "lights-out manufacturing" – workshops where people are almost not needed, and machines produce, control, and certify parts themselves. The idea of in-situ certification is being developed, when the quality of a part is confirmed directly during its production without additional destructive testing. Automation also opens the way to multi-material products and gradient structures, where composition and properties change from one zone to another. And of course, sustainability issues are taken into account: closed cycles of powder recycling, energy-efficient lasers, and environmentally friendly production schemes.

Summing up, we can say that automation in 3D metal technologies is not an optional "add-on," but the very core of their development. Without digital twins, monitoring, robotics, and AI, such production will remain too unpredictable and costly. But with proper automation, it becomes not only competitive but also able to surpass traditional methods in many respects. The key now is to ensure integration of all

levels—from digital design to enterprise management systems – and to overcome the remaining barriers of cost, standards, and workforce training.

УДК 004.896:681.536.5

INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL: FROM REACTIVE ALGORITHMS TO PREDICTIVE MODELS

Holod I. V., Yevsieiev V. V. (ihor.holod@nure.ua, vladyslav.yevsieiev@nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The paper discusses the limitations of reactive algorithms for microclimate control in industrial premises and justifies the need for a transition to predictive models. An analysis of traditional and intelligent approaches is carried out, and the mathematical formulation of the microclimate forecasting problem is presented. The use of the NNARX architecture and its combination with fuzzy logic for the development of a hybrid control system is proposed. The advantages of this approach for improving the stability of technological processes and the energy efficiency of production are demonstrated.

Microclimate control systems in industrial premises have traditionally been built on the basis of reactive algorithms, which involve threshold-based switching on or off of equipment depending on the actual values of environmental parameters. This approach is simple in terms of implementation; however, it does not take into account the dynamic nature of processes occurring under industrial conditions. As a result, control actions are performed with a delay relative to environmental changes, which leads to periodic fluctuations of temperature, humidity, and other indicators around the set values.

The microclimate in industrial facilities not only provides comfortable conditions for personnel but also determines the stability of technological processes and the reliability of equipment operation. Deviations of temperature or humidity from optimal values may result in reduced product quality, increased defects, and higher energy consumption. In high-tech industries, the microclimate often acts as a critical parameter that directly affects the efficiency of the entire system; therefore, improving methods of its maintenance is an important direction in the development of modern automated control systems.

The inefficiency of reactive algorithms also manifests itself in increased energy consumption and instability of technological processes. In modern production, where the microclimate is a key factor for product quality, equipment reliability, and personnel safety, such limitations become critical. This necessitates the transition to intelligent models capable of predicting parameters and generating proactive control actions, thereby enhancing the efficiency and stability of cyber-physical systems operating in industrial environments.

The study focuses on identifying the limitations of traditional microclimate control methods and finding ways to overcome them using intelligent models. The task is to analyze reactive algorithms and demonstrate the reasons for their insufficient effectiveness in industrial settings. In addition, the potential of neural networks for forecasting environmental parameters and improving control accuracy is examined. An important aspect is the justification of the advantages of a hybrid approach that combines the capabilities of the NNARX model with the adaptability of fuzzy logic systems, since such integration ensures the transition from reactive to proactive control in industrial cyber-physical systems.

The research is aimed at analyzing the evolution of microclimate control methods in industrial conditions—from reactive algorithms to predictive models. Traditional threshold schemes, despite their implementation simplicity, show low efficiency due to reaction delays and the inability to account for complex dynamic processes. An alternative is the use of neural networks capable of reproducing nonlinear dependencies and predicting future system states. The general task of microclimate forecasting can be represented as a mapping between previous system states and external influences, taking the form of a nonlinear dependence:

$$y(t+1) = F(y(t), y(t-1), ..., u(y), u(t-1), ...)$$

where $y(t)$ – vector of microclimate parameters (temperature, humidity, gas mixture composition), a $u(t)$ – vector of control actions and external factors.

Among the architectures applied to solving such problems, multilayer perceptrons are capable of approximating nonlinear dependencies; however, they do not take into account the temporal context. Recurrent networks make it possible to capture short-term dependencies, but they have limitations when trained on long time series.

The analysis shows that multilayer perceptrons are suitable for approximating complex nonlinear dependencies, but their effectiveness decreases due to the absence of mechanisms for accounting for temporal sequences. Recurrent networks partially overcome this limitation, but training stability issues complicate their application in industrial conditions. In contrast, the NNARX architecture has a natural ability to represent system inertia and external disturbances, which makes it more reliable and resistant to environmental changes.

The most suitable architecture turned out to be NNARX, which combines an autoregressive structure with the ability to account for exogenous inputs. Practical results of applying NNARX demonstrate that this architecture provides more stable maintenance of environmental parameters and reduces fluctuations in temperature and humidity compared to traditional algorithms. As a result, the system's energy consumption decreases, product quality improves, and the equipment service life is extended. Considering external factors such as ambient temperature or the operation of technological installations enables the model to adapt to changing production conditions and ensure more reliable operation of microclimate systems.

Within cyber-physical systems, the NNARX model can be integrated with sensor networks and real-time data acquisition systems. This makes it possible to obtain data streams from different technological zones and generate consistent forecasts for complex industrial objects. The use of such an architecture creates the foundation for decision support systems that combine data analysis with the automatic generation of optimal control actions. Additional integration of NNARX with fuzzy logic systems ensures the formation of control actions based on accurate forecasts, creating prerequisites for the transition from reactive to proactive control.

Table 1 summarizes the key characteristics of different approaches to microclimate control.

The comparative analysis demonstrates a consistent evolution of approaches: from simple reactive algorithms, which operate only after parameter deviations occur, to hybrid models capable of combining prediction and adaptive control. Such integration enables the transition from static regulation to a proactive strategy that accounts for future changes in conditions and minimizes the risk of production process instability. The combination of NNARX with fuzzy logic systems allows neural network forecasts to be transformed into flexible control signals that account for uncertainty and incomplete input data. This approach is particularly effective in industrial conditions, where microclimate parameters often change under the influence of unpredictable factors. The hybrid model ensures adaptability that cannot be achieved solely through reactive or classical algorithms.

Table 1. Comparison of approaches to microclimate control.

Approach	Characteristics	Efficiency in Production
Reactive algorithms	Simplicity, low cost, absence of forecasting	Low stability, excessive energy consumption
Neural network models (MLP, RNN)	Consideration of nonlinearities, ability to work with time series	Better forecasting, but limited adaptability
NNARX	Autoregressive structure with exogenous inputs, reproduction of system inertia	High forecasting accuracy
NNARX+FLC	Combination of forecasting and adaptive control	Proactive and stable control

The obtained results confirm the necessity of moving from traditional reactive algorithms to intelligent methods of forecasting and controlling the microclimate. Threshold-based systems that operate by switching equipment on and off after exceeding permissible limits proved insufficiently effective in

industrial processes due to parameter fluctuations and excessive energy consumption. In contrast, the use of neural networks makes it possible to generate forecasts of environmental states and provides the foundation for proactive control strategies.

Among the considered architectures, NNARX has proven to be the most suitable, as it combines temporal context with the influence of exogenous factors, thereby accurately reproducing the dynamics of the production environment. The integration of this model with fuzzy logic forms a hybrid system that combines forecasting accuracy with the adaptability of control actions. This approach ensures more stable functioning of cyber-physical systems in industrial conditions, increases energy efficiency, and reduces dependence on the human factor.

Thus, the feasibility of using the hybrid NNARX+FLC architecture as a promising direction in the development of intelligent microclimate control has been substantiated. Further research should be aimed at testing the operation of such a system under real production conditions and implementing mechanisms of adaptive real-time learning.

The further development of research in this direction should be associated with the integration of hybrid NNARX+FLC models into modern industrial automation systems, particularly at the SCADA and MES levels. This will not only ensure the stability of microclimate parameters but also create a unified information environment for monitoring and optimizing technological processes. Another important task for future work is the implementation of real-time adaptive neural network learning mechanisms, which will contribute to improving energy efficiency and reducing operating costs in industrial conditions.

References

[1] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile robot navigation system based on ultrasonic sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247–251). IEEE.

[2] Singh, S. (2025). Neuro-fuzzy architectures for interpretable AI: A comprehensive survey and research outlook. *Journal of Machine Learning Research, 1*, 11.

[3] Addas, A. (2023). The concept of smart cities: a sustainability aspect for future urban development based on different cities. *Frontiers in Environmental Science, 11*, 1241593.

[4] Nevliudov, I., Omarov, M., Yevsieiev, V., Bronnikov, A., & Lyashenko, V. (2020). Method of algorithms for cyber-physical production systems functioning synthesis. *Journal of Physics: Conference Series, 1679*, 052030. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1679/5/052030

[5] Pelissero, N., Laso, P. M., & Puentes, J. (2021, September). Model graph generation for naval cyber-physical systems. In *OCEANS 2021: San Diego–Porto* (pp. 1–5). IEEE.

[6] Caixia Yan, Ta Na, Qi Zhen, Yunfeng Sun, Kunyu Liu. *Prediction of air temperature and humidity in greenhouses via artificial neural network*. PMC, 2021.pp. 13-20.

[7] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative language for cyber-physical production systems. *Journal of Mathematics and Computer Science, 11(1),* 520–542.

UDC 004.8:004.9

EPOKG AS DYNAMIC STRUCTURAL LAYER FOR ADAPTIVE ML IN BPM

Serhii Korotenko, Roman Yarovyi *(*s.korotenko@e-u.edu.ua, roman.yaroviy@e-u.edu.ua*)*
Private Higher Education Establishment "European University"(Ukraine)

Abstract. *This paper proposes a dynamic structural layer (EPOKG) for adaptive machine learning and process automation in BPM, enabling dynamic input of process and organizational context into GNN-based models. The approach unifies process structure, roles, and temporal versions into a single semantic graph, improving prediction accuracy and consistency across evolving business processes.*

Problem statement. In modern organizations, business processes constantly evolve under regulatory changes, strategic shifts, or reorganizations. As Van der Aalst (2016) noted, *"there is no*

knowledge without processes" since they reflect real organizational activity [1]. However, a gap always exists between the designed model and its actual execution, reducing prediction accuracy and practical value [2].

Traditional notations such as BPMN or Petri Nets describe control flow but leave constraints implicit, focusing on an "ideal scenario" [3]. Process mining narrows this gap using event logs, yet its results are mostly linear, weak in parallelism, and poorly integrated into enterprise analytics [1]. Modern ML models process event sequences but ignore structural dependencies, roles, and policies, which limits their generalization [4][5]. Business data are fragmented across systems with heterogeneous log formats [6], leading to the lack of a unified process model. This drives interest in Knowledge Graphs (KG) that can combine events, relations, and context. Existing KGs such as EventKG [7] or ASER [8] capture temporal relations but omit the organizational dimension. Other solutions-BP-SPARQL, VloGraph, LEKG-focus on technical logs without business context [9][6].

Recent works [10][11] demonstrate the potential of hypergraph and causal KGs for automation and adaptive analytics, yet these approaches remain partial. In enterprise systems, Knowledge Graphs are mainly used for metadata and digital twins, but a clear methodology for their use in BPM automation is still missing.

Solved tasks. To address these limitations, the paper proposes the Process-Organizational Knowledge Graph (POKG) and its enterprise-level extension **EPOKG** - a multi-layer model that integrates process structure, organizational context, and version-temporal views. Unlike traditional process mining, EPOKG builds a unified semantic layer over corporate data, where the process becomes a central axis linking structure, organization, and execution dynamics - forming a basis for structure-aware ML models [12].

At the **structural level**, the process is represented as a directed graph $\boldsymbol{G_P = (V_P, E_P)}$, where $\boldsymbol{V_P}$ denotes tasks, events, and gateways, and $\boldsymbol{E_P}$ represents control flows - reflecting the reference process schema.

At the **organizational level**, the graph $\boldsymbol{G_O = (V_O, E_O)}$, where $\boldsymbol{V_O}$ includes roles, departments, policies, and resources, with $\boldsymbol{E_O}$ describing their relations. This layer connects process logic with organizational structure, similar to declarative models [3], but enriched with contextual information [7]. Within POKG, these connections reconcile declarative and imperative perspectives [1][2].

At the **version-temporal level**, the graph $\boldsymbol{G_T = (V_T, E_T)}$, where $\boldsymbol{V_T}$ captures process versions and $\boldsymbol{E_T}$ their relations reflecting how model topology evolves over time. As illustrated in Figure 1, individual tasks can belong to multiple versions, enabling traceability of structural changes across process evolution.

The integration of all levels forms a complete graph $\boldsymbol{G = G_P \cup G_O \cup G_T}$, where consistency is maintained through mappings $\boldsymbol{f_O: V_P \rightarrow V_O}$ (linking tasks to roles and resources), and $\boldsymbol{f_T: V_P \rightarrow V_T}$ (linking tasks to process versions).

These mappings enrich the framework with statistical attributes $\boldsymbol{A}$ and representations $\boldsymbol{\theta}$: edges contain transition statistics, while nodes store aggregated task characteristics.

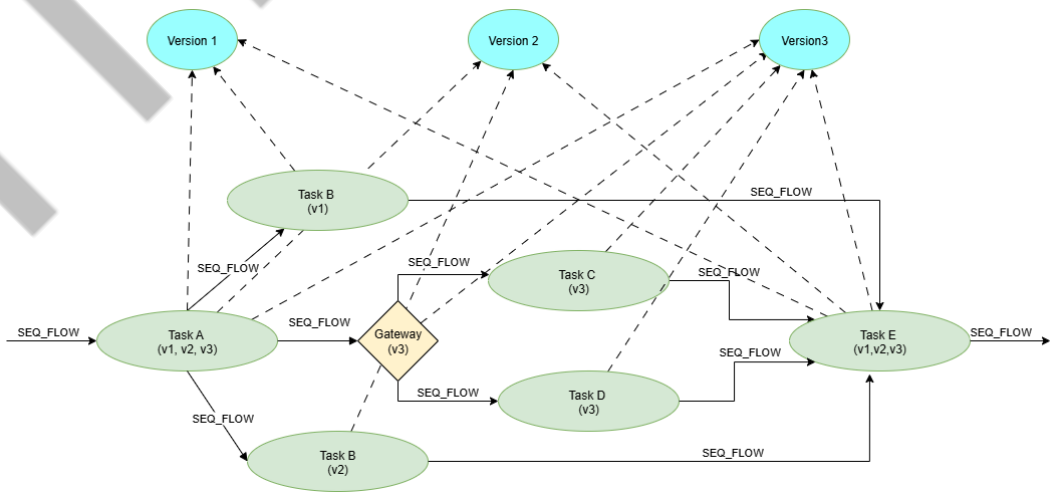


Figure 1 – Relation between the structural and version-temporal levels

Formally, $\boldsymbol{POKG} = (\boldsymbol{V}, \boldsymbol{E}, \boldsymbol{A}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{\theta})$, where $\boldsymbol{V}$ denotes process and organizational nodes, $\boldsymbol{E}$ - relations, $\boldsymbol{A}$ - attributes, $\boldsymbol{T}$ - temporal slices, and $\boldsymbol{\theta}$ - ML representations.

OKG combines dynamic updates with historical traceability, accumulating the evolution of process executions. Unlike "on-the-fly" graphs, it functions as a stable knowledge base that supports analytics and online learning [6][7].

A key property of POKG is versioning, which allows reconstruction of the process state at any execution point. Structural nodes and edges belong to specific versions, while organizational entities have defined activity periods. Thus, a single task may have different roles, policies, or transitions across process versions.

Versioning is integrated into the ML layer through as-of-version slices, where the model operates with the relevant topology and constraints. The set of allowed actions

$$\boldsymbol{M_t = A_{BPMN}^{(v)} \cap A_{role|v} \cap A_{policy|v} \cap A_{resource|v},}$$

acts as a mask, filtering out invalid transitions and aligning predictions with process logic and policies. Statistical profiles (duration, frequency, probabilities) and vector representations $\boldsymbol{\theta}$ serve as *soft priors*, improving model accuracy and stability. This integration aligns with the principles of DYGIE++, BP-SPARQL, and the approach [11], where the Knowledge Graph acts not only as a source of knowledge but also as an active reinforcement layer for ML.

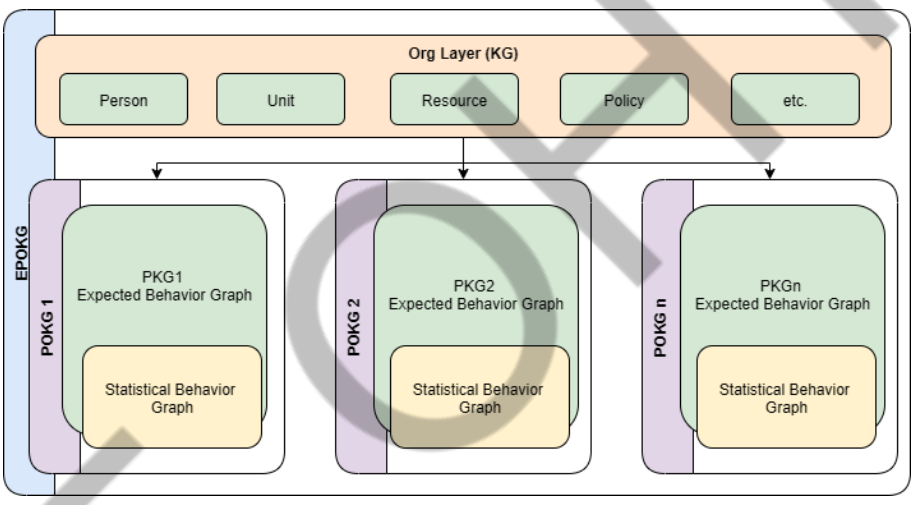


Figure 2 – EPOKG architecture

Scaling to the enterprise level is achieved by merging multiple local process-organizational graphs: $\boldsymbol{EPOKG} = \cup_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{POKG_i}$

Each $POKG_i$ represents an individual process with its own structure, context, and execution statistics. Within the EPOKG framework, they form a unified network that covers all organizational processes and their interdependencies.

Conclusion. The proposed approach addresses the gap between process models and their real executions by introducing a unified structural layer for adaptive learning and process automation. It supports gradual scaling, starting from critical processes and extending to secondary ones, reducing implementation costs and improving model accuracy with expands of knowledge base. This ensures consistent analysis and automation across individual processes and the entire organization, forming a foundation for robust and explainable ML models. Future work will focus on developing native integration between the graph structure and GNN models, using temporal priors and hierarchical smoothing to improve adaptability and structural consistency.

References

[1] W. Van der Aalst, *Process Mining*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. doi: 10.1007/978-3-662-49851-4.

[2] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. doi: 10.1007/978-3-662-56509-4.

[3] T. Hildebrandt, R. R. Mukkamala, and T. Slaats, "Designing a Cross-Organizational Case

Management System Using Dynamic Condition Response Graphs," in *2011 IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, IEEE, Aug. 2011, pp. 161–170. doi: 10.1109/EDOC.2011.35.
[4] J. Evermann, J.-R. Rehse, and P. Fettke, "Predicting process behaviour using deep learning," *Decis. Support Syst.*, vol. 100, pp. 129–140, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.dss.2017.04.003.
[5] N. Tax, I. Verenich, M. La Rosa, and M. Dumas, "Predictive Business Process Monitoring with LSTM Networks," 2017, pp. 477–492. doi: 10.1007/978-3-319-59536-8_30.
[6] A. Beheshti, B. Benatallah, H. R. Motahari-Nezhad, S. Ghodratnama, and F. Amouzgar, "A Query Language for Summarizing and Analyzing Business Process Data," *Process Querying Methods*, pp. 21–48, May 2021, doi: 10.1007/978-3-030-92875-9_2.
[7] S. Gottschalk and E. Demidova, "EventKG: A Multilingual Event-Centric Temporal Knowledge Graph," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10843 LNCS, pp. 272–287, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-93417-4_18.
[8] H. Zhang, X. Liu, H. Pan, Y. Song, and C. W. K. Leung, "ASER: A Large-scale Eventuality Knowledge Graph," *Web Conf. 2020 - Proc. World Wide Web Conf. WWW 2020*, vol. 2, pp. 201–211, 2020, doi: 10.1145/3366423.3380107.
[9] K. Kurniawan, A. Ekelhart, E. Kiesling, D. Winkler, G. Quirchmayr, and A. M. Tjoa, "VloGraph: A Virtual Knowledge Graph Framework for Distributed Security Log Analysis," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 4, no. 2, pp. 371–396, Apr. 2022, doi: 10.3390/make4020016.
[10] Y. Lv, P. Wang, G. Ji, and L. Wang, "Process hyper-relation knowledge graph construction and application," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2787, no. 1, p. 012063, Jun. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2787/1/012063.
[11] L. Ammann, J. Martinez-Gil, M. Mayr, and G. C. Chasparis, "Automated Knowledge Graph Learning in Industrial Processes," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 253, pp. 2428–2437, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.01.303.
[12] R. Winter and R. Fischer, "Essential Layers, Artifacts, and Dependencies of Enterprise Architecture," in *2006 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW'06)*, IEEE, 2006, pp. 30–30. doi: 10.1109/EDOCW.2006.33.

MODELING AND SIMULATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Mahammad Mammadov, Volodymyr Panchenko
(mammadovmaga1@gmail.com, Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua)
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)

Abstract. *Automation has become a necessity in modern industry under the influence of global economic pressure, manpower deficiency, and environmental conservation. Industry 4.0 transformed production through the merging of cyber-physical systems, IoT, and intelligent solutions. The objective of this work is to present an integrated view of automation systems, intertwining theory and practice through modelling and simulation.*

Problem statement. Modern industry has urgent problems that must be solved using automation. Manual control systems have intrinsic disadvantages like operator fatigue, non-consistent decision-making, and slow response to process disturbance. Human operators cannot maintain attention all the time, and this creates quality variations and increased defect rates. Production inefficiencies take place whenever the processes cannot be optimized in real-time, resulting in energy wastage, raw material wastage, and sub-optimum throughput. Safety risks remain in conditions of extreme temperatures, high pressures, poisonous chemicals, and explosive environments where the presence of humans entails high risk. Economic demands of international competition call for the simultaneous lowering of operating costs and improvement in the quality of products, objectives hard to fulfill with manual systems. Environmental laws mandate accurate monitoring and control of emissions, effluents, and use of resources beyond human ability for ongoing compliance. Workforce shortages in industrialized economies and the difficulty in getting skilled operators to work around the clock exacerbate these issues.

Conventional control techniques are not well-suited to deal with intricate multi-variable processes that have strong interactions and nonlinearities. These related issues constitute a need for sophisticated automation solutions [1].

Basic concepts of process control include the process variable as the measured value of the controlled quantity, the setpoint as the desired value of the variable, the error as the difference between the setpoint and process variable, and disturbance as an external factor causing deviation.

Various control strategies exist. Open-loop control operates without feedback and is suitable only for predictable processes. Closed-loop control uses feedback to minimize error. Feedforward control provides proactive adjustment before disturbances impact [2].

Control system components include sensors (thermocouples, strain gauges, flow meters, level meters), controllers (PLCs, DCS, single-loop controllers, embedded systems), actuators (control valves, variable frequency drives, heaters and coolers), and interfaces (HMI with graphical displays, alarm systems, trends) [1].

The PID controller is the primary algorithm, controlling 95% of industrial processes. P-action provides proportional response and rapid reaction. I-action eliminates steady-state error. D-action provides anticipatory action and dampens oscillations.

Modeling and Simulation. Modeling and simulation are indispensable tools in automation that allow engineers to verify design solutions before implementation, optimize controller parameters, and provide safe training. These technologies increase the efficiency and reliability of developing automatic systems – from industrial installations to household security complexes.

Model development is based on a systematic approach that includes defining objectives, modeling, process analysis, deriving equations, and subsequent model validation (Table 1).

For example, in a system where it is necessary to regulate the liquid level (for instance, in a tank), the following equation is used: $A \times dh/dt = Qin - Qout$. This equation shows that the rate of change of the liquid level depends on how much liquid flows in and how much flows out. Simply put: if more liquid enters than leaves, the level rises; if the opposite happens, it falls. This principle can be used to tune a controller (for example, a PID controller) that automatically maintains the desired liquid level [3].

Table 1 – Software Tool for modelling and simulations

Software Tool	Primary Application	Key Features
MATLAB& Simulink	Mathematical calculations and control system design	Comprehensive mathematical functions, graphical modelling
Proteus	Microcontroller and electronics simulations	Circuit capture, PCB layout
Factory I/O	3D simulating of PLC programming	Realistic industrial process visualizations
LabVIEW	Data acquisition and instrument control	Graphical programming environment
COMSOL	Detailed physical modelling	Finite element analysis

Simulation involves implementing the model in specialized software, configuring the control system, conducting tests, and collecting data based on test results.

Modern modeling and simulation approaches are also applied in automatic home protection systems, which are becoming part of the “smart home” concept. Such systems combine smoke, gas, and water sensors, access controllers, locks, and sirens (Fig. 1). The main performance indicators for such systems are response speed, accuracy, and resistance to false alarms [2].

In my assembled home security system project, two operating modes have been implemented: Normal Mode and Secure Mode. In Normal Mode, only the main safety sensors are active – the flame sensor and the gas sensor (MQ-6), which detect gas leaks and smoke. In this mode, the system ensures indoor safety within the premises.

However, in Secure Mode, all sensors are activated, starting with those mentioned above and including the motion sensor (HC-SR501), the vibration sensor that triggers when an attempt is made to break windows, and the infrared sensor for monitoring door entry. This mode protects the outside area of the house when the owner is away (Table 2).

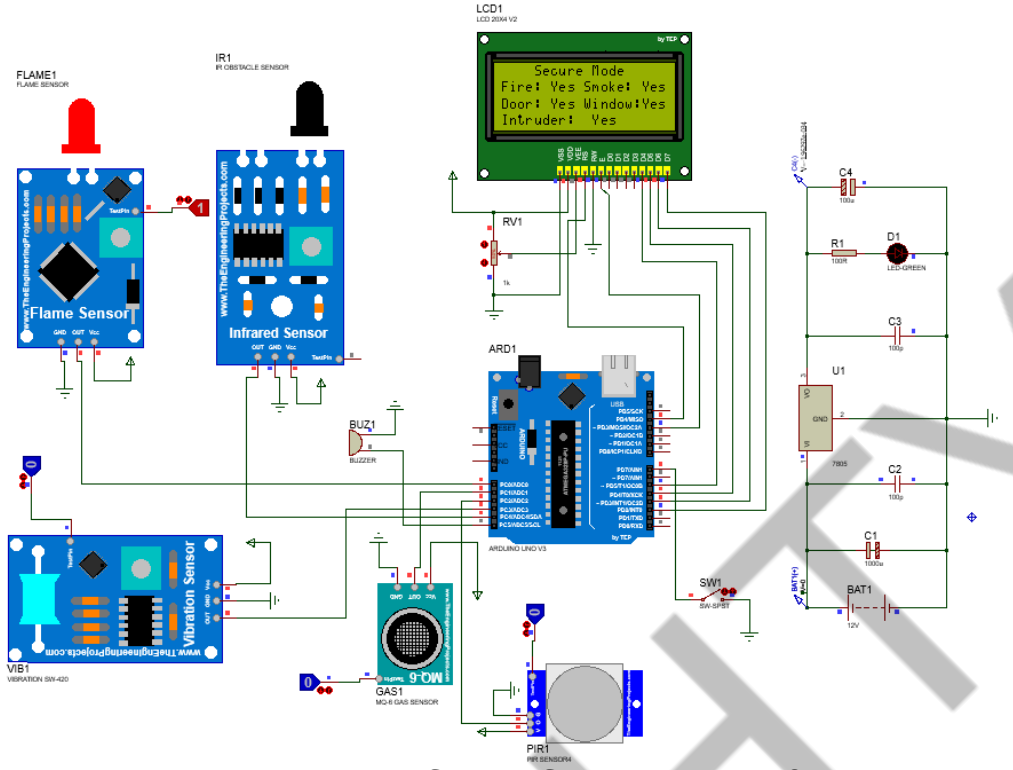


Figure 1 – Home Security System on Proteus 8

The system is powered through an LM7805 voltage regulator, which reduces the input voltage from 12V to 5V. At this voltage, the main microcontroller operates stably and reliably.

Results and Discussion. Automatic control is superior to manual control, reducing stabilization time and decreasing alarms by 80%. This method helps save money, reduces risks, improves quality, and reduces personnel and energy costs. The system pays for itself in 4-6 months [4].

A key element in improving the efficiency of automatic control is controller tuning, which directly affects the stability and accuracy of the system. Controller tuning can be accomplished in a variety of ways. You can use a cautious setting; the system will operate smoothly but respond slowly. A medium setting, on the other hand, achieves a balance between speed and stability. This option is most often used in most cases and is considered the most effective. An aggressive setting, on the other hand, provides a fast response but is prone to instability [5].

Table 2 – The results of Home Security System

Sensors			on LCD			on LCD
Infrared Sensor			Intruder: No			Intruder: Yes
Flame Sensor			Flame: No			Flame: Yes
PIR Sensor			Door: No Windows: No			Door: Yes Windows: yes
MQ-6 Gas			Smoke: No			Smoke: Yes

Conclusion. Automation and control of technological processes play a critical role in modern industry, improving efficiency, safety, and product quality. By implementing automated systems, industries can reduce human errors, optimize resource use, and maintain consistent production standards. Control systems, including sensors, actuators, and controllers, allow real-time monitoring and adjustment of processes, ensuring stability and reliability even under varying conditions [6].

Simulation and modeling techniques are essential tools in designing and testing these systems before deployment, minimizing risks and costs. Advanced control strategies, such as PID controllers, adaptive control, and intelligent systems, enable precise regulation of complex processes. Moreover, the integration of automation contributes to energy savings, environmental protection, and compliance with modern industrial standards.

Overall, automation and control of technological processes represent a fundamental trend in industrial development. They not only enhance productivity and quality but also create safer working environments and enable industries to respond flexibly to changing demands and technological innovations. Future trends indicate further integration with artificial intelligence, IoT, and smart manufacturing, which will make industrial processes even more intelligent and efficient.

References:

[1] Stenerson, J. *Industrial Automation and Process Control,* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2002, 420 p. ISBN: 978-013033030.

[2] Bequette, B. W. *Process Control: Modeling, Design, and Simulation,* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2002, 800 p. ISBN: 978-0133536409.

[3] Stephanopoulos, G. *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice,* Pearson India, 2015, 93 p. ISBN: 978-9332549463.

[4] Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., and Doyle III, F. J. *Process Dynamics and Control,* 4th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2017, 512 p. ISBN: 978-1-119-28591-5.

[5] Nof, S. Y., Wilhelm, W. E., and Warnecke, H.-J., Eds. *Springer Handbook of Automation,* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 2023, 1588 p. ISBN: 978-3030967284.

[6] Smith, C. A., and Corripio, A. B. *Principles and Practice of Automatic Process Control,* 3rd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2005, 592 p. ISBN: 978-0-471-43190-9.

UDC 635.64:631.544:621.316.925

OPTIMISATION OF LIGHTING IN GREENHOUSES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF VEGETABLE GROWING

Martynenko S.V., Krutofal O.S., Serbul O.M. (serbulan@ukr.net)
Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)

Vegetable production in Ukraine takes place in a temperate continental climate, which determines its seasonality and the need to develop indoor growing technologies. To increase the profitability of greenhouse farming, it is necessary to improve microclimate control systems, in particular lighting, temperature and irrigation. This paper presents the results of experimental studies on the effect of photosynthetically active radiation (PAR) intensity and relative air humidity on the growth of green mass of cucumber plants in an existing greenhouse complex. It has been established that yield is directly proportional to the total dose of PAR, while relative humidity has an inverse relationship. An improved electrical functional diagram of an automated light control system in greenhouses is proposed, which provides for the control and regulation of illumination depending on natural irradiation, daylight hours and the phase of plant development. The implementation of the proposed system allows optimising energy consumption and creating favourable conditions for increasing the yield of vegetable crops.

As is well known, vegetable production in Ukraine is seasonal. This means that about 25% of vegetable production, in order to ensure a balanced diet for the population, must be produced in closed ground conditions. To ensure its profitability, it is necessary to constantly improve production technology and use the most effective technical means and management systems [1]. This means that this area of research is relevant.

The aim of the study is to find ways to increase the efficiency of growing vegetable crops in greenhouses by optimising light conditions and microclimate parameters using an automated lighting control system.

To achieve this goal, it is necessary to: analyse the current state of greenhouse vegetable cultivation technologies and identify the key factors affecting their yield; to investigate the influence of photosynthetically active radiation (PAR) intensity, air temperature and soil moisture on the physiological indicators and green mass growth of vegetable plants; establish patterns of interaction between the total dose of PAR and greenhouse microclimate parameters (temperature, humidity) in relation to yield formation; conduct experimental studies to determine the optimal lighting conditions for growing vegetable crops (e.g., cucumbers); develop an electrical functional diagram of an automated greenhouse lighting control system; evaluate the energy efficiency of the proposed lighting control system and its impact on the economic indicators of greenhouse production.

An analysis of the impact of key agrotechnical measures on the yield of vegetable crops grown in greenhouses and technical means for ensuring the necessary conditions, timing and intensity of physiologically active radiation for supplementary lighting of plants in greenhouses during short winter days showed that in order to increase the efficiency of vegetable production, it is necessary to continue research into the combined effect of lighting, air temperature and irrigation on vegetable yields and to improve the lighting intensity control system [2, 3].

To ensure optimal conditions for growing plants in a greenhouse, a fairly complex technological complex is used, which includes: systems for regulating air temperature, water for irrigation and solutions for feeding plants, soil temperature; control of the concentration and dosage of plant fertiliser components; control of greenhouse lighting and comparison with sunlight to manage the entire lighting system; activation of irrigation systems, etc.

The main factors affecting the conditions for growing vegetables in greenhouses are air temperature and ensuring the necessary soil moisture, but factors such as creating optimal conditions and lighting regimes with the provision and regulation of photosynthetically active radiation (PAR) doses, and ensuring that plants have sufficient moisture and nutrients are of particular importance.

To establish their cumulative qualitative and quantitative interaction for creating optimal conditions for growing vegetables, studies were conducted on plots in the conditions of an existing greenhouse complex. Active ventilation using outside air and regulating its heating was used to create the air temperature regime. To change the amount of light on the plants during the experiments, the height of the irradiators above the plants was changed. Soil moisture was changed by the intensity of drip irrigation.

It has been established that relative humidity is inversely proportional to total PAR, while potential yield is directly proportional to total PAR. Therefore, it is possible to increase yield by increasing the PAR dose at constant humidity, or by increasing relative humidity at constant light intensity. This opens up broader opportunities to influence yield through the action of two parameters.

Experiments conducted by the agricultural laboratory at a greenhouse complex during the cultivation of cucumbers showed a noticeable effect of increasing the PAR dose on the increase in green mass of plants, especially in the first days of their cultivation. The experiments were conducted on specially designated plots, where the relative humidity parameters were varied within the range of 10–20% and the PAR irradiation intensity was varied from 120 to 160 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. One of the implementations of the study is shown in the graphs in Fig. 1, which show the dependence of the intensity of green mass growth of cucumber plants at standard humidity (14%) and two PAR doses over 15 days: PAR dose 1 = 160 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ and PAR dose 2 = 120 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

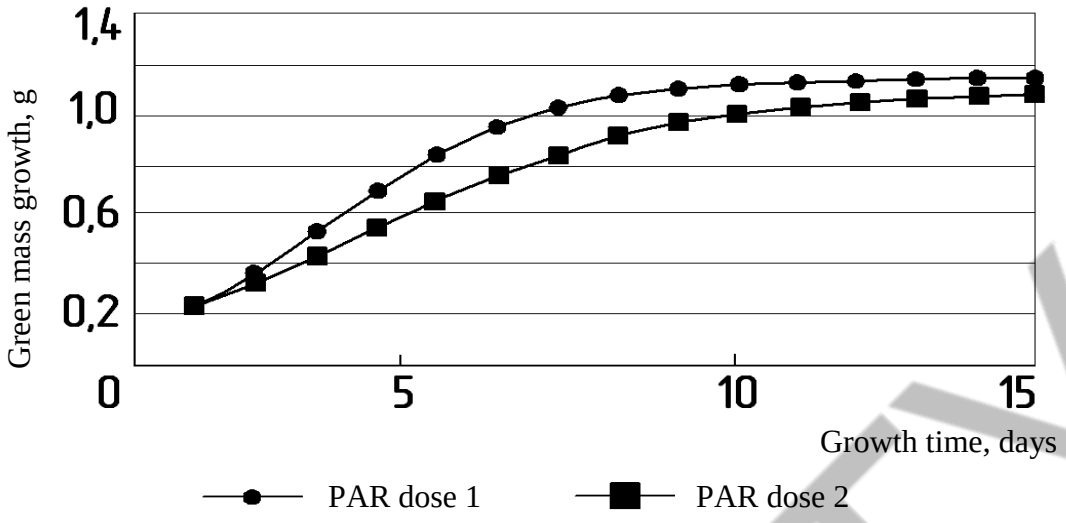


Figure 1 – Green mass growth depending on radiation dose

Based on the research results, a diagram of an electrical functional system for controlling lighting conditions in vegetable greenhouses has been proposed. This system includes four electrical units: 1 – lighting control unit; 2 – lighting management unit; 3 – lighting duration compliance unit; 4 – sequential lighting lamp section activation unit.

The implementation of such a system will allow measuring the illumination in the greenhouse, comparing it with a specified value and determining whether to increase or decrease the intensity of illumination, generating control signals to control the power of the radiation flux from the lamps. Depending on the type of product being grown and its stage of development, the length of the daylight period can be set and the lamp sections can be switched on sequentially at specified intervals.

Conclusion

As a result of research into the effectiveness of the interaction between physiologically active radiation and microclimate parameters in greenhouses to create optimal conditions for supplementary lighting and ensure plant yield growth, it has been proposed to improve the technical system by developing a plant lighting control unit that takes into account the intensity of natural radiation. The implementation of such an improvement guarantees a reduction in the consumption of electrical energy for supplementary lighting of plants.

At the next stage of research, it is advisable to: simulate the processes of regulating PAR in the automatic lighting system of greenhouses; develop a method for determining the optimal PAR dose depending on the phase of plant development and crop type; assess the economic effect of introducing an automated system; formulate practical recommendations for the implementation of improved technical means for controlling the microclimate in greenhouses.

References

[1] Л.С. Червінський, О.А. Макода, “Електротехнологічний комплекс енергоефективного опромінення рослин в теплицях,” *Енергетика і автоматика*, №3(79), 2025. doi:10.31548/energiya3(79).2025.154.
https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/uk/article/view/51858?utm_source=chatgpt.com

[2] T. Kaukoranta, L.E. Särkkä, K. Jokinen, “Energy efficiency of greenhouse cucumber production under LED and HPS lighting,” *Acta Hortic.*, vol. 1170, pp. 124–131, 2017.
https://www.actahort.org/books/1170/1170_124.htm?utm_source=chatgpt.com

[3] О. Суворін, В. Кабачій, Я. Кулик, К. Овчинніков, “Аналіз параметрів мікроклімату для управління теплицею,” *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, том 353, №3.2, 2025, с. 315-324. doi:10.31891/2307-5732-2025-353-45.
https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1908?utm_source=chatgpt.com

[4] A. Mohagheghi, M. Moallem, “An energy-efficient PAR-based horticultural lighting system for greenhouse cultivation of lettuce,” *IEEE Access*, pp. 1–1, Jan. 2023, doi:10.1109/ACCESS.2023.3237757.

https://www.researchgate.net/publication/367264856_An_Energy-Efficient_PAR-Based_Horticultural_Lighting_System_for_Greenhouse_Cultivation_of_Lettuce?utm_source=chatgpt.com

UDC 681.5:621.317.4:622.7

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A FERROMETER WITH AUTOMATIC MAGNETIC FIELD CONTROL FOR RAPID ORE ANALYSIS

Perevalov M.V., Shymanovskyi B.S., Zaichenko D.O., Serbul O.M., Kalich V.M.
(serbulan@ukr.net)
Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)

The article discusses ways to improve the efficiency of controlling the magnetic iron content in ore materials for the needs of the ferrous metallurgy industry in Ukraine. The depletion of rich ore reserves necessitates the introduction of rapid analysis methods, in particular ferrometers with a constant gradient magnetic field. The influence of the parameters of the electromagnetic coil and its thermal regime on the accuracy of measurements has been experimentally investigated. A system for automatic regulation of the current regime has been proposed, ensuring the stability of the magnetic field and high accuracy of results. The device can be used in crushing and enrichment plants, mines and quarries for the rapid determination of the quality of ore raw materials.

Ferrous metallurgy plays an important role in Ukraine's economy. Its raw material base consists of iron ore deposits, which are being significantly depleted due to long-term exploitation. Given the significant reserves of low-grade iron ore, the decrease in iron content in underground ore and the significant increase in the efficiency of blast furnace production with an increase in the iron content in raw materials, ore enrichment and ore preparation processes are becoming increasingly complex. In these conditions, there is a need for the widespread use of rapid analysis of ore materials at magnetic enrichment plants, crushing plants, quarries and mines. Chemical analysis, as the basic method of testing such products, is too expensive and does not allow information to be obtained quickly.

A review of existing devices for determining the magnetic iron content in crushed materials has shown that there are currently six types of ferrometers. During the analysis of existing solutions, it was found that a device with a constant gradient magnetic field does not have a number of disadvantages inherent in other types of analysers. Therefore, it can be taken as a basis for the development of a magnetic iron content analyser for rapid analysis of ores and mining products. In this regard, it is advisable to solve the following tasks: to justify the design and parameters of the electromagnetic system of the device; to theoretically investigate the thermal regime of the electromagnetic coil as a controlled object through the electrical resistance channel of the winding; to develop and investigate a system for automatic regulation of the current mode of the device's power supply [1].

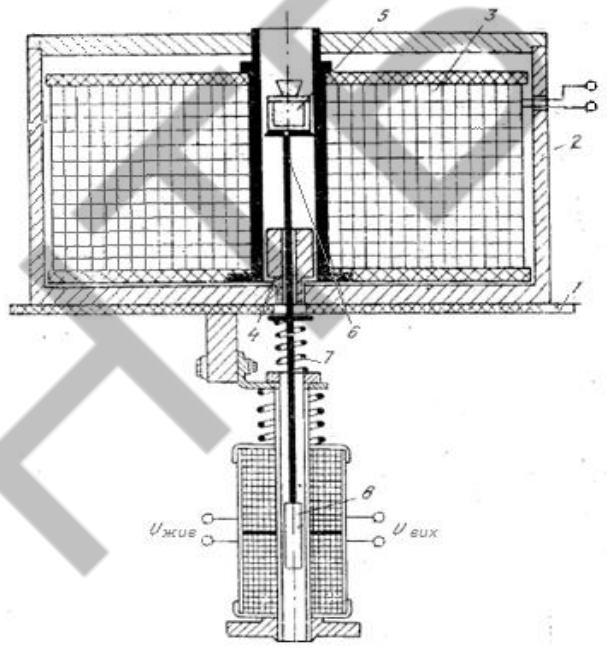


Figure 1 – Design of a device for determining the content of ferromagnetic material: 1 – base; 2 – magnetic screen; 3 – coil; 4 – steel coil core; 5 – cuvettes with ferromagnetic material; 6 – movable rod; 7 – spring; 8 – core

An analysis of ways to improve the ferrometer showed that its characteristics can be improved in four areas: increasing the weight of the sample; optimising the parameters of the electromagnetic coil; increasing the magnetic field strength; and stabilising the current of the electromagnetic coil.

A general view of the magnetic energy-to-motion converter is shown in Fig. 1. When the winding is supplied with direct current, a strong magnetic field is generated, which acts on a cuvette containing a certain mass of the material under investigation, causing a

displacement proportional to the ferromagnetic component content. The displacement (or content) is recorded by a linear differential transformer [2].

The measurement results strongly depend on the characteristics of the magnetic field in which the measured sample is located. The dependencies of the magnetic field intensity variation along the length of the electromagnetic coil for different lengths of the steel core were obtained experimentally. The graphs show that without a steel core, the magnetic field strength is low, and gradH at maximum strength is zero, since there is no slope of the curve. Such a dependence cannot be realised. The best results correspond to the case where the field strength and gradient values are highest.

During operation of the devices, it was found that the thermal regime of the electromagnetic coil affects the results of the work. As a result of research, it was established that the temperature of the winding increases regularly during continuous operation. Heating to 100°C corresponds to a heating time constant of 51.61 minutes. That is, the controlled object is sufficiently inertial. The research data shows that changes in temperature cause changes in the active resistance of the winding and, as a result, in the current and magnetic field strength. Changes in current can reach 24.8–33.9%, which can cause significant measurement errors. These errors can be eliminated by automatically controlling the current mode of the electromagnetic winding. Fig. 2 shows the functional diagram of such a system [3].

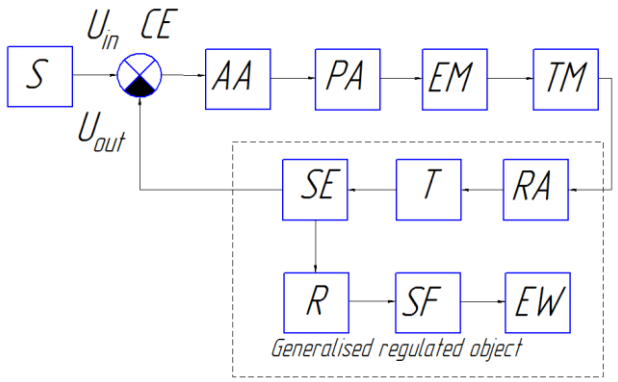


Figure 2 – Functional diagram of the automatic current control system in an electromagnetic winding
S – setter; AA – amplitude amplifier; PA – power amplifier; EM – executive mechanism; TM – transformation mechanism; RA – regulatory authority; T – transformer; SE – sensor; R – rectifier; SF – smoothing filter; EW – electromagnetic winding; CE – comparative element

The automatic current mode control system must ensure high static accuracy and high speed. High static accuracy is achieved here by the fact that the system is astatic – it contains an integrating link. This is also facilitated by the high gain of the open-loop system.

An electromagnetic coil with a magnetic core, filter, rectifier, transformer, and autotransformer constitute the adjustable object of the automatic current control system in the winding, where the input variable is the angle of rotation of the autotransformer's movable contact, and the output variable is the current (voltage drop across the reference resistor). A gradual change in the active resistance of the electromagnetic winding requires high static accuracy of the automatic control system, and compensation for rapid changes in supply voltage requires high speed; the control time should not exceed 0.04 s [4].

The device is designed for use in stationary conditions. It requires grounding and adjustment, and is powered by 220V, 50Hz AC mains. The measurement uses a sample of 25 g of crushed material with a particle size of up to 0.5 mm. It can be used in mines, quarries, crushing and enrichment plants.

Conclusion

The ferrous metallurgy industry in Ukraine remains a strategic sector of the economy, but long-term exploitation of deposits is leading to the depletion of rich ore reserves, necessitating more intensive processing and enrichment of low-grade iron ore. Express analysis of the magnetic iron content in ore materials is an important condition for improving the efficiency of ore preparation and enrichment processes, since traditional chemical methods are costly and do not provide operational control. Based on a comparative analysis of existing types of ferrometers, it has been established that the most promising device for use in mining enterprises is one with a constant gradient magnetic field, which provides higher measurement accuracy and stability. Experimental studies have shown that the thermal regime of an electromagnetic coil significantly affects measurement accuracy. As the winding temperature rises to 100 °C, the active resistance changes so much that the current strength can vary within the range of 25–34 %, which leads to significant errors. To eliminate the influence of temperature fluctuations, it is necessary to implement an automatic current control system that ensures high static accuracy and fast response. The developed functional diagram of the control system includes an electromagnetic coil with a magnetic core, a transformer, an autotransformer, a rectifier and a filter, which allows stabilising the current and

maintaining the required magnetic field strength during operation. The proposed device can be effectively used in stationary conditions in quarries, mines, crushing and enrichment plants for the rapid determination of the magnetic iron content in crushed ore materials, which will contribute to improving the quality of raw materials and production efficiency.

References

[1] D. C. Jiles, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1998.
[2] K. J. Åström and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2008.
[3] G. F. Franklin, J. D. Powell, and A. Emami-Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2015.
[4] Автоматизация процессов обогащения руд /[Морюта А.Н., Давидкович А.С., Гуленко Т.И., Кондратец В.А.]. – К.: Техніка, 1972. – 140 с.

UDC 621:542

FORWARD-LOOKING RADAR SOLUTIONS FOR INDUSTRIAL SILO LEVEL MEASUREMENT

Dmytro Tsyban, Oleksandr Zabolotniy (d.o.tsyban@khai.edu, o.zabolotnyi@khai.edu)
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"(Ukraine)

Accurate level measurement in bulk storage silos is a critical factor in industrial operations, affecting inventory management, process efficiency, and operational safety. Various level measurement techniques have been employed to monitor the amount of bulk solids in silos, but most rely on single-point measurements, making 3D level monitoring impractical. While radar-based systems offer the potential for 3D visualization, multiple scattering effects caused by metallic silo walls often compromise measurement accuracy. Existing measurement scanning technology method based on laser technology are influenced by various environmental and operational conditions, which can lead to inaccuracies in the measurement process and, consequently, affect both surface profile reconstruction and measurement accuracy. This study provides an overview of level measurement methods, a comparative analysis of their reliability and accuracy, and suggestions for further development in this field.

Problem Statement

One of the important factors in silo level measurement is the structure of a bulks or solids surface inside the silo. These complex structures occur after the bulks and solids are unloaded from the silo or after its filling. Single-point level measuring systems like ultrasonic, laser or traditional radar provide a perfect solution for level measurement of liquids. Measurement of the silo level with single-point measuring instruments cannot be a good solution because of low accuracy and possibility to operate only with estimated volume values. The surface of a bulk substance is usually very irregular and can include high peaks and deep tunnels. The error can be reduced by increasing the number of sensors or acoustic 3D scanners application, what is a traditional solution [1-4].

The task of a present research is to investigate the possibility of surface 3D scanning with a help of the only one single point high frequency (80...160 GHz) radar combined with an automated rotary device, based on Stuart hexapod movable platform [5]. It seems to be an effective solution to solve the current problems of point radar level or volume measurements in silos [6].

Main targets:

- analysis of existing methods and principles of level measurement;
- analysis of existing principles of 3d scanning;
- analysis of the geometry and kinematic scheme of a hexapod platform;
- determination of the required number of measurement points in the silo.

The essence of the research:

Radar level measurement is a highly accurate, non-contact solution for 3D scanning in challenging environments. It is ideal for liquids and bulk solids due to its immunity to harsh conditions (temperature,

dust). Integration of this high-frequency radar with an automated rotary mechanism to enable precise, controlled scanning motion seems to be a promising approach. In this context, Stewart (or hexapod) platforms present an ideal solution (see Fig. 1). These platforms, based on parallel kinematic structures, consist of a fixed base, a movable top platform, and six adjustable-length rods controlled by servo drives [6].

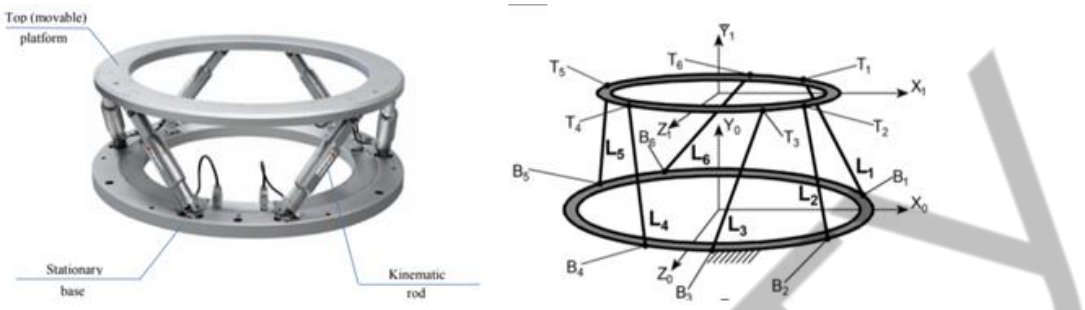


Figure 1 - Stewart hexapod movable platform and its' kinematic scheme

Let's introduce two systems of coordinates: inertial $O_0X_0Y_0Z_0$, connected with a center of a stationary base, and movable, $O_1X_1Y_1Z_1$, connected with a center of mass of the movable platform. Movable platform coordinates can be described with a vector:

$$r = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)^{/} \quad (1)$$

It contains linear displacements x, y, and z of the movable platform center of rotation O_1 in relation to the inertial system of coordinates $O_0X_0Y_0Z_0$,, so as angular displacements: α – yaw angle, β – pitch angle, γ – roll angle. They describe the movable platform rotation in relation to the $O_1X_1Y_1Z_1$ system of coordinates. Kinematic rods length is usually described with another vector:

$$q = (L_1L_2L_3L_4L_5L_6)^{/} \quad (2)$$

connected with an inertial system of coordinates $O_0X_0Y_0Z_0$.

Because of the specific design of a Stewart platform, we have a nonlinear dependence between the kinematic rods length and movable platform displacement. This fact creates a task to define the movable platform coordinates when we know the length of each kinematic rod (task of forward kinematics), or a task to define the length of each kinematic rod when we know the movable platform displacement (task of inversed kinematics). The task of forward kinematics can be expressed with the equation (3):

$$\Delta X = J\Delta q \quad (3)$$

where Δq is a vector of kinematic rods length increment, ΔX is a vector of x, y, z, and α, β, γ coordinates increment. A Jacobian J can be described with formula (4):

$$J = \lfloor J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 J_6, \rfloor \quad (4)$$

As for the task of inversed kinematics, we can describe it with the equation (5):

$$\Delta q = J^{-1}\Delta X \quad (5)$$

The inversed kinematics task is when we can estimate the length of each kinematic rod knowing the displacement of the movable platform in relation to the stationary base. This is mathematically straightforward task to solve. Consider the geometry of a hexapod shown in Fig. 1, we can write the next formulas:

$$\begin{aligned}
L_1 &= \sqrt{(T_{1x} - B_{1x})^2 + (T_{1y} - B_{1y})^2 + (T_{1z} - B_{1z})^2} \\
L_2 &= \sqrt{(T_{2x} - B_{2x})^2 + (T_{2y} - B_{2y})^2 + (T_{2z} - B_{2z})^2} \\
L_3 &= \sqrt{(T_{3x} - B_{3x})^2 + (T_{3y} - B_{3y})^2 + (T_{3z} - B_{3z})^2} \\
L_4 &= \sqrt{(T_{4x} - B_{4x})^2 + (T_{4y} - B_{4y})^2 + (T_{4z} - B_{4z})^2} \\
L_5 &= \sqrt{(T_{5x} - B_{5x})^2 + (T_{5y} - B_{5y})^2 + (T_{5z} - B_{5z})^2} \\
L_6 &= \sqrt{(T_{6x} - B_{6x})^2 + (T_{6y} - B_{6y})^2 + (T_{6z} - B_{6z})^2}
\end{aligned} \quad (6)$$

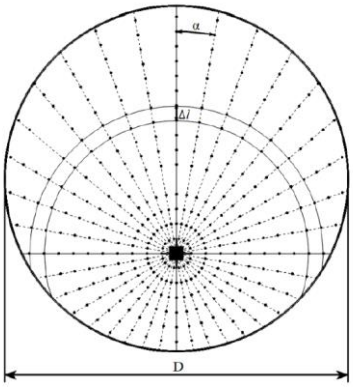


Figure 2 - Representation of a silo cross section with diameter D and distribution of the control points

Necessary displacements and rotations of the movable platform can be directly implemented to the points T1...T6. The post-movement length of six kinematic rods L1...L6 can be recalculated for the new joint coordinates of the movable platform. Then it should be compared with the pre-movement leg length, to determine the necessary change in the length of each individual kinematic rod.

At the initial processing step, the product surface position at each control point can be estimated by transforming distances and angles, collected from the 3D scanner [7]. It is required to recalculate the point cloud data from spherical to Cartesian coordinates (Fig. 2).

The *X* and *Y* coordinates form the horizontal plane are not adjusted because the 3D scanner was used as the *XY* origin. It is necessary to determine *Z* coordinate, which directly gives the displacement of a grain surface points in relation to the silo bottom. The final elevation of the grain surface can be calculated with a help of equation:

$$Z = H + \sin(\Theta)\, r - h, \tag{8}$$

where *Z* is a final elevation of the grain surface in relation to the silo bottom, m;

H is a height from the silo bottom to the eave, m;

Θ is a polar angle between origin and eave, º;

r is a distance from the origin to the eave, m;

h is an original elevation from the measurement system to the grain surface, m.

Conclusions:

Single-point level measurement is inadequate for bulk solids due to highly irregular surfaces. The proposed solution is a highly accurate 3D scanning system combining a single high-frequency radar (80+ GHz) with an automated Stuart hexapod platform. This system is superior to laser/acoustic scanners because the radar's measurements are invariant to changing process conditions (dust, temperature, pressure), yet it maintains high accuracy, a small beam angle, and a long range (up to 120 m). The efficient hexapod platform provides the necessary precise six-degree-of-freedom motion, controlled via inversed kinematics, to enable accurate volume calculation via a 3D scanning algorithm.

References

1. Heywood, N., Tily, P.J.: Survey and Selection of Techniques for Bulk Solids Level Measurement in Storage Vessels. In: 12th Transport and Sedimentation Conference, pp. 1–15. Prague, Czech Republic (2004).

2. Saleem, M., Khurshid, H., Qureshi, H., Siddiqi, Z.: A Simplified Approach for Analysis and Design of Reinforced Concrete Circular Silos and Bunkers. The Open Construction and Building Technology Journal 12, 234–250 (2018).

3. McGlinchey, D.: Bulk Solids Handling: Equipment Selection and Operation. Blackwell Publishing Ltd, USA (2008).

4. Yigit, E.: A novel compressed sensing based quantity measurement method for grain silos. Computers and Electronics in Agriculture 145, 179–186 (2018).

5. Conti, J.P., Clinton C.M., Zhang, G.: Workspace Variation of a Hexapod Machine Tool. 2nd edn. U.S. Department Of Commerce, USA (1998).

6. Wegner, T.E., Gebhardt, S., Del Galdo, G. Fill level measurements using an M-sequence UWB radar. International Journal of Microwave and Wireless Technologies 15, 74–81. (2023).

7. Turner, A.P., Jackson, J.J., Koeninger, N.K., McNeill, S.G., Montross, M.D., Casada, M. E., Boac, J. M., Bhadra, R., Maghirang, R. G., Thompson, S. A.: Stored Grain Volume Measurement Using a Low Density Point Cloud. Applied Engineering in Agriculture 33(1), 105–112 (2017).

УДК 681.5:[637.336:602.1]:004.896

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ

Авдєєв Д. С., Мазур О. В. (ads15971@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглянуто деякі питання автоматичного керування процесом дозрівання сирів. Проаналізовано сутність процесу дозрівання сирів як об'єкту керування та наведено приклади зміни основних показників продукту під час дозрівання. Визначено актуальність вимірювання і контролю показників сирного продукту під час дозрівання.

Дозрівання сирів – це сукупність складних біохімічних і мікробіологічних процесів, які відбуваються після формування і пресування сирного згустку, та у ході яких сир набуває характерних органолептичних властивостей: смаку, аромату, текстури, кольору та структури. Різні види сирів відрізняються тривалістю дозрівання та кількістю стадій, які при цьому проходить сир. Всього існує 3 стадії. Перша стадія – молочнокислого бродіння – характеризується падінням водневого показника (pH) в залежності від температури (рис. 1) та виду сиру. Ознакою другої стадії – пропіоновокислого бродіння – є різке збільшення емісії вуглекислого газу. На останній стадії – стабілізації – формується остаточна текстура та смак продукту.

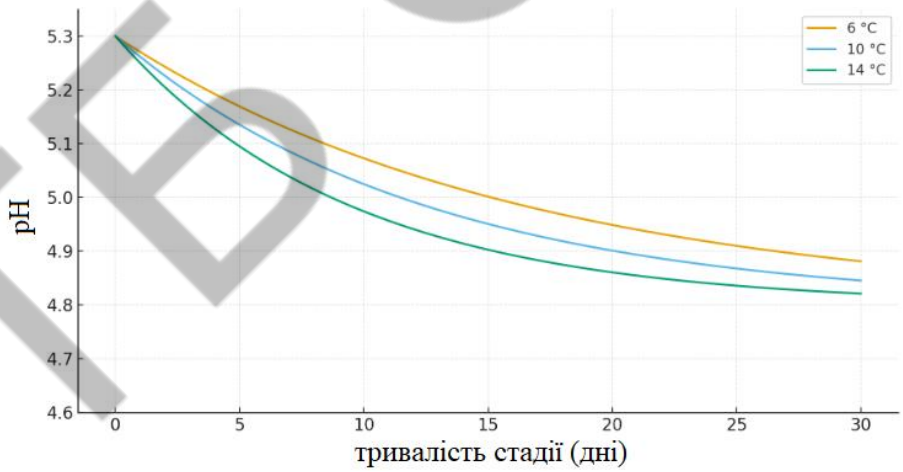


Рисунок 1 – Приклад зміни водневого показника сирного продукту (pH) протягом стадії молочнокислого бродіння при різних значеннях температури повітря в камері дозрівання

Швидкість виділення вуглекислого газу залежить від виду сиру та активності мікрофлори, яка залежить від температури повітря в камері дозрівання. На стадії молочнокислого бродіння він утворюється в невеликій кількості та частково розчиняється у воді. Під час пропіоновокислого бродіння його виділення різко збільшується, за рахунок чого в сирному продукті утворюються «вічка» – характерні порожнини, які формують рисунок сиру. На стадії стабілізації газоутворення знову повертається у початковий стан.

Форма та розмір «вічок» залежать від швидкості виділення газу та мають певний бажаний характер для технолога. На основі цього формується оптимальна рекомендована зміна швидкості

виділення газу у процесі дозрівання. Приклад такої рекомендованої зміни для сирів Швейцарської групи наведено на рис. 2.

Зазвичай при керуванні процесом дозрівання забезпечують лише регламентні значення температури та відносної вологості повітря в камері дозрівання. Але такий підхід є досить поверховим, і заздалегідь визначена температура та вологість не завжди можуть компенсувати вплив сировинних факторів, таких як склад та якість сировини, застосовані бактерії, закваски, ферменти тощо, а отже і гарантувати стабільну якість готового продукту.

Підвищити якість продукту можна за рахунок додаткового автоматичного контролю його внутрішніх показників, найважливішими з яких є водневий показник (pH) та активність

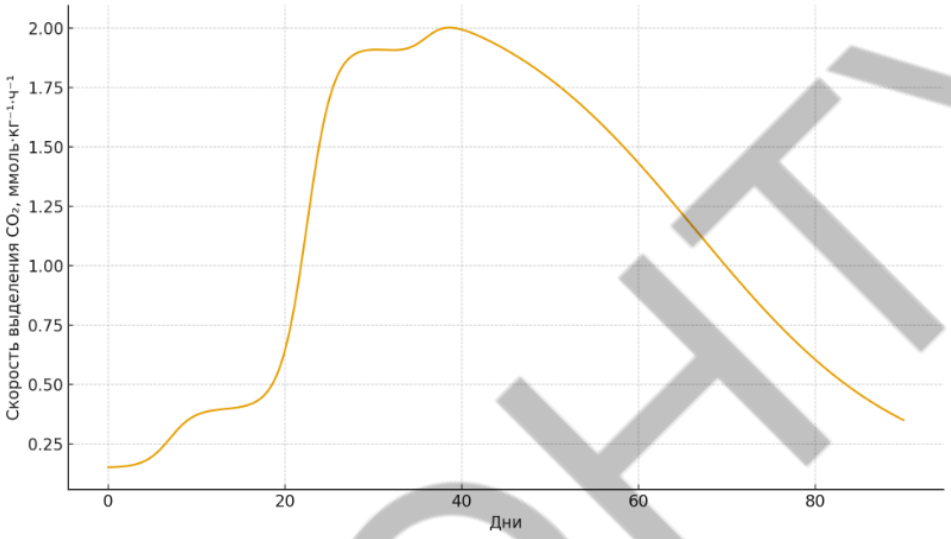


Рисунок 2 – Приклад рекомендованої зміни швидкості виділення вуглекислого газу для сирів Швейцарської групи

води, а також швидкість емісії вуглекислого газу в камері. Тому розробка системи автоматичного керування, яка забезпечує виконання цих функцій, є актуальною задачею. Її вирішення запропоновано в рамках аспірантського дослідження, в напрямку якого проведено початковий етап.

Активність води можна обчислити, використовуючи рівняння тепло- та масообміну. Для цього потрібно спочатку виміряти різницю температур поверхні продукту при випаровуванні з нього вологи та цієї ж поверхні, якби випаровування було відсутнє. Для вимірювання даної різниці пропонується наступний метод. На поверхню сиру наклеюється кругла наліпка діаметром 2-3 см, яка не пропускає вологу, що прагне випаруватися із сиру. Тоді температура цієї наліпки відповідає температурі поверхні сиру при відсутності випаровування вологи з нього. Різницю температур відкритої та закритої наліпкою поверхні можна фіксувати за допомогою інфрачервоного датчика температури. На основі даної різниці спочатку знаходиться тепловий потік, а потім активність води, які визначаються за відомими виразами. Також було обрано інфрачервоний датчик температури, датчики концентрації вуглекислого газу, швидкості повітря в камері та водневого показника продукту.

На наступних етапах дослідження передбачено розробку та реалізацію додаткових каналів керування, синтез і порівняльний аналіз варіантів систем автоматичного керування, тестування оптимального варіанту тощо.

Висновки

Дозрівання сирів – це складний біохімічний і мікробіологічний процес.

Зазвичай при керуванні процесом дозрівання забезпечують лише регламентні значення технологічних параметрів, які характеризують цей процес. Такий підхід не враховує вплив сировинних факторів на якість готового продукту.

Підвищити якість продукту можна за рахунок додаткового автоматичного контролю його внутрішніх показників.

Розробка системи автоматичного керування, яка враховує внутрішні показники продукту на всіх етапах його дозрівання, є актуальною задачею.

На початковому етапі дослідження запропоновано метод оцінки активності води на основі відомих рівнянь; обрано датчики параметрів стану продукту та повітря в камері дозрівання. Поставлено задачі наступних етапів дослідження.

УДК 681.121

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА

Білинський Й. Й., Стеценко А.А.
(Yosyp.bilynsky@gmail.com, Andrii.energo@ gmail.com**)**
Вінницький національний технічний університет *(Україна)*

В тезах розглядається запропонована методика підвищення точності роботи багатоканального ультразвукового витратоміра в умовах забруднення каналу вимірювання, яка полягає у використанні коригуючого коефіцієнта для обрахунку об'ємної витрати природного газу.

Сучасні ультразвукові витратоміри (УЗВ) можна розглядати як складну інформаційно-вимірювальну систему, оскільки для підвищення точності комерційного обліку витрати газу використовує вимірювання ряду параметрів газового потоку, застосовує потужні програмні інструменти для аналізу та обчислення даних, виконує моніториг, діагностику та калібрування в реальному часі. Крім того сучасні програмні засоби дають змогу пришвидшити процес проєктування УЗВ у різних конфігураціх залежно від умов застосування (похибки вимірювання, чутливості до змін профілю потоку, рівня енергоспоживання) шляхом моделювання його роботим[1].

Для досягнення кращих результатів вимірювання УЗВ, як правило, використовують у багатоканальному виконанні. Кількість вимірювальних променів напряму впливають на точність вимірювання, але, відповідно, при збільшенні їх кількості збільшується вартість таких витратомірів. Тому УЗВ, які є одноканальними переважно використовуються лише для технологічного обліку, тобто не є комерційними і, звичайно, мають меншу вартість. Багатоканальні витратоміри переважно використовуються для комерційного обліку природного газу на газовимірювальних станціях.

Технічний стан УЗВ та його вимірювальні характеристики у міжповірочний період можуть змінюватися внаслідок пошкодження деталей чи вузлів вимірювального засобу, забруднення каналу вимірювальної труби або струмовипрямлячів підготовки потоку, який призначений для стабілізації потоку вимірюваного середовища і знаходиться перед лічильником. Для підвищення точності, в такому випадку, використовують засоби очищення каналу, сенсори, що враховують забруднення або застосовують корекцію на основі даних про забруднення. Критерієм забруднення в багатьох випадках служить використання певного значення різниці швидкостей каналів або коефіцієт профіля, що представляє собою відношення суми швидкостей другогой третього каналу до суми швидкостей першого та четвертого каналів. У складних ситуаціях використовується «діагностична сесія». Вище наведені критерії дають сигнал про забруднення, але не можуть бути коригуючими, а «діагностична сесія» - це процедура, що вимагає великий обсяг даних вимірювання й затрати часу [2-4].

В роботі запропоновано методику визначення коригучого коефіцієнта для обрахунку об'ємної витрати природного газу внаслідок забруднення каналу вимірювальної труби, зокрема, це стосується забруднення струмовипрямляча підготовки потоку. Суть модики полягає у порівнянні середніх значень швидкостей кожного каналу чотириканального УЗВ зі значеннями швидкостей, так званого, еталонного вимірювання для даної витрати або близької до даної витрати. Еталонні вимірювання можна вважати такими, які при калібруванні витратоміра дозволили отримати мінімальну похибку для даної витрати. Для знаходження коригуючого коефіцієнта повинна бути сформована база даних для певного діапазона витрат, яка містить середні значення швидкостей по відповідним каналам з урахуванням вагових коефіцієнтів, тиску на виході витратоміра та його

температури. Коригуючиц коефіцієнт запропоновано розраховувати через еквівалентний коефіцієнт $E_к$ за формулою:

$$E_к = \frac{\sum_{i=1}^{4}(v_i^e - v_i)}{(P_e - P)(T_e - T)}, \quad (1)$$

де v_i^e, P_e, T_e –швидкості по каналам, тиск, температура еталонних вимірювань;
v_i, P, T– швидкості по каналам, тиск, температура поточних вимірювань.

При збільшенні забруднення, очевидно, похибка буде зростати. Якщо була б відома функціональна залежність K_δ=f($E_к$) при збільшенні забруднення, то в такому випадку можна було б виконати уточнення даних по витраті газу. Оскільки таку залежність отримати експериментальним шляхом можливо, але при цьому неохідно понести достатьо великі затратии, то вдалися до CFD (computational fluid dynamics) моделювання, яке має ряд переваг над експериментальним дослідженнями, оскільки на відміну від експериментів, утворює модель спотвореного потоку в трубопроводі та гідродинамічні ефекти у тривимірному вигляді, а також дозволяє прослідковувати процес утворення, зміну та загасання спотворень структури потоку в будь-якій точці потоку [5, 6]. Для цього було використано середовище програмного пакета SOLIDWORKS Flow Simulation.

Подальше дослідження роботи УЗВ зведені до знаходження абсолютної похибки вимірювання витрати для декількох заданих значеннях у певному діапазоні вимірювань при послідовному закритті отворів у струмовипрямлячі підготовки потоку. Для цього результати вимірювання витрати порівнювалися з їх еталонними значеннями, що подавалися на вхід витратоміра й, таким чином, визначалася похибка вимірювань. Для оцінки впливу на точність вимірювання потоку газу проводилися повторні тести згідно вимогам стандарту AGA-9 [7].

Результати досліджень дозволили побудувати залежність еквівалентного коефіцієнта $E_к$ від коригуючого $К_\delta$ (похибки вимірювання) і отримати поліноміальну функцію третього степеня виду

$$E_к = 0{,}05875K_\delta^3 + 2{,}2552K_\delta^2 + 25{,}592K_\delta + 100{,}0343. \quad (2)$$

Для практичного застосування отримано обернену поліноміальну фукцію виду

$$К_\delta = 0{,}05642E_к^3 - 0{,}28739E_к^2 + 4{,}90336E_к - 33.8051. \quad (3)$$

Задля підтвердження отриманих результатів, в подальших дослідженнях планується провести експериментальні дослідження та розглянути можливість отримання універсального коригуючого коефіцієнта для широко діапазона вимірювання витрати природного газу.

Список використаної літератури

[1] A.Stetsenko [a], Y.Bilynsky Overview of Current Trends in the Development of Ultrasonic Gas Flow Meters *[Text]* Meters *XXIV IMEKO World Congress "Think Metrology" August 26 – 29, 2024, Hamburg, Germany.*

[2] ISO 17089-1:2019. Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. – Replaces ISO 17089-1:2010 ; effective from 2019-08-01. – Official edition. – Geneva : International Organization for Standardization, 2019. – 114 p.

[3] CEI/IEC 60041: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of

[4] Dr. Jim Hall, Klaus Zanker, Eric Kelner, When Should a Gas Ultrasonic flow meter be Recalibrated? North Sea Flow Measurement Workshop 2010

[5] Staubli T, Luescher B, Gruber P, et al. Optimization of acoustic flow-rate measurement using CFD. International Journal on Hydropower & Dams, 2008, 15(2): 109-112.

[6] Staubli T, Lüscher B, Senn F, et al. CFD optimized acoustic flow measurement and laboratory verification. Proc. Hydro07, Granada, Spain, 2007.

[7] AGA Report No. 9 Measurement of Gas by Multipath Ultrasonic Meters.

НТБОНТУ

УДК 681.5:665.12.004.6

КЕРУВАННЯ ВІДБІЛЮВАННЯМ ОЛІЇ: СИНЕРГІЯ ЗРОСТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ІМОВІРНОСТІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПОРУШЕНЬ

Буйваленко А. А., Осадчук П. І., Хобін В. А. (buiwalenok@ukr.net, petrosadchuk@ukr.net, khobin@ontu.edu.ua)

Одеський національний технологічний університет (Україна)

Практика експлуатації технологічного обладнання для відбілювання олії вимагає розробки та впровадження сучасних систем автоматичного керування цим процесом. На першому етапі дослідження розроблено систему автоматичного керування відбілюванням соняшникової олії підвищеної динамічної точності, яка забезпечує автономність залежних контурів регулювання та компенсацію запізнення в одному з каналів регулювання. На другому етапі в систему керування було включено функцію гарантованого дотримання кольоровим числом олії регламентних обмежень, з наперед заданою ймовірністю, тобто реалізовано функцію гарантуючого керування якістю кінцевого продукту, яка дозволяє вести процес відбілювання в околиці верхньої межі допустимого значення показника якості. Нарощення системи, яка забезпечує зростання динамічної точності, функцією забезпечення заданої імовірності попередження порушень, завдяки їх синергії, сприяє вирішенню задачі підвищення ефективності керування відбілюванням олії.

При виробництві соняшникової олії важливим технологічним етапом є її **відбілювання. У** колонному апараті остаточного відбілювання, який працює в комплекті з апаратом для попереднього відбілювання, завершується процес сорбції барвників відбілюючими порошками. На відміну від усіх інших апаратів, в яких контакт порошків з олією проходить у товстому шарі, в колонному апараті суспензія олії з відбілюючими агентами рухається вздовж робочих поверхонь у порівняно тонкому шарі.

Для забезпечення **високої якості відбіленої олії** процесом відбілювання необхідно керувати з використанням сучасних алгоритмів та засобів автоматизації. Існуючі системи автоматичного керування (САК) процесом відбілювання не забезпечуть достатньої його ефективності.

Метою першого етапу проведеного дослідження було підвищення ефективності процесу відбілювання соняшникової олії в апараті остаточного відбілювання шляхом підвищення динамічної точності керування процесом. Підвищення ефективності системи автоматичного регулювання (САР) базової структури можливе за рахунок удосконалення її структури на основі врахування особливостей відбілюючого апарату як об'єкта керування (ОК). Це - багатовимірний ОК, у якого чотири регульовані змінні - температура Θ, розрідження ΔP, рівень в відбілюючому апараті L та кольорове число олії після відбілювання $C2$ (рис.1). Керуючі дії, які цілеспрямовано змінюють стан ОК, це відповідно: зміна положення регулюючого органу подачі пари в парову рубашку відбілюючого апарату u_1; подачі парогазової суміші з відбілюючого апарату у вакуум-насос u_3; подачі олії в апарат остаточного відбілювання u_6; подачі олії з відбілюючого апарату на фільтрацію u_2. Оскільки канали ОК мають два перехресні зв'язки, вони негативно впливають на роботу сусідніх контурів регулювання. У цій ситуації, щоб підвищити динамічну точність САР, потрібно максимально зменшити зазначений вплив перехресних каналів. Це досягається введенням в САР двох коригувальних міжрегуляторних зв'язків з такими властивостями, які забезпечують виконання принципу автономності сепаратних САР. Щоб підвищити динамічну точність у другому каналі регулювання, де відносно велике запізнення, запропоновано застосування упереджувача Сміта.

Порівняльний аналіз перехідних процесів у САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності показує покращення динаміки як за прямими показниками якості (максимальне динамічне відхилення, коефіцієнт перерегулювання тощо), так і за інтегральним модульним критерієм.

НТБ ОНТУ

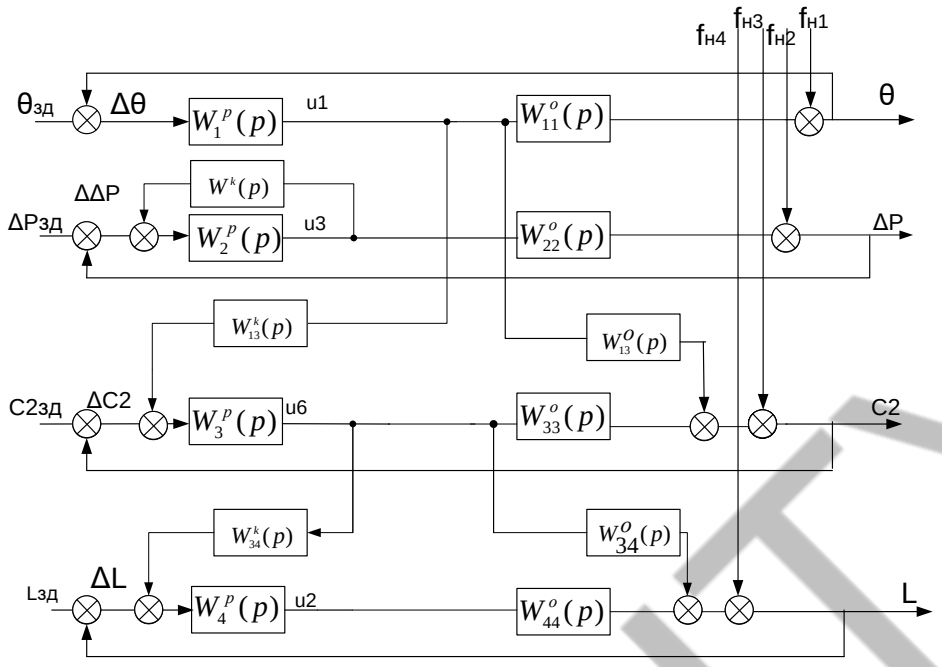


Рисунок 1 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

Θзд, ΔPзд, Lзд, C2зд – задані значення температури, розрідження, рівня в відбілюючому апараті та кольорового числа олії після відбілювання відповідно;
ΔΘ, ΔΔP, ΔL, ΔC2 – помилки регулювання відповідних регульованих змінних;
$W_1^p(p)$, $W_2^p(p)$, $W_3^p(p)$, $W_4^p(p)$ – передатні функції регуляторів,
$W_{13}^k(p)$, $W_{34}^k(p)$, $W^k(p)$ – передатні функції коригувальних зв'язків,
$W_{11}^o(p)$, $W_{22}^o(p)$, $W_{22}^o(p)$, $W_{44}^o(p)$, $W_{13}^o(p)$, $W_{34}^o(p)$ – передатні функції прямих і перехресних каналів ОК;
$f_{н1}$, $f_{н2}$, $f_{н3}$, $f_{н4}$ – вектори неконтрольованих збурень, що діють на ОК

Метою другого етапу дослідження було підвищення ефективності керування відбілюванням розширенням функцій керування шляхом розробки системи гарантуючого керування у тісній взаємодії з САР.

На всі змінні процесу відбілювання їх технологічним та експлуатаційним регламентами накладено обмеження. Обмеженням, дотримання якого є найважливішим в ході всього технологічного процесу, є кольорове число олії після відбілюючого апарату. Олія отримує найкращий товарний вигляд за умови, що кольорове число буде найближчим до верхньої межі регламенту Її порушення призводить до зниження якості олії, аварійних зупинок обладнання, втрат сировини та енергоносіїв. Підвищення кольорового числа олії вище вимоги держстандарту призводить до необхідності його повторного відбілювання. Це спричиняє зниження обсягів виробництва олії та додаткові витрати на енергоресурси.

Але одночасно підприємство-виробник олії зацікавлене вести процес відбілювання на верхній межі його допустимого значення. Виконання при цьому вимог стандартів на кольорове число олії, у разі гарантованого дотримання цього обмеження, підвищує продуктивність технологічного процесу і знижує питомі витрати енергоресурсів на виробництво. А це, у свою чергу, дозволяє в рамках зростання, нехай і ненабагато, прибутку знизити оптові ціни на продукцію і, тим самим, завоювати більший відсоток цього ринку. Збільшення ж обсягів збуту суттєво підвищує прибутки підприємства.

Таким чином, підприємство потрапляє в суперечливу ситуацію: наближення до гранично допустимого значення кольорового числа олії після відбільного апарату підвищує прибуток, але одночасно підвищує ймовірність порушення цього гранично допустимого значення і, пов'язаних з ними, істотно більших, ніж прибуток, втрат. Вирішення цієї суперечності можливе при реалізації в САК процесом відбілювання функції гарантованого дотримання кольоровим числом регламентних обмежень, з наперед заданою ймовірністю.

Такі системи гарантуючого керування (СГК) орієнтовані на тісну взаємодію з іншими системоутворюючими функціями цієї САК (регулювання, оптимізації, адаптації, логічного керування). Тому розробку СГК відбілюючим апаратом проводили для існуючої САР, а саме, реалізовували функцію гарантуючого керування для змінної С2, яка одночасно є регульованою змінною в третьому контурі САР (рис. 2).

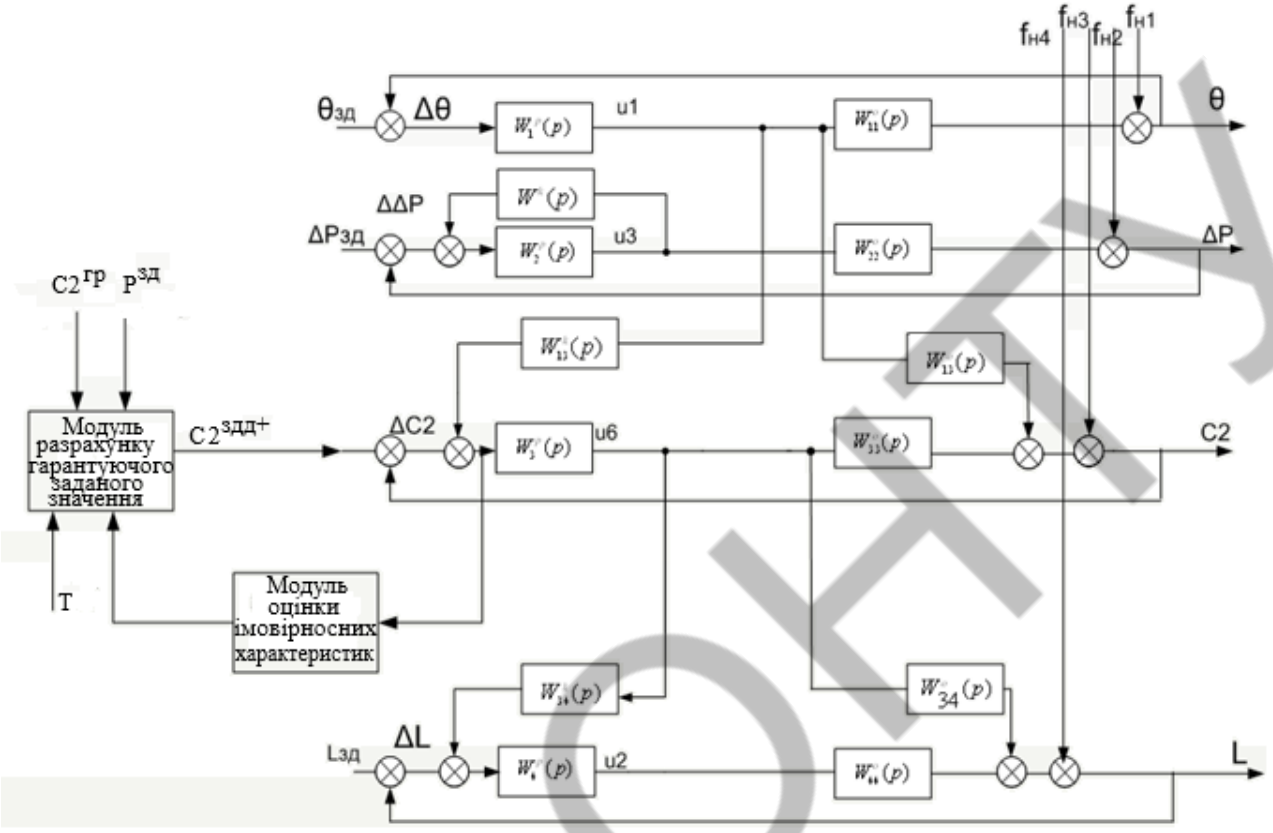


Рисунок 2 – Структурна схема СГК відбілювання соняшникової олії

Взаємодія в СГК всіх її функцій потенційно має підвищити ефективність функції гарантування за рахунок підвищення ефективності функції регулювання завдяки їх синергії. Підвищення ефективності функції регулювання досягли введенням в САР перехресних міжрегуляторних зв'язків, що надало їй властивість автономності контурів регулювання.

Концепція побудови СГК полягає в безперервному оцінюванні на ковзному інтервалі часу поточного значення ймовірності виникнення порушення обмеження та такого коригування режиму роботи ОК, щоб ця ймовірність відповідала наперед заданій ймовірності. Безпосередньо виміряти цю ймовірність неможливо, тому розробляють модель порушення регламенту, яка дозволяє отримати оцінку за оцінками доступних змінних.

Таким чином, функцією гарантуючого керування наростили чотириконтурну САР (рис. 2) і тим самим перейшли від САР до СГК кольоровим числом олії.

Наступним етапом дослідження була розробка імітаційної моделі СГК процесом відбілювання соняшникової олії та її тестування.

Результати моделювання показують, що введення в контур регулювання кольорового числа СГК призводить до того, що навіть в змінних умовах ведення технологічного процесу (змінюються характеристики збурень, що діють на ОК), виконується функція гарантованого дотримання встановленого обмеження,- кольорове число залишається близьким до межі, встановленої регламентом, але не перевищує її, що є неможливим для звичайної САР, у якій за таких умов встановлене обмеження регламенту порушується, і це в реальних умовах призводить до аварійних зупинок процесу. СГК працює ближче до граничного значення кольорового числа, що дає додатковий економічний ефект.

УДК 001.891:[621.355:621.311.61]

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Буряк С. Ю., Гололобова О. А.
(ser.buryak@gmail.com, gololobova_oksana@i.ua)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

В тезах розглядається питання важливості вибору оптимальних режимів навантаження і умов експлуатації літієвих акумуляторів для подовження терміну їх придатності для можливості надання живлення за встановленими нормами.

Найважливішим компонентом і при цьому все ще найслабшою ланкою сучасної електрифікації є компонент накопичення енергії, тобто акумулятор. Особливо це стало відчутно з переходом транспортних засобів на основі двигунів внутрішнього згорання на гібридні та електричні двигуни. Системи виробництва продовжують невпинно ускладнюватись, а ступінь переробки для повторного використання значно знижується. При цьому мова не ведеться навіть про утилізацію. Вироби все далі і далі стають більш складними за устроєм, а тому все частіше поповнюють ряди одноразових, які просто викидають після вживання. Проте, технологічний прогрес надав і продовжує надавати широкий спектр можливостей для людства, сучасної техніки, механізмів і машин і невпинно продовжує збільшувати технічні з одночасним зменшенням фізичних показників носіїв електричної енергії.

В даний час найбільш перспективною технологією накопичення електричної енергії серед хімічних джерел струму в масовому виробництві все більше розглядаються накопичувачі на основі використання літію. При цьому, всі батареї літієвих акумуляторів, що випускаються промисловістю, обов'язково забезпечуються електронними системами контролю та управління, які захищають акумулятори від перезаряду і короткого замикання, забезпечують вирівнювання напруги на послідовно з'єднаних акумуляторах. Ці пристрої мають досить високий ступінь надійності, однак навіть у разі їх відмови акумулятор у складі батареї не повинен становити небезпеки для споживача.

Стандартом Міжнародної електротехнічної комісії [1] встановлено низку випробувань літієвих акумуляторів на безпеку. Одним із найважливіших випробувань є перевірка акумуляторів на стійкість до перезаряду. Відповідно до данного стандарту при проведенні випробування розряджений акумулятор включається на заряд номінальним струмом до загальної набраної ємності, що перевищує номінальну в 2,5 рази. Величина напруги на акумуляторі не обмежується. Під час випробування акумулятор не повинен вибухнути, спалахнути або розгерметизуватися з виділенням диму.

Особливістю акумуляторів на основі літію є неминуче старіння з моменту їх виробництва. Старіння літієвих акумуляторів пов'язане з перебігом низки деградаційних процесів всередині акумулятора [2]. Швидкість перебігу таких процесів залежить не тільки від зовнішніх факторів, а й від режимів експлуатації. Таким чином, підібравши зовнішні фактори та режими експлуатації, можна штучно прискорити деградаційні процеси, що протікають у літієвих акумуляторах. Дане прискорення деградаційних процесів дозволяє проводити прискорені випробування акумуляторів, що, у свою чергу, дозволяє швидше та точніше робити висновок як про працездатність нових видів акумуляторів, так і про тривалість та можливість використання існуючих акумуляторів. І обернено до цього твердження можна припускати, що саме підбір оптимальних зовнішніх факторів і режимів експлуатації дозволить використовувати акумулятори за прямим призначенням не менше усього заявленого виробником терміну експлуатації без будь-якої поза нормової втрати експлуатаційних характеристик.

Найбільш суттєвими факторами, що впливають на швидкість деградації характеристик літієвих акумуляторів, є: температура; напруга; струм; стан заряду та глибина розряду акумуляторів; показники використовуваних матеріалів [3]. Детальне вивчення питання температурного режиму експлуатації показує його високу важливість, оскільки це є єдиний параметр, що відноситься до фактору зовнішнього впливу.

Згідно з одним із механізмів впливу високих температур на характеристики літій-іонних акумуляторів, шар пасивної плівки на аноді літієвого акумулятора (SEI) при високих температурах починає поступово зношуватися, розщеплюватися та розчинятися в електроліті. Дані процеси призводять до того, що активний матеріал анода знову починає контактувати з електролітом і

починається перебіг побічних реакцій. Шар SEI поступово відновлюється, а раніше метастабільні органічні компоненти шару SEI за рахунок більш високих температур перетворюються на стабільні неорганічні молекули, які є більш стабільними та менш пористими. Крім того, можливе часткове розчинення катода в електроліті з включенням активних частинок шару SEI. В результаті перебігу цих процесів інтеркаляція на аноді стає утрудненою та знижується іонна провідність. Інший механізм впливу високих температур пов'язані з деформацією анода. Іони літію розчиняються в електроліті, а за більш високих температур швидкість цього процесу збільшується. Можлива навіть інтеркаляція всього розчинника. Все це призводить до деформації та розтріскування анода. Аналогічний процес протікає на катоді та призводить до порушення структури активного матеріалу катода. Крім того, при високих температурах відбувається розкладання електроліту та розкладання сепаратора в електроліті. Після розчинення сепаратора, можливе внутрішнє коротке замикання електродів всередині акумулятора.

При низьких температурах енергія активації, необхідна для протікання хімічних реакцій підвищується, і, отже, для інтеркаляції та деінтеркаляції на електродах потрібно більше кількість енергії, а томутменша кількість іонів літію братиме участь в активному процесі акумуляторів [3]. Зменшення кількості актів інтеркаляції та деінтеркаляції призведе до зниження напруги акумуляторів, а, отже, і до зменшення потужності акумуляторів. Через низьку температуру дифузія іонів літію уповільнюється. В результаті знижуються струми, які здатні забезпечувати акумулятор, що також призводить до втрати потужності. Однак дані ефекти являються тимчасовими та при відновленні нормальних значень температури, ємність та потужність акумуляторів відновлюються.

Під час перезаряду електрична енергія надходить усередину акумулятора, але при цьому інтеркаляція не протікає, що приводить до різкого збільшення внутрішнього опору. Електрична енергія перероблятиметься в тепло і температура акумулятора зросте, що в свою чергу викличе розвиток процесів, які протікають при термічній деградації.

Тому слід ретельно дотримуватися температурних режимів використання літієвих акумуляторів та слідкувати за тим, щоб за увесь час експлуатації акумулятора не було допущено його повного чи часткового перегріву, які можуть виникнути як за умов зовнішнього середовища, так і через неправильне застосування і протікання високих струмів.

Список використаної літератури

[1] Secondary Cells and Batteries Containing Alkaline or Other Non-Acid Electrolytes. IEC Sub Committee 21A/273/INF. 2000.

[2] Samppa Jenu, Ari Hentunen, Jari Haavisto, Mikko Pihlatie, State of health estimation of cycle aged large format lithium-ion cells based on partial charging, Journal of Energy Storage, Volume 46, 2022, https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103855.

[3] Lam, L. A. Practical Circuit-based Model for State of Health Estimation of Li-ion Battery Cells in Electric Vehicles. Delft, Nederland, Faculty Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science Department Electrical Power Engineering Delft University of Thechnology Publ., 2011. 174 p.

УДК 681.5.015

СТАБІЛЬНІСТЬ ТА РОБАСТНІСТЬ ЯДЕРНОГО ПРЕДИКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Воловецький О.О. (ovolovetskyi@gmail.com)
Криворізький національний університет (Україна)

Розглядається проблема забезпечення стабільності та робастності системи предиктивного керування з ядерними моделями для нелінійного процесу магнітної сепарації. Сформульовано та верифіковано теорему про достатні умови асимптотичної стійкості замкнутої системи. Встановлено виняткову робастність до параметричних невизначеностей параметра ядра γ (±30%) та коефіцієнта регуляризації α (±30%) через систематичний

симуляційний аналіз. Запропоновано практичні методи забезпечення гарантованої продуктивності в умовах промислових невизначеностей.

Постановка проблеми. Забезпечення стабільності замкнутої системи керування та її робастності до параметричних невизначеностей становить фундаментальну вимогу для практичного застосування предиктивних регуляторів у технологічних процесах [1]. Для процесу магнітної сепарації ці властивості набувають особливого значення через істотну нелінійність динаміки, нестаціонарність характеристик вихідної сировини та наявність неконтрольованих збурень. Класичні методи аналізу стійкості лінійних систем виявляються недостатніми для нелінійних об'єктів з ядерними моделями, що зумовлює необхідність розробки спеціалізованих підходів до теоретичного обґрунтування властивостей замкнутої системи [2, 3].

Вирішені завдання. У роботі сформульовано та доведено достатні умови асимптотичної стійкості ядерного MPC, проведено систематичний аналіз робастності до невизначеностей параметрів γ та α, розроблено методи забезпечення гарантованої продуктивності через tube-based MPC та виконано експериментальну верифікацію теоретичних результатів на симуляційній моделі процесу.

Суть дослідження.

Умови стійкості замкнутої системи. Теоретична основа аналізу стабільності ядерного предиктивного керування синтезує концепцію функції Ляпунова з принципом рекурентного горизонту оптимізації [2]. Ключова властивість, що забезпечує стійкість, полягає у монотонному зменшенні функції вартості вздовж траєкторій замкнутої системи (1):

$$V^*\big(\boldsymbol{x}(k+1)\big) \le V^*\big(\boldsymbol{x}(k)\big) - \ell\big(\boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{u}^*(k)\big) \quad (1)$$

де V^* — оптимальне значення функції вартості, ℓ — стадійні витрати [4].

Сформульовано теорему про достатні умови стійкості ядерного MPC [5]. Перша умова вимагає стійкої динаміки ядерної моделі: $|\lambda_i| < 1$ для всіх власних чисел лінеаризованої системи. Друга умова визначає достатній горизонт прогнозування (2):

$$N_p \cdot \Delta t \ \ge \ 3\tau_{dom} \quad (2)$$

де τ_{dom} — домінантна часова константа процесу. Третя умова визначає коректну термінальну вагову матриці $\boldsymbol{P}$ як розв'язок рівняння Ріккаті. Четверта умова вимагає, щоб початковий стан належав області притягання.

Верифікація умов для процесу магнітної сепарації. Експериментально визначено домінантну часову константу $\tau_{\mathrm{dom}} \ = \ 5$ хв через ступінчасту зміну магнітної індукції. Аналіз власних чисел лінеаризованої системи показав $|\lambda_{max}| = 0.819 < 1$, що задовольняє першу умову з запасом стійкості 0.181.

Для обраних параметрів $N_p \ = \ 15$ та $\Delta t \ = \ 1$ хв перевірка умови (2) дає:

$$N_p \cdot \Delta t \ = \ 15 \text{ хв} \ \ge \ 3\tau_{dom} = \ 15 \text{ хв}$$

що задовольняє мінімально необхідну вимогу для покриття домінантної динаміки процесу.

Узагальнені результати перевірки всіх умов стійкості для процесу магнітної сепарації представлено в табл. 1. Симуляція траєкторії замкнутої системи протягом 60 хвилин підтвердила асимптотичну стійкість. Система досягла цільового значення $\beta_{Fe} \ = \ 68.5\%$ за час $t_{settle} \ = \ 7$ хв з перерегулюванням лише 0.2%, що підтверджує виконання умови (1).

Табл. 1. Результати перевірки умов стійкості

Параметр	Значення	Умова	Виконання
τ_{dom}	5 хв	—	—
$\lvert\lambda_{\max}\rvert$	0.819	< 1	Так
$N_{\mathrm{p}} \cdot \Delta t$	15 хв	≥ 15 хв	Так
t_{settle}	7 хв	—	—
Перерегулювання	0.2%	—	—

НТБОНТУ

Аналіз робастності до параметричних невизначеностей. Систематичне дослідження впливу невизначеностей параметра ядра γ та коефіцієнта регуляризації α на характеристики замкнутої системи проведено через симуляційні експерименти на основі гаусівських процесів [5].

Кількісні результати аналізу робастності до параметричних невизначеностей систематизовано в табл. 2. Варіювання γ у діапазоні ±30% від номінального значення 0.010 призводить до змін RMSE по β_{Fe} в межах 0.406–0.412%, що становить відносну зміну менше 1.5%. Чутливість системи оцінюється як −0.0001% RMSE на 1% зміни параметра γ, що свідчить про практичну нечутливість. Стійкість системи зберігається у всьому досліджуваному діапазоні.

Табл. 2. Вплив параметричних невизначеностей на якість керування

Параметр	Відхилення RMSE	β_{Fe} (%)	Відносна зміна	Чутливість
γ	±30%	0.406–0.412	< 1.5%	−0.0001%/%
α	±30%	0.381–0.384	< 0.8%	0.00004%/%

Вплив невизначеності коефіцієнта α виявляється ще менш значущим. Варіювання α на ±30% призводить до змін RMSE близько 0.8% з чутливістю 0.00004% на 1% зміни параметра. Це пояснюється тим, що α забезпечує стійкість числового розв'язання на етапі ідентифікації, а після навчання майже не впливає на характер прогнозів.

Фізична інтерпретація робастності полягає в тому, що предиктивний регулятор компенсує локальні помилки моделі через рекурентну оптимізацію на ковзному горизонті та зворотний зв'язок по вимірюваннях [1, 2]. Навіть при песимістичному сценарії з одночасними невизначеностями система зберігає стійкість з погіршенням якості не більше 10%.

Методи забезпечення гарантованої продуктивності. Концепція tube-based MPC забезпечує робастність через розділення номінального та компенсаційного керування [2]. Номінальне керування обчислюється для середніх значень параметрів, тоді як додаткове керування синтезується на основі локального зворотного зв'язку.

Для процесу магнітної сепарації розмір робастної інваріантної множини з еліпсоїдальною апроксимацією становить ±1.5% по β_{Fe} та ±2% по ε, що є прийнятним для промислової практики. Min-max оптимізація формалізує задачу як:

$$min_{\mathrm{U}} max_{\mathrm{w}\in W} J(\boldsymbol{U}, \boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{w})$$

де $\boldsymbol{w}$ — вектор невизначених параметрів [3].

Практична реалізація базується на сценарійній оптимізації з 5-7 характерними сценаріями, що апроксимують континуальну множину невизначеностей при лінійному зростанні обчислювальної складності.

Висновки. У роботі сформульовано та верифіковано теорему про стійкість ядерного MPC з визначенням домінантної часової константи $\tau_{dom} = 5$ хв та запасу стійкості 0.181. Встановлено виняткову робастність до параметричних невизначеностей з чутливістю −0.0001%/% до γ та 0.00004%/% до α. Розроблено методи забезпечення гарантованої продуктивності з розміром робастної інваріантної множини ±1.5% по β_{Fe}. Результати створюють теоретичну основу для промислового впровадження систем ядерного предиктивного керування технологічними процесами.

Практичні рекомендації: вибір горизонту $N_p \cdot \Delta t \geq (3.5–4)\tau_{dom}$ для запасу стійкості, достатні ваги на прирости керувань для робастності до шуму, моніторинг індикаторів якості з порогами 0.8% для середньої помилки.

Список використаної літератури

[1] L. Wang, Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB, London: Springer, 2009.

[2] J. B. Rawlings, D. Q. Mayne, and M. M. Diehl, *Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design*, 2nd ed., Madison: Nob Hill Publishing, 2017.

[3] D. Limon, T. Alamo, F. Salas, and E. F. Camacho, "On the stability of constrained MPC without terminal constraint," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 51, no. 5, pp. 832–836, May 2006.

[4] J. Kocijan, R. Murray-Smith, C. E. Rasmussen, and A. Girard, "Gaussian process model based predictive control," in *Proc. American Control Conference*, Boston, USA, 2004, pp. 2214–2219.
[5] C. E. Rasmussen and C. K. I. Williams, *Gaussian Processes for Machine Learning*, Cambridge: MIT Press, 2006.

УДК 004.052

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ

Волощук Д.О. (ieeefffy@gmail.com**)**
Романюк О.В.(oroman@vntu.edu.ua**)**
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Розглянуто вплив автоматизованого тестування на підвищення надійності програмного забезпечення. Проаналізовано основні інструменти автоматизації та їх роль у зменшенні кількості дефектів і підвищенні стабільності коду, зокрема фреймворки юніт-тестування. Визначено, що впровадження автоматизованих тестів сприяє підвищенню якості та надійності програмних систем, оскільки дає змогу виявляти помилки на ранніх стадіях розробки.

Вступ

Надійність програмного забезпечення (ПЗ) – це здатність системи функціонувати без збоїв у зазначених умовах протягом заданого проміжку часу [1]. У сучасному світі, де швидкість розробки (Agile, DevOps) постійно зростає а програмні системи стають все більш складними, ручне тестування стає вузьким місцем, що не дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності [2].

Актуальність питання підкреслюється тим, що вартість виправлення дефектів зростає експоненціально з переходом до кожної наступної стадії життєвого циклу розробки ПЗ [3]. За даними досліджень, до 53% усіх проєктів завершуються з перевитратами, значною мірою через неефективне виявлення та виправлення помилок [4]. Крім того, розробка сучасного комерційного ПЗ вимагає виконання в середньому від 2 до 10 тисяч тест-кейсів, тоді як команда з п'яти тестувальників може виконати лише 400 до 2000 тест-кейсів у ручному режимі [2].

Автоматизоване тестування виступає необхідним інструментом для швидкого та багаторазового підтвердження якості, що безпосередньо впливає на стійкість кінцевого продукту. Раннє виявлення помилок, яке забезпечує автоматизоване тестування (особливо на рівні модульного тестування), значно знижує вартість виправлення та запобігає потраплянню нестабільного коду у продакшн, що є прямим підвищенням надійності.

Метою дослідження є визначення ключового впливу автоматизованого тестування та відповідних інструментів на підвищення надійності програмного забезпечення.

Вплив автоматизованого тестування на надійність ПЗ

Автоматизоване тестування (АТ) підвищує надійність ПЗ за кількома основними критеріями:

1. Основною перевагою АТ є можливість швидко та багаторазово запускати повний набір регресійних тестів після будь-якої зміни коду. Це критично важливо для великих систем із частими оновленнями, дозволяючи виявити нові дефекти, які виникли через внесення змін до вже працюючого функціоналу, на ранніх етапах розробки.
2. Автоматизовані сценарії можуть виконувати величезну кількість тестових випадків, включаючи граничні та негативні сценарії, які часто ігноруються при ручному тестуванні. Це зменшує «сліпі зони» у системі, підвищуючи її загальну стійкість до непередбачених навантажень чи вхідних даних [5].
3. Автоматизовані тести виконуються однаково кожного разу, усуваючи людський фактор та суб'єктивність, що забезпечує детермінований результат виконання і дозволяє команді довіряти результатам тестування.

4.Застосування технології розробки ПЗ через тестування (TDD), що базується на створенні автоматизованих модульних (юніт) тестів безпосередньо перед написанням коду, дозволяє виявити помилки на ранній стадії розробки [6, 7].

Дослідження показує, що регулярне використання автоматизованих тестів у процесі CI/CD дозволяє знизити частоту відмов на продакшені до 35 % [8].

Роль інструментів автоматизації

Серед основних інструментів, що роблять внесок у підвищення надійності ПЗ, можна виокремити Selenium, JUnit, Postman та Cypress.

Інструмент **Selenium** забезпечує систематичне проведення регресійного тестування після кожної зміни у коді, що зменшує ризик повторного виникнення дефектів. Це особливо важливо для великих систем із частими оновленнями, де навіть незначна помилка може призвести до критичного збою.

JUnit підвищує надійність за рахунок раннього виявлення логічних і функціональних помилок під час модульного тестування. Кожен юніт-тест виконує роль «страхувальної сітки», яка запобігає некоректним змінам у базовій логіці програми. За даними [9], автоматизація модульного тестування підвищує показник стабільності системи на 20–40 %, оскільки більшість помилок усуваються ще на етапі розробки.

У сфері тестування API важливу роль відіграють **Postman** і **REST Assured**, які забезпечують стабільність взаємодії між компонентами системи. Постійна перевірка коректності запитів та відповідей зменшує ймовірність неконсистентних даних і помилок у бізнес-логіці, що безпосередньо впливає на надійність у продуктивному середовищі [10].

Крім того, **Cypress**, завдяки своїй архітектурі «real-time reloading» і автоматичному логуванню, підвищує передбачуваність поведінки веб-застосунків. Це забезпечує раннє виявлення нестабільних компонентів інтерфейсу, які можуть спричиняти збої у користувацьких сценаріях. Таким чином, впровадження автоматизованого тестування не лише оптимізує процес перевірки, а й підвищує надійність програмного забезпечення завдяки:

- систематичному моніторингу працездатності компонентів;
- скороченню часу між виявленням і виправленням дефектів;
- зменшенню кількості непередбачених відмов у релізах;
- стабілізації роботи продукту за рахунок повторюваних тестів.

Результати досліджень свідчать, що комплексне використання автоматизованих інструментів може знизити ймовірність критичних збоїв до 50 % і суттєво підвищити рівень довіри користувачів до програмного продукту [5].

Висновки

Отже, впровадження автоматизованого тестування є не просто бажаною практикою, а необхідністю для досягнення високої надійності сучасного ПЗ. Проаналізовані інструменти та методології дозволяють командам не лише зменшити кількість помилок, але й підвищити загальну стабільність коду та впевненість у кожній новій версії продукту. Таким чином, інвестиції в автоматизоване тестування безпосередньо конвертуються у підвищення якості та довіри до програмних систем.

Комплексне використання автоматизованих інструментів може знизити ймовірність критичних збоїв до 50 % [5] і суттєво підвищити рівень довіри користувачів до програмного продукту. Таким чином, інвестиції в автоматизоване тестування безпосередньо конвертуються у підвищення якості та надійності програмних систем. Для досягнення максимального ефекту, необхідно чітко усвідомлювати загальну стратегію тестування та правильно обирати тест-кейси, які підлягатимуть автоматизації.

Список використаної літератури

1. Якість програмного забезпечення. URL: https://qalight.ua/baza-znaniy/yakist-programnogo-zabezpechennya/ (дата звернення 21.09.2025)

2. Романюк О. В.,Латуша А. В. Аналіз основних проблем автоматизованого тестування програмного забезпечення. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет

конференції «Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ», 9-10 листопада 2021 р. Суми/Вінниця : НІКО/ВНТУ, 2021. С. 174-176.

3. Поморова О.В. Сучасні проблеми оцінювання якості програмного забезпечення / О.В. Поморова, Т. О. Говорущенко // *Радіоелектронні та комп'ютерні програми,* 2013.

4. Мищенко В.О CASE-оцінка критичних програмних систем. / В.О. Мищенко, О.В. Поморова, Т. А. Говорущенко, 2012.

5. Batra M., Singh R. API Testing Automation for Reliable Software Systems. International Journal of Computer Applications, 2021.

6. Ramesh, K., & Ramaprasad, J. Automated Software Testing: A Review of Tools and Techniques. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(3), 150-157.

7. Василевський В. О. Особливості написання юніт-тестів [Електронний ресурс] / В. О. Василевський, О. В. Романюк // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2020), м. Вінниця, 18-29 травня 2020 р. – 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/10573.

8. Murphy Craig. Improving Application Quality Using Test-Driven Development / Craig Murphy. [Електронний ресурс]. – Mode of access http://www.Methodsandtools.coin/archive/ archive.php?id = 20.

9. Kunal Parekh, Dr. Shruti Saxena Automating Regression Testing: Optimizing Efficiency and Coverage in Complex Software Systems, *International Journal of Research Publications and Seminars*, vol. 16, no. 2, pp. 135, Apr.–Jun. 2025.

10. Fraser G., Arcuri A. EvoSuite Automatic Test Suite Generation for Object-Oriented Software. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 2012.

УДК 004.588

ІНТЕГРАЦІЯ SCADA-СИСТЕМ ІЗ РЕЛЯЦІЙНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Галлямов К.С., Красніков І.Л., Левадна О.С.
(Ihor.Krasnikov@khpi.edu.ua, Kyrylo.Halliamov@infiz.khpi.edu.ua, Olha.Levadna@cit.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У тезах обґрунтовується доцільність інтеграції SCADA-систем із реляційними базами даних як основи для поєднання вимог реального часу з масштабованою аналітикою. Показано еволюцію від вбудованих історіанів, оптимізованих під швидкий запис, до відкритої архітектури «гарячого/теплого» контуру: оперативний (PLC/SCADA/HMI) та аналітичний (РБД/TSDB) з асинхронним записом і буферизацією.

Сучасні системи промислової автоматизації розвиваються від автономних локальних систем керування окремими установками до інтегрованих інформаційно-керуючих середовищ, де дані технологічного процесу доступні на всіх рівнях управління. Це зумовлює потребу в інтеграції традиційних SCADA-систем із реляційними базами даних (РБД), що забезпечують єдність технологічного та інформаційного рівнів управління [1].

Перші покоління SCADA-систем базувалися на вбудованих базах даних реального часу (БДРЧ, Real-Time Databases), таких як Wonderware Historian, Siemens WinCC Tag Historian або InTouch Historian. Їх архітектура орієнтувалася на високу швидкодію, надійність і детермінованість часових характеристик. Такі бази забезпечували швидке опитування змінних, мінімальні затримки запису та оптимізацію під циклічне оновлення даних. Це давало змогу реалізувати моніторинг, сигналізацію та керування в режимі реального часу, що було критично важливо для технологічних об’єктів безперервного типу, наприклад у хімічній, енергетичній та харчовій промисловості [2-3].

НТБ ОНТУ

Водночас БДРЧ мали низку обмежень. Вони зберігали дані лише короткий час, не підтримували розширену аналітику та залишали інформацію локалізованою всередині SCADA-середовища, що ускладнювало обмін із зовнішніми системами. Така архітектура відповідала вимогам свого часу, коли основною метою було забезпечення оперативності керування технологічними процесами.

З поширенням концепції «Індустрії 4.0» зросла потреба у наскрізній інтеграції виробничих і бізнес-рівнів, а також у використанні методів прогнозної аналітики та машинного навчання (Machine Learning). Традиційні бази реального часу виявилися надто жорсткими: вони не підтримують стандарт мови структурованих запитів SQL (Structured Query Language), мають фіксовану структуру даних і слабку масштабованість. У результаті сучасні SCADA-системи дедалі частіше поєднуються з реляційними базами даних, які виконують функції довгострокового зберігання, аналітики та інтеграції з корпоративними інформаційними системами [1,4-5].

Реляційні бази даних забезпечують централізоване зберігання великих обсягів історичних даних, транзакційну цілісність (ACID-властивості), підтримку стандартних аналітичних запитів і засобів звітності. Це відкриває можливості для глибокого статистичного аналізу, пошуку кореляцій, побудови прогнозних моделей та оптимізаційних алгоритмів.

Таким чином, інтеграція SCADA з РБД створює підґрунтя для систем підтримки прийняття рішень на основі виробничих даних і формує технічну базу для переходу до інтелектуальних виробництв. Для реалізації такої взаємодії дані системи розподіляються між двома взаємодоповнюючими контурами: оперативним («гарячим»), що охоплює PLC (Programmable Logic Controller), SCADA та HMI (Human–Machine Interface), і аналітичним («теплим»), який реалізовано на реляційних базах даних і відповідає за накопичення даних, агрегування, звітність та інтеграцію з бізнес-системами. Запис у базу даних виконується асинхронно, з проміжною буферизацією, щоб транзакційна активність не впливала на керуючі функції.

Архітектурно інтеграція може реалізовуватися через прямі ODBC/JDBC-з'єднання (Open Database Connectivity / Java Database Connectivity — стандартизовані способи доступу до баз даних), проміжні шлюзи даних або системи історизації. Прямі з'єднання забезпечують швидкий доступ до даних, а проміжні компоненти додають надійність, універсальність і попередню обробку даних. Водночас така інтеграція потребує ретельного проектування, оскільки прямі транзакційні запити можуть створювати навантаження, що конфліктує з детермінованістю реального часу; для мінімізації впливу використовуються буферизація та асинхронний запис [8-9].

Поділ на «гарячий» та «теплий» контури дозволяє одночасно забезпечувати високопріоритетне оперативне керування технологічним процесом та накопичення великих обсягів даних для аналітики, прогнозування і побудови систем підтримки прийняття рішень, не порушуючи критичних часових характеристик. «Гарячий» контур виконує моніторинг, сигналізацію та керування в реальному часі, тоді як «теплий» контур забезпечує масштабовану аналітику, генерацію звітів та інтеграцію з корпоративними системами.

Сучасні платформи промислової автоматизації, зокрема Ignition від Inductive Automation, AVEVA System Platform та Siemens WinCC Unified, демонструють практичну реалізацію архітектури «гарячий»/«теплий» контур. Ignition об'єднує функції SCADA, MES (Manufacturing Execution System), шлюзу IIoT та панелі керування в єдиному середовищі. Платформа підтримує двосторонню взаємодію з реляційними базами даних (MySQL, PostgreSQL, Oracle, MS SQL) через стандартні JDBC-драйвери, дозволяючи не лише записувати історичні дані, а й використовувати SQL-запити для динамічного управління конфігурацією HMI, запуску скриптів та формування складних аналітичних звітів без додаткового програмного забезпечення [2-3, 8-9].

У контексті наявних рішень на ринку доречно порівняти запропонований підхід із традиційними конфігураціями на базі «закритих» історіанів та вендорських аналітичних надбудов. Порівняно з традиційною моделлю «закритого історіана» підхід із використанням реляційних баз даних знімає обмеження щодо структурування та повторного використання даних. Історіани добре оптимізовані під швидкий запис часових рядів і базові агрегації, однак вони, як правило, мають обмежені можливості складних обчислень, міжпроцесних зв'язків та інтеграції з корпоративними системами на рівні даних. РБД, навпаки, забезпечують відкриті інтерфейси, прозорі моделі, стандартний SQL і розвинені інструменти оптимізації запитів, що спрощує побудову наскрізної звітності та повторюваних аналітичних сценаріїв без додаткових «прокладок» і конвертацій.

На відміну від «вендорських» надбудов для аналітики й MES, які часто орієнтовані на конкретну платформу і несумісні між собою, архітектура з РБД мінімізує ризики прив'язки до постачальника. Вона дозволяє еволюційно замінювати компоненти (SCADA, брокер подій, інструменти BI) без міграції критичних даних, оскільки дані зберігаються у стандартизованій, документованій схемі. Це зменшує сукупну вартість володіння (TCO) у довгостроковій перспективі і підвищує інвестиційну стійкість рішення.

Додатковою перевагою є управління якістю даних та єдині визначення показників (словник KPI). Коли SCADA виконує лише оперативні функції, а обчислення KPI переносяться на рівень БД, з'являється можливість централізовано фіксувати формули, діапазони валідності, правила агрегації та зміни у часі (аудит). Це зменшує методологічні розбіжності між підрозділами, прискорює узгодження звітності та підвищує довіру до прийнятих рішень, скорочуючи залежність від «ручних» Excel-звітів і одноразових скриптів у проєктах SCADA.

З позицій експлуатації інтеграція SCADA з реляційними базами даних забезпечує кращу масштабованість і контроль продуктивності. Використання партиціювання таблиць за часом, індексування за полями time, tag_id, batch_id, матеріалізованих подань і механізмів кешування підтримує стабільний час відповіді на аналітичні запити навіть при збільшенні обсягів даних. Асинхронний запис із буферизацією (Store & Forward) ізолює контур керування від транзакційного навантаження, а структуровані політики резервування та реплікації підвищують готовність системи до відмов. У порівнянні з моноцентричними історіанами це спрощує горизонтальне масштабування та балансування навантаження між вузлами.

Водночас запропонований підхід вимагає дисципліни керування даними. Для збереження переваг відкритості необхідна чітка канонічна модель сигналів, подій, партій, змін, обладнання та тегів, правила ідентифікації та ідемпотентного запису, а також узгоджена семантика часу (перевага event-time, синхронізація годинників у критичних сегментах). Упорядкованість метаданих забезпечує передбачувану роботу стандартного інструментарію РБД та відтворюваність розрахунків.

Отже, інтеграція SCADA-систем із реляційними базами даних є необхідною умовою переходу до інтелектуальних виробничих систем. Вона забезпечує збереження властивостей реального часу, надійність керування технологічними процесами, можливість масштабної аналітики та створює базу для цифрової трансформації підприємства. Платформи на кшталт Ignition демонструють практичну реалізацію принципів Індустрії 4.0, стираючи технологічні та організаційні бар'єри і формуючи єдине інформаційне середовище підприємства [1, 4-5].

Список використаної літератури

[1] International Society of Automation (ISA), "ISA-95 Standard: Enterprise-Control System Integration." [Online]. Available: https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-95-standard. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[2] Siemens, Configuring Logging for SIMATIC WinCC Unified Systems, V1.0, 2022. [PDF]. Available:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109782859/109782859_WinCC_Unified_Logging_DOC_V1.0_EN.pdf. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[3] AVEVA, AVEVA™ Historian — 2023 R2, 2024. [PDF]. Available: https://docs-be.aveva.com/bundle/sp-historian-2023-r2/raw/resource/enus/sp-historian-2023-r2.pdf. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[4] D. Lu, K. Wang, Y. Wang, and Y. Shen, "The Proposal and Validation of a Distributed Real-Time Data Management Framework Based on Edge Computing with OPC Unified Architecture and Kafka," Applied Sciences, vol. 15, no. 12, art. 6862, 2025. doi: 10.3390/app15126862.

[5] B. Shah, P. M. Jat, and K. Sashidhar, "Performance Study of Time Series Databases," arXiv preprint arXiv:2208.13982, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2208.13982. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[6] J. Mostafa, S. Wehbi, S. Chilingaryan, and A. Kopmann, "SciTS: A Benchmark for Time-Series Databases in Scientific Experiments and Industrial Internet of Things," arXiv preprint arXiv:2204.09795, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2204.09795. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[7] IEEE Standards Association, IEEE 1588-2019 -— Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2019. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/1588-2019.html. [Accessed: Oct. 19, 2025].

[8] Inductive Automation, “Tag Historian,” Ignition User Manual 8.1. [Online]. Available: https://www.docs.inductiveautomation.com/docs/8.1/ignition-modules/tag-historian. [Accessed: Oct. 19, 2025].
[9] Inductive Automation, “Store and Forward,” Ignition User Manual 8.1. [Online]. Available: https://www.docs.inductiveautomation.com/docs/8.1/platform/database-connections/store-and-forward. [Accessed: Oct. 19, 2025].

УДК 621.314.57

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З МАСИВНИМ ФЕРОМАГНІТНИМ РОТОРОМ

Голощапов С.С. (goloschapov46@gmail.com)
Херсонська державна морська академія (Україна)

У тезах розглядаються розрахунок глибини проникнення електромагнітного поля та пов'язані з цим питання конструювання роторів асинхронних двигунів з масивним феромагнітним ротором, наведено розрахунок активної товщини спинки ротора, сформульовані рекомендації щодо вибору параметрів ротора залежно від вимог до пускових характеристик двигуна.

Введення. Перевагами асинхронних двигунів (АД) з масивними роторами в порівнянні зі звичайними короткозамкненими є висока кратність пускового моменту з одночасним зниженням пускового струму, підвищена міцність ротора, що дозволяє істотно підвищити робочі швидкості двигуна і знизити пікове навантаження на суднову електростанцію при частих пусках і реверсах, властивих судновим підйомним механізмам.

Однак такі двигуни, порівняно з традиційними, мають відносно низькі енергетичні показники – к.к.д. і $\cos\varphi$, що перешкоджає їх широкому використанню.

Актуальність. Багато сучасних електроприводів суднового обладнання (брашпілі, якірно-швартові пристрої, вантажні лебідки тощо) часто вимагають від двигунів покращених пускових характеристик. У той самий час, у зв'язку з короткочасним режимом роботи, не обов'язковими є високі експлуатаційні параметри: к.к.д. та $\cos\varphi$. Таким вимогам відповідає асинхронний двигун із масивним ротором, схема заміщення якого представлена на рис.1.

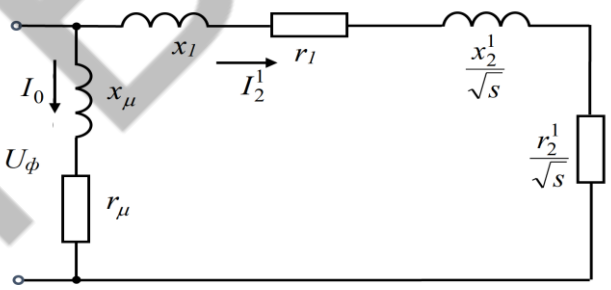


Рис.1 Схема заміщення АД із масивним ротором:
x_1 і r_1 – індуктивний та активний опір обмотки статора, x_μ - індуктивний опір, еквівалентний робочому потоку, r_μ - активний опір, еквівалентний втратам у сталі, x_2^1 і r_2^1 - наведені параметри масивного ротора, s – ковзання, U_ϕ - фазна напруга.

При проектуванні такого двигуна часто виникає питання, наскільки глибоко проникає електромагнітне поле вглиб тіла ротора як у пусковому, так і в робочому режимах, тобто якою є активна товщина ротора і якою повинна бути мінімальна величина спинки ротора і його оптимальна конструкція. У сучасній літературі через обмежене застосування таких двигунів цим питанням приділяється недостатня увага, тому метою дійсної роботи є часткове заповнення пропуску інформації щодо двигунів такого типу.

Основна частина. Відомо [1], що максимальна індукція знаходиться на поверхні масивного ротора. При віддаленні від поверхні вона меншає експоненційно і на деякій глибині стає менше в *e* раз. Ця глибина називається товщиною скін-шару.

Відповідно до [1] товщина скін-шару дорівнює

$$\Delta_c = c\sqrt{2\frac{\varepsilon_0}{\omega\mu_m}\rho} = 503\sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}},$$

тут: с – швидкість світла, ε_0 - діелектрична стала, ρ - питомий опір, f – лінійна частота, $\omega = 2\pi f$, μ_m - відносна магнітна проникність.

При досить великій частоті товщина скін-шару може бути дуже малою. З експоненційного зменшення індукції і наведеної нею щільності струму випливає, що майже весь струм зосереджений у шарі завтовшки кілька Δ_c. Так, зменшення щільності струму в 100 разів відбувається на глибині , якщо загальна товщина спинки ротора багаторазово перевищує товщину скін-шару (табл.1). Згідно з літературними даними [2], товщина скін-шару в масивному феромагнітному роторі при частоті 50 Гц (пусковий режим) становить 1-3 мм. Приймемо товщину скін-шару при пуску 2 мм і розрахуємо величину зменшення індукції поля від глибини проникнення в тіло ротора в частках

Таблиця1. Залежність зменшення індукції від глибини проникнення поля у значеннях

Зменшення індукції, разів	5	10	20	50	100	200
Глибина в	1,61	2,3	3	3,91	4,605	5,3

З наведеної таблиці слідує, що, якщо задатися втратою робочого потоку при пуску 5%, тобто. зменшенням індукції до 20 разів, задовільна з погляду пускового моменту товщина спинки ротора становитиме 3·2 = 6 мм.

Але товщина скін-шару також залежить від частоти (ковзання ротора двигуна) і пропорційна $1/\sqrt{f}$ [1].

Для нашого випадку глибина проникнення поля в тіло ротора в залежності від ковзання визначається залежністю $\Delta = 6/\sqrt{s}$. Розрахунок величини цієї глибини для низки ковзань представлений у табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність глибини проникнення поля в тіло ротора від ковзання

s	0,02	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,7	1
$\Delta = 6/\sqrt{s}$	42,4	26,8	19	15,5	12	8,49	7,17	6

Зважаючи на те, що прийнятний момент двигун з масивним ротором розвиває при ковзаннях близько 10%, отримуємо, що товщина спинки ротора з точки зору робочого моменту повинна становити 19 мм. При цьому сам ротор повинен мати форму масивної феромагнітної склянки із товщиною стінки 18÷20 мм. Така конструкція ротора крім забезпечення високих динамічних показників в електромагнітному відношенні дозволить значно знизити момент інерції, що також позитивно позначається на його динамічних параметрах в цілому. А оскільки поле всередині ротора відсутнє, немає необхідності у внутрішньому феромагнітному статорі, який зазвичай присутній у двигунах з порожнистим ротором. Останнє дозволяє суттєво знизити вагу та матеріаломісткість машини в цілому.

Спроби покращити енергетичні параметри двигуна (к.п.д. і $\cos\varphi$) у робочому режимі шляхом обміднення ротора [3] неминуче призводять до зміни його пускових характеристик: підвищення пускового моменту, але з одночасним підвищенням пускового струму. Тому, якщо стоїть питання про мінімальний вплив під час пуску і реверсу на відносно слабку суднову електростанцію, слід віддати перевагу двигуну з масивним феромагнітним ротором без обміднення.

Висновки. Наведені аналіз роботи та методика дозволяють розрахувати величину активної частини ротора, що бере участь у створенні робочого моменту машини. З цих розрахунків визначено оптимальна форма ротора. Надано рекомендації щодо вибору параметрів ротора залежно від вимог до пускових характеристик двигуна.

Список використаної літератури

1. Голощапов С.С., Іщенко І.М., Тимофеєв К.В. Розрахунок асинхронного короткозамкненого двигуна з двошаровим ротором: Вісник Херсонської державної морської академії №1-2(18-19). С 108-114.
2. Постніков І.М. Проектування електричних машин: Київ, 1960. 910 с.
3. Іщенко І.М., Голощапов С.С. Розрахунок асинхронного двигуна з обмідненим масивним феромагнітним ротором: Вісник Херсонської державної морської академії №1(16), С.144-149.

УДК 004.896:[005.932:664.6]

ВДОСКОНАЛЕННЯ ДОСТАВКИ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПОПЕРЕДНЬОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ КЛІЄНТІВ

Готопіло Б.В., Жигайло О.М
. (gotopilobogdan2017@gmail.com, Dr_jam2006@ukr.net)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглянуто шляхи вирішення задачі оптимізації маршрутів доставки хлібобулочних виробів методами машинного навчання. Проаналізовано обчислювальну складність задачі оптимізації. На основі літературного огляду розглянуто класичні та сучасні підходи до оптимізації маршрутів. Дослідження демонструють, що гібридні методи є найперспективнішими для підвищення ефективності логістики в умовах воєнного стану. Запропоновано підхід до оптимізації маршрутів, що передбачає попереднє розподілення точок доставки на кластери для зменшення розмірності вихідної задачі.

Класична задача комівояжера (Traveling salesman problem – TSP), що виникла з практичних потреб торгівлі, є фундаментальною для сучасної логістики. Актуальність вирішення цієї задачі посилюється в умовах доставки товарів з обмеженим терміном придатності, таких як хліб, що потребує доставки в ранкові години, до відкриття торгівельних точок. Це перетворює задачу TSP на значно складнішу задачу маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW).

В умовах війни в Україні проблема доставки хлібу додатково ускладнюється зруйнованою інфраструктурою, блокуванням маршрутів та високою невизначеністю. Класичні алгоритми маршрутизації (алгоритм Дейкстри, метод гілок та меж, тощо) забезпечують оптимальні рішення для статичних задач, але потребують повного перерахунку при зміні умов, що призводить до затримок та зниження ефективності доставки.

Задача VRPTW належить до класу NP-повних задач, що означає експоненційне зростання часу розрахунку зі збільшенням розмірності. Фундаментальна складність задачі полягає в комбінаторному характері простору можливих рішень, який описується факторіальною залежністю O(n!) (рис. 1) [1].

У реальних умовах доставки між будь-якими двома точками може існувати кілька альтернативних маршрутів, що значно ускладнює задачу. Наприклад, при 15 точках доставки, де між кожною парою точок існує в середньому 3-5 варіантів проїзду, загальна кількість комбінацій перевищує $1,3 \times 10^{12}$ можливих маршрутів. Для 20 точок ця кількість зростає до $2,4 \times 10^{18}$ варіантів, враховуючи різні послідовності відвідування точок та альтернативні шляхи між ними.

Такий експоненційний характер зростання складності призводить до того, що вже для 66 точок задача стає трансобчислювальною. Ця обчислювальна складність робить традиційні методи оптимізації неефективними для реальних завдань логістики, що обумовлює необхідність розробки спеціалізованих алгоритмів, здатних знаходити близькі до оптимальних рішення за прийнятний час.

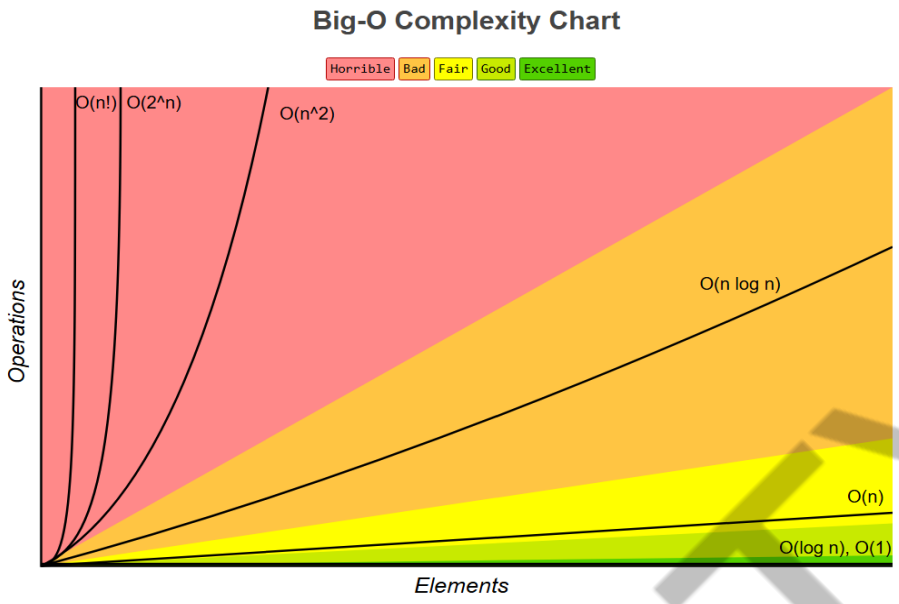


Рисунок 1 – Графік росту обчислювальної складності

Для подолання цієї експоненційної складності дослідницькою спільнотою було розроблено низку підходів, які умовно поділяють на дві категорії. Першу складають евристичні алгоритми, орієнтовані на локальне покращення рішень, тоді як до другої належать метаевристичні підходи, що реалізують стратегії глобального пошуку в просторі рішень.

Подальший розвиток методології оптимізації маршрутів призвів до появи підходів, що повністю базуються на машинному навчанні (Machine learning – ML). Особливо значущим стало дослідження [2], в якому запропоновано модель на основі механізму уваги (attention mechanism), яка здатна безпосередньо генерувати маршрути для оптимізаційних задач. Результати показали, що такий підхід забезпечує якість рішень, порівняну з сучасними евристичними методами, зокрема Google OR-Tools, при цьому суттєво виграючи у швидкості отримання результату після завершення навчання моделі.

Проте подальші роботи, зокрема дослідження [3], виявили певні обмеження суто машинно-орієнтованих методів, особливо при роботі з масштабними задачами (понад 1000 точок) та складними обмеженнями. Це стимулювало розвиток гібридних підходів, у яких машинне навчання не заміщує, а підсилює класичні алгоритми. У такій системі ML-модель може оперативно визначати перспективні напрямки пошуку або формувати високоякісне початкове рішення, яке далі вдосконалюється традиційним оптимізаційним солвером. Згідно з результатами [3], запропонований гібридний метод «навчання делегувати» (Learning to Delegate), яке забезпечує десяти-стократне прискорення роботи для великомасштабних задач, ефективно поєднуючи оперативність машинного навчання з точністю класичних методів оптимізації.

Аналіз сучасних гібридних методів виявив спільну особливість: ефективність таких підходів значною мірою залежить від якості початкового розбиття задачі на підзадачі. Зокрема, у методі, розглянутому в статті «Learning to Delegate», ML-модель використовується для визначення перспективних підзадач, які потім оптимізуються класичними солверами.

Запропоновано підхід, що інтегрує кластерний аналіз для попереднього визначення напрямків доставки з подальшою оптимізацією маршрутів у межах кожного кластера, аналогічно до ролі моделі машинного навчання в методі, розглянутому в статті «Learning to Delegate», де інтелектуальна декомпозиція визначає ефективні підзадачі для розв'язання. Етап кластеризації забезпечуватиме групування точок доставки за географічною близькістю з використанням кластерних алгоритмів (наприклад, K-means або DBSCAN), тоді як часові вікна, пріоритетність клієнтів та інші обмеження враховуються на етапах подальшої оптимізації. Передбачається, що такий метод зменшить обчислювальну складність за рахунок зменшення розмірності задачі, перетворюючи глобальну комбінаторну проблему на набір незалежних локальних підзадач, що дозволяє досягти близьких до оптимальних рішень у прийнятний час [4].

Висновок

Проведений аналіз підтвердив, що класичні алгоритми оптимізації, незважаючи на

гарантовану оптимальність рішень, є непрактичними для вирішення задач маршрутизації транспортних засобів у реальному масштабі через експоненційний характер зростання обчислювальної складності.

Метаевристичні підходи, такі як генетичні алгоритми та мурашині алгоритми, демонструють обмежену ефективність в умовах динамічної зміни параметрів доставки. Сучасні дослідження свідчать про перспективність використання методів машинного навчання для подолання обмежень обчислювальної складності. Гібридні підходи, що поєднують ML-моделі з класичними оптимізаційними алгоритмами, демонструють значне покращення ефективності.

Запропоновано використання попередньої кластеризації точок доставки для зменшення розмірності задачі оптимізації маршрутів. Групування точок доставки за географічною близькістю створює передумови для більш ефективного планування маршрутів.

Список використаної літератури

1. Big O Notation – Why it matters and why it doesn't [Електронний ресурс] // Офіційний сайт організації «freeCodeCamp». – 2024. – Режим доступу: https://www.freecodecamp.org/news/big-o-notation-why-it-matters-and-why-it-doesnt-1674cfa8a23c/ (дата звернення: 16.10.2025).
2. Kool W. Attention, Learn to Solve Routing Problems! / W. Kool, H. van Hoof, M. Welling // Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2019. – 15 p. – URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.08475.
3. Li S. Learning to Delegate for Large-scale Vehicle Routing / S. Li, Z. Yan, C. Wu // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2021. – pp. 1-33. – URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.04139.
4. Готопіло Б.В., Жигайло О.М. Оптимізація доставки при управлінні розподілом лікарських препаратів // Зб. тез допов. 84 наук. конф. викл. ОНТУ. – Одеса, 2024. – С. 167-168. – URL: https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/28170.

УДК 681.518.22

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

Григоренко І.В., Лашков А.Г.
(Ihor.Hryhorenko@khpi.edu.ua, Andrii.Lashkov@infiz.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

В тезах розглядається розробка інформаційно-вимірювальної системи для технологічного процесу виготовлення макаронних виробів. Актуальність використання системи на підприємствах харчової промисловості. Наведено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи. Запропоновано елементну базу для її реалізації. Висновок відповідає на питання актуальності використання розробленої системи для підвищення точності та вірогідності контролю технологічного процесу виготовлення макаронних виробів.

Підвищення точності вимірювань та вірогідності контролю метрологічного стану технологічного обладнання – це комплексне науково-практичне завдання, рішення якого залежить як від підвищення точності перетворень первинної інформації, так і від правильності вибору адекватної імовірнісної моделі контрольованого параметра. На Рис. 1 представлена структурна схема розробленої ІВС для виробництва макаронних виробів.

НТБ ОНТУ

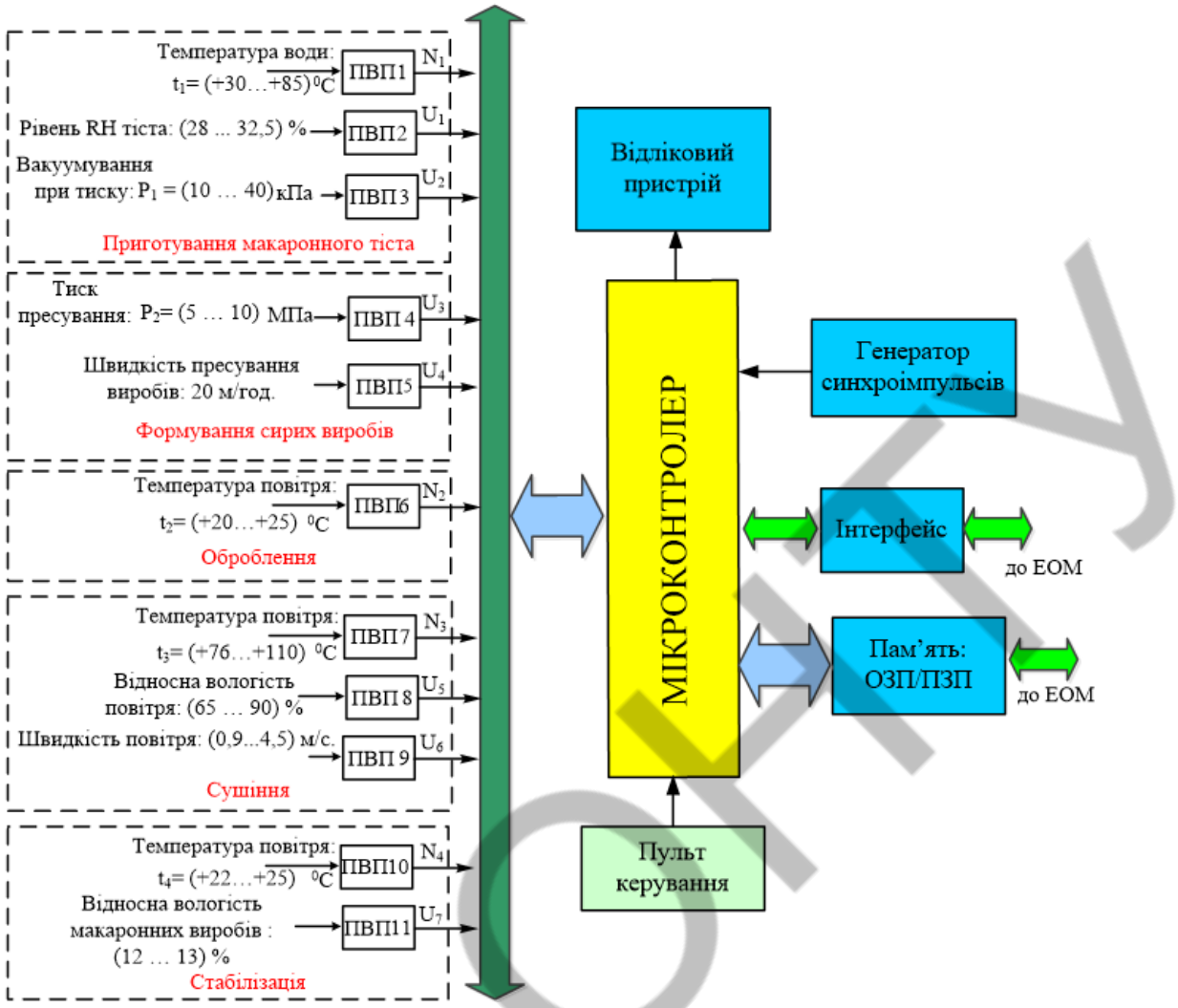


Рис. 1 - Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Проблема забезпечення високої якості макаронних виробів цікавить вчених з різних країн світу [1 – 3], *оскільки* макарони, або паста є загальноприйнятим продуктом харчування у всьому світі [3]. *Одержати достовірну інформацію від технологічного процесу можливо лише завдяки застосуванню ІВС, що використовує сучасну високоякісну елементну базу.*

Представлена на Рис. 1 ІВС охоплює п'ять основних ділянок технологічного процесу (ТП). На етапі приготування макаронного тіста виконуються три операції: дозування компонентів, замішування тіста та підготовка до формування. При цьому необхідно контролювати температуру води у діапазоні від + 30 до + 85 ^{0}C в залежності від того який саме заміс використовується при виробництві: холодний заміс тіста – температура води до 30 ^{0}C; теплий заміс – температура води (+55 … +65) ^{0}C, а температура тіста при цьому змінюється у діапазоні (+35 … +40) ^{0}C; гарячий заміс – температура води 75 – 85 ^{0}C, а температура тіста не більша за +55 ^{0}C. Оскільки температура не перевищує + 125 ^{0}C, то доцільно використовувати для її вимірювання напівпровідниковий датчик DS18B20-3M-TUBE-IP67, який є первинним *вимірювальним перетворювачем ПВП 1. На всіх інших етапах ТП використані датчики такої ж моделі і позначені на Рис. 1 як ПВП 6, ПВП 7, ПВП 10. У якості датчика контролю вологості тіста (ПВП 2) використано універсальний вологомір* FIZEPR-SW100.11. Для контролю тиску у діапазоні (10 … 40) кПа при вакуумуванні використано датчик тиску (ПВП 3) APZ3420s, який забезпечує відносну похибку вимірювання 0,25 %.

На етапі формування сирих виробів потрібно контролювати тиск пресування у діапазоні (5 …10) МПа та швидкість пресування виробів 20 м/год. Для вимірювання рівню тиску використано датчик тиску (ПВП 4) APZ 3420s. Для вимірювання швидкість пресування виробів використано оптичний інкрементальний енкодер SPLC-SEN-HY-38P6-L5AR-1000 (ПВП 5), що має **вихід**: RS422 (DC 5 В) – ідеальний для використання разом із мікропроцесорами STM32 та

ATmega16, бо легко інтегрується з таймерами STM32 (режим енкодера) або зовнішніми перериваннями ATmega16.

На етапі сушіння макаронних виробів вимірюється сукупність параметрів сушильного повітря: температура, відносна вологість, швидкістю повітря, а також тривалість сушіння. Для вимірювання відносної вологості повітря обрано SHT31 (ПВП 8), який має точність вимірювання до ± 1,5 % і є сумісним з STM32 (через HAL I2C) та ATmega16 (через TWI). Для контролю швидкості повітря у діапазоні (0,9...4,5) м/с використано п'єзорезистивний диференціальний аналоговий датчик тиску MPXV7002 (ПВП 9), що є сумісним через АЦП з STM32 / ATmega16.

На етапі стабілізації вологість макаронних виробів контролює мікрохвильовий датчик Hydronix (Hydro-Mix XT) (ПВП 11). *У якості мікропроцесора використано* STM32. Для передачі даних до електронної обчислювальної машини (ЕОМ) та програмування мікропроцесора використано інтерфейс RS 485. У якості *відлікового пристрою використано* цифровим модулем на контролері HD44780 виробництва Hitachi.

Використання розробленої ІВС на основі сучасних високоточних датчиків і потужного мікропроцесора STM32 дає можливість *підвищити точність вимірювань параметрів ТП та вірогідність контролю виготовлення макаронних виробів.*

Список використаної літератури

[1] Iacovino, S., Garzon, R., Rosell, C.M. et al. Evaluation of the Technological Performance of Soft Wheat Flours for Fresh-Pasta Production as Affected by Industrial Refining Degree. Food Bioprocess Technol 18, 2854–2866 (2025). https://doi.org/10.1007/s11947-024-03638-z.

[2] Varsha, L., Sudheesh, C., Sunooj, K.V. (2025). Technology of Pasta Making. In: Sharma, S., Sharma, R., Gupta, A., Bobade, H. (eds) Advances in Pasta Technology. Springer, Cham. pp 43-63 https://doi.org/10.1007/978-3-031-84497-3_3.

[3] Luca MI, Ungureanu-Iuga M, Batariuc A, Mironeasa S. Physical Characteristics of Durum Wheat Dough and Pasta with Different Carrot Pomace Varieties. Gels. 2025; 11(7):481. https://doi.org/10.3390/gels11070481

УДК 004.942

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ХЛОРОФІЛ ФЛУОРОМЕТРІВ

Груша В.М, Вороненко О.В..
(vhrusha@gmail.com, oleksandr.voronenko@dci.kiev.ua)
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)

В тезах описано перспективи використання явища індукції флуоресценції хлорофілу з метою автоматизації біологічних та сільськогосподарських досліджень та подані основні підходи до аналізу даних вимірювань хлорофіл-флуорометрів з використанням статистичних методів та методів машинного навчання.

Індукція флуоресценції хлорофілу (ІФХ) – це метод дослідження фотосинтетичної активності рослин, який базується на вимірюванні світіння (флуоресценції), що випромінюється молекулами хлорофілу *a* у процесі збудження світлом. Переважно збудження відбувається у синьому спектрі світла, а вимірювання флуоресценції у червоному спектрі світла. Отримана крива ІФХ також носить назву крива Каутського.

Розглянемо основне застосування методу ІФХ, особливості вимірювання та підходи до аналізу даних вимірювання ІФХ.

Індукція флуоресценції хлорофілу – потужний неінвазійний та швидкий індикатор стану фотосинтетичного апарату, який має широке застосування:

1. Агробіологія та рослинництво:

– оцінка фотосинтетичної ефективності посівів;

– виявлення стресу рослин (посуха, засолення, дефіцит поживних речовин, патогени);

– оптимізація режимів зрошення та внесення добрив;
– моніторинг стану рослин у теплицях і на полях.
2. Екологічний моніторинг:
– контроль забруднення повітря, ґрунту та води, яке впливає на фотосинтез;
– біоіндикація стресових факторів навколишнього середовища.
3. Фізіологічні та біохімічні дослідження:
– аналіз функціонального стану фотосистем I і II;
– вивчення адаптаційних реакцій рослин до змін освітлення, температури, вологості тощо.
4. Селекція та біотехнологія:
– відбір стресостійких сортів рослин.
– оцінка ефективності генетичних модифікацій, спрямованих на підвищення фотосинтетичної активності.

Зараз явище ІФХ широко використовується у наукових дослідженнях, про що свідчить зростання кількості публікацій, як у вітчизняних так і зарубіжних виданнях, проте в сфері практичного використання з метою прийняття управлінського рішення щодо подальшого поводження з рослинами в сільському господарстві, застосування методу має ряд проблем. Перша – це біологічна варіабельність рослинних об'єктів. Різні види та сорти рослин мають відмінну флуоресценцію[1]. Також флуоресценція залежить від великої кількості факторів різної природи, вплив яких потребує детального вивчення для кожного сорту рослин. Це потребує набору великої кількості вимірювань, особливо це стосується використання методів машинного навчання, як то нейронні мережі. Час проведення експерименту можна обчислити за формулою:

$$t_e = \frac{\sum_{i=1}^{N}(t_{ad} + t_m + t_{pr})}{N_s}$$

де t_e – час отримання експериментальних даних; N – кількість необхідних вимірювань; t_{ad} – час темнової адаптації листа; t_{pr} – час підготовки до проведення наступного вимірювання; t_m – час вимірювання кривої ІФХ, N_s – кількість наявних сенсорів (приладів).

Для вимірювання ІФХ використовуються спеціальні прилади – флуорометри. В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблено сімейство приладів для вимірювання ІФХ, що зображено на рис 1 та 2.

Різниця між флуорометрами полягає в ширині спектру вимірювання ІФХ та освітлення. Так, прилад «Флоратест» вимірює ІФХ в смузі 670–770 нм, FLS – від 600 нм до 1000 нм. Також у світлодіодів «FLS» більша яскравість. Результати експериментів свідчать, що «FLS» флуорометр показує більш кращу статистичну різницю в ІФХ між дослідними групами рослин, що означає, що він краще підходить для практичного використання в прецезійному землеробстві.

Рис. 1. Прилад сімейства «Флоратест» [2]

Рис. 2. Дослідний флуорометр Flora Life Sense FLS 10s [3]

Переважно аналіз ІФХ включає оцінку основних показники ІФХ як то F_0 (мінімальна флуоресценція), F_m (максимальна флуоресценція), $F_v = F_m - F_0$ – змінна флуоресценція, F_v/F_m, тощо. (рис .3).

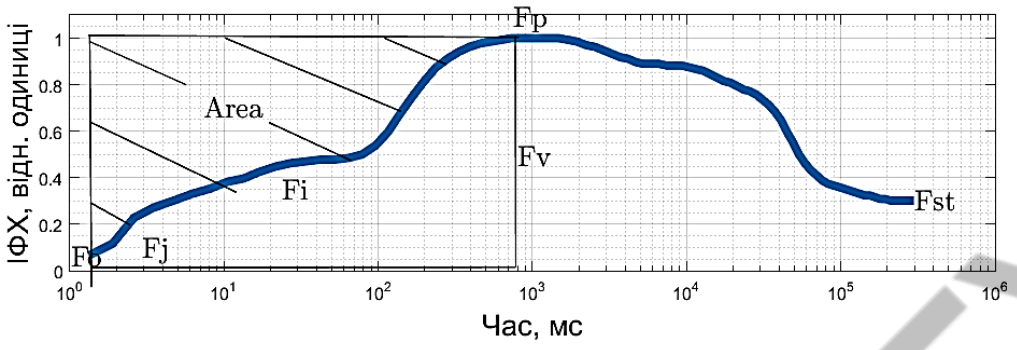


Рис. 3. Крива ІФХ (логарифмічна шкала) та її основні геометричні параметри

Аналіз різниці цих параметрів відбувається із застосуванням статистичних методів, як то обрахунок середнього значення, похибки середнього, та перевірки різниці за допомогою критерія Стюдента, Даннет теста тощо.

Етапи аналітичного процесу з допомогою методів машинного навчання наведені в табл. 1.

Перспективи розвитку ІФХ у кооперації з методами машинного навчання:

– інтеграція ІФХ, гіперспектральних та термографічних даних у єдину модель нейронної оцінки стану рослин;

– хмарні сервіси для фермерів: ІФХ-аналіз → AI-рекомендації → рішення для конкретного поля;

– Explainable AI (пояснюваний штучний інтелект) для розуміння, які біофізичні параметри найбільше впливають на результат.

– розвиток автономних систем управління теплицями, що самі регулюють умови за сигналами ІФХ.

Таблиця 1 – Етапи аналітичного процесу з використанням методів машинного навчання

Етап	Опис
1. Збір даних	Вимірювання кривих ІФХ з різних ділянок поля або теплиці.
2. Попередня обробка	Нормалізація сигналів, виділення ключових показників (F_0, F_m, F_v/F_m, тощо), фільтрація шумів.
3. Формування навчальної вибірки	Додавання позначень (здорові, посушливі, дефіцит N, заражені патогенами тощо).
4. Навчання нейронної мережі	Модель навчається розпізнавати закономірності між параметрами ІФХ та станом рослин.
5. Прогнозування / класифікація	Система автоматично оцінює нові вимірювання й видає рекомендації.
6. Прийняття управлінського рішення	На основі результатів моделі агроном або система управління вирішує, наприклад: • чи потрібно поливати; • чи потрібне внесення добрив; • чи є ризик хвороби; • чи треба змінити освітлення в теплиці.

В Інституті кібернетики вже проведено ряд експериментів з застосуванням методів машинного навчання та явища ІФХ, що показують перспективність даного напрямку[4]

Висновок. Подальший розвиток методів машинного навчання в поєднанні з явищем індукції флуоресценції хлорофілу відриває нові горизонти для прецизійного землеробства.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] M. Kirova, G. Cepp, P. Chernev, V. Goltsev, R. Strasser. “Using Artificial Neural Networks for Plant Taxonomic Determination Based on Chlorophyll Fluorescence Induction Curves”, Biotechnology and Biotechnological Equipment. XI Anniversary Scientific Conference 120 Years of Academic Education in Biology 45 Years Faculty of Biology, vol. 23, 2009, pp. 941–946, https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818577

[2] В.О. Романов, Д.М. Артеменко, Ю.О. Брайко та ін, “Сімейство портативних приладів «Флоратест»: підготовка до серійного виробництва”, Комп'ютерні засоби, мережі та системи. №10, 2011, С. 85-93.

[3] O. Voronenko, “Fluorometer “FLS 10s””, Cybernetics and Computer Technologies, 2024, no 3, pp 87–95, https://doi.org/10.34229/2707-451X.24.3.9

[4] V.O. Romanov, I.B. Galelyuka, V.M. Hrusha, O.V. Voronenko, O.V. Kovyrova, H.V. Antonova, A.V. Kedych, “Wireless Sensor Networks For Digital Agriculture, Environmental Protection, And Healthcare”, Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 59, No. 6, November, 2023, pp. 1023–1030, https://doi.org/10.1007/s10559-023-00638-3

УДК 338.45+655.17

БАГАТОРІВНЕВА ОРГАНІЗАЦІЯ АНАЛІТИЧНОГО АПАРАТУ ЕКОНОМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

В. Долінський (volodymyr.dolinskyi.mkrki.2024@lpnu.ua)
Інститут поліграфії та медійних технологій
Національного університету «Львівська політехніка» (Україна)

Представлені підходи до побудови багаторівневої концептуальної моделі аналітичного апарату опрацювання економічних показників поліграфічного підприємства. Обґрунтована необхідність інтеграції аналітичних, прогнозних і оптимізаційних засобів для прийняття ефективних рішень в управлінні ресурсами та виробничими процесами оперативної поліграфії.

Постановка проблеми та актуальність. Сучасні умови функціонування поліграфічних підприємств характеризуються високим рівнем динамічності зовнішнього середовища, що зумовлює необхідність переосмислення підходів до управління виробничо-економічними процесами. Традиційні методи планування та управління виробництвом [1] на сьогодні не забезпечують достатньої гнучкості й адаптивності до змін технологічних і економічних факторів оперативної поліграфії. Відсутність інтегрованого аналітичного апарату, який би поєднував інструменти економічного аналізу, прогнозування та оптимізації, обмежує можливості прийняття обґрунтованих управлінських рішень у режимі реального часу [2]. Тому актуальним є пошук шляхів підвищення ефективності функціонування поліграфічного закладу в умовах мінливої ринкової екосистеми періоду воєнного стану, нестабільності попиту на друковану продукцію та зростання вартості матеріально-енергетичних ресурсів, що потребує впровадження цілісної системи економічної оптимізації, здатної забезпечити раціональний розподіл ресурсів, адаптивне планування виробничих процесів і підтримку прийняття управлінських рішень на основі актуальних даних та прогнозних моделей. Розробка такого інструментарію вимагає чіткої структуризації даних, визначення джерел і методів їх оновлення, а також формату подання результатів, що дозволяє інтегрувати їх у системи візуалізації та подальшого аналізу. Це дає змогу оптимізувати витрати і покращити управлінські рішення на основі даних, отриманих у реальному часі.

Основною **метою** є створення промислової системи, здатної обчислювати показники, які характеризують продуктивність, витрати, енергоспоживання та рівень браку на різних етапах підготовки поліграфічного замовлення. Для цього сформульоване **завдання** визначити взаємозв'язки між параметрами технологічних операцій, впорядкувати алгоритми обробки даних і

методи їх агрегування, що дозволяють проводити оцінку як окремих операцій, так і загальної ефективності виробничих процесів.

Виклад суті дослідження. Актуальність економічної оптимізації поліграфічного закладу зумовлена необхідністю комплексного використання даних про виробничі, фінансові й технологічні показники для досягнення стабільної конкурентоспроможності. Економічна оптимізація дозволяє узгодити параметри завантаження обладнання, витрати матеріалів та енергоресурсів, планування тиражів і обслуговування замовлень з урахуванням обмежень і взаємозалежностей між підрозділами. Такий підхід забезпечує мінімізацію витрат за одночасного збереження якості продукції та термінів виконання замовлень, що є критичним чинником для ринку оперативної поліграфії.

При формуванні багаторівневої організації аналітичного апарату кожен рівень повинен забезпечувати конкретну функцію обробки даних відповідно до етапу технологічного процесу. Важливим аспектом тут є розподіл функцій між модулями, що дозволяє адаптувати систему до різних виробничих сценаріїв, а також інтегрувати результати в єдину модель для формування аналітичних висновків. Порядок обчислення показників і взаємозв'язки між ними мають бути адаптовані до специфіки поліграфічного виробництва, що забезпечує необхідну гнучкість і точність для ефективного управління ресурсами і контролю якості.

Проєктована концептуальна модель включає визначення об’єктів спостереження, характеристик, які підлягають оцінці, та взаємозв’язків між ними (рис. 1). Вона визначає спосіб представлення технологічних параметрів, що надходять із виробничого середовища, та методи їх інтеграції для формування узагальнених показників ефективності. Формування моделі починається з вибору структури даних і встановлення взаємозв’язків між технологічними параметрами. На цьому етапі визначаються категорії даних, що описують підготовчі (додрукарські), друкарські та післядрукарські операції, а також відповідні параметри устаткування. Визначаються формули і алгоритми для обчислення показників продуктивності, витрат матеріалів, енергоспоживання та рівня браку. Також розробляються методи агрегування даних на різних рівнях виробничого процесу для забезпечення можливості оцінки як окремих операцій, так і інтегрованої ефективності.

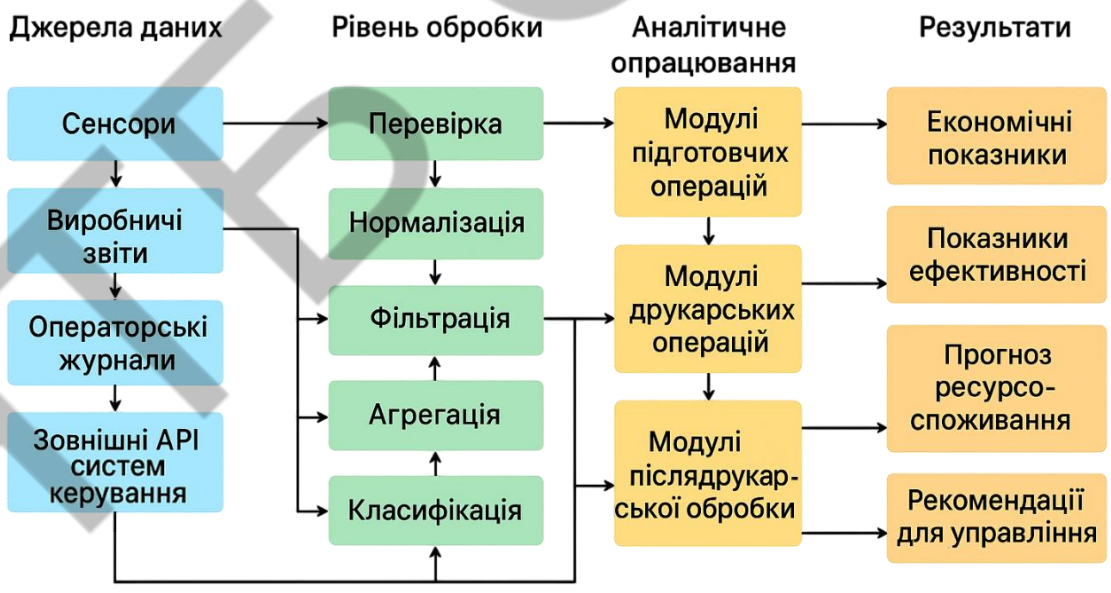


Рис. 1 – Концептуальна модель аналітичного апарату опрацювання економічних показників

Концептуальна модель включає формалізацію технологічних метрик у вигляді структурованих змінних, що дозволяє забезпечити їх сумісність із математичними і статистичними методами аналізу. На основі цієї моделі розробляються алгоритми перевірки даних, видалення аномалій і приведення показників до порівнянного масштабу. Модель визначає порядок обчислення інтегральних показників, що характеризують ефективність роботи

устаткування та витрати ресурсів, і встановлює залежності між ними для подальшого прогнозування результатів виробництва.

Особлива увага приділяється визначенню структури взаємодії між компонентами моделі. Вона передбачає розподіл даних на блоки відповідно до етапів технологічного процесу та типів устаткування. Кожен блок містить набір параметрів і алгоритмів обробки, що забезпечує модульність апарату і можливість його адаптації під різні виробничі сценарії. Це дозволяє окремо оцінювати ефективність підготовчих, друкарських операцій та післядрукарської обробки, а також формувати інтегровані показники для управлінських рішень.

Формування концептуальної моделі також передбачає визначення джерел даних і методів їх оновлення у режимі реального часу або з періодичними інтервалами. Модель визначає формат подання результатів, що забезпечує їх сумісність із системами візуалізації та подальшого аналізу. На її основі створюється логіка взаємозв'язку технологічних параметрів та економічних показників, що дозволяє автоматизувати процес обчислення ефективності та прогнозування витрат ресурсів.

Висновки. Представлена багаторівнева концептуальна модель є інструментом для подальшої реалізації комплексного аналітичного апарату економічної оптимізації поліграфічного закладу: вона дозволяє систематизувати технологічні дані, забезпечує підготовку параметрів для розрахунку оптимальних економічних показників та реалізує програмний інтерфейс для інтеграції з виробничими інформаційними підприємства у прийнятті обґрунтованих управлінських рішень. Модель забезпечує повторюваність обчислень, можливість адаптації до різних типів устаткування та виробничих процесів і виступає основою для побудови автоматизованого аналітичного середовища, що відповідає сучасним вимогам цифровізації виробництва. У перспективі проєкт можна використовувати як основу для розгортання навчального середовища при підготовці кваліфікованих фахівців з поліграфічної інженерії [3], що забезпечує візуалізацію процесів обчислення собівартості та економічних показників устаткування оперативної поліграфії.

Перелік використаних джерел

[1] Швайка Л.А. Розвиток і регулювання видавничого підприємництва: монографія. Львів: УАД. 2005. 432 с.

[2] Лазановський П.П. Організація та економіка видавничої справи: навч.-метод. посіб. Львів: Магнолія. 2010. 152 с.

[3] Долінський В.О. Інтерактивний ресурс демонстрації методики обчислення економічних показників закладу оперативної поліграфії. Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2025 / Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 25-26 вересня 2025. Одеса, Видавництво ОНТУ, 2025. С. 64-67.

УДК 004.8:681.5

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА АВТОМАТИЗАЦІЯ: КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ, РИЗИКИ ТА ЕТИЧНІ ВИКЛИКИ

Жак А. С (zakartem18@gmail.com)
Державний біотехнологічний університет (Україна)

У тезах розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку штучного інтелекту (ШІ) в автоматизації робототехнічних систем. Проаналізовано основні принципи застосування ШІ в керуванні роботами, взаємодії людини і машини, а також наведено ключові тенденції, ризики й етичні виклики, що супроводжують розвиток автономних технологій. Окреслено напрями майбутніх досліджень та практичні сфери впровадження інтелектуальної автоматизації.

Робототехнічні система (РТС): сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. РТС реалізується у вигляді комплексу технологічного та

транспортного обладнання в сукупності з промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва.

Робототехнічні системи – це фізичні системи, які об'єднують роботів (механічні пристрої) з комп'ютерними алгоритмами для виконання завдань у різних галузях. Вони використовують сенсорний зворотний зв'язок і комп'ютерні системи для обробки інформації та керування. Практичне впровадження інтелектуальної автоматизації охоплює промисловість, медицину, аграрний сектор, освіту та транспорт:

- виробництво – автоматизовані лінії, контроль якості, промислові роботи;
- медицина – роботи-хірурги, системи підтримки діагностики;
- аграрний сектор – моніторинг полів, збирання врожаю;
- освіта – навчальні платформи з елементами ШІ, віртуальні лабораторії;
- транспорт – безпілотні автомобілі, автономні дрони [1].

Основні компоненти та принципи роботи РТС:

- промислові роботи: механічні пристрої, які можуть бути як програмованими, так і автономними;
- комп'ютерні алгоритми;
- програмне забезпечення, яке керує діями робота, аналізує дані та приймає рішення;
- сенсорний зворотний зв'язок;
- датчики, які збирають інформацію, дозволяючи системі реагувати на зміни.

Інтелектуальні системи (ІС), часто звані штучним інтелектом (ШІ), є галуззю комп'ютерних наук, яка зосереджується на розробці систем, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту. Ці системи спроєктовані для імітації когнітивних здібностей, таких як навчання, вирішення проблем, прийняття рішень та розуміння мови.

ШІ є одним з основних напрямів розвитку сучасних робототехнічних систем. Його впровадження забезпечує здатність машин до самонавчання, аналізу середовища та адаптації до змінних умов. Інтелектуальні системи дозволяють роботам виконувати складні завдання з високою точністю, використовуючи алгоритми машинного навчання, комп'ютерного зору та обробки природної мови. Це сприяє переходу від традиційної автоматизації до інтелектуальної, що забезпечує гнучкість і ефективність виробничих процесів.

Основні принципи застосування ШІ полягають у поєднанні автоматичного керування, аналітики даних та зворотного зв'язку між машиною і людиною. Алгоритми штучного інтелекту забезпечують можливість роботів самостійно приймати рішення, враховуючи зміни середовища й поведінку людини. Взаємодія людини і машини повинна бути безпечною, інтуїтивною та прозорою. Сучасні системи ШІ орієнтовані на принципи адаптивності, пояснюваності рішень і підвищення рівня автономності техніки [2].

Серед основних тенденцій розвитку інтелектуальної автоматизації в Україні та світі можна виділити:

- інтеграцію систем машинного навчання у виробництво та логістику;
- розвиток колаборативної робототехніки (cobots);
- поширення концепції «розумних фабрик» у межах Індустрії 4.0;
- зростання ролі автономного транспорту та медичних роботів;
- використання хмарних обчислень і кіберфізичних систем [3].

Впровадження ШІ у робототехнічні системи супроводжується низкою етичних та соціальних викликів. До головних ризиків належать:

- втрата робочих місць через автоматизацію;
- залежність від алгоритмів та небезпека упереджених рішень;
- проблеми безпеки та збереження персональних даних;
- брак нормативно-правового регулювання у сфері ШІ;
- порушення етичних принципів і відповідальності розробників [4].

Важливим залишається питання нормативного регулювання та дотримання принципів безпеки, прозорості та відповідальності при створенні й використанні інтелектуальних систем.

Майбутні дослідження зосереджуються на розвитку технологій глибокого навчання, створенні автономних мобільних роботів, енергоефективних сенсорних систем і пояснюваних моделей ШІ. Особлива увага приділяється створенню нормативно-етичних рамок, які надають безпечне та відповідальне використання таких технологій [5].

Отже, штучний інтелект і автоматизація робототехнічних систем – це не просто технологічний тренд, а важливий цивілізаційний виклик, що формує нову взаємодію між людиною та машиною. Інтелектуальні системи дедалі частіше здатні самостійно навчатися, приймати рішення та адаптуватися до змін середовища, що відкриває нові можливості для промисловості, медицини, транспорту й науки.

Разом з тим, розвиток інтелектуальної автоматизації супроводжується етичними ризиками, пов'язаними з прозорістю алгоритмів, безпекою даних і відповідальністю за прийняті рішення. Гармонійне поєднання технологічних інновацій із принципами етики, безпеки та гуманізму стане запорукою того, що штучний інтелект слугуватиме людині, сприяючи її розвитку, а не створюючи нові загрози.

Список використаної літератури

[1] М. М. Поліщук, М. М. Ткач, «Робототехнічні системи: проєктування і моделювання». [Online]. Available: https://ela.kpi.ua/items/79c84ed9-6378-48be-95dc-e00452017708. [Accessed: Oct. 21, 2025].
[2] С. М. Гончарук, О. В. Левченко, «Використання штучного інтелекту при прийнятті рішень у публічному управлінні та відповідальність за них». [Online]. Avaible: https://www.pubadm.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/6_2024/12.pdf. [Accessed: Oct. 21, 2025].
[3] Н. М. Кузьменко, "Тенденції розвитку штучного інтелекту в Україні," *Інформаційні технології і суспільство*, № 4, с. 33–39, 2023. [Online]. Available: https://ists.knu.ua/article/view/2774. [Accessed: Oct. 21, 2025].
[4] Л. С. Гончаренко, "Етика штучного інтелекту: історія становлення та сучасний стан," *Вісник НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»*, № 1, с. 50–57, 2024. [Online]. Available: https://repository.kpi.kharkov.ua/items/79991a89-38f4-420d-a3f1-eab37e99cadc. [Accessed: Oct. 21, 2025].
[5] Міністерство освіти і науки України, *Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні до 2030 року*, Київ, Україна, 2023. [Online]. Available: https://mon.gov.ua/news/winwin-ukraina-zatverdyla-stratehiiu-tsyfrovoho-rozvytku-innovatsii-do-2030-roku. [Accessed: Oct. 21, 2025].

УДК 621.316 / 004.8

ПЕРСПЕКТИВИ ПІСЛЯВОЄННОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Жесан Р. В., Кравцов С. В.
(zherom@ukr.net, kravtsov_sv@ukr.net)
Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна)

У дослідженні проводиться аналіз та узагальнення проблем і перспектив післявоєнної модернізації САК у енергетиці України, на основі сучасних методів і технологій.

Постановка проблеми. Війна, розв'язана російською федерацією проти України, численні руйнівні атаки ворога на об'єднану енергосистему спонукають вітчизняних науковців та інженерів вже зараз нагально шукати шляхи як захисту, так і модернізації енергетичної інфраструктури. У найближчі роки пріоритетами в Україні обрано створення систем розподіленої генерації електроенергії [1-3], а також стимулювання та розвиток технологій відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1, 3, 4]. З іншого боку, гостро постають питання забезпечення стійкості та чіткості керування розподіленою генерацією, дбайливого ставлення до наявних енергоресурсів, підвищення енергоефективності всіх технологічних процесів та виробництв. Це пов'язано як із запобіганням зовнішнім втручанням у роботу вітчизняних енергооб'єктів, так і з задекларованим державою курсом на інтеграцію до ЄС та Євроатлантичних структур [1, 5]. Важливим аспектом всього, переліченого вище, є осучаснення систем автоматичного керування (САК).

Перелік вирішених завдань. У представленому дослідженні зроблено аналіз та узагальнення проблем і перспектив післявоєнної модернізації й осучаснення САК у вітчизняній енергетиці.

Суть дослідження. Електроенергетичні системи є нелінійними і багатопов'язаними системами, в яких відбуваються складні перехідні процеси і можливе виникнення критичних і хаотичних режимів, тому класичні методи автоматичного керування не завжди є адекватними в керуванні даними складними системами [6, 7]. При впроваджені класичних автоматичних регуляторів, виявляється ряд проблемних питань, які традиційними методами керування вирішити практично неможливо. Розглянемо їх нижче, виділивши курсивом, і зазначимо способи подолання.

Звуження сфери динамічної стійкості енергосистем. Лінійні регулятори адекватно функціонують лише в заданій області відхилення від встановленого нормального стану енергооб'єкта. Натомість, для ефективного керування, необхідно враховувати явища взаємопов'язаності і нелінійності процесів, що виникають в енергооб'єктах.

Здолати вказаний недолік, пов'язаний з фіксованістю параметрів, наприклад лінійних систем автоматичного введення резерву, можна, використовуючи методи нечіткої логіки.

Робота в екстремальних режимах. Комутації потужних навантажень, викликають, як правило, значні збурення режимів роботи енергосистем. Окрім того, локальні короткі замикання можуть призвести до різкої зміни потужності, що суттєво впливає на режим роботи всієї енергосистеми.

Для унеможливлення таких критичних режимів, необхідно використовувати нелінійне взаємопов'язане керування потужністю джерел енергії, що не завжди можна досягти із застосуванням традиційних САК. Синергетичний підхід, заснований на дослідженні взаємодії складних систем та їх взаємного впливу, базуючись на інтегральній науці, включає принципи нечіткої логіки, нейронних мереж, кібернетики, теорії хаосу та ін.

Розділення каналів керування енергооб'єктами. В даному випадку мається на увазі, що різні підсистеми енергопостачання мають власні традиційні алгоритми керування, що не пов'язані між собою. Такий стан речей ускладнює функціонування всієї системи, оскільки керуючі сигнали окремих підсистем можуть суперечити один одному.

Для вирішення цієї проблеми, найбільше підходять інтелектуальні методи керування на штучних нейронних мережах. В цьому випадку кількість каналів керування може бути значно більше, ніж два, що дасть можливість задіяти різні контури керування, сингали яких пропорційні режимам енергооб'єктів, що живляться від одного джерела енергії.

Параметрична невизначеність. Практично будь-яка енергосистема характеризується великою кількістю невизначеностей: неточним описом математичної моделі, не до кінця контрольованою зміною статичних і динамічних параметрів, дією на систему зовнішніх стохастичних збурень тощо.

Саме наявність різного роду невизначеностей зумовило появу та розвиток адаптивних систем керування, на противагу лінійній апроксимації (лінеаризації) та методам, які ґрунтуються на даному підході: модальне керування, локально-оптимальне керування, метод швидкісного градієнта тощо. Параметрична невизначеність також вирішується застосуванням синергетичних алгоритмів керування енергооб'єктами, шляхом застосування нечітких нейронних мереж та методів нечіткої логіки.

Найбільш оптимальним шляхом вирішення перелічених вище проблем керування енергосистемами ввижається впровадження інтелектуальних технологій керування із застосуванням принципів штучного інтелекту (ШІ). Основними передумовами застосування ШІ в енергосистемах можна назвати багатовимірність та багатопов'язаність параметрів роботи систем, а також багаторежимність функціонування, що обумовлено, зокрема, зміною навантажень [8].

Мета використання ШІ в системах керування складними об'єктами, в тому числі енергосистемами, полягає в застосуванні математичного апарату ШІ (нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми тощо) для оптимального рівня генерації, передавання, перетворення та споживання енергії та обміну інформацією між елементами енергосистеми із застосуванням інтелектуальних підходів і методів [6-8].

З точки зору САК, ШІ розумітимемо, як властивість автоматичних систем брати на себе окремі функції інтелекту людини, наприклад, обирати й ухвалювати оптимальні рішення, на основі раніше отриманого досвіду, знань й раціонального аналізу зовнішніх дій [8, 9]. За аналогією з мозком людини, ШІ здатен розв'язувати задачі, шляхом набуття, запам'ятовування і цілеспрямованого перетворення знань у процесі навчання, на досвіді і адаптації до різноманітних

обставин.

Проте під терміном «знання» мається на увазі не лише та інформація, яка надходить до мозку через органи чуття. Такого типу знання надзвичайно важливі, але недостатні для інтелектуальної діяльності. Об'єктам нашого навколишнього середовища притаманна властивість не лише впливати на органи чуття, але й перебувати один із одним у певних відносинах (взаємодіях). Щоб здійснювати в навколишньому середовищі інтелектуальну діяльність, необхідно мати в системі знань модель цього світу. У цій інформаційній моделі навколишнього середовища реальні об'єкти, їх властивості й відносини між ними не лише відображаються і запам'ятовуються, але й можуть цілеспрямовано перетворюватися [8].

Переважна більшість сучасних САК використовують програмно-апаратні засоби, в основі яких є програмовані логічні контролери – PLC, які працюють за заданим алгоритмом, тобто приписом про виконання, в певному порядку, системи операцій для розв'язання будь якої задачі. Такі системи, із заздалегідь визначеними алгоритмами, складно назвати інтелектуальними, і вони можуть бути ефективними лише в добре структурованій предметній галузі [8-10]. Натомість сферою ефективного застосування ШІ є, насамперед, слабко структуровані галузі, алгоритм дії в яких наперед невідомий. Для таких галузей є характерним неясність і нечіткість у вхідних даних, наявність різноманітних шумів. Разом з тим, до системи ставляться вимоги ухвалювати однозначні, чіткі і зрозумілі рішення, з бажаним передбаченням їх ефективності. Серед таких галузей є складні технічні системи [6, 8].

Керування складними системами принципово відрізняється від програмного керування, тобто переведення системи до бажаного стану тим чи іншим оптимальним шляхом. Пояснюється це, передусім, тим, що поводження складних систем важко спрогнозувати, а визначити й, тим більше, задати системі «оптимальний» шлях переходу до бажаного стану, практично неможливо. Тому керування складними системами за змістом та механізмом дії найближче до фізіологічних процесів збудження і гальмування, тобто зовнішнього і внутрішнього стимулювання [6-10].

Висновки. Дослідження у сфері сучасних САК дають змогу розробити широкий спектр методів і підходів, які можна адаптувати, або використовувати для вирішення складних проблем електропостачання (зокрема щодо планування та експлуатації енергосистеми, керування її режимами), які раніше вважалися не розв'язуваними без суттєвих припущень, в умовах невизначеності та відсутності достовірної інформації.

Запровадження та розвиток ВДЕ у енергосистемах, поява в них потужних систем акумулювання енергії, а також пріоритетність розподілених систем і мереж спонукають до осучаснення САК у післявоєнній вітчизняній енергетиці. Це має відбуватися на основі синергетичних алгоритмів, методів нечіткої логіки, нейронних мереж, кібернетики, теорії хаосу та ін. Але пріоритет має належати технологіям ШІ. За їх допомогою можна модернізувати весь процес електропостачання, від виробництва до споживання електроенергії, шляхом оптимізації різнотипного обладнання систем. Вони, без особливих складнощів, можуть бути корисні у питаннях керування режимами роботи, прогнозування попиту на електроенергію, моніторингу, аналізу, оцінки стану і розпізнавання несправностей електроустаткування. При цьому досить важливою й цінною є властивість самовідновлення функцій ШІ, що забезпечить стійкість і надійність функціонування САК та енергосистем в цілому.

Список використаної літератури

[1] Кабінет Міністрів України. (2023, Квіт. 21). *Розпорядження № 373-р, Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року.* [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#n6. Дата звернення: Вер. 17, 2025.

[2] "Розподілена електрогенерація буде пріоритетом на найближчі роки – Олексій Кулеба", *Укрінформ*, 26.10.2024. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3920187-rozpodilena-elektrogeneracia-bude-prioritetom-na-najblizci-roki-oleksij-kuleba.html. Дата звернення: Вер. 17, 2025.

[3] С. В. Кравцов, Р. В. Жесан, О. П. Голик, "Відновлювані джерела енергії й інші базові компоненти зростання енергоефективності та енергонезалежності". *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, ч. I, вип. 8(39), с. 48-56, 2023. doi:10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.48-56.

[4] "Україні треба прискорювати будівництво «зеленої» генерації", *Minprom,* 04.10.2024. [Електронний ресурс]. Доступно: https://minprom.ua/news/317204.html. Дата звернення: Вер. 20, 2025.
[5] "Україна та Європа мають спільну мету – енергобезпека та енергонезалежність", *Урядовий портал. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*, 02.06.2022. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.kmu.gov.ua/news/ukrayina-ta-yevropa-mayut-spilnu-metu-energobezpeka-ta-energonezalezhnist. Дата звернення: Вер. 20, 2025.
[6] В. В. Кирик, *Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах.* Київ, Україна: Вид-во «Політехніка», 2019.
[7] О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, "Сучасні тенденції побудови та керування режимами електроенергетичних мереж", *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит,* № 4 (147), С. 2-14, 2016.
[8] А. С. Савченко, О. О. Синельніков. *Методи та системи штучного інтелекту.* Київ, Україна: НАУ, 2017.
[9] В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна, В. П. Щокін, *Теорія систем керування.* Дніпро, Україна: НГУ, 2017.
[10] В. Г. Трегуб, *Проектування систем автоматизації.* Київ, Україна: Вид-во Ліра-К, 2017.

УДК. 332.012

ЦИФРОВІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО СЕКТОРУ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ МЕГАТРЕНД ПОДВІЙНОГО ПЕРЕХОДУ

Зимогляд Б. Г. (zimbox10@gmail.com)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

У тезах аналізуються головні виклики та можливості диджиталізації будівничої галузі в аспекті екологічної модернізації економіки економіки. Окреслено головні чинники гальмування процесу цифровізації будівничого сектору, розкрито поліструктурний характер та виокремлено рівні цифровізації. Зроблено висновок про ключову роль цифровізації у досягненні будівництвом стану сталого економічного розвитку, про її позитивні наслідки в інституційній, виробничій та інвестиційній структурі будівництва.

Сучасні масштаби поширення цифровізації істотно відрізняються між секторами світової економіки. Якщо інформаційно-комунікаційні технології, фінансово-страховий сектор, медіа та професійні послуги вже активно трансформували операційну діяльність на основі цифрових рішень, то будівництво залишається однією з найменш диджиталізованих галузей. Цей розрив зумовлений специфікою технологічних процесів будівельного виробництва, високою вартістю модернізації та слабкою інтегрованістю інновацій у традиційні бізнес-моделі. Відсутність повномасштабної цифрової трансформації будівельної галузі об'єктивно перешкоджає її екологічній модернізації та унеможливлює ефективне досягнення кліматичних цілей. Подолання цієї асиметрії потребує міждисциплінарної взаємодії економістів, інженерів та фахівців ІТ-галузі.

Мета цієї роботи – виявити ключові бар'єри цифрової трансформації будівельного сектору та окреслити стратегічні напрями його розвитку в умовах технологічного й екологічного переходу, з урахуванням поліструктурного характеру цифровізації, тенденцій гібридизації технологій та формування мережевої інституційної архітектури галузі.

За умов зростаючого глобального попиту на енергоефективне будівництво, поширення зелених стандартів і загострення кліматичних викликів відсутність повномасштабної цифрової трансформації будівельної галузі стає ключовим бар'єром для її екологічної модернізації. Цифровізація, таким чином, перестає бути лише технологічним трендом, а набуває стратегічного характеру як умова переходу до сталої моделі розвитку.

Низькі темпи диджиталізації досліджуваної галузі мають комплексну природу. Серед стримувальних чинників, які справляють потужний гальмуючий вплив на масштаби і темпи цифровізації світового будівельного сектору, слід зазначити насамперед:

- високу початкову вартість розроблення і впровадження цифрових технологій у будівництві, високі ризики конфіденційності та безпеки, пов'язані з витоком інформаційних даних і кібератаками, а також недостатню обізнаність клієнтів з конкурентними перевагами диджиталізації будівництва;
- гострий брак у будівельному секторі кваліфікованих фахівців, здатних ефективно реалізовувати професійні функції у царині розроблення і впровадження диджитал-рішень, використання програмного забезпечення для інформаційного моделювання будівель, а також роботи з принципово новим, з погляду технологічних характеристик, будівельним обладнанням;
- об'єктивно тривалі часові періоди, необхідні для здійснення техніко-технологічної та виробничої модернізації будівництва, а також фундаментальної перебудови чинних бізнес-процесів, через відсутність чіткого розуміння в операторів будівельного бізнесу економічних ефектів від його екологізації, особливо у рамках короткострокового горизонту планування;
- відсутність станом на тепер загальноприйнятих стандартів щодо виробничого застосування цифрових рішень та забезпечення їх відносної функціональної сумісності з наявним парком будівельних машин і технологічного обладнання;
- надмірну складність забезпечення технологічної конвергенції інформаційних моделей, створених різними командами IT-фахівців з використанням різного програмного забезпечення та інструментарію;
- ускладнений процес координування професійної діяльності різних учасників комплексних проєктів цифрового моделювання міст щодо наповнення шарів інформаційних даних та обміну ними;
- збереження глибокого розриву в рівні цифрової готовності великих будівельних компаній, з одного боку, та локалізованих на регіональних ринках малих і середніх підприємств у статусі їх субпідрядників, з другого. Ця обставина значною мірою ускладнює процес їхньої взаємодії при реалізації будівельних проєктів, особливо за умов відсутності в останніх необхідних інформаційних ресурсів, висококваліфікованих професійних кадрів та потужних державних стимулів щодо диджиталізації фінансово-господарської діяльності.

Проте навіть на тлі збереження гальмівного впливу зазначених чинників системна цифровізація світового будівельного сектору, на наше тверде переконання, є безальтернативним мегатрендом його подальшої трансформації у форматі «подвійного переходу» – технологічного та екологічного. Річ у тім, що цифрова трансформація будівельного сектору має не лише економічний, а й екологічний вимір. Вона сприяє зведенню зелених будівель з високою енергоефективністю, зниженню антропогенного навантаження та забезпечує прозорий контроль екологічних параметрів у реальному часі. Таким чином, цифрова екосистема стає ключовим інструментом досягнення кліматичних цілей.

Цифровізація будівництва сьогодні набуває чітко вираженого поліструктурного характеру. Він виявляється у тому, що формування в сучасних умовах цифрових компонентів світового будівельного сектору охоплює всі етапи життєвого циклу будівель та всі ланки будівельного виробництва, включаючи у свою «орбіту» інженерну, проєктувальну, виробничу та управлінську діяльність: комплексні процеси автоматизації та роботизації рутинних і фізично тяжких операцій, хмарні цифрові рішення для спільної роботи в режимі реального часу, системи архітектурно-будівельного контролю, середовище взаємодії усіх учасників будпроєктів, процеси тестування роботизованих комплексів, обмін технічною і звітною документацією тощо. Очевидно, що відбувається не лише розгортання нових IT-рішень, а зміна інституційної логіки всієї галузі – від централізованих структур до мережево організованих екосистем співпраці.

Системний й всеохоплюючий процес диджиталізації будівельного сектору має на сьогодні чітко виражений дворівневий характер та включає, з одного боку, впровадження наскрізних, а з другого – притаманних саме будівельному сектору цифрових технологій (див. Табл. 1). Одночасно спостерігається також посилення тренду щодо своєрідної гібридизації зазначених технологій з одночасним використанням при розробленні певного техніко-технологічного рішення кількох диджитал-технологій завдяки інтероперабельності застосовуваного програмного забезпечення. Це є потужним рушієм не тільки формування принципово нових каналів створення споживчої цінності для клієнтів, але й дедалі більшої переорієнтації будівельного виробництва від стандартизованих до кастомізованих його методів.

Джерело: складено автором на основі [1; 2; 3].

Таким чином, сьогодні активно створюється цифрова екосистема будівництва, в рамках якої відкриваються не бачені раніше перспективи для успішного досягнення світовою спільнотою стратегічних завдань екологічної економіки на основі переведення будівництва на сталу модель розвитку. Це дозволяє прогнозувати формування у світовому будівельному секторі вже у найближчий час нових точок нагромадження глобального інвестиційного капіталу. Переконані, що він у всезростаючих масштабах перерозподілятиметься на користь компаній і фірм зеленого будівельного сегменту як потужних виробничих майданчиків для комплексного вирішення найгостріших екологічних проблем людства на різних стадіях життєвого циклу будівельних об'єктів.

Підбиваючи підсумки викладеного, ще раз підкреслимо *головні висновки*:

1. Цифровізація є ключовим мегатрендом трансформації будівельного сектору.
2. Попри гальмівні чинники, процес має незворотний характер.
3. Подвійний перехід задає нову інституційну архітектуру галузі.
4. Гібридизація технологій відкриває нові можливості для кастомізації виробництва.
5. Цифрова екосистема будівництва стає інвестиційно привабливим сегментом глобальної економіки.

Таблиця 1 Наскрізні та галузеві цифрові технології у будівельному секторі

Тип технологій	Основні інструменти	Функціональна роль у будівництві	Потенціал для екологічної модернізації
Наскрізні цифрові технології	ШІ, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення, VR/AR, 3D-друк, дрони, роботизовані системи	Підвищення точності вимірювань, управління даними в реальному часі, автоматизація процесів	Зниження викидів, оптимізація ресурсоспоживання, скорочення термінів
Галузеві цифрові технології	BIM, цифрове моделювання міст, CAD/CAM, цифрове збірне виробництво, безшовне роботизоване виробництво	Управління життєвим циклом будівель, підвищення якості проєктування, стандартизація процесів	Масштабна реконструкція зелених будівель, декарбонізація галузі
Гібридні технологічні рішення	Комбінації AI та BIM, IoT та цифрових двійників, роботизації та модульного виробництва	Інтегроване управління буд. проєктами, кастомізація рішень, зниження транзакційних витрат	Створення інноваційних точок залучення інвестицій

Список використаної літератури:

1. R. Agarwal, S. Chandrasekaran, and M. Sridhar, McKinsey & Company (2016, 24 June). Imagining construction's digital future. [Report]. Available: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future#/

2. M. Asif, G. Naeem, and M. Khalid, «Digitalization for sustainable buildings: Technologies, applications, potential, and challenges», *Journ. of Clean. Prod*., vol. 450, 15 Apr. 2024. Accessed on: May 19, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652624012629

НТБОНТУ

3. Oliver Wyman (2018). Digitalization of the Construction Industry: The Revolution is Underway. [Expertise]. Available: https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/sep/digitalization-of-the-construction-industry.html

УДК 681.5:629.3

СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО СУПЕРВІЗОРА (ПІД-РЕГУЛЯТОРА) ПРИ ВІРОГІДНІЙ ПОМИЛЦІ ТА ЇЇ ПОХІДНА

Ільїнський М. І. (fomenkomihail00@gmail.com)
Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)

В статті вирішено науково-технічне завдання по експлуатації ПІД-регуляторів пов'язаних з вибором трьох параметрів: пропорційного коефіцієнта, коефіцієнтів при інтегралі та похідній. Регулятори з фіксованим налаштуванням налаштовують одноразово за алгоритмом Зіглера–Ніколса. В адаптивних ПІД-регуляторах коефіцієнти можуть змінюватися в реальному часі, що вимагає використання додаткових знань про даний процес управління. Проведено дослідження та розглянуто варіант реалізації нечітких супервізорів які реалізують прості алгоритми адаптації на підставі оцінки помилки керування та її похідної.

Ідея про використання нечіткого супервізора складається з роботи дворівневої системи, у якій на нижньому рівні знаходиться класичний ПІД-регулятор, а на верхньому – нечіткий. Нечіткий супервізор підключено паралельно класичному ПІД-регулятору. Використання нечіткого супервізора дає змогу пристосовувати незмінні передаточні коефіцієнти ПІД-регулятору на протязі перехідного процесу, це дає змогу набагато збільшити робастність системи управління. Збільшення робастності досягається таким чином, що нечіткі регулятори нелінійні та можуть управляти лінійними об'єктами краще, ніж класичні, а також управляти нелінійними об'єктами, бо лінійні регулятори не пристосовані для цього.

Класична теорія керування спрямована в більшості на синтез лінійних регуляторів. Властивість лінійності дає можливість здобути алгоритми які дуже зручні для таких основних системних властивостей, як стійкість, керованість, спостережуваність. Але всі реальні об'єкти є нелінійними, отже лінеаризація їх математичного опису потребує розгляду деякої робочої точки, до якої і досліджують ці невеликі відхилення.

Синтез класичних ПІД-регуляторів об'єднаний з вибором трьох показників: пропорційного коефіцієнта, коефіцієнтів при інтегралі та похідній. Дані ПІД-регулятори можна поділити на два види: регулятори з незмінним налаштуванням та адаптивні ПІД-регулятори. Регулятори з незмінним налаштуванням оснащують одноразово, до прикладу, за алгоритмом Зіглера–Ніколса [1], але використання даної методики має деякі мінуси, спричинені великим перегулюванням та великою інерційністю перехідного процесу. В адаптивних ПІД-регуляторах коефіцієнти можуть змінюватися в так званому "онлайн режимі", що потребує застосування додаткових знань про цей процес керування. Використання нечітких супервізорів реалізують звичайні алгоритми адаптації на основі оцінки помилки управління та її похідної. Тож було взято за основу методику алгоритму адаптації реагування об'єкта керування до сторонніх збурень на основі оцінки помилки управління та її похідної [2].

Задача нечіткого регулятора в тому, щоб автоматизовано міняти коефіцієнти ПІД-регулятора на різних етапах перехідного процесу. Нечіткий регулятор має змінний коефіцієнт підсилення. У нечіткого ПІД-регулятора це три вхідні змінні, тому рахується, що коефіцієнт підсилення містить три складники [3]:

$$KPID=KP+KI+KD.$$

Варіант організації нечіткого супервізора, в якому корекція коефіцієнтів ПІД-регулятора відбувається на основі інформації про помилку та її похідну. Допустимо, що діапазони, у яких можуть мінятись коефіцієнти Kp та Kd [4; 6]:

$$Kp \in [Kp.\ min, Kp.\ max]$$

$$Kd \in [Kd.\ min, Kd.\ max]$$

Обираючи діапазон зміни коефіцієнтів, можна керуватися такими формулами:

$$Kp.\ min = 0.32Ku;\ \ Kp.\ max = 0.6Ku \quad (1)$$

$$Kd.\ min = 0.08KuTu;\ Kd.\ max = 0.15KuTu \quad (2)$$

де Ku – найменше значення коефіцієнта підсилення П-регулятора, в якому з'являються автоколивання з періодом Tu.

Розроблений синтез супервізора на основі інформації про помилку та її похідну в Simulink MatLab для об'єкта, заданого передатною функцією. На першій стадії моделювання для замкнутої системи керування об'єктом у вигляді передаточної функції з ПІД-регулятором визначаються передаточні коефіцієнти регулятора методом використання вмонтованої функції TUNER. На другій стадії використано математичну модель системи керування із використанням нечіткого супервізора корекцій параметрів сигналу керування з ПІД-регулятора. Під час вибору діапазону зміни коефіцієнтів застосовано формули (1) та (2). На третій стадії розробляється синтез нечіткого супервізора в редакторі системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS).

На четвертій стадії розглянуто перехідний процес в системі керування з нечітким супервізором ПІД-регулятора [5]. Розроблена система керування цілком компенсує збурю. вальні впливи.

ПІД-регулятори набули широкого поширення, а також застосування в промисловості та наукових дослідженнях завдяки простоті у використанні, гнучкості у своїй структурі та надійності в широкому діапазоні робочих умов.

Список використаної літератури

1. Ковриго Ю. М. «Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД-регуляторів». Східноєвропейський журнал передових технологій, Харків, Україна, 2013. № 3/3(63). с. 58–63.

2. Новіков П. В., Бунке О. С. «Інтелектуальна система керування інерційними технологічними параметрами на базі fuzzy-релятора». Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: XV міжнар. наук.-прак. конф., Київ, Україна, 2017. с. 31–32.

3. Разживін О. В., «Нейронні мережі в системах автоматизації: курс лекцій з дисципліни «Нейронні мережи в системах автоматизації». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, Україна, 2023. с. 296.

4. Разживін О. В., Бережна О. В., Сахацький С. О., Мурат В. М. «Синтез систем управління динамічними процесами у котлі із застосуванням нейронної мережі прямого поширення». Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, Україна, 2023. Т. 3. № 103. с. 13–21.

5. Разживін О., Ільїнський М. «Синтез нечіткого супервізора, корекцій коефіцієнтів ПІД-регулятора на підставі інформації про помилку та її похідну». Науковий журнал Метінвест Політехніки, Запоріжжя, Україна, 2025. № 3. с. 74-82.

6. Разживін О., Люта А., Сімкін О., Залятов А. «Розробка автоматизованої системи управління температурним режимом випікання хлібобулочних виробів із використанням нечіткого контролера». Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: XVI міжнар. наук.-прак. конф., Київ, Україна, 2018. с. 100–107.

НТБОНТУ

УДК 681.5

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПЕРЕДАЧІ ПОКАЗНИКІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В БЮДЖЕТНИХ ЗАКЛАДАХ М.ЧЕРКАСИ.

Калейніков Г.Е. (h.kaleinikov@chdtu.edu.ua**)**
Черкаський державний технологічний університет (Україна)

Робота обґрунтовує доцільність впровадження автоматизованої системи моніторингу енергоресурсів у бюджетних закладах м. Черкаси для вирішення проблеми неефективного ручного обліку. Запропонована архітектура на базі smart-лічильників та платформи UMUNI забезпечує автоматичний збір і аналіз даних. Впровадження системи дозволить досягти економії енергоресурсів до 15% та підвищити ефективність енергоменеджменту.

Актуальність. В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів та необхідності посилення енергетичної безпеки, ефективне управління споживанням в бюджетній сфері є одним із пріоритетних завдань муніципалітетів [1-3]. На сьогоднішній день у більшості бюджетних закладів міста Черкаси, кількість яких перевищує 150, збір показників з лічильників тепла, води, газу та електроенергії здійснюється вручну. Цей процес є трудомістким, неефективним, призводить до виникнення помилок через людський фактор та не дозволяє оперативно реагувати на нештатні ситуації (витоки, перевитрати). Відсутність даних в режимі реального часу унеможливлює якісний аналіз та прогнозування споживання.

Мета дослідження: Обґрунтування доцільності та розробка концепції впровадження централізованої автоматизованої системи збору, передачі та аналізу показників приладів обліку енергоресурсів у навчальних закладах м. Черкаси.

Завдання:

1. Проаналізувати існуючу систему збору даних та виявити її ключові недоліки.
2. Запропонувати архітектуру автоматизованої системи моніторингу (АСМ) на основі сучасних технологій GSM/GPRS.
3. Оцінити потенційний економічний та організаційний ефект від впровадження системи.
4. Розробити дорожню карту для пілотного проекту та подальшого масштабування.

Результати та обговорення. Проведений аналіз показав, що відповідальні особи (енергоменеджери) в закладах витрачають до 20 годин на місяць на збір та передачу показників для передачі в систему енергомоніторінгу. Похибка при ручному внесенні даних може сягати 3-5%.

Запропонована модель автоматизованої системи складається з трьох рівнів:

1. **Нижній рівень:** Модернізація існуючих приладів обліку шляхом встановлення модулів з імпульсними виходами або повна заміна на smart-лічильники.
2. **Середній рівень:** Встановлення комунікаційних модулів (контролерів), які збирають дані з лічильників та передають їх через бездротові мережі на центральний сервер.
3. **Верхній рівень:** Програмне забезпечення для візуалізації, аналізу та зберігання даних - UMUNI. Платформа дозволяє автоматично формувати звіти, виявляти аномалії споживання, порівнювати об'єкти між собою та прогнозувати витрати.

Попередні розрахунки показують, що впровадження такої системи дозволить скоротити споживання енергоресурсів на 5-15% лише за рахунок оперативного контролю та усунення нераціональних витрат. Орієнтовний термін окупності проекту становить від 2 до 4 років, залежно від обраної технології та поточного стану приладів обліку.

Висновки. Автоматизація процесу передачі показників лічильників є необхідним кроком для переходу до сучасної системи енергоменеджменту в бюджетних закладах. Це дозволить не лише досягти прямої економії бюджетних коштів, а й підвищити точність обліку, вивільнити час персоналу для виконання інших завдань та створити надійну базу даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо впровадження подальших енергоефективних заходів. Реалізація проекту сприятиме досягненню стратегічних цілей міста у сфері сталого енергетичного розвитку.

НТБ ЧДТУ

Список використаної літератури

[1] Закон України № 1818-IX, «Про енергетичну ефективність», 21 жовтня 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20.

[2] Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання», № 2119-VIII (22 червня 2017). [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2119-19.

[3] ДСТУ EN ISO 50001:2020, *Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.

УДК [621.867.3:622.612]:658.5

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОМ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІНІЙ ПРИЙОМУ ЗЕРНА З АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Кір'язов І.М., Хобін А.В., Степанов М.Т., Хобін В.А.
(ivan.kiryazov@se.ua, artem.khobin@gmail.com,
stepanov197818@gmail.com, khobin@ontu.edu.ua)
SE Group International (Німеччина),
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглядаються призначення та функціональна структура інноваційної автоматизованої системи оптимізації завантаження зерном потоково-транспортних ліній прийому зерна з автомобільного транспорту. Представлено результати роботи системи на морському зерновому терміналі у м. Миколаїв.

Експорт зерна з України реалізується через систему морських зернових терміналів (ЗТ). Переміщення зерна «всередині» ЗТ здійснюється потоково-транспортними лініями (ПТЛ) та потребує великих енерговитрат. Знизити ці витрати можливо підвищуючи продуктивність і завантажуючи ПТЛ зерном до її гранично допустимих значень, коли максимально знижується частка «холостого ходу» в навантаженні приводних електродвигунів (ПЕД) обладнання, підвищуються коефіцієнти їх потужності та корисної дії. Також підвищення продуктивності ПТЛ дуже важно для скорочення часу простою транспорту, зокрема автомобільного транспорту. В період збору врожаю зернових ця ділянка елеваторів є «вузьким місцем» процесу перевалки зерна і потребує вдосконалення. Але слід враховувати, що перевищення допустимого завантаження призводить до виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з розвитком завалів зерна в обладнанні ПТЛ, частіше - в башмаках норій. При цьому принципово важливо, що значення допустимого завантаження ПТЛ апріорі невідомі і змінюються зі зміною великої кількості факторів. Все це робить задачу підвищення продуктивності ПТЛ при одночасному забезпеченні її безаварійної роботи досить нетривіально.

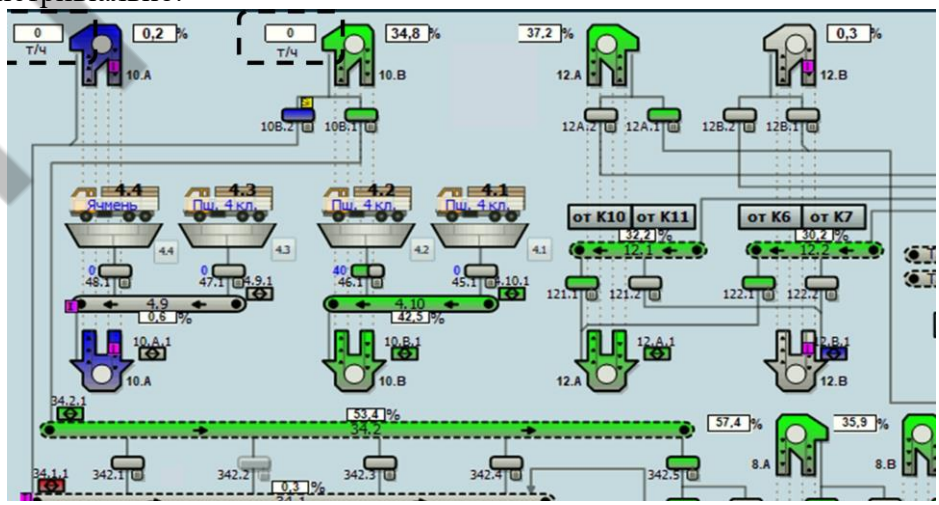


Рис. 1 - Фрагмент технологічної схеми з ділянкою ПТЛ приймання зерна з автомобільного транспорту

Розроблена автоматизована система оптимізації завантаження (АСОЗ) зерном потоково-транспортних ліній (ПТЛ) приймання зерна з автомобільного транспорту, яка впроваджена на одному з зернових терміналів м Миколаїв як раз направлена на вирішення цієї задачі. АСОЗ є інноваційною розробкою та реалізує базові функції технології Leffol & Senumac які запатентовані SE Group International [1–3].

Приклад технологічної схеми з ділянкою ПТЛ для керування якої розроблена АСОЗ представлено на рис.1.

Ділянка ПТЛ включає приймальні бункери (4.1 – 4.4), засувки (45.1, 46.1, 47.1, 48.1), норії (10.A та 10.B) та транспортери (4.9, 4.10).

Аналіз особливостей процесів приймання зерна з автомобільного транспорту на судна як ОК з позицій необхідних функціональних можливостей алгоритмів керування дозволяє сформувати наступну функціональну структуру АСОЗ ПТЛ.

Цільова функція АСОЗ ПТЛ – автоматичне формування загального, неперервного потоку зерна, що переміщується з приймальних бункерів 4.1 – 4.4, забезпечення стабілізації завантаження лінії на попередньо заданому, на вибір оператора, або, знайденому в автоматичному режимі, гранично-допустимому рівні, гарантуючи при цьому запобігання аварійним зупинкам поточно-транспортних ліній, обумовленим «завалами» зерна в башмаках норій 10.A та 10.B.

Для забезпечення виконання цільової функції АСОЗ ПТЛ в системі передбачена реалізація набору локальних функцій керування. До локальних функцій керування відносяться:

1. Автоматичний перерахунок напруги, струмів та коефіцієнтів потужності привідних електродвигунів норій 10.A та 10.B відповідно до моделей їх робочих характеристик у значення їх ступенів завантаження (% від номінальної).

2. Автоматичний або за командою оператора розрахунок ступенів завантаження холостого ходу норій 10.A та 10.B.

3. Автоматичний перерахунок ступенів завантаження норій 10.A та 10.B. значення їх продуктивностей (т/ч), з функцією автоматичного калібрування моделей розрахунку продуктивності за показами автомобільних ваг.

4. Позиціонування засувок 45.1, 46.1, 47.1, 48.1 що регулюють завантаження відповідних норій 10.A та 10.B, на заданий ступінь їх відкриття (без датчиків її положення з необхідною точністю), включаючи початковий ступінь відкриття, що розраховується за моделлю витратної характеристики засувок.

5. Автоматичне відкриття засувок 45.1, 46.1, 47.1, 48.1 на адаптивне розраховане (або задане оператором) безпечне значення при спустошенні приймального бункера, що запобігає значним навантаженням на стрічки транспортерів 4.9, 4.10 та висипанню зерна зі стрічки на початку вивантаження зерна з автомобіля.

6. Автоматичне перемикання подачі зерна при спустошенні поточного бункера на інший бункер с зерном для забезпечення безперервності потоку зерна і підвищення загальної продуктивності ділянки приймання зерна з автомобілів.

7. Автоматична, з використанням спеціальних регуляторів з прогнозуванням, стабілізація продуктивностей норій 10.A та 10.B на встановленому оператором заданому значенні. Актуально для режимів стікання зерна, що змінюється, і зміни бажаної продуктивності кожної норії 10.A та 10.B.

8. Максимізація продуктивності лінії приймання зерна, гарантуючи при цьому запобігання аварійним зупинкам поточно-транспортних ліній, обумовленим «завалами» зерна в башмаках норій.

Активація необхідних функцій керування у виробничій ситуації, що складається, виконується автоматично системою або оператором за допомогою вікна графічного інтерфейсу.

Результати виробничої експлуатації показали, що АСОЗ забезпечує досить високу точність розрахунку продуктивності ПТЛ, швидкий перехід ПТЛ з початкової продуктивності на номінальну, стабілізацію продуктивності ПТЛ на високих рівнях при перемиканні потоку зерна з кількох джерел. Одночасно АСОЗ ефективно запобігає виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних із завалами зерна в башмаках норій. Виробнича експлуатація показала що використання системи дозволило збільшити середню продуктивність перевантаження зерна приблизно на 11%. Аналіз проводився при прийманні біля 200 автомобілів масою від 10 до 35 тон.

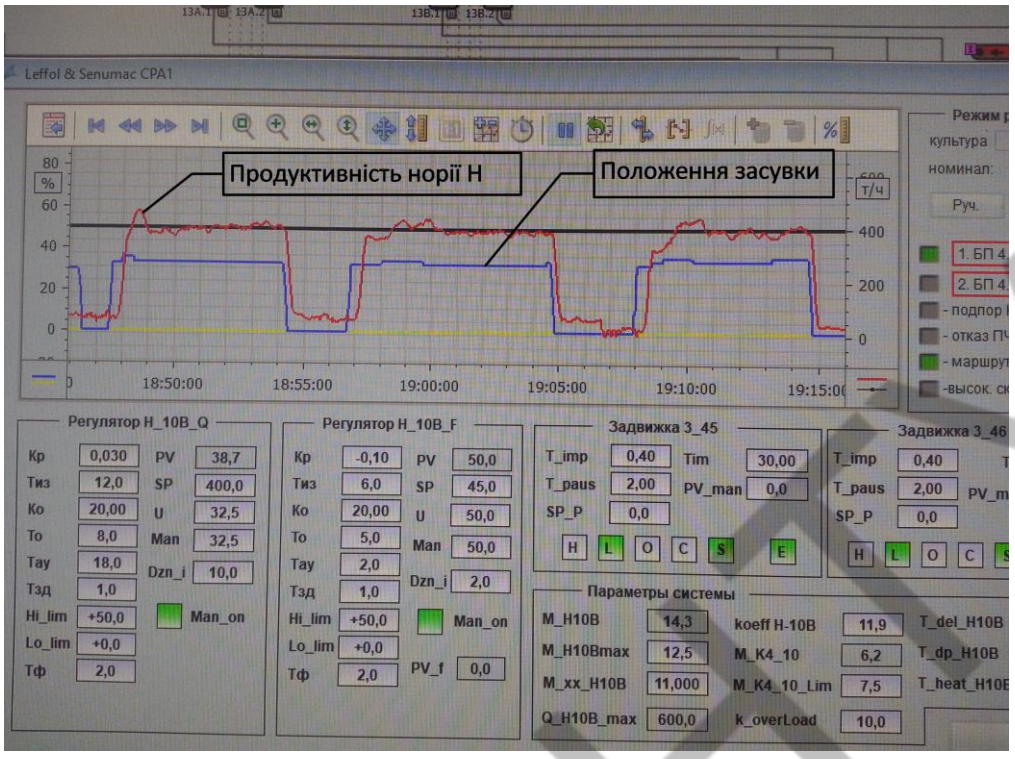


Рис. 2 - Вікно «Тренди» з діаграмами зміни продуктивності норій ПТЛ приймання зерна з автомобільного транспорту при вивантажені трьох автомобілів.

Джерела підвищення ефективності роботи ПТЛ при застосуванні АСОЗ:

- скорочення часу роботи ПТЛ зі зниженою продуктивністю, за рахунок стабілізації завантаження ПТЛ з використанням спеціальних регуляторів з прогнозуванням;
- максимізація продуктивності ПТЛ до її гранично допустимих значень визначених початком розвитку завалу зерна в башмаках норій ПТЛ та бункерних вагах;
- зменшення часу роботи лінії на холостому ходу за рахунок автоматичного переходу з спустошеного приймального бункеру на приймальний бункер з зерном і забезпечення безперервності потоку зерна.

Фрагмент діаграми (рис. 2) зміни продуктивності норій ПТЛ приймання зерна з автомобільного транспорту, ілюструє реальну ситуацію послідовного розвантаження трьох автомобілів на один приймальний бункер, коли система ефективно реалізує функцію автоматичної стабілізації заданої продуктивності норій 10.В і забезпечує високу стабільну продуктивність ПТЛ приймання зерна на рівні біля 400 т/год.

Список використаної літератури

1. Пат. на винахід 99525 Україна, МПК (2011.01), B65G 17/00, G01R 29/00. Спосіб контролю ступеня завантаження конвеєра / Аннаев Б. С., Герасимов В. В., Хобин В. А., Кирьязов И.Н., Шестопалов С. В. и др. – № a201014455; заявл. 03.12.10; опубл. 25.05.12, Бюл. № 10. – 14 с.

2. Пат. на винахід 95887 Україна, МПК (2011.01), B65G 17/00, B65G 47/46 (2006.01), B65G 65/42 (2006.01), G01G 11/12 (2006.01). Спосіб автоматичного управління завантаженням потоково-транспортної лінії сипких матеріалів / Аннаев Б. С., Герасимов В. В., Хобин В. А., Кирьязов И.Н., Шестопалов С.В. и др. – № a201015861; заявл. 29.12.10; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17. – 24 с.

3. Автоматизована система оптимізації завантаження зерном ПТЛ перевантаження зерна із залізничних вагонів на судна / Хобін В.А., Степанов М.Т., Кір'язов І.М., Шестопалов С.В.. Збірник тез доповідей 84 наукової конференції викладачів університету (ОНТУ) 23 – 26 квітня 2024 р.

УДК 004.94

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ

Ковальчук Д.М. (kovalchuk.d.n@ukr.net)
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)

У роботі розглянуто принципи побудови автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром на базі мікроконтролерних засобів. Визначено основні етапи розроблення апаратно-програмного комплексу, включно з вибором датчиків, виконавчих пристроїв, контролера та алгоритму керування швидкістю руху стрічки. Наведено математичну модель процесу регулювання швидкості конвеєра та обґрунтовано використання ПІД-регулятора для стабілізації руху при зміні навантаження. Описано реалізацію системи в середовищі Arduino IDE, проведено моделювання процесу в MATLAB/Simulink і наведено результати тестування. Показано, що розроблена система забезпечує високу стабільність, енергоефективність і можливість інтеграції у сучасні автоматизовані виробничі комплекси.

У сучасних умовах автоматизація виробничих процесів стає невід'ємною складовою розвитку промислових підприємств. Одним із ключових елементів транспортних систем є стрічкові конвеєри, які широко застосовуються для переміщення сипких, штучних або пакетованих матеріалів у гірничодобувній, харчовій, логістичній, а також машинобудівній промисловості. Від ефективності їх роботи залежить продуктивність підприємства, стабільність технологічних процесів і витрати енергоресурсів. Тому актуальним є питання розроблення автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром, що забезпечує адаптивне регулювання швидкості, напрямку та режимів роботи обладнання в залежності від навантаження, стану транспортованого матеріалу та зовнішніх умов.

Основною метою створення автоматизованої системи є забезпечення стабільного функціонування конвеєра, підвищення безпеки праці, а також зменшення енергоспоживання за рахунок інтелектуального керування приводом. Об'єктом дослідження виступає стрічковий конвеєр із електроприводом постійного струму, а предметом – процес автоматизованого регулювання швидкості обертання привідного барабана відповідно до навантаження на стрічці.

Для досягнення поставленої мети була розроблена архітектура системи, що складається з апаратної та програмної частин. До апаратної частини входять мікроконтролер Arduino Mega 2560, який виконує функції центрального керуючого елемента, датчики швидкості обертання, навантаження та присутності об'єктів на стрічці, силовий драйвер двигуна постійного струму, а також комунікаційний модуль Wi-Fi ESP8266 для віддаленого моніторингу. Як виконавчий пристрій використовується двигун постійного струму потужністю 1,2 КВт із редуктором, який через систему шківів і ремінь передає крутний момент на привідний барабан. Силова частина системи містить транзисторний ШІМ-регулятор, що формує керуючий сигнал на двигун відповідно до алгоритму регулювання.

Датчик швидкості (енкодер) генерує імпульси, пропорційні частоті обертання вала двигуна. На основі кількості імпульсів за певний інтервал часу мікроконтролер обчислює миттєву швидкість обертання. Датчик навантаження, виконаний на базі тензорезисторного моста, забезпечує вимірювання сили тиску на стрічку, що дозволяє оцінювати масу транспортованого матеріалу. Для контролю наявності об'єктів використовуються інфрачервоні або ультразвукові сенсори. Отримані сигнали піддаються фільтрації та нормуванню для подальшої обробки у програмній частині.

Алгоритм керування системою побудований на принципі замкненого контуру з негативним зворотним зв'язком. Базове рівняння регулювання швидкості можна подати у вигляді:

$$e(t) = \omega_{зад}(t) - \omega(t),$$

де $e(t)$ – похибка регулювання, $\omega_{зад}(t)$ – задана кутова швидкість, а $\omega(t)$ – фактична швидкість обертання барабана, визначена за сигналом енкодера.

Для забезпечення стабільності та плавності регулювання використано ПІД-регулятор, який формує керуючий сигнал:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

де K_p, K_i, K_d – коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових відповідно. Оптимальні параметри регулятора визначаються шляхом моделювання у MATLAB/Simulink.

Динаміку системи можна описати передавальною функцією електромеханічного приводу:

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{K_m}{(T_e s + 1)(T_m s + 1)},$$

де K_m – коефіцієнт підсилення двигуна, T_e – електрична стала часу, T_m – механічна стала часу. Впровадження зворотного зв'язку за швидкістю дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх збурень, таких як зміна навантаження або тертя в підшипниках.

Програмне забезпечення реалізоване на мові C++ у середовищі Arduino IDE. Головний цикл програми передбачає безперервне опитування датчиків, обчислення похибки регулювання, формування ШІМ-сигналу та передавання даних на веб-сервер для моніторингу. Для уникнення ривків при запуску двигуна реалізовано алгоритм плавного пуску, який поступово збільшує заповнення імпульсів ШІМ протягом визначеного часу. Це зменшує динамічні навантаження на стрічку та елементи передачі.

Важливою складовою системи є блок контролю аварійних ситуацій. При перевантаженні стрічки, зупинці або сповільненні руху нижче критичного рівня система автоматично вимикає двигун і активує звукову та світлову сигналізацію. Реалізовано функцію захисту від зворотного обертання, яка запобігає небезпечним ситуаціям під час раптового відключення живлення. Крім того, система підтримує дистанційне керування через Wi-Fi інтерфейс, що дозволяє оператору контролювати роботу конвеєра за допомогою веб-додатку або мобільного пристрою.

Для аналітичного дослідження процесів у системі створено математичну модель у MATLAB/Simulink. В моделі враховано нелінійність моментної характеристики двигуна, інерційність барабана та вплив навантаження. Рівняння руху описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = K_m I(t) - M_н(t),$$

де J – момент інерції ротора та приводу, B – коефіцієнт в'язкого тертя, $I(t)$ – струм у колі двигуна, $M_н(t)$ – момент навантаження. Електрична частина двигуна моделюється рівнянням:

$$L \frac{dI(t)}{dt} + RI(t) = U(t) - K_e \omega(t),$$

де L – індуктивність обмоток, R – опір обмоток, $U(t)$ – прикладена напруга, K_e – електромеханічна стала двигуна. Розв'язок системи рівнянь дозволяє отримати динамічні характеристики швидкості та моменту в різних режимах роботи.

Під час моделювання перевірялися режими плавного пуску, стабілізації швидкості та реакції на різке збільшення навантаження. Результати показали, що використання ПІД-регулятора забезпечує перехідний процес без перевищення швидкості більше ніж на 5% і з часом встановлення не більше 0,8 с. При збільшенні моменту навантаження на 20% швидкість конвеєра знижується не більше ніж на 2%, що свідчить про високу стійкість системи.

Завдяки використанню Wi-Fi модуля передбачено збір даних у хмарній платформі ThingSpeak. Це дозволяє аналізувати параметри роботи в реальному часі, вести журнал подій і своєчасно виявляти відхилення. Такий підхід створює передумови для подальшого розвитку системи у напрямі предиктивної діагностики, коли алгоритми машинного навчання можуть прогнозувати можливі несправності на основі історичних даних.

Важливо відзначити, що запропонована система є універсальною і може бути масштабована для різних типів конвеєрів – від малих лабораторних до промислових установок. Її перевагами є простота реалізації, невисока вартість компонентів, висока надійність та можливість інтеграції з системами SCADA або ERP для централізованого управління виробничими процесами.

Отже, у роботі розроблена автоматизована система керування стрічковим конвеєром реалізує сучасний підхід до управління технологічними процесами, базуючись на мікроконтролерних засобах, цифрових датчиках і адаптивних алгоритмах регулювання. Результати моделювання підтверджують високу точність стабілізації швидкості, стійкість до збурень і можливість

ефективної взаємодії з оператором через веб-інтерфейс. Запропоноване рішення може бути впроваджене в системах автоматизації логістичних центрів, сортувальних ліній, складських комплексів, а також у навчальних лабораторіях для демонстрації принципів автоматичного регулювання.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення регулятора шляхом застосування нечіткої логіки або нейромережевого підходу, що дозволить реалізувати самоналаштовувані системи з прогнозуванням параметрів процесу. Іншим напрямом розвитку є інтеграція сенсорів вібрації, температури та споживаного струму для комплексного моніторингу технічного стану обладнання в режимі реального часу. Це дасть можливість переходу до концепції «розумного виробництва» (Smart Factory) у межах Індустрії 4.0, де всі елементи системи взаємодіють через мережу IoT і забезпечують автономне прийняття рішень.

Висновки. У результаті дослідження створено математичну модель, алгоритм керування та апаратно-програмну реалізацію автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром. Проведене моделювання та експериментальні дослідження підтверджують працездатність розробленого рішення. Система характеризується високою стабільністю, здатністю адаптуватися до змінних умов роботи та можливістю інтеграції у промислові автоматизовані комплекси. Впровадження подібних систем сприятиме підвищенню ефективності виробництва, зниженню енергоспоживання та підвищенню безпеки експлуатації конвеєрного обладнання.

Список використаної літератури

[1] I. S. Biliuk, O. V. Savchenko, O. H. Vasyliev, A. P. Hurov, and O. Yu. Melnychenko, “Modernization of the Control System of the Electric Drive of a Belt Conveyor,” Scientific Collection “InterConf+”, no. 48 (213), pp. 238–250, 2024.

[2] N. A. R. Naajihah, N. M. Yahya, and N. A. Zainal Abidin, “Investigation of the Performance of PID Control Scheme for Linear Conveyor System,” *Mekatronika*, vol. 4, issue 1, pp. 1–7, 2022.

УДК 681.5:[66.047.4/6:663.15]:004.032.26

ЩОДО ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ КУКУРУДЗИ

Коренной Б. Ю., Світий І. М. (makstherat2018@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Одним з найважливіших етапів обробки зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою є його сушіння. Досягти необхідної якості цього процесу можливо лише за умови автоматичного керування ним. Існуючі системи автоматичного керування процесом сушінням не забезпечують необхідної його ефективності. В рамках науково-дослідної роботи аспіранта передбачено вивчення можливостей та реалізацію цифрового керування процесом сушіння зерна кукурудзи в шахтній зерносушарці. На початковому етапі дослідження побудовано каскадну систему оптимального керування з пошуком екстремуму. На наступному етапі планується забезпечити підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного керування. Отримані результати можуть мати практичну цінність не тільки в харчовій галузі, а й в медичній та фармацевтичній, при виробництві сировини для біотехнологій, при використанні зерна без відходів, при виробництві біоетанолу в паливній галузі, при виробництві паперу, картону, текстилю тощо.

Кукурудза – найдавніша хлібна рослина Землі, найбільша за розміром насіння із зернових. Переробка кукурудзи дозволяє отримувати продукти, затребувані у різних галузях промисловості для потреб людини, а також для виробництва кормів. Глибока переробка зерна кукурудзи сьогодні є актуальною що зумовлено одразу кількома факторами – економічними, технологічними та екологічними. Це – один із ключових напрямів підвищення доданої вартості агропродукції. Завдяки глибокій переробці зерна і сучасним технологіям виробництва можна отримати такі продукти як модифікований крохмаль (для харчової, фармацевтичної, паперової промисловості), глютен як концентрат рослинного білка, біоетанол і біогаз як відновлювані джерела енергії, лізин,

органічні кислоти, ферменти для харчової і фармацевтичної промисловості. Також це сприяє розвитку біотехнологій, зокрема поєднанню ферментації, мембранних методів, екологічних сушильних технологій.

Переробка кукурудзи передбачає декілька етапів. Одним з найважливіших етапів є сушіння зерна кукурудзи, оскільки воно дозволяє не тільки видалити вологу, але й зберегти хімічні властивості. Досягти необхідної якості цього процесу можливо лише за умови автоматичного керування ним.

Існуючі системи автоматичного керування процесу сушінням зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою не забезпечують необхідної ефективності процесу.

Метою дослідження в рамках науково-дослідної роботи аспіранта є підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи, шляхом удосконалення інтелектуального рівню системи автоматичного керування.

На початковому етапі дослідження розроблено математичну модель технологічного процесу сушіння кукурудзи перед її глибокою переробкою, проведено імітаційні експерименти, здійснено ідентифікацію моделей динамічних властивостей каналів керування, розроблено алгоритми керування, що забезпечують підвищення динамічної точності, а також на базі апарату нечітких множин та нейронних регуляторів, розширено модель об’єкту керування введенням проміжних точок контролю параметрів сушіння з подальшої побудовою каскадної системи оптимального керування з пошуком екстремуму (рис.).

На наступному етапі дослідження планується провести аналіз підвищення енергоефективності керування процесом сушіння зерна кукурудзи в шахтній зерносушарці перед її глибокою переробкою, зокрема здійснити обґрунтування функцій, провести моделювання об’єкту, синтез і порівняльний аналіз варіантів систем, тестування оптимального варіанту.

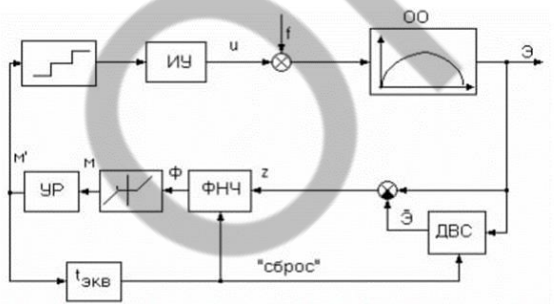


Рисунок - Структурна схема системи оптимального керування з пошуком екстремуму
ДВС - детектор зростаючого сигналу; УР - пристрій реверсу; ОО - об’єкт оптимізації; ФНЧ - фільтр низьких частот; ИУ - виконавчий пристрій

Необхідною умовою реалізації цього є розробка автоматизованого робочого місця оператора-технолога на базі отриманої фізичної моделі з використанням сучасних вбудованих мікропроцесорних систем. Це також дозволить отримати більш точну інформацію про процес, включаючи внутрішні змінні, а також провести необхідні експериментальні дослідження статичних та динамічних властивостей основних каналів та взаємозв’язків змінних процесу сушіння зерна кукурудзи в шахтній зерносушарці перед її глибокою переробкою. Використовуючи отримані статистичні та аналітичні дані буде розроблена аналітична математична модель процесу сушіння зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою в шахтній зерносушарці як об’єкт керування. Отримання цієї моделі дозволить реалізувати імітаційну модель процесу у середовищі Matlab Simulink.

Цей крок дозволить провести параметричний та оптимальний синтез системи автоматичного керування процесом сушіння зерна. Синтезовані в ході дослідження алгоритми керування необхідно підготувати до впровадження та відпрацювання їх на фізичній моделі з фізичним регулятором.

Отримані в ході дослідження напрацювання можуть мати практичну цінність не тільки в харчовій галузі, а й в медичній та фармацевтичній, при виробництві сировини для біотехнологій, при використанні зерна без відходів, при виробництві біоетанолу в паливній галузі, при виробництві паперу, картону, текстилю тощо.

Висновки

Переробка кукурудзи забезпечує отримання продуктів, затребуваних у різних галузях промисловості для потреб людини, а також для виробництва кормів.

Одним з найважливіших етапів обробки зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою є його сушіння.

Автоматичне керування процесом сушіння зерна кукурудзи забезпечує необхідний рівень якості готового продукту.

Існуючі системи автоматичного керування процесу сушіння зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою не забезпечують необхідної ефективності процесу.

В рамках науково-дослідної роботи аспіранта передбачено вивчення можливостей та реалізацію цифрового керування процесом сушіння зерна кукурудзи в шахтній зерносушарці.

Початковий етап дослідження завершився побудовою каскадної системи оптимального керування з пошуком екстремуму.

На наступному етапі дослідження планується забезпечити підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна кукурудзи перед її глибокою переробкою шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного керування.

УДК 62-932:62.532

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ TRIMBLE, TOPCON ТА LEICA ДЛЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ БДМ

Кудінов Є.О. (kudinov@khadi.kharkov.ua)
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

В тезах розглядається стислий порівняльний огляд Trimble, Topcon і Leica: GNSS/IMU, режими RTK/NRTK та PPP-RTK, хмарні сервіси (RTX, Topnet Live, SmartNet).

З огляду на сучасну парадигму автоматизованого керування будівельно-дорожніми машинами (БДМ), цілком закономірним є перехід від традиційних геодезичних процедур до інтегрованих рішень «машинного контролю» (AMG), що поєднують багатосузір'ївний GNSS, інерціальні сенсори, одометрію й цифрові моделі місцевості. На практиці ринок де-факто структурується навколо трьох великих екосистем — Trimble, Topcon і Leica Geosystems, — кожна з яких пропонує повний стек від приймання корекцій і GNSS-обладнання до кабінного ПЗ (програмне забезпечення), сервісів підготовки даних і навчання операторів. Щоб не обмежуватися рекламними тезами, доцільно оцінювати платформи через призму науково підтверджених властивостей методів RTK/NRTK, PPP/PPP-RTK та польових кейсів впроваджень у дорожньому будівництві [1]. Зокрема, державні та академічні огляди останніх років узгоджено фіксують: NRTK забезпечує швидкий старт і сантиметрову точність у зонах покриття опорних мереж, тоді як сучасні PPP-RTK-сервіси суттєво скорочують час збіжності до «десятків секунд — хвилини» за рахунок SSR-корекцій (представлення простору станів) і багаторазової доставки (IP/L-band).

Trimble позиціонує платформу Earthworks як ядро польового інтерфейсу та автоматизації керування робочими органами (зокрема екскаваторів), доповнене навчальним застосунком Earthworks Assistant для скорочення кривої навчання й оперативного самоналаштування екіпажів. У сегменті корекцій ключовим є глобальний сервіс Trimble RTX (CenterPoint RTX/RTX Fast), який у поєднанні з приймачами останнього покоління надає сантиметрову точність без локальної бази чи регіональної мережі, причому для Європи та Північної Америки продемонстровано збіжність менше хвилини у PPP-RTK-режимі. Практичні кейси продуктивності й автоматизації у земляних роботах (екскаватори, бульдозери) підтверджують відчутний виграш у швидкості та якості профілювання порівняно з традиційною роботою «по кілочках», а також позитивний ефект від персоналізованого HMI у кабіні [2].

Topcon розвиває модульну платформу MC-X (втілену в рішеннях MC-Max і 3D-MC), роблячи акцент на «змішаних парках» і наскрізному зв'язку через Sitelink3D; у частині корекцій глобальний сервіс Topnet Live пропонує як класичний RTK/NRTK, так і PPP/гібридні режими з

автоматичним «бриджингом» між зонами покриття, що важливо для лінійних об'єктів за межами щільних RTN-мереж. Документація та практичні посібники пропонують сумісність із багаточастотними приймачами, гнучке конфігурування датчиків і стабільний канал даних для землевпорядних, дорожніх і машинобудівних сценаріїв; окремі огляди інфраструктурних рішень також відзначають відкритість сервісу для OEM-інтеграцій [3]. Для підрядників це насамперед означає менші витрати на «узгодження парку» й зменшення простоїв під час переміщення техніки між майданчиками.

Табл.1 - Порівняльна таблиця систем Trimble, Topcon та Leica для позиціонування БДМ

Критерій	**Trimble**	**Topcon**	**Leica Geosystems**
Кабінне ПЗ	Earthworks (екскаватори, бульдозери, грейдери, ін.); зручний HMI; Earthworks Assistant (навчання)	MC-X / MC-Max, 3D-MC; акцент на гнучкій інтеграції в «змішаних парках»	MC1 / iCON (єдина платформа для екскавації, планування, фрезерування, укладання)
Хмарні сервіси / підготовка даних	WorksManager / WorksOS (проекти, фліт-менеджмент, аналітика)	Sitelink3D (проекти, телеметрія, координація парку)	iCON office / ConX (синхронізація, керування наборами даних)
Корекційні сервіси (основні)	Trimble RTX (PPP-RTK), підтримка RTK/NRTK	Topnet Live (RTK/NRTK; гібридні режими, «бриджинг» між зонами)	HxGN SmartNet (NRTK) + SmartLink/аналогічні PPP-опції (де доступно)
Доставка корекцій	IP + супутникова (L-band) для RTX	Переважно IP; регіонально — супутникові канали/гібриди (залежно від пакету)	IP; для PPP-опцій — також супутникова доставка (регіонально)
RTK/NRTK — старт/точність	Швидка фіксація; см-рівень у покритті RTN	Швидка фіксація; см-рівень у покритті RTN	Швидка фіксація; см-рівень у покритті RTN (сильне європейське RTN-покриття)
PPP-/PPP-RTK — конвергенція	«секунди–хвилини» (RTX/RTX Fast) залежно від регіону/каналу	«хвилини» для PPP/гібридів Topnet Live; залежить від пакету/регіону	«хвилини» для SmartNet/SmartLink PPP; залежно від покриття/каналу
Інтеграція сенсорів	GNSS + IMU; підтримка лазерів/тотал-станцій у критичних вертикалях	GNSS + IMU; широкий вибір датчиків; конфігуровність під різні машини	GNSS + IMU; тісна інтеграція з лазерною/тотал-станційною інфраструктурою (планування/фрезерування)
Сильні сторони (в полі)	Глобальний PPP-RTK (RTX), зручність HMI, навчальні інструменти; стабільність на віддалених/лінійних об'єктах	Інтероперабельність у «змішаних парках», гнучкі корекції й логістика між майданчиками	Стабільна вертикальна складова для планування/павінгу; «єдина платформа» для різних типів робіт
Можливі обмеження	Абонплата на RTX; регіональна варіативність L-band; вимоги до первинної валідації висоти	Залежність від покриття Topnet Live/мобільного зв'язку; тривалість PPP-конвергенції у «важких» умовах	Залежність від регіональної щільності SmartNet; PPP-опції/спутникові канали — не всюди
Найкращі сценарії	Далекі лінійні траси, кар'єри—будмайданчики; змішаний RTK/PPP режим протягом зміни	Підрядник із різношерстим парком техніки; часті передислокації між об'єктами	Міські/інфраструктурні об'єкти з критичною вертикаллю (фрезерування, укладання), щільне RTN
Сумісність / масштабування	Широкий OEM-ландшафт; прості робочі процеси BIM→кабіна	Сильна підтримка змішаних брендів/датчиків; гнучкі схеми підключень	Системна сумісність у межах екосистеми Hexagon; міцний сервіс у ЄС
TCO-фактори (практично)	Вартість/доступність RTX, навчання екіпажів, хмарні сервіси	Ліцензування Topnet Live, підключення Sitelink3D, сервіс «змішаних парків»	Підписки SmartNet/офісні пакети, сервіс/калібрування для точних вертикалей

Leica Geosystems вибудовує екосистему навколо ПЗ MC1/iCON, орієнтуючись на «one-for-all»-платформу для екскавації, планування, фрезерування та укладання, з акцентом на інтеграцію зі «своїм» глобальним сервісом HxGN SmartNet (NRTK/PPP та опції «RTK-містків»), який

покриває великі регіони і відомий розгалуженою мережею опорних станцій [4]. Реальні кейси дорожнього будівництва (зокрема фрезерування протяжних ділянок автошляхів у Європі) демонструють стабільність вертикальної компоненти та відтворюваність профілю під автоматичним контролем; водночас розширення лінійок для компактної техніки (наприклад, iXE3 для невеликих екскаваторів із поворотною стрілою) говорить про цілеспрямоване масштабування автоматизації вниз до малих машин. Для підрядника це означає передбачувану якість робіт у критичних допусках (планування/павінг), а також доступність корекцій «із коробки» там, де SmartNet має щільне покриття.

З методологічного погляду на точність і збіжність, незалежні огляди транспортного сектору узагальнюють: NRTK лишається базовим вибором для міських та приміських зон із розвиненою інфраструктурою референсних станцій, гарантуючи швидку фіксацію та сантиметрові координати за умови надійного мобільного зв'язку; PPP-RTK/SSR виявляється особливо корисним у віддалених/лінійних роботах, де мережі немає або вона фрагментарна, — останні сервіси (зокрема CenterPoint RTX Fast) демонструють ринки з часом збіжності, достатнім для безперервної машинної роботи, за рахунок багатоканальної доставки корекцій і моделювання іоносферно-тропосферних ефектів [5]. Для бригад це трансформується у меншу залежність від локальної RTK-інфраструктури й уніфікований потік корекцій на протяжних ділянках (трасування доріг, ланцюжки кар'єр — асфальтобетонний завод — будмайданчик).

Водночас польові та лабораторні праці з «розумного ущільнення» (IC) і дорожнього земляного полотна послідовно підтверджують практичні переваги AMG-підходів: зменшення повторних проходів, краща відтворюваність проектної поверхні й об'єктивізація контролю якості [6]. Ці висновки є платформ-незалежними та випливають зі спільної природи високочастотного моніторингу стану машини, цифрових проектних моделей і сенсорів дотику; у цьому сенсі Trimble, Topcon і Leica радше конкурують екосистемами та сервісами, ніж фундаментально різними алгоритмами GNSS-позиціонування. Тому до вибору «переможця» слід підходити прагматично: доступність і вартість корекцій на об'єкті (SmartNet/Topnet Live/RTX), сумісність із чинним парком, зрілість робочих процесів (CAD/BIM→польове ПЗ), наявність локального сервісу й навчання операторів — ось чинники, що найбільше впливають на ТСО і якість робіт.

Якщо говорити про міцні та слабкі сторони, то Trimble вирізняється глобальним PPP-RTK-портфелем RTX і широким інструментарієм підтримки операторів (навчальні застосунки, наскрізні робочі процеси), що знижує бар'єр експлуатації; Topcon системно працює зі «змішаними парками» та надає гнучкі схеми корекцій через Topnet Live (у т.ч. гібридні RTK/PPP-моделі) із підкресленою інтероперабельністю; Leica має сильну «вертикаль» iCON/MC1 і покладається на масштаб SmartNet для NRTK/PPP та «місткових» сервісів, що в реальних проектах демонструє стабільність вертикальної компоненти для планування/фрезерування. З урахуванням академічних оглядів RTN/PPP-RTK, кожен підхід дає сантиметрову горизонталь і контрольовану вертикаль за правильно підібраних корекцій і процедур валідації на старті зміни (перевірка контрольних точок, моніторинг конвергенції).

Підсумовуючи, можна констатувати що Trimble, Topcon і Leica сформували зрілі, технологічно зіставні екосистеми AMG для БДМ; при цьому вибір між ними не зводиться до абстрактних рейтингів, а повинен спиратися на, по-перше, топологію корекцій на трасі (де саме працюєте сьогодні й завтра), по-друге, вимоги до вертикальних допусків (чи потрібне поєднання GNSS із роботизованою станцією/лазерною інфраструктурою на критичних операціях), по-трете, інтеграцію з вашим BIM/CAD-ланцюжком і доступність місцевої підтримки/навчання (табл.1). За дотримання цих умов будь-яка з трьох платформ забезпечує стабільне сантиметрове позиціонування, зниження переробок і підвищення «прозорості» якості робіт по всьому життєвому циклу дорожнього проекту.

Список використаної літератури

[1] Torres, H. N., Ruiz, J. M., Chang, G. K., Anderson, J. L., & Garber, S. I. (2018). *Automation in highway construction part I: Implementation challenges at state transportation departments and success stories* (No. FHWA-HRT-16-030). United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development.

[2] Trimble, “Trimble Earthworks Excavator Automatics Functionality Increases Operator Speed and Accuracy,” Trimble.com, Aug. 15, 2018. https://heavyindustry.trimble.com/resources/customer-stories/trimble-earthworks-excavator-automatics-functionality-increases-operator-speed-and-accuracy
[3] Why MC-X, “Why MC-X,” *Topcon Positioning Systems, Inc.*, Feb. 10, 2022. https://mytopcon.topconpositioning.com/na/why-mc-x
[4] “Precision You Can Count On,” *hxgnsmartnet.com*. https://hxgnsmartnet.com/
[5] Raza, S., Al-Kaisy, A., Teixeira, R., & Meyer, B. (2022). The Role of GNSS-RTN in Transportation Applications. *Encyclopedia*, *2*(3), 1237-1249. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2030083
[6] Ranasinghe, R., Sounthararajah, A., & Kodikara, J. (2023). An Intelligent Compaction Analyzer: A Versatile Platform for Real-Time Recording, Monitoring, and Analyzing of Road Material Compaction. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *23*(17), 7507. https://doi.org/10.3390/s23177507

УДК 004.94:655

КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ

Кудряшова А. В., Петрик В. А. (alona.v.kudriashova@lpnu.ua, petrikvolodja0@gmail.com)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Виокремлено та описано критерії якості обрізування книжкових блоків, зокрема геометричну точність, чистоту зрізу, відсутність технологічних дефектів, відповідність конструктивним вимогам. Здійснено схематичне представлення виокремлених критеріїв.

Обрізування книжкових блоків є однією з ключових операцій післядрукарського опрацювання книжкових видань, що визначає остаточний формат. Обрізування визначає зовнішній вигляд і експлуатаційні властивості книги. В умовах сучасного конкурентного ринку, коли якість продукції виступає визначальним чинником її комерційної успішності, проблема наукового обґрунтування критеріїв якості обрізування набуває особливої актуальності. Незважаючи на достатню технічну оснащеність сучасних друкарень, досі спостерігаються випадки браку, пов’язані з дефектами зрізу. Це свідчить про відсутність системного підходу до визначення та уніфікації критеріїв оцінювання якості обрізування.

З огляду на сказане, метою статті є систематизація критеріїв якості обрізування книжкових блоків та формування комплексного підходу до їх оцінювання. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

– визначити ключові критерії, які забезпечують якість обрізування книжкових блоків;

– окреслити перспективи удосконалення контролю якості на основі цифрових технологій.

Дослідження в галузі післядрукарських процесів доводять, що якість обрізування прямо залежить від геометричної точності виконання операції та фізико-механічних властивостей матеріалів [1]. У [2] зазначено, що обрізування є критичним етапом, оскільки будь-яке відхилення формату одразу впливає на сприйняття книги. У [3] цю проблему розглянуто з точки зору матеріалознавства, ролі гостроти ножів та режимів притиску. У [4] вказано, що навіть мінімальні дефекти зрізу значно знижують експлуатаційну надійність книжкових блоків, особливо у випадку твердих палітурок. Низка стандартів, зокрема [5] регламентує допустимі відхилення у розмірах і встановлює вимоги до прямолінійності та чистоти зрізу.

Якість обрізування формується на основі комплексу взаємопов’язаних критеріїв. Першим і найважливішим є геометрична точність. Вона визначає відповідність фактичних розмірів блоку заданим у макеті та стандартах. Навіть відхилення у межах ±0,3 мм можуть бути візуально відчутними, особливо у багатосторінкових виданнях, де асиметрія полів негативно впливає на читабельність і візуальну гармонію сторінки.

Другим, але не менш важливим критерієм є чистота зрізу. Вона характеризується відсутністю розшарувань та мікротріщин. Порушення чистоти виникає у разі зношеності ножів, неправильної сили притиску або невідповідності товщини блоку допустимим значенням. Для крейдованих сортів паперу характерна поява відшарувань покриття. Офсетний папір при надмірному притиску може утворювати зім’яті краї.

Третім виокремленим критерієм є відсутність технологічних дефектів. Серед найбільш поширених дефектів можна виокремити хвилястість краю, яка виникає через нерівномірний тиск притискної балки, та перекошені зрізи, спричинені неправильним налаштуванням машини. Подвоєні різи свідчать про люфт ножа або неправильне закріплення блоку. Зім'яті кути часто є наслідком перевищення допустимої товщини стосу аркушів. Кожен із цих дефектів знижує довговічність книги та порушує її естетичний вигляд.

Четвертий критерій пов'язаний із відповідністю конструктивним вимогам різних типів видань. Наприклад, тверді палітурки потребують максимальної точності та гладкості зрізів, оскільки блок щільно з'єднується з палітуркою. У виданнях у м'якій обкладинці вимоги є дещо нижчими, проте на перший план виходить рівність країв, яка забезпечує щільність склеювання.

Також до основних факторів впливу на якість обрізування книжкових блоків слід відности такі: властивості паперу (щільність, вологість, структура волокон), стан ріжучого інструмента (затуплення леза навіть на 5 % знижує якість на 20 %), параметри налаштування обладнання (сила притиску, швидкість руху ножа, точність позиціонування блоку), кваліфікація оператора (вміння контролювати режими, своєчасно замінювати ножі та діагностувати дефекти) [2].

Сучасні методи контролю якості включають як традиційний візуальний огляд, так і інструментальні засоби. Для дослідження чистоти зрізу застосовують мікроскопічний аналіз, що дозволяє оцінити мікроструктуру краю. Геометричні параметри перевіряють калібрами та оптичними приладами. Останнім часом впроваджуються цифрові системи фотооптичного контролю, які у режимі реального часу відстежують відхилення формату, виявляють хвилястість або мікродефекти зрізу і автоматично коригують налаштування машини. Це значно зменшує кількість браку, знижує витрати та підвищує стабільність виробництва.

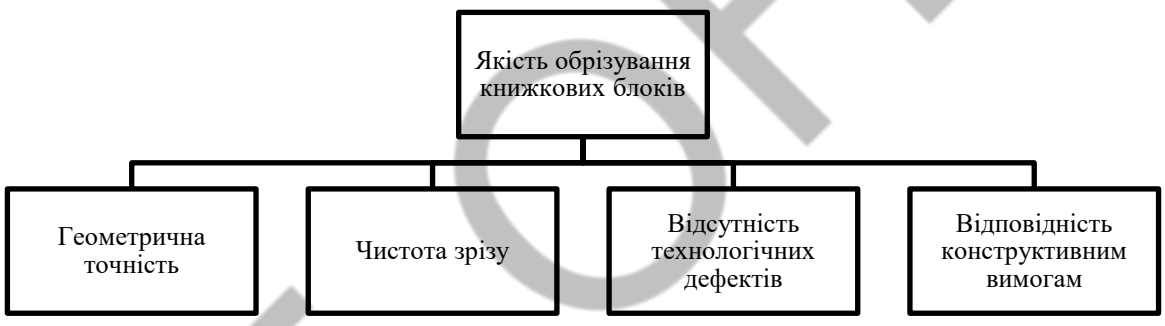


Рис. 1 - Критерії якості обрізування книжкових блоків

Висновок. Обрізування книжкових блоків є технологічно складним процесом, якість якого визначається системою взаємопов'язаних критеріїв. Основними виступають геометрична точність, чистота зрізу, відсутність дефектів та відповідність конструктивним особливостям конкретного виду видання. Результат обрізування залежить від властивостей паперу, стану ріжучого інструмента, налаштування обладнання та професійної компетентності оператора. Сучасні методи контролю, зокрема цифрові системи фотооптичної перевірки, відкривають можливість суттєвого підвищення стабільності виробництва та зменшення кількості браку. Подальші дослідження мають бути зосереджені на розробці автоматизованих алгоритмів оцінки чистоти зрізу та інтеграції систем машинного зору у виробничі лінії.

Список використаної літератури

1. H. Kipphan. Handbook of print media: technologies and production methods. Springer. 2014. 1207 p. https://doi.org/10.1007/978-3-540-29900-4.

2. Маїк В. З. Технологія брошурувально-палітурних процесів : підручник / За заг. ред. д-ра. техн. наук, проф. Лазаренка Е. Т. Львів: Українська академія друкарства, 2011. 488 с.

3. Q. Zhang, F. Liu, D. Wu, S. Qu, W. Liu, Z. Chen, (2023). A comprehensive understanding of knife cutting: effects of hardness, blade angle and the micro-geometry of blade edge on the cutting performance. *Materials.* 2023. № 16 (15), 5375. https://doi.org/10.3390/ma16155375.

4. Quality levels for binding. Available: https://www.canada.ca/en/public-services-procurement/services/acquisitions/communication/quality-levels-binding.html?utm_source=chatgpt.com [Accessed: September 22, 2025].

5. ISO 16763:2016, Graphic technology — Postpress (standard specifying quality requirements and tolerances for bound products). Available: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16763:ed-1:v1:en [Accessed: September 22, 2025].

УДК 655.3.066.12

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧОГО ОПРАЦЮВАННЯ ГАЗЕТНО-ЖУРНАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Сліпецький Ю. Б., Кудряшова А. В. (yurii.b.slipetskyi@lpnu.ua, alona.v.kudriashova@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Розглянуто процес редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальної продукції в умовах сучасного медіапростору. Визначено основні проблеми організації редакційного циклу, зокрема потребу в оптимізації взаємодії між учасниками та зменшенні часових витрат на погодження. Запропоновано формалізацію процесу за допомогою UML-моделювання. Побудована діаграма послідовності демонструє структуру процесу та ключові точки контролю, що сприяє підвищенню ефективності редакційно-видавничої діяльності та мінімізації ризиків допущення помилок.

Сучасний медіапростір функціонує в умовах високої конкуренції та значної інтенсивності інформаційних потоків. Газетно-журнальні видання повинні забезпечувати регулярний випуск актуальних та достовірних матеріалів з високим рівнем поліграфічної якості та візуальної привабливості. Основною проблемою залишається необхідність оптимізації цього процесу, зокрема зменшення часових витрат на погодження між структурними підрозділами, підвищення точності контролю на всіх етапах і забезпечення ефективної взаємодії між учасниками редакційного колективу. Відсутність формалізованих моделей ускладнює управління редакційним циклом і створює ризики помилок, які можуть вплинути на якість кінцевої продукції.

Метою дослідження є формалізація процесу редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальної продукції шляхом побудови моделі, що відображає взаємодію учасників, послідовність дій та ключові точки контролю. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: визначити основні етапи редакційно-видавничого циклу, що мають вирішальне значення для якості видання; розробити структурну модель послідовності дій, яка дозволяє відтворити інформаційні та управлінські потоки; обґрунтувати можливість застосування моделей у системах автоматизованого управління видавничою діяльністю.

Сучасні дослідження з предметної області фокусуються на автоматизації макетування та формалізації робочих процесів. Зокрема у роботі [1] описано алгоритми для персоналізованого розташування статей на сторінках. Сучасні платформи, наприклад [2], демонструють практичну реалізацію автоматизованого макетування друкованих сторінок на основі штучного інтелекту. У [3] описано динамічну оптимізацію макетів в реальному часі. Однак, більшість досліджень спрямовані на вебресурси. Натомість, недостатньо уваги приділено друкованим газетно-журнальним виданням.

Процес редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальної продукції характеризується чіткою структурованістю операцій та взаємодією між учасниками. На початковому етапі колектив авторів формує текстові матеріали, які є первинною інформаційною основою майбутнього видання. Після цього відбувається передача матеріалу редактору. Він виконує мовностилістичне редагування та перевіряє на відповідність стандартам видання. Якщо текст потребує доопрацювання, то повертається автору для внесення змін. Це забезпечує дотримання високих вимог до якості змісту.

Після завершення етапу редагування матеріали передаються дизайнеру-верстальнику, який інтегрує текст у макет. Дизайнер взаємодіє з системою верстання, що дозволяє створити попередню структуру шпальти з урахуванням графічних та типографічних вимог. Далі дизайнер передає макет редактору для повторного оцінювання.

Редактор аналізує згенерований макет щодо коректності подачі матеріалів, логічності їх розташування та відповідності стилю видання. За необхідності він повертає дизайнеру коментарі та пропозиції щодо правок. Фінальний варіант перевіряється на відповідність технічним параметрам друкування та підписується до друку [4].

Моделювання процесу редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальних видань здійснено із застосуванням UML [5], що дозволяє представити інформаційні потоки, дії учасників та взаємозв'язки між ними. Основними суб'єктами є:

- автор — готує текстові матеріали;
- редактор — виконує редагування та погодження;
- дизайнер-верстальник — формує макет;
- система верстання — забезпечує інтеграцію контенту та контроль параметрів;
- видавництво (керівники, технологи) — здійснює фінальне затвердження та друк.

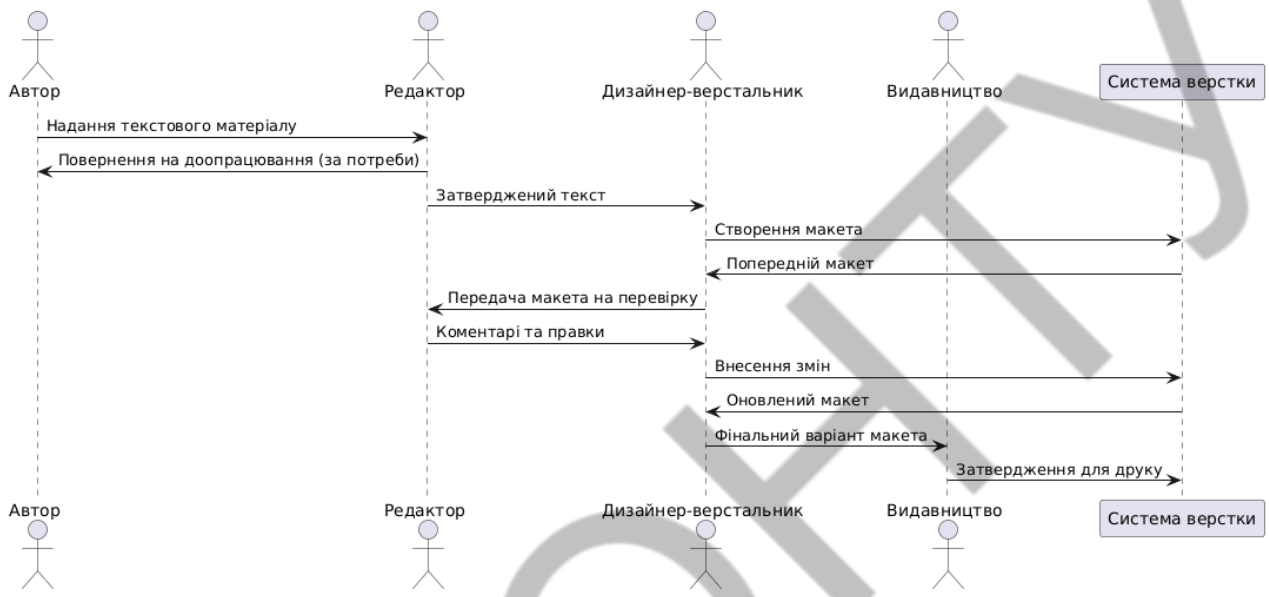


Рис. 1 - Діаграма послідовності редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальної продукції

Змодельований процес демонструє логічну послідовність взаємодії між авторами, редактором, дизайнером та системою верстання. Така організація забезпечує контроль якості на кожному кроці, підвищує узгодженість дій і сприяє мінімізації ризиків виникнення помилок у друкованій продукції. Модель чітко показує важливість ітераційної перевірки та багаторівневого затвердження.

Висновок. Моделювання процесу редакційно-видавничого опрацювання газетно-журнальних видань дало змогу формалізувати послідовність дій між усіма учасниками видавничого циклу. Отримана UML-діаграма підтверджує доцільність застосування формалізованих моделей для оптимізації управління редакційними потоками. Такий підхід забезпечує багаторівневий контроль якості, знижує ймовірність помилок та сприяє скороченню часу на узгодження матеріалів. Використання моделі створює підгрунтя для впровадження автоматизованих систем управління редакційною діяльністю, що є перспективним напрямом розвитку видавничої галузі.

Список використаної літератури

1. T. Strecker, L. Hennig. Automatic layouting of personalized newspaper pages. *Operations Research Proceedings 2008: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR) University of Augsburg*. 2009. Pp. 469–474.
2. Editorial system InterRed: AI-based layout for automated print production. Available: https://www.interred.de/en/news/news/editorial-system-interred-ai-based-layout-for-automated-print-production-100850.html?utm_source=chatgpt.com [Accessed: September 08, 2025].
3. S. R. Shen, J. Balakrishnan, C. H. Cheng. Dynamic content layout optimization for news website front pages. *Journal of Modelling in Management*. 2024. № 19 (6). Pp. 1907–1926.
4. С. Ф. Гавенко, З. М. Сельменська, Л. Й. Кулік, І. М. Назар. Технологія газетно-журнального виробництва. Львів : Українська академія друкарства, 2009. 304 с.
5. В. С. Авраменко, А.С. Авраменко. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник. Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

УДК 004.588

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДУЛЮ СТЕКУ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ РОЗРОБКИ БЕЗПЕЧНОГО ВЕБДОДАТКУ

Куриляк А.І., Коробейнікова Т.І., Журавель І.М.
(andrii.kuryliak.kb.2025@lpnu.ua**,** tetiana.i.korobeinikova@lpnu.ua,
ihor.m.zhuravel@lpnu.ua)
Національний університет "Львівська політехніка" (Україна)

В роботі проводиться дослідження основних вимог для забезпечення безпеки вебдодатків типу SPA і PWA. На основі цих вимог, рекомендацій, методів та засобів створюється система, яка поєднує їх всіх в цілісну структуру та покроково вирішує всі проблеми які виникають під час розробки.

Вступ

Вебдодатки – це інтерактивні програми, які працюють у браузері користувача і виконують певні поставлені розробником задачі. Це можуть бути інтернет магазини, навчальні платформи для студентів, медичні платформи, фінансові сервіси, SaaS (Software as a Service), соціальні мережі і так далі. Всі вони мають перед собою завдання надати користувачу певний набір функціоналу для оптимізації роботи, досягнення потрібної цілі, вирішення побутових справ, збереження даних тощо. Кожен вебдодаток по своєму різний, не існує двох однакових – різні рішення на рівні технологій розробки, сторонні сервіси, платформи, дизайни і найголовніше підтримка безпеки. Щодо самої безпеки, то це надзвичайно вагома проблема в наш інформаційний час.

Постановка проблеми

Все більше і більше можна зустріти новин про проведення атак на різні вебдодатки, сайти, портали і ці атаки стають складнішими і частішими.Через це досі актуальною проблемою буде забезпечення всеосяжної безпеки вебдодатку, звісно, отримати 100% безпеку свого вебдодатку може забезпечити не кожна команда. Для цього потрібні гроші, ресурси, команди спеціалістів, новітні технологічні рішення і фундаментальні знання в цій сфері і для цього керівники витрачають багато часу і зусиль. Зараз з'являється все більше команд ентузіастів які бажають створити свої власні вебдодатки з високою продуктивністю і ефективністю у поставлених задачах.

Частина цих розробників забувають про всеосяжну безпеку або не мають змоги її втілювати через брак кадрів, ресурсів чи коштів і через це в кінцевому результаті може вийти хороший вебдодаток але з прогалинами в безпеці. Через це з'являється потреба у створенні рішення, яке зможе зменшити вплив всіх цих факторів та підняти рівень безпеки з нахилом на її поступове збільшення. Це рішення буде сформоване у вигляді системи, яка буде складатись з восьми підсистем, кожна з яких відповідальна за важливий етап процесу створення вебдодатку. В кожній підсистемі робиться акцент на безпеці, вона задіяна в усіх кроках і відповідає найкращим практикам, правилам, інструкціям та засобам.

Основний виклад матеріалу

В кожній підсистемі робиться акцент на безпеці, вона задіяна в усіх кроках і відповідає найкращим практикам, правилам, інструкціям та засобам. Система поділяється на дві частини – тренінгова і технічна. Дані частини поєднуються між собою за умови того, що команда розробників чи керівник почнуть її використовувати з підсистеми "Навчання", це дасть змогу вирішити проблему обізнаності працівників про кібербезпеку, створити та інтегрувати власну системи навчання та перевірки з циклічним повторенням. Дана підсистема може включати в себе підготовку та навчання усіх інших підсистеми в технічній частині, тобто працівників можна навчити плануванню заходів безпеки, роботи з спеціалізованим стеком технологій, створювати ефективні прототипи, розробляти безпечний вебдодаток та тестувати його і підтримувати після випуску.

Значною особливістю даної системи є її гнучкість, а саме вона проявляється в її підсистемах. Кожен розробник чи керівник може модифікувати підсистему відповідно до власних потреб або в сторону зручності, а система яка представлена в першому варіанті основується на найбільш ефективних і загальних практиках, що і може зробити її універсальною. Фіксованим

завданням залишається виконання даних підсистем, тобто, одразу ж створення прототипу без планування самого додатку є неможливим. Саме тому, кожному розробнику перед початком застосування даної системи потрібно зважити всі нюанси, проаналізувати можливий вплив системи і визначити для себе найбільш критичні місця на яких потрібно буде зосередитись. Після аналізу за бажанням керівництва може бути виділена людина, яка буде контролювати виконання систем і збирати дані про підвищенні показники в різних підсистемах і зазначати відправні контрольні точки до переходу на інші підсистеми чи сегменти. Перехід може відбуватись за певних сприятливих факторів чи можливих позитивних результатів, звісно ж, дана система може і якоюсь мірою негативно впливати на якісь процеси, якщо їх виконує невідповідна людина, технології чи методології тощо. Перехід до наступної підсистеми чи сегмента може бути обумовленим такими показниками:

- Досягнута ціль відповідає всім очікуванням, критеріям і поставленим задачам. Дана відповідність повинна перевірятись шляхом перевірки досягнення всіх сегментів, які описані в підсистемі і тому як вони повпливали на розробку вебдодатку чи компанії. Наприклад, якщо після постановки SMART-цілей ефективність чи фокус команд зросли і приносять певні результати, то даний сегмент можна вважати виконаним, але варто перевіряти його ефективність впродовж деякого часу.
- Якщо сегмент не може бути виконаний зараз, але завдяки наступному з’являється можливість. Даний випадок може траплятись в багатьох підсистемах і в залежності від того, яка модифікована версія всієї системи була створена розробником. Інколи для досягнення однієї цілі потрібно спочатку виконати наступну.
- Вплив термінів виконання. Якщо керівник вважає, що виконання підсистеми чи її сегменту може зачекати і спершу потрібно виконати наступну, то він може поставити власну контрольну точку і створити завдання щодо повернення до виконання пропущеного завдання. Найчастіше така ситуація може виникати з некритичними завданнями чи процесам і не зможе викликати проблем в майбутньому, звісно, залишати завдання не виконаним не можна.
- Створюваний додаток не потребує виконання конкретної підсистеми чи сегменту. В системі створення безпечного вебдодатку передбачено, що всі підсистеми і сегменти повинні бути обов’язково виконані, але враховуючи, що кожна команда розробників чи керівники можуть спланувати вебдодаток який не буде відповідати деяким цілям системи, то таке правило не є обов’язковим, але може непотрібні підсистеми чи сегменти можуть замінятись іншими і це не порушить повний цикл розробки.

Наприклад, підсистема вибору стеку технологій для розробки (рис. 1). Саме ця підсистема є критичною частиною архітектурного формування системи, адже саме на цьому етапі закладається технічний фундамент, який визначає рівень безпеки, масштабованості, стабільності та гнучкості. Основною ідеєю даної підсистеми є створення єдиної екосистеми технологій у якій усі компоненти – від інтерфейсу користувача до вебсерверу працюють узгоджено та за принципом “Security by default (безпека за замовчуванням). Саме на даній підсистемі етап планування перетворюється на технічний, де ідеї створені в минулому, моделі загроз і вимоги безпеки отримують практичні рішення. [1]

Контрольні точки відіграють не менш важливу роль на етапі вибору стеку технологій, вони створюють чітке розуміння кроків поєднання різних рішень, налаштування середовищ для тестування працездатності, реалізації безпекових компонентів, конфігурацій баз даних та політик доступу, захисту периметру і вебсерверної конфігурації, інтеграційному тестуванні та моніторингу і верифікації готовності стеку до прототипування. В цьому випадку кожна КТ дає окреме фундаментальне рішення для підготовки до створення прототипу і роботи в цілому. Далі детально будуть розглядатись дані КТ:

- Контрольна точка 1 – Вибір технологій та їхня сумісність. Першочерговою задачею даної підсистеми є формування стабільного та ефективного складу технологій для кожного рівня системи, тобто на шляху до досягнення даної КТ відбувається аналіз взаємної сумісності компонентів (версій, ORM драйверів бази даних, бібліотек тощо). Для команди рекомендовано підготувати окремий файл з описом причин вибору кожної технології і бібліотеки, критерії оцінки та ризик заміни;
- Контрольна точка 2 – Налаштування середовища розробки. Після затвердження стеку формується базове середовище, тобто репозиторії із політиками безпеки та скриптами для

статичного аналізу (SAST) та автоматичного тестування. Цим самим розробники можуть запускати систему локально в ізольованому режимі, де всі рішення будуть взаємодіяти через захищені канали, а будь-яке порушення політик чи інші проблеми будуть фіксуватись лінтерами і CI-перевірками; [2]

- Контрольна точка 3 – Реалізація безпекових компонентів. Дана КТ може відігравати центральним ядром усієї підсистеми, через “повне шліфування” безпеки із додаванням додаткових заходів у вигляді бібліотек, скриптів та правил. Крім того, у CI/CD інтегрується OWASP Dependency Check, який виконує аналіз усіх бібліотек для знаходження критичних CVE-вразливостей, а результати звітів аналізу фіксуються у репозиторії;
- Контрольна точка 4 – Конфігурація бази даних і політик доступу. Шлях виконання цієї КТ основується на додаткових технічних рішеннях стосовно бази даних на PostgreSQL, адже Oracle можуть собі дозволити тільки великі команди з великою кількістю ресурсів. Тобто для PostgreSQL активовується TLS-шифрування для всіх з’єднань, вмикається автентифікація SCRAM-SHA-256, та грамотно створюються окремі ролі для читання, запису та адміністрування. Також додатково використовується політика RLS (Row Level Security) – завдяки їй дані будуть відфільтровуватись на рівні SQL відповідно до ролі користувача. Окрім цього, модуль pgcrypto забезпечить шифрування полів з персональними даними, а логування буде проводитись через pgAudit із поділом рівнів критичності полів. Обов’язковим до виконання також є розгортання системи резервного копіювання pgBackRest або WAL-G, з виконанням щоденних інкрементних та щотижневих повних бекапів; [2][3][4]
-

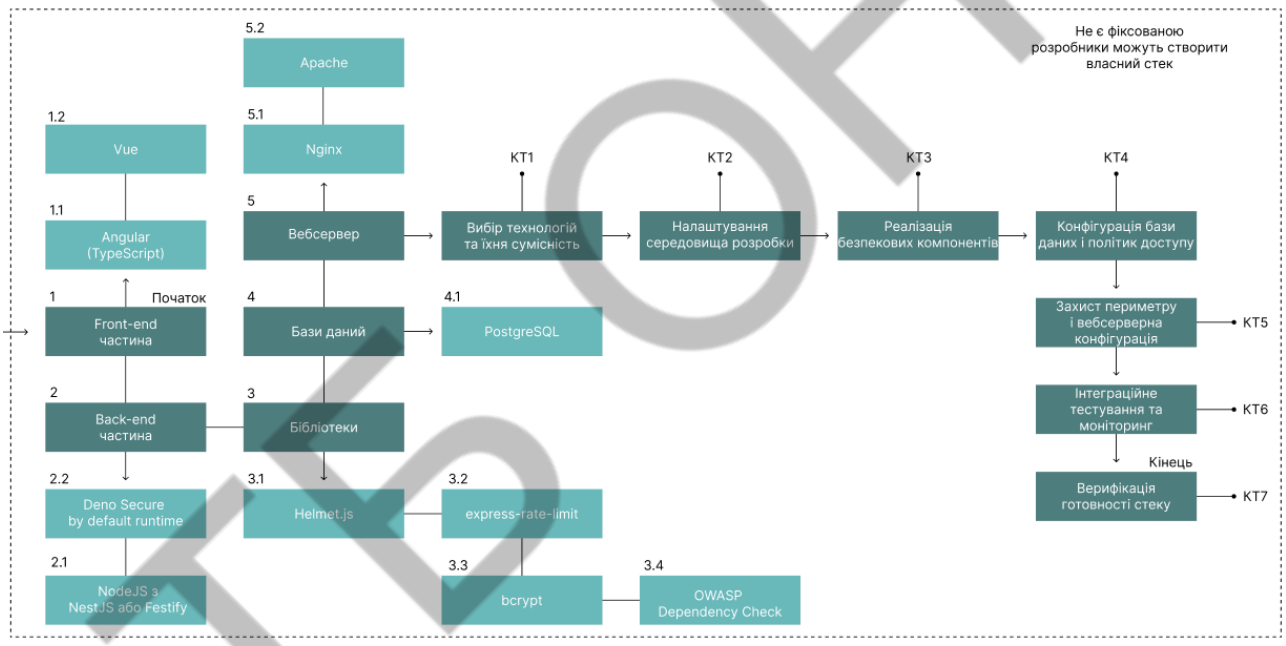


Рис. 1 Графічний вигляд підсистему вибору стеку технологій та контрольні точки

- Контрольна точка 5 – Захист периметру і вебсерверна конфігурація. Після налаштування та “поставлення на ноги” внутрішніх компонентів, необхідно забезпечити безпечний периметр системи. Для цього на рівні Nginx (або Apache) впроваджується TLS 1.3 та політика HSTS з поступовим збільшенням часу дії, також вебсервери налаштовуються на обмеження розміру запиту й кількості з’єднань на клієнта. Додатково інтегрується “ModSecurity” із набором правил OWASP Core Rule Set (CRS), це забезпечує базовий WAF-захист від SQL-ін’єкцій, XSS, CSRF та LFI/RFI-атак. Критеріями для досягнення даної КТ є: сервер приймає лише зашифровані з’єднання, WAF працює в активному режимі без фатальних помилок, а всі сканування повертають рейтинг безпеки A або вище; [5][6]
- Контрольна точка 6 – Інтеграційне тестування та моніторинг. Після вже фінального вибору потрібних рішень необхідно провести комплексне тестування взаємодії цих самих рішень між собою. Для цього Фронтенд тестується на відповідність CSP-політиці, бекенд на правильність обробки валідаційних помилок і “rate-limits”, а база даних на коректність RLS-фільтрів і аудит-логів. Паралельно цьому впроваджується одна із систем моніторингу - Prometheus, Grafana, ELK

Stack або Sentry, які будуть збирати метрики й події безпеки. Критеріями для досягнення даної КТ є: система пройшла інтеграційні тести, метрики доступні для аналізу, журнали безпеки фіксують усі спроби доступу, а команда має дашборд для спостереження; [9][10]

- Контрольна точка 7 – Верифікація готовності стеку до прототипування. Дана КТ являє собою формальну перевірку стабільної взаємодії всіх обраних технологій і їх відповідність вимогам планування. Для цього створюється звіт про готовність стеку, в якому будуть:

1. перелік усіх версій компонентів і бібліотек;
2. результати аудиту залежностей і безпекових сканувань;
3. докази виконання резервного копіювання;
4. звіт тестування TLS, CSP і RLS-політик;
5. журнал пройдених тестів на навантаження та проникнення.

Лише після затвердження цього звіту підсистема вважається завершеною, і команда може переходити до етапу прототипування функціональних модулів. [11]

Висновки

Система розробки безпечного вебдодатку позиціонує себе як цілісний організм, який поєднує в собі всі найкращі практики планування, вибору стеку технологій, прототипування, розробки, тестування та підтримки. Система відбирає актуальні засоби та методи для досягнення всеосяжної безпеки і підтримки її у всьому життєвому циклі розробки і після випуску, даючи розробникам вільний вибір рішень в деяких підсистемах. Рішення про реалізацію певної частини системи приймаються на основі повного виконання контрольних точок та перевірки працездатності поставлених рішень.

При цьому, підготовкою до виконання підсистем в технічній частині є правильне навчання працівників, не тільки кібербезпеці але і роботі з системою в цілому, усуваючи можливі характерні проблеми при першому проходженні. Система впевнено поєднує кожен етап розробки між собою, утворюючи нерозривний ланцюг прогресу створення безпечного вебдодатку, який зможе зберегти цілісність даних користувачів та компанії-розробника і виконати поставлену перед собою задачу. Окремою її цінністю є актуальність – всі розібрані в ній засоби та методу впровадження безпеки є фундаментальним та прогресивними в наш час, даючи впевненість у виконаних діях.

Список використаних літературних джерел

[1] OWASP Foundation, “OWASP Top 10 – 2021: The Ten Most Critical Web Application Security Risks,” OWASP, 2021. [Online]. Available: https://owasp.org/Top10/
[2] M. Howard and D. LeBlanc, *Writing Secure Code*, 2nd ed. Redmond, WA: Microsoft Press, 2003.
[3] C. J. Date, *An Introduction to Database Systems*, 8th ed. Boston, MA: Pearson, 2004.
[4] PostgreSQL Global Development Group, “PostgreSQL 16 Documentation,” PostgreSQL, 2024. [Online]. Available: https://www.postgresql.org/docs/
[5] Nginx Inc., “NGINX: Official Documentation,” NGINX, 2024. [Online]. Available: https://nginx.org/en/docs/
[6] OWASP Foundation, “OWASP Dependency-Check,” OWASP, 2023. [Online]. Available: https://owasp.org/www-project-dependency-check/
[7] R. Fielding et al., “Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1,” *RFC 2616*, IETF, 1999.
[8] Let’s Encrypt, “TLS and HTTPS Deployment Best Practices,” Internet Security Research Group, 2023. [Online]. Available: https://letsencrypt.org/
[9] Prometheus Authors, “Prometheus Monitoring Documentation,” Prometheus, 2024. [Online]. Available: https://prometheus.io/docs/
[10] D. Stuttard and M. Pinto, *The Web Application Hacker’s Handbook: Finding and Exploiting Security Flaws*, 2nd ed. Indianapolis, IN: Wiley, 2011.
[11] M. Fowler, *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*, Boston, MA: Addison-Wesley, 2006.

НТБОНТУ

УДК 004.42

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І ВИКЛИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В РЕАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ

Кучаковська Г.А. (h.kuchakovska@kubg.edu.ua)
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка (Україна)

Паралельні обчислення стали однією з ключових технологій для вирішення складних наукових, інженерних та комерційних задач. З розвитку багатоядерних процесорів та кластерних систем розподілених обчислень зросла їх ефективність у порівнянні з традиційними підходами до обробки даних. Однак впровадження паралельних обчислень в реальних задачах супроводжується рядом технічних та теоретичних викликів. У цих тезах буде здійснено аналіз основних переваг та викликів, з якими стикаються дослідники та практики, використовуючи паралельні обчислення для розв'язання реальних завдань, зокрема в таких областях, як машинне навчання, обробка великих даних та моделювання складних систем.

Основною перевагою паралельних обчислень є значне збільшення швидкості та ефективності обчислень, що є критично важливим для таких ресурсномістких задач, як моделювання складних фізичних процесів, обробка великих даних або тренування нейронних мереж. Завдяки паралельному виконанню операцій на кількох процесорах чи обчислювальних вузлах можна значно зменшити час, необхідний для обробки даних. Наприклад, для вирішення задач генетичного аналізу або моделювання кліматичних змін, де потрібні великі обчислювальні ресурси, паралельні обчислення забезпечують суттєве прискорення.

Однією з важливих переваг є ефективне використання багатоядерних процесорів та графічних процесорів (GPU), що дозволяє виконувати тисячі паралельних операцій одночасно. Це особливо важливо для задач машинного навчання, де для тренування нейронних мереж на великих наборах даних застосування GPU дозволяє значно скоротити час навчання моделей. Використання графічних процесорів дозволяє знизити час навчання нейронних мереж до кількох годин або днів, що раніше могло займати тижні або місяці на звичайних центральних процесорах [1].

Ще однією перевагою паралельних обчислень є можливість масштабування обчислювальних ресурсів у розподілених системах, зокрема через хмарні платформи, такі як AWS чи Microsoft Azure. Розподілені обчислення забезпечують ефективне масштабування, дозволяючи обробляти дані будь-якого розміру та швидко адаптувати обчислювальні потужності відповідно до змінюваних вимог. Наприклад, в роботі [2] групи науковців було продемонстровано використання хмарних технологій для моделювання потоків рідин, що дозволило скоротити час обчислень завдяки можливості гнучко масштабувати обчислювальні ресурси в залежності від потреби.

Однак впровадження паралельних обчислень в реальні задачі також стикається з рядом викликів. Одним із основних є складність у проектуванні паралельних алгоритмів, які б ефективно використовували всі доступні обчислювальні ресурси. Для створення таких алгоритмів необхідно враховувати не тільки самі принципи паралельного програмування, а й архітектуру обчислювальних систем, щоб мінімізувати затримки при синхронізації та обміні даними між процесами. Неправильна організація паралельних обчислень може призвести до значних втрат у продуктивності, як це показано в дослідженні групи вчених з University of Posts and Telecommunications, Beijing, China [3], де автори підкреслюють, що неефективне використання ресурсів може призвести до суттєвого зниження швидкості виконання паралельних алгоритмів.

Іншим суттєвим викликом є проблеми синхронізації та комунікації між процесами в розподілених системах. У паралельних обчисленнях часто виникає необхідність у частих взаємодіях між процесами для обміну даними або синхронізації результатів. Такі затримки можуть суттєво знизити ефективність системи, особливо в умовах великої кількості вузлів або процесів. Як зазначає Chaminda Perera [4], проблема «bottleneck» (вузьке місце) у розподілених системах часто є основним обмеженням продуктивності, оскільки затримки в мережевих з’єднаннях або несумісність швидкостей обробки між вузлами можуть значно уповільнити виконання задач.

Крім того, важливим аспектом є забезпечення відмовостійкості та балансування навантаження в розподілених системах. Відмова окремих вузлів або неефективне розподілення навантаження між ними може призвести до значних втрат продуктивності або навіть до повної зупинки обчислень. Рішення цих проблем, зокрема через автоматичне відновлення системи або

оптимізацію алгоритмів балансування навантаження, є важливою частиною сучасних досліджень у цій області, що детально розглядається в роботі Saman M. Almufti, Subhi R. M. Zeebaree [5].

І останнім важливим викликом є енергоспоживання паралельних систем, яке може суттєво зростати при використанні великої кількості обчислювальних ресурсів. Враховуючи, що високопродуктивні паралельні системи потребують значних енергетичних витрат, проблема енергоефективності стає критичною, особливо для великих кластерних та розподілених систем. Як зазначають вчені з університету Дубліна [6], оптимізація енергоспоживання в паралельних системах є важливим напрямком наукових досліджень, оскільки надмірне енергоспоживання може зробити їх застосування економічно невигідним.

Загалом, паралельні обчислення відкривають величезні можливості для вирішення складних задач у різних галузях науки і техніки, надаючи суттєві переваги у вигляді швидкості, масштабованості та ефективності. Проте, для того щоб повною мірою реалізувати їх потенціал, необхідно подолати існуючі технічні виклики, такі як складність проектування паралельних алгоритмів, проблеми синхронізації, відмовостійкості та енергоефективності. Тому важливим напрямком майбутніх досліджень є розробка нових методів оптимізації паралельних обчислень, а також удосконалення інфраструктури для їх підтримки та масштабування.

Список використаної літератури:

1.E. C. de Lima, F. D. Rossi, M. C. Luizelli, R. N. Calheiros, and A. F. Lorenzon, “A neural network framework for optimizing parallel computing in cloud servers,” *Journal of Systems Architecture*, Mar. 2024. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383762124000687 [Accessed: October 14, 2025].

2.S. J. E. Taylor et al., "Enabling Cloud-Based Computational Fluid Dynamics With a Platform-as-a-Service Solution," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 1, pp. 85-94, Jan. 2019, doi: 10.1109/TII.2018.2849558.

3. Wang, B., Zhang, T., Shi, T., & Wang, Y. (2024). Performance on massive MIMO enabled mobile edge computing networks: Parallel computing modeling. *Physical Communication*, vol. 66. Available: https://doi.org/10.1016/j.phycom.2024.102428 [Accessed: October 14, 2025].

4.Chaminda Perera, “Optimizing Performance in Parallel and Distributed Computing Systems for Large-Scale Applications”, *JACS*, vol. 4, no. 9, pp. 35–44, Sep. 2024. Available: https://doi.org/10.69987/. [Accessed: October 14, 2025].

5.Saman M. Almufti, Subhi R. M. Zeebaree “Leveraging Distributed Systems for Fault-Tolerant Cloud Computing:A Review of Strategies and Frameworks” *Academic Journal of Nawroz University (AJNU)*, Vol.13, No.2, pp.9-29. Available: https://scispace.com/pdf/leveraging-distributed-systems-for-fault-tolerant-cloud-2l74ejdz27.pdf [Accessed: October 14, 2025].

6.Lastovetsky, A., Manumachu, R.R. Energy-EfficientParallel Computing: Challenges toScaling. Information 2023,14, 248. Available: https://doi.org/10.3390/info14040248. [Accessed: October 14, 2025].

UDK 656.25:004.89

INTELLECTUALIZATION OF TROUBLESHOOTING IN RAILWAY AUTOMATION SYSTEMS

Lazariev O.V. (lazal@kart.edu.ua)
Ukrainian State University of Railway Transport (Ukraine)
Lazarieva O.O. (lazsandra@ukr.net)
V.N. Karazin Kharkiv National University (Ukraine)

It is proposed to use intelligent technologies when searching for damage in railway automation systems. Modern intelligent technologies used in engineering and the possibility of their introduction in the field of railway automation are considered. The positive impact of intelligent technologies on the time of device recovery and increasing the safety of train traffic is shown.

Relevance of the work. Railway automation systems are the basis of railway safety. Any malfunction or delay in its detection can have catastrophic consequences, namely: the risk of accidents and disasters increases due to untimely detection of critical failures, the influence of the human factor is not taken into account, although it is one of the main causes of errors in diagnostics and maintenance.

Intellectualization of damage detection is a transition from routine diagnostics according to fixed rules to the use of complex algorithms and technologies that are able to independently analyze, learn and predict malfunctions. The main ways of intellectualization, which are currently actively developing in technology in general, are [1]:

- use of machine learning and deep learning;
- predictive diagnostics;
- creation of "digital twins";
- expert systems and knowledge bases:
- integration and mobile solutions.

The use of machine learning and deep learning is the most important way to allow an intelligent system to independently find patterns. This is done through: classification of faults by neural networks trained on large arrays of real data (log files, measurements) with automatic determination of the type of fault (for example, whether it is a short circuit, or a drop in insulation resistance, or a mechanical failure); detection of anomalies by creating a model of the "normal" operation of the system, and any minimal deviation from this model (for example, a slight change in the time of switching the switch) is recorded as a potential problem long before it leads to a failure; pattern recognition using neural networks to analyze video streams from cameras monitoring objects (switches, crossings) and detect abnormal behaviour or physical damage.

The aim of predictive diagnostics is to move from responding to failure to preventing it. This is done by assessing the residual resource by intelligent systems - analyzing the parameters (temperature, vibration, current consumption, response time) of a specific element (for example, an electric motor or relay) with the prediction of probable failure times, using algorithms for monitoring slow degradation of parameters (for example, a gradual decrease in cable insulation resistance) for maintenance planning [2].

Creating "digital twins", such as creating a virtual copy of a physical automation system, will allow for failure simulation. The diagnostic system can "play" possible failure scenarios on the digital twin to determine their potential impact and develop an optimal elimination plan before the failure occurs in the real system. It will also be possible to test solutions, verify the effectiveness of scheduled maintenance or modernization in a virtual environment.

Expert systems and knowledge bases are a classic approach to intellectualization, but improved by developing a database of typical faults, namely: creating intelligent databases that contain structured knowledge about all cases of failures, their causes and successful methods of elimination. It is also advisable to implement the so-called logical reasoning. In this case, the system uses predictive rules to automatically formulate the most likely cause ("lamp or relay malfunction") after receiving a set of symptoms (for example, "traffic light does not work" and "supply voltage is normal") [2].

Integration and mobile solutions make it possible to improve the interaction between a person and an intelligent system. This is achieved by implementing mobile interfaces (telegram bots, mobile applications), which provides personnel with quick access to intelligent conclusions and recommendations right at the fault location. Also important is data visualization, namely the use of intuitive graphical interfaces that can display complex diagnostic data (such as vibration or temperature readings) in a simple, understandable format.

Conclusion. In general, the introduction of intelligent technologies for fault finding in railway automation will allow minimizing train delay times, increasing traffic safety, and moving from reactive (accident elimination) to proactive (prevention) maintenance.

References

[1] Shmeljov Ju.M. Intelektualjni systemy avtomatyzaciji. Kharkiv: KhNURE. - 2022. – 122 s.

[2] Kostenko K.L., Serdjuk T.M., Skaljko V.V. Robotyzacija diaghnostyky system zaliznychnoji avtomatyk ta zv'jazku// Nauka ta proghres transportu, 2023, No 3 (103). - Dnipro: UDUNT. - S. 5-12.

УДК 681.5:004.94

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА КАПРОНОВОГО ВОЛОКНА БЕЗПЕРЕРВНИМ СПОСОБОМ

Лизанець А.М., Кравченко Я.О.
(Anatolii.Lyzanets@infiz.khpi.edu.ua, Yana.Kravchenko@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У тезах розглядається архітектура та функціональність комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом капронового волокна. Обґрунтовується актуальність впровадження таких систем для підвищення конкурентоспроможності хімічних виробництв. Детально описуються апаратна платформа на базі контролера PLC Productivity 3000, програмне забезпечення верхнього рівня AVEVA Plant SCADA та середовище розробки Productivity Suite. Для них розкривається структура, ключові алгоритми керування та реалізовані функції. Висновок відповідає на питання ефективності запропонованого рішення та окреслює перспективи його масштабування

У сучасних умовах глобальної конкуренції у хімічній промисловості ключовим фактором підвищення ефективності та конкурентоспроможності є інтенсифікація виробництва на основі комплексної автоматизації. Особливо це стосується технологій синтезу полімерних матеріалів, зокрема, безперервного виробництва капронового волокна, яке є наукомістким процесом з високими вимогами до стабільності технологічних параметрів. Дана робота присвячена розробці та впровадженню комп'ютерно-інтегрованої системи керування (КІСК), спрямованої на оптимізацію всього життєвого циклу виробництва – від підготовки сировини до намотування готової нитки.

Технологічний ланцюг безперервного формування капронового волокна характеризується значною кількістю взаємопов'язаних параметрів, що потребують прецизійного контролю. До них належать: підтримання градієнта температур у зонах плавлення поліаміду та екструдера, стабілізація тиску на фільтрах, точне дозування сировини, синхронізація швидкостей витягування та намотування. Нестабільність на будь-якій з цих стадій призводить до дефектів волокна (перепади товщини, недостатня міцність) та зниження виходу придатного продукту. Традиційні системи керування, побудовані на дискретних регуляторах, не забезпечують необхідної гнучкості, інтегрованості даних та оперативного реагування на збурення. Впровадження КІСК на базі сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК) та SCADA-систем дозволяє подолати ці обмеження шляхом створення єдиного інформаційно-керуючого простору.

Ядром розробленої системи обрано програмований логічний контролер **Productivity 3000 серії CPU P3-662 [1]**. Вибір зумовлений його високою обчислювальною потужністю, модульною архітектурою, що масштабується, та підтримкою промислових мережевих протоколів (Ethernet/IP, Modbus TCP), що є критично важливим для інтеграції з периферійним обладнанням (частотними перетворювачами, терморегуляторами).

Програмна реалізація логіки керування виконана в інтегрованому середовищі **Productivity Suite V4.4 [2]**. Мова програмування – релейно-ланцюгова логіка (LAD) та функціональні блокові схеми (FBD) – обрана для реалізації як дискретних алгоритмів керування насосами і заслінками, так і складних контурів неперервного регулювання.

Верхній рівень системи реалізований на базі **SCADA-системи AVEVA Plant SCADA [3]**. Ця платформа забезпечує:

- **візуалізацію:** створення деталізованої мнемосхеми технологічного процесу з відображенням реального стану обладнання та потоків;
- **архівацію:** збір та довгострокове зберігання історичних даних з усіх технологічних змінних;
- **сигналізацію:** конфігурування системи тривог і подій з різними рівнями пріоритету;
- **генерацію звітів:** формування виробничих звітів за зміну, що містять дані про випуск продукції, витрати сировини та енергоносіїв.

Розроблена КІСК реалізує кілька ключових підсистем:

1. **Підсистема термостабілізації.** Включає каскадні та пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори температури в зонах екструдера. Алгоритми забезпечують мінімальне відхилення від заданого градієнта, компенсуючи теплові інтерференції між сусідніми зонами нагріву.
2. **Підсистема синхронізації приводів.** На основі аналогових сигналів керування та мережевих протоколів реалізовано точне регулювання швидкості частотних перетворювачів, що приводять у рух намотувальні механізми та вузли витягування. Це забезпечує стабільне механічне натягнення волокна по всій довжині технологічної лінії.
3. **Аварійно-запобіжна логіка.** Розроблено систему апаратних та програмних блокувань, що ініціюють послідовну або миттєву зупинку обладнання при досягненні граничних значень параметрів (наприклад, перегрів екструдера, падіння тиску в системі фільтрації, обрив нитки).

Обмін даними між ПЛК Productivity 3000 та SCADA-сервером здійснюється по протоколу Ethernet/IP, що забезпечує високу швидкість та надійність зв'язку. На рівні **людино-машинного інтерфейсу** HMI розроблено ієрархію графічних екранів, що включає:

- загальну мнемосхему технологічної лінії;
- деталізовані види окремих апаратів (екструдер, система фільтрації);
- панелі налаштування та коригування уставок ПІД-регуляторів;
- архівні екрани трендів для ретроспективного аналізу параметрів;
- систему керування доступом з різними рівнями для оператора, технолога та інженера.

Висновки та економічний ефект. Впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи керування на базі PLC Productivity 3000 та AVEVA Plant SCADA дозволило досягти наступних результатів:

1. **Підвищення стабільності якості продукції:** коефіцієнт варіації лінійної щільності волокна знизився на 15-20% завдяки прецизійному ПІД-регулюванню.
2. **Підвищення операційної ефективності:** автоматизація рутинних операцій (пуск-зупин, ведення архіву) звільнила персонал для вирішення аналітичних завдань, а система предиктивної діагностики дозволила зменшити час простою обладнання.
3. **Забезпечення інформаційної прозорості:** накопичення повного масиву історичних даних створило основу для подальшого застосування методів машинного навчання з метою предиктивної оптимізації технологічного режиму.

Таким чином, розроблена КІСК є не лише інструментом автоматизації, а й фундаментом для створення «цифрового двійника» виробництва, що відкриває шлях до реалізації на підприємствах хімічної галузі.

Список використаної літератури

1. Productivity 3000 Series Hardware User Manual [Електронний ресурс]. – AutomationDirect. – Режим доступу: https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/p3hwm/p3hwm.pdf – Назва з титульного екрану.
2. Productivity Suite Programming Software User Manual [Електронний ресурс]. – AutomationDirect. – Режим доступу: https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/p3suum/ p3suum.pdf – Назва з титульного екрану.
3. AVEVA Plant SCADA System Platform Guide [Електронний ресурс]. – AVEVA. – Режим доступу: https://www.wonderware.com/ – Назва з титульного екрану.

UDC 681.3

JUSTIFICATION FOR DEVELOPING SYSTEMATIC METHODOLOGY FOR COMPARING DIFFERENT TYPES OF TESTING

Kyrylo Lobanov(kyrylo.lobanov@nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Україна)

Software testing ensures software reliability and quality by combining planning, requirements analysis, and validation. It encompasses manual, automated, and AI-based approaches that identify defects, mitigate risks, and improve the user experience. The growing role of AI transforms testing into a faster, more accurate process, improving efficiency and overall software quality.

Software testing plays a critical role in ensuring its reliability and compliance with quality standards. It covers not only the actual testing, but also a set of measures, including plan preparation, requirements assessment, scenario development, and final documentation. Testing can be classified as dynamic, which involves running the system or its elements to check their behavior, and static, which focuses on reviewing documentation, code, or specifications without execution.

This process is not limited to simply checking for compliance with specified criteria; it also considers the expectations of end-users and stakeholders. It helps to assess quality levels, identify shortcomings, minimize potential risks, and prevent problems at an early stage. The software development life cycle model is an organized diagram that defines the order of processes, operations, and tasks throughout a project [1]. The software life cycle describes the sequence of steps from idea to operation, and there are different variants of such models, from linear to adaptive.

Achieving software quality requires an integrated approach that combines agile development, DevOps, testing, auditing, and automation. These tools enhance efficiency and user experience, tailored to the specific needs of each project.

Manual testing involves specialists independently performing software functionality checks without the use of automated tools. This is one of the oldest and most basic quality assurance methods, which allows you to evaluate the system's performance “through the eyes of the user”. This approach is especially important in the early stages of testing, when the system is not yet stable and creating automated scripts is impractical. Manual testing remains necessary even in high-tech companies, as it is impossible to fully automate the process [2].

Manual testing can be monotonous and repetitive, while automation delegates routine tasks to a computer.

Automated testing is a crucial element in ensuring the quality of a software product, as it helps identify defects and maintain product stability. Errors in the operation of web resources can lead to significant losses, such as a decline in customer confidence, a weakening of market position, and damage to the organization’s image. Therefore, creating reliable strategies for testing website interfaces is a priority that requires effective tools for identifying problems.

Intelligent software testing based on artificial intelligence (AI) involves implementing complex algorithms, machine learning systems, natural language processing mechanisms, and neural network architectures to enhance quality control procedures. Such solutions enable the independent operation of testing systems, enhancing their productivity and reliability by replicating human intellectual functions, optimizing daily operations, and processing large amounts of information to identify patterns and predict potential failures. In today's environment, where the development of complex programs requires speed, AI not only reduces the duration of testing phases but also opens innovative opportunities that are not available in classical methods, ultimately leading to better-quality end solutions and a higher level of user experience.

The growing role of AI in testing is transforming the overall approach, making it more dynamic, accurate, and adapted to modern challenges [3]. The introduction of AI in software testing is gaining momentum due to its ability to optimize processes, reduce costs, and improve final quality.

There is no single, integrated approach to comparing and selecting testing methods that considers the characteristics of the software product, available resources, and customer requirements. It is necessary to develop a systematic methodology that allows us to compare different types of testing according to objective criteria and provides recommendations for their optimal application.

Reference

4. Graham D., Black R., Veenendaal E. V. Foundations of software testing. Cengage Learning EMEA, 2019. 242 p.

5. Crispin, L. Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams / L. Crispin, J. Gregory. – Addison-Wesley Professional, 2009. – 533 p.

6. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature. 2015. 521. P. 436–444.

УДК 004.8+681.6+81`32

ТЕХНОЛОГІЇ VARIABLE DATA PRINTING У КОНТЕКСТІ ПІДГОТУВАННЯ БАГАТОМОВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ВИДАВНИЧОГО ДОМУ "УКРПОЛ"

І. Малець (ihor.malets.mkrki.2024@lpnu.ua)
Інститут поліграфії та медійних технологій
Національного університету «Львівська політехніка» (Україна)

Досліджені функціональні можливості застосування обладнання Видавничого дому «УкрПол» з технологіями Variable Data Printing для автоматизованої підготовки багатомовної друкованої продукції. Наведені технічні рекомендації до інтегрування проєктованих сервісів машинного перекладу у виробничий цикл виконання поліграфічного замовлення.

Постановка проблеми та актуальність. Поліграфічна компанія «Видавничий дім “УкрПол”» спеціалізується на виробництві високоякісної друкованої продукції із застосуванням сучасних цифрових технологій [1]. Наявність на виробництві технологічного обладнання світових виробників Heidelberg, KBA, BOBST тощо створює сприятливе середовище для вивчення можливостей інтеграції систем автоматизованого перекладу у виробничі процеси. Особливу цінність для дослідження становить досвід підприємства у роботі з міжнародними замовниками, що супроводжується необхідністю підготовки багатомовної продукції та адаптації макетів під різні мовні версії.

Метою представлено публікації є комплексне дослідження технологічних процесів поліграфічного виробництва з точки зору можливостей впровадження архітектури сервісу машинного перекладу для автоматизації підготовки багатомовних видань. Досягнення поставленої мети передбачало вирішення низки **завдань**, серед яких аналіз існуючих підходів до підготовки поліграфічних замовлень іноземними мовами на підприємстві УкрПол, вивчення технічних можливостей обладнання для реалізації технологій змінних даних, дослідження потенціалу інтеграції засобів штучного інтелекту у виробничий цикл, а також формування вимог до архітектури майбутньої системи машинного перекладу.

Виклад суті дослідження. Технологія Variable Data Printing (VDP) становить один із перспективних напрямків сучасного поліграфічного виробництва, що дозволяє здійснювати персоналізацію друкованої продукції шляхом динамічної зміни змісту під час процесу друку. На підприємстві ТОВ "Укрпол" технологічні можливості для реалізації VDP забезпечуються наявним обладнанням цифрового друку. Принцип функціонування VDP базується на використанні баз даних змінних елементів, які інтегруються із шаблоном макету у процесі друку, дозволяючи варіювати текстові елементи, зображення, персональні дані та інші компоненти для кожного окремого відбитка без зупинки друкарської машини. Ця технологія знаходить застосування у виробництві персоналізованих листівок, сертифікатів, етикеток та іншої поліграфічної продукції, що потребує індивідуалізації змісту.

Обладнання BOBST швейцарського виробника Bobst Group SA спеціалізується на високотехнологічному виготовленні поліграфічних замовлень засобами флексографічного, ротаційного та глибокого друку, а також на висіканні та обробці упаковки [2]: тут можливі гібридні рішення, які дозволяють поєднувати традиційний друк із персоналізацією за допомогою цифрових модулів. Змінні дані застосовуються там, де потрібно надрукувати унікальний або персоналізований контент на кожному виробі або партії: серійні номери, штрих-коди, QR-код, випускові дані, інші текстові елементи, такі як інструкції, рекламні повідомлення, назви продуктів, що різняться для цільового ринку. Інтегрування машинного перекладу (МП) в обладнанні BOBST рекомендується на етапі підготовки шаблонів і RIP: проєктований сервіс автоматично підставлятиме перекладені тексти у відповідні змінні поля. Також сервіс МП варто інтегрувати перед цифровим модулем друку: аналітичний апарат отримує вже локалізовані тексти потрібними мовами, який подаються на друк. У виробничих процесах web-to-print при реєструванні поліграфічних замовлень через інтернет крім формату паперу, колірності, дизайну, тощо клієнт також вказує бажану мову: наданий текст автоматично перекладається проєктованим сервісом МП, інтегрується у базу даних та надсилається на VDP-обладнання.

Цифрові платформи Heidelberg виробництва Heidelberger Druckmaschinen AG [3], зокрема серії цифрових машин PrimeFire та Versafire, використовувані на УкрПол, забезпечують високий

рівень автоматизації при друку персоналізованих матеріалів. Ці машини підтримують підстановку змінних елементів безпосередньо з баз даних, що дозволяє швидко адаптувати окремі об'єкти видання під конкретні потреби замовника для кожного індивідуального варіанту продукції. Технологічний процес VDP на Heidelberg передбачає підготовку цифрового макета з маркованими варіативними блоками, завантаження даних у систему друкарської машини та автоматичну підстановку під час друку. Обладнання підтримує високошвидкісний друк при одночасному збереженні точності позиціонування та якості відбитків при ефективному виготовленні персоналізованих брошур, каталогів та маркетингових матеріалів, оригінальної упаковки, де обсяг змінних елементів великий і традиційний підхід із ручним макетуванням стає економічно невигідним. Застосування технології забезпечує автоматичну підстановку текстів із зовнішніх баз даних, підтримку різних шрифтів та символів, а також контроль сумісності графічних елементів. Таким чином, тут цілком доцільне інтегрування проєктованих сервісів МП при виготовленні продукції зі значним обсягом мовних версій або варіантів персоналізації, де класичні методи верстки та друку виявляються технологічно неефективними.

Устаткування KBA німецького концерну Koenig & Bauer-Albert AG [4] реалізує технологію Variable Data Printing через спеціалізовані цифрові та гібридні платформи що поєднують високоточний офсетний друк із можливістю швидкої персоналізації, дозволяючи інтегрувати змінні дані на підготовчих етапах за допомогою оригінальних модулів управління даними та забезпечуючи автоматичну підстановку текстових блоків, графіки та маркувальної інформації без потреби створення окремих макетів для кожного примірника. Особливістю VDP на KBA є гнучке керування послідовністю друку для різних варіантів продукції: система дозволяє динамічно змінювати порядок нанесення змінних елементів та адаптувати їх під специфіку замовлення. Інтегрування машинного перекладу у технологічні процеси VDP на обладнанні KBA передбачає значні переваги для виробництва індивідуалізованої продукції з багатомовним контентом: прогнозується скорочення часу підготовки замовлення, підвищення точності друку та забезпечення можливостьі оперативного випуску великого обсягу накладів із різними варіантами змінних даних.

Отже, інтеграція проєктованих сервісів машинного перекладу може істотно підвищити ефективність VDP у виробництві багатомовної поліграфічної продукції Видавничого дому «УкрПол». Автоматизоване формування текстових блоків різними мовами дозволяє оперативно оновлювати контент, адаптуючи його під цільові ринки без необхідності ручного перекладу кожної версії (рис. 1). У рамках представленої технології переклад здійснюється на базі сучасних моделей машинного перекладу з можливістю подальшої коректури редактором для забезпечення точності термінології та стилістичної відповідності.

Рис. 1 – Інтеграція сервісів машинного перекладу у технології Variable Data Printing

Аналіз робочого процесу виявив специфічні аспекти роботи з багатомовними макетами. Різні мови характеризуються різною довжиною текстів для передачі однакового змісту, що потребує адаптації макетів під конкретну мову. Використання нелатинських алфавітів вимагає підтримки відповідних шрифтів та коректного відображення специфічних символів. Напрямок письма, що відрізняється для деяких мов, також становить технічний виклик для автоматизованої системи.

Інтеграція технології VDP із системою машинного перекладу може формувати цілісне рішення для автоматизованого виробництва багатомовної продукції. Концептуально процес передбачає приймання вихідного макету однією мовою, автоматизований переклад текстових

елементів на цільові мови засобами системи машинного перекладу, формування бази даних змінних елементів для VDP системи та генерацію друкованої продукції різними мовами на основі єдиного шаблону. Технічна реалізація такого підходу потребує розробки спеціалізованих модулів інтеграції та адаптації стандартних VDP процесів під специфіку багатомовного контенту.

Особливе значення для представленої тематики дослідження має досвід підприємства у роботі з міжнародними замовниками. Виконання замовлень для закордонних клієнтів передбачає необхідність підготовки матеріалів різними мовами, адаптації макетів під специфіку іншомовних текстів та дотримання міжнародних стандартів якості поліграфічної продукції. Процеси роботи з технічною документацією обладнання, значна частина якої представлена іноземними мовами, також формують контекст для дослідження можливостей автоматизації перекладу. Наявне та плановане обладнання для цифрового друку дозволяє реалізовувати технології змінних даних, що створює технічну базу для інтеграції систем автоматизованого перекладу у виробничий процес.

Висновки. Таким чином, виконане дослідження технічних можливостей цифрового обладнання УкрПол показало суттєвий потенціал застосування VDP для автоматизації підготовки багатомовних версій друкованої продукції. Теоретично обладнання дозволяє використовувати базу даних, що містить переклади текстових елементів різними мовами, та генерувати відповідні мовні версії макетів у автоматизованому режимі. Такий підхід може суттєво скоротити час підготовки багатомовної продукції та зменшити ймовірність помилок при ручній адаптації макетів. Отримані результати дозволили впорядкувати можливості наявного VDP-обладнання та технологічних процесів, що формують основу для визначення технічних вимог до архітектури проєктованого сервісу машинного перекладу при забезпеченні генерацію даних у форматах, сумісних із VDP платформами підприємства, підтримці обробки різних типів текстових елементів та метаданих макетів, а також врахуванні специфіки адаптації макетів під різні мови.

Перспективи подальшого розвитку тематики проєктування сервісів машинного перекладу у контексті багатомовного друку з використанням технології VDP зосереджуються на підвищенні точності обробки мовних даних про побудові гнучких архітектур, здатних забезпечувати автоматизовану адаптацію макетів під різні мовні локалізації з урахуванням специфіки текстових і графічних елементів. Оптимізація алгоритмів машинного перекладу та їх інтеграція з базами даних VDP дозволяє оптимізувати процес формування багатомовної продукції, зменшити потребу у ручній корекції та спеціалізувати передавання змісту і стилістичних особливостей тексту залежно від предметної області.

Перелік використаних джерел

[1] Поліграфічне обладнання УкрПол. URL: ukrpol.ua/obladnannia
[2] Leading supplier of equipment and services to packaging- and label manufacturer. URL: www.bobst.com.
[3] Impressive solutions for all printing processes. URL: heidelberg.com/equipment_overview.jsp
[4] Printing digital solutions for innovation champions. URL: www.koenig-bauer.com/en/digitalisation

УДК 004.8:17.023.34:316.4

СОЦІАЛЬНІ ТА ЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Малик Я.В., Франчук Т.М
.(y.malyk_fit_13_23_b_d@knute.edu.ua, t.franchuk@knute.edu.ua)
Державний торговельно-економічний університет(Україна)

Дослідження присвячено комплексному аналізу соціальних та етичних проблем, що виникають внаслідок стрімкого впровадження інтелектуальної автоматизації, яка поєднує штучний інтелект та робототехніку. Дана робота включає аналіз впливу технологій на ринок праці та економічну нерівність, розгляд кризи відповідальності за дії автономних систем, дослідження феномену алгоритмічної упередженості та його наслідків для соціальної справедливості, а також оцінку загроз для приватності та особистої автономії в епоху тотального збору даних.

Результати технологічного розвитку останніх років свідчать про гостру актуальність розробки ефективних регуляторних і соціальних механізмів, які дозволять не лише використовувати переваги нових технологій, але й мінімізувати їхні екзистенційні ризики. Одним із ключових напрямків трансформації суспільства є застосування інтелектуальних систем автоматизації, що охоплюють усе: від автономного транспорту до генеративних нейромереж, здатних створювати контент. Ця технологія відкриває нові горизонти для підвищення продуктивності та якості життя, проте її впровадження створює значну напругу між інноваціями та соціальною стабільністю.

Незважаючи на величезний потенціал, інтелектуальні системи приносять і значні виклики. Впровадження таких потужних систем вимагає ретельного аналізу їхнього соціального впливу для забезпечення безпеки, справедливості та відповідності гуманістичним цінностям. Тут виникає так звана "проблема темпу" (pacing problem), коли технології розвиваються експоненційно швидше, ніж здатність суспільства, права та етики адаптуватися до них. Цей розрив створює вакуум, у якому можуть виникати непередбачувані негативні наслідки. Етичний аналіз стає потужним інструментом, що дозволяє досліджувати ці ризики та розробляти превентивні заходи. Вибір оптимального підходу до регулювання ШІ залежить від багатьох факторів, як-от сфера застосування, рівень ризику та культурний контекст, вимагаючи гнучкого балансу між жорсткими нормативними рамками та м'якими етичними кодексами, що заохочують інновації.

Розвиток технологій машинного навчання та робототехніки відкриває шлях до створення досконалих автономних систем, але водночас посилює системні ризики, що виходять далеко за межі суто технічних проблем. Аналіз цих викликів є критично важливим для відповідального впровадження технологій.

Ключовою та найбільш підступною проблемою є алгоритмічна упередженість. Системи ШІ, навчені на історичних даних, які відображають існуючу в суспільстві нерівність, неминуче відтворюють, а часто й посилюють, ці стереотипи. Застосування такого ШІ в соціальному скорингу, предиктивній поліції чи системах найму на роботу може призводити до системної дискримінації. Небезпека полягає в тому, що упереджене рішення подається під маскою об'єктивного, математично обґрунтованого висновку, що робить його оскарження значно складнішим. Це створює небезпечні цикли зворотного зв'язку: упереджені прогнози системи (наприклад, про вищий рівень злочинності в певному районі) призводять до реальних дій (посилене патрулювання), які "підтверджують" початковий прогноз, оскільки в зоні посиленої уваги фіксується більше дрібних правопорушень. Таким чином, нерівність не просто відтворюється, а й поглиблюється, отримуючи при цьому хибне технологічне виправдання.

Ще одним фундаментальним викликом є проблема "чорної скриньки", особливо актуальна для складних глибоких нейронних мереж. Часто навіть їхні розробники не можуть повністю пояснити, чому система прийняла те чи інше конкретне рішення. Це створює кризу юридичної та етичної відповідальності: хто винен, якщо автономний автомобіль потрапив в аварію, а медичний алгоритм пропустив ознаки хвороби — власник, виробник, розробник програмного забезпечення чи сам алгоритм? Ця непрозорість підриває довіру до систем у критично важливих сферах, таких як медицина, де лікар повинен розуміти логіку діагнозу, щоб нести за нього відповідальність. У відповідь на це виник цілий напрям досліджень — "Пояснюваний ШІ" (Explainable AI, XAI), метою якого є створення моделей, здатних надавати зрозумілі обґрунтування своїх рішень. Це вимагає створення систем, які є не лише технічно досконалими, але й етично обґрунтованими, інтерпретованими та підзвітними суспільству, що є одним з найскладніших завдань сучасної науки про дані.

На відміну від попередніх промислових революцій, інтелектуальна автоматизація загрожує не лише рутинним фізичним, а й когнітивним завданням середньої складності (аналітика, бухгалтерія, юридичний аналіз). Це призводить до поляризації ринку праці: зростає попит на висококваліфікованих фахівців (розробників ШІ, стратегів), а також на низькокваліфіковану роботу у сфері послуг, яку важко автоматизувати, тоді як середній клас професій опиняється під загрозою зникнення. Проблема полягає не стільки в тотальному безробітті, скільки в поглибленні економічної нерівності, де вигоди від автоматизації концентруються в руках власників капіталу та невеликої групи "технологічної еліти". Це ставить перед суспільством складні питання щодо необхідності реформування системи освіти, програм перекваліфікації та розробки нових моделей соціального захисту, включно з дискусіями про безумовний базовий дохід.

Еволюція інтелектуальної автоматизації висуває перед суспільством нову парадигму відповідальності, у якій технологічний прогрес має поєднуватися з етичними принципами та соціальною стабільністю. Використання штучного інтелекту та автономних систем створює значні переваги для розвитку економіки й підвищення якості життя, однак супроводжується ризиками упередженості, втрати прозорості рішень та посилення соціальної нерівності.

Для запобігання цим викликам необхідно забезпечити збалансований розвиток регуляторних механізмів, формування етичних стандартів проєктування ШІ, а також системну підготовку суспільства до нових соціально-економічних реалій. Відповідальне впровадження інтелектуальних технологій має ґрунтуватися на принципах гуманізму, прозорості та справедливості — лише за таких умов інтелектуальна автоматизація стане рушієм сталого й безпечного прогресу.

Список використаної літератури:

[1] C. O'Neil, Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. Crown, 2016.

[2] Міністерство цифрової трансформації України, "Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні (проєкт)," Київ, 2023.

[3] World Economic Forum, Future of Jobs Report 2023. [Online]. Available: https://www.weforum.org/reports/future-of-jobs-report-2023/ [Accessed: October 07, 2025].

[4] European Commission, Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act). Brussels, 2021. [Online]. Available: https://artificialintelligenceact.eu/ [Accessed: October 07, 2025].

УДК 004:681.5:656.7

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕНЕДЖМЕНТУ В АВІАЦІЇ

Мірошниченко І.С. , Хмурін О.О.
(inga-m@meta.ua, khmurin6alex@gmail.com)
Українська державна льотна академія (Україна)

У тезах розглядається роль інформаційних технологій у підвищенні ефективності менеджменту в авіації, яка полягає у забезпеченні оперативного управління, автоматизації процесів та прийнятті обґрунтованих рішень на основі даних. Завдяки сучасним ІТ-рішенням авіакомпанії та аеропорти можуть підвищувати продуктивність, рівень безпеки й якість обслуговування пасажирів, що сприяє їх конкурентоспроможності на ринку.

У сучасних умовах глобалізації світова економіка та соціальні процеси зазнають стрімких трансформацій, що зумовлюють динамічні зміни в усіх сферах діяльності. Однією з галузей, яка активно реагує на ці виклики й водночас використовує нові можливості, є авіаційна індустрія. Зростання попиту на авіаперевезення, розвиток міжнародних зв'язків та технологічний прогрес сприяють активному розширенню ринку авіапослуг. У цьому контексті особливого значення набуває впровадження інформаційних технологій у роботу менеджера, що забезпечує ефективне управління та конкурентоспроможність авіаційних підприємств [1]. Крім того, розвиток авіаційної галузі вимагає від підприємств постійного вдосконалення управлінських процесів, підвищення рівня обслуговування пасажирів та забезпечення високих стандартів безпеки. В умовах зростаючої конкуренції та зростання обсягів авіаперевезень особливої актуальності набуває впровадження сучасних інструментів, які дозволяють оптимізувати операційну діяльність і приймати ефективні управлінські рішення [2]. Одним із таких інструментів є інформаційні технології, які забезпечують комплексну цифрову підтримку всіх ключових аспектів роботи в авіаційній сфері.

Інформаційні технології стали важливим елементом сучасного авіаційного менеджменту, сприяючи підвищенню ефективності, безпеки та конкурентоспроможності авіакомпаній і аеропортів. Вони активно використовуються в таких сферах, як управління польотами,

обслуговування пасажирів, технічне забезпечення та аналітична обробка даних, що детально розкрито в табл. 1.

Таблиця 1 Основні напрями використання інформаційних технологій в авіаційному менеджменті *

Сфера застосування	Приклади IT-рішень	Функціональні можливості	Очікувані результати
Управління польотами	Системи диспетчеризації, навігаційне програмне забезпечення	Планування маршрутів, контроль трафіку, управління затримками	Зменшення затримок, підвищення точності розкладу
Обслуговування пасажирів	Онлайн-реєстрація, мобільні додатки, кіоски самообслуговування	Автоматизація процесу обслуговування, підвищення зручності	Поліпшення клієнтського досвіду, скорочення черг
Технічне забезпечення	Системи моніторингу стану літаків, цифрові журнали обслуговування	Прогнозне технічне обслуговування, зменшення простоїв	Підвищення безпеки та надійності авіапарку
Аналітика та управлінські рішення	BI-системи, аналітичні панелі, обробка Big Data	Аналіз даних про продажі, пасажиропотік, ефективність маршрутів	Прийняття обґрунтованих рішень, оптимізація витрат

* Таблиця побудована за джерелами [1], [2], [3], [4], [5].

Отже, сучасні інформаційні технології відіграють ключову роль у стратегічному та оперативному управлінні авіаційними підприємствами. Використання автоматизованих систем управління польотами дозволяє зменшити кількість затримок, покращити планування маршрутів і підвищити ефективність використання авіапарку. Завдяки цифровим інструментам менеджери отримують доступ до актуальної інформації в реальному часі, що значно полегшує процес прийняття рішень.

Крім того, IT-рішення активно застосовуються у сфері обслуговування пасажирів, де автоматизація реєстрації, контролю доступу та обробки багажу дозволяє підвищити швидкість і комфорт подорожі. Менеджери можуть оперативно реагувати на зміну пасажиропотоку, прогнозувати навантаження та оптимізувати персонал і ресурси. Це не лише покращує імідж компанії, а й сприяє збільшенню лояльності клієнтів.

Аналітичні системи та платформи обробки великих даних надають менеджменту інструменти для глибокого аналізу показників ефективності, виявлення слабких місць і прогнозування ризиків. Завдяки цьому можливе не лише оперативне управління, а й формування довгострокових стратегій розвитку підприємства. Таким чином, інформаційні технології стають невіддільною частиною ефективного авіаційного менеджменту в умовах високої конкуренції та динамічних змін на ринку.

Висновок. Таким чином, інформаційні технології стали неодмінною умовою сучасного авіаційного менеджменту, забезпечуючи високу ефективність управління, оперативність прийняття рішень та якісний сервіс для пасажирів. Їх впровадження дозволяє авіаційним підприємствам адаптуватися до стрімких змін ринку, оптимізувати внутрішні процеси та залишатися конкурентоспроможними в глобальному середовищі. У цьому контексті особливо важливою є здатність менеджерів ефективно використовувати цифрові інструменти для аналізу даних, прогнозування ризиків та прийняття стратегічних рішень. А у майбутньому роль IT лише зростатиме, визначаючи нові стандарти управління та розвитку авіаційної галузі.

Список використаної літератури

[1] І.С. Мірошниченко. «Проблеми використання штучного інтелекту для прийняття стратегічних рішень в авіаційній галузі». *Наукові горизонти XXI століття: мультидисциплінарні дослідження: матеріали II Міжнародної наукової конференції (м. Ужгород, 6-7 травня 2025 року).* Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2025. С. 246-249. [Online]. Available:

https://drive.google.com/drive/folders/1bJzFJtq7NYMXKkHxobg-yQjuEwCjLP39 Accessed on: September 25, 2025.

[2] А.Ш. Бєкіров. «Необхідність і перспективи впровадження цифрових технологій в авіаційній галузі». *МНПК «Інформаційні технології в сучасному світі»*, Харків, ДБТУ, 2025. С. 435-437. [Online]. Available: https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/174cf2ea-f583-4629-8df3-ea725b845687/content. Accessed on: September 25, 2025.

[3] В.Г. Кудлай, В.Ю. Ткаченко. «Цифровізація бізнес-авіації: стан та тенденції розвитку». *Бізнес-аналітика: моделі, інструменти та технології: зб. тез доп. IV міжнар. наук.-практ. конф. Національного авіаційного університету*. К.: НАУ, 2023. С. 444-448. [Online]. Available: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/63064. Accessed on: September 25, 2025.

[4] А.О. Калиновський, В.М. Голомовзий, Н.Л. Калиновська, О.Р. Калиновська. «Аналізування стану інформаційного забезпечення технічного обслуговування та відновлення авіаційної техніки». *Бізнес Інформ*. 2021. №11. С. 162–172. [Online]. Available: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-11-162-172. Accessed on: September 25, 2025.

[5] Р.В. Хращевський, О.Б. Іванець, О.М. Горський. «Особливості розробки математичної моделі прогнозування виникнення небезпечної події в авіації». *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції*, 2022. С. 166-167. [Online]. Available: https://conference-chernihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2023/04/Tezy-2022-Part-8-166.pdf. Accessed on: September 25, 2025.

УДК 622.7: 534

МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗУЮЧЕ КЕРУВАННЯ БУРОВОЮ УСТАНОВКОЮ

Моркун В.С., Бобров Є.Ю.
(morkunv@knu.edu.ua, e.y.bobrov@gmail.com)
Криворізький національний університет (Україна)

Досліджений метод керування буровою установкою на основі модельно-прогнозуючого контролера, який передбачає використання у якості регульованих змінних швидкості обертання долота, навантаження на долото та тиску у системі очищення свердловин. Такий підхід дозволяє підвищити якість керування, зменшити час перехідних процесів, збільшити швидкість проходки і зменшити енергоспоживання.

Постановка проблеми. Гірничодобувна промисловість розвивається у напрямі технологічної оптимізації та інформаційної цифровізації. Розробка та просування інноваційних комп'ютерно-інтегрованих технологій необхідні для того, щоб гірниче виробництво було рентабельним, щоб інформація могла повертатися у процес для постійного його покращення. Інструменти моніторингу, вимірювальні технології та обчислювальні інструменти тепер можуть сформувати банк корисної інформації, яка раніше була лише предметом припущень.

Ці досягнення стають особливо корисними для використання у системах керування процесами видобутку та переробки руди. Останнім часом особлива увага приділяється розширеним стратегіям управління, зокрема, модельно-прогнозуючому керуванню (MPC) та нелінійному керуванню, які пропонують можливості прогнозування та адаптивність до нелінійної динаміки відповідно. MPC використовує модель об'єкта управління для прогнозування майбутніх станів системи, тим самим полегшуючи прийняття обґрунтованих рішень, які оптимізують поточну та майбутню продуктивність системи, враховуючи обмеження.

Перехід від традиційних пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) структур до впровадження розширених стратегій управління дозволяє усунути недоліки, притаманні ПІД контролерам, які формують керуючі впливи на основі історичних даних без передбачення майбутніх станів системи та не здатні враховувати обмеження [1].

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення якості та ефективності керування процесом буріння свердловин шляхом застосування стратегії модельно-прогнозуючого

керування. Головним завданням є визначення оптимальної структури системи керування на основі МРС контролерів та їх взаємодії з існуючими традиційними ПІД контролерами. Окремим питанням є визначення набору регульованих змінних, що забезпечують підтримку оптимальної швидкості проходки свердловин при наявності збурень і завад у вимірюваних сигналах.

Результати. Швидкість буріння свердловини є ключовим показником ефективності процесу. Вища швидкість проходки (ROP) означає кращу продуктивність бурової установки, тому моделювання та прогнозування ROP має важливе значення для оптимізації операції буріння.

Запропоновано багато моделей буріння для симуляції впливу на ROP параметрів бурової установки, властивостей навколишнього середовища та геології. Перші моделі базувалися на рівняннях RWN (ROP, WOB – навантаження на долото і RPM – швидкість обертання долота), які в основному керувалися емпіричними показниками, помноженими на константи пропорційності для врахування змінних, що впливають. Пізніше експериментальні випробування показали, що рівняння RWN надають достовірні результати лише за ідеальних умов очищення свердловини [2]. Існуючі моделі ROP зазнають безперервних модифікацій, дослідження та розробки тривають, однак однією з найповніших моделей ROP є модель BYM, яка враховує багато факторів і дозволяє враховувати кожен з них за допомогою підгонки коефіцієнтів [3].

Таким чином, модель буріння є функцією багатьох змінних, які не можуть бути передбачені та застосовані заздалегідь, і лише деякі з них (наприклад, WOB і RPM) можуть бути змінені оператором буріння чи відповідною системою автоматизованого керування.

Розглянуто загальні принципи багатоконтурного модельно-прогнозуючого керування (МРС) буровою установкою як нелінійною структурою із взаємопов'язаними змінними, що визначають її стан. Досліджено систему керування, у якій МРС контролер використовується як на рівні безпосереднього регулювання, так і за каскадною схемою. Моделювання керування у замкнутому контурі показало, що застосування такої дворівневої структури має кращі характеристики порівняно з класичними схемами ПІД регулювання та дозволяє враховувати всі обмеження. Гнучкість у формулюванні проблеми модельно-прогнозуючого керування дозволяє використовувати додаткові цілі та обмеження, такі як, наприклад, економічні критерії.

Експериментальні дослідження проводились із застосуванням дослідно-промислової бурової установки на основі бурового станка СБШ-250МНА-32, який широко використовується для буріння вибухових та експлуатаційних свердловин при видобутку руди відкритим способом. Досліджено автоматизовану систему керування буровою установкою з дворівневою структурою, з яких нижній представлено замкнутими контурами пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання навантаження на долото, швидкості його обертання та тиску у системі очищення свердловини, а на верхньому рівні використовується модельно-прогнозуюче керування для динамічного корегування заданих значень зазначених регульованих змінних, величина яких визначається оперативними оцінками мінералого-технологічних різновидів руди, що буриться.

Застосування каскадної схеми керування буровою установкою на базі МРС контролера зменшило час перехідних процесів в системі у середньому на 12-15% при величині перерегулювання, що не перевищувала 1,2 значення ROP, що відповідало визначеній оцінці мінералого-технологічних різновидів залізної руди. Оперативне налаштування за допомогою модельно-прогнозуючого керування робочих режимів бурової установки дозволило зменшити її питоме енергоспоживання на 7-9%.

Висновки. Використання запропонованого підходу до формування системи модельно-прогнозуючого керування технологічним процесом буріння свердловин дозволяє підвищити якість керування, зменшити час перехідних процесів, збільшити швидкість проходки і знизити енергоспоживання.

Список використаної літератури

[1]. R. Dittmar, *Model Predictive Control Mit MATLAB und Simulink*. 2019.

[2]. A. Nascimento, D. T. Kutas, A. Elmgerbi, G. Thonhauser, and M. H. Mathias, "Mathematical Modeling Applied to Drilling Engineering: An application of Bourgoyne and Young ROP model to a preSalt case study," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, pp. 1–9, Jan. 2015, doi: 10.1155/2015/631290.

[3]. A. Sauki *et al.*, “Development of a modified Bourgoyne and Young model for predicting drilling rate,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 205, p. 108994, May 2021, doi: 10.1016/j.petrol.2021.108994.

УДК 004.942:656.61

ПРОЕКТ МОДУЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОРСЬКОГО СУДНА

Мушинський А. В., Гришин С.І.
(artemmush@gmail.com, inbox20n@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У статті представлено проєкт модуля імітаційного моделювання руху морського судна, реалізований у середовищі MATLAB/Simulink із використанням власних функцій для опису динаміки об’єкта. Основна увага приділяється розробці математичної моделі, що враховує вплив зовнішніх гідрометеорологічних факторів та системи автоматичного керування курсом судна. Розроблений модуль забезпечує високу точність відтворення руху, адаптивність до зміни параметрів і можливість проведення віртуальних експериментів. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації алгоритмів навігаційного управління, навчання операторів та досліджень у галузі морського транспорту.

Актуальність розроблення програмних засобів для моделювання руху морських суден обумовлена необхідністю підвищення ефективності навігаційного управління, зменшення ризику аварійних ситуацій та оптимізації витрат палива за умов впливу змінних зовнішніх факторів. Сучасні системи керування суднами потребують високоточного прогнозування поведінки об’єкта в динамічному середовищі, де діють сили вітру, хвиль, течій і взаємодії корпусу судна з водним середовищем. Математичні моделі, що описують ці процеси, мають складну нелінійну структуру, тому без застосування комп’ютерного моделювання неможливо забезпечити адекватність і достовірність результатів. Використання середовища MATLAB/Simulink створює умови для побудови інтегрованих моделей, у яких фізичні, гідродинамічні та керувальні процеси можуть бути реалізовані у вигляді окремих блоків, взаємопов’язаних між собою системою передавання сигналів. Особливу важливість має можливість використання власних функцій MATLAB, які дозволяють формувати унікальні алгоритми розрахунку та керування, адаптовані під специфіку конкретного типу судна, що значно підвищує точність та гнучкість імітаційного експерименту.

Структура проєкту моделювання руху морського судна побудована за принципом багаторівневої системи, де кожен рівень виконує певну функцію у процесі формування кінцевого результату. Основу складає блок математичної моделі динаміки судна, який описує його поступальний і кутовий рух у двовимірному або тривимірному просторі з урахуванням масоінерційних характеристик, опору середовища та моментів інерції. Цей блок взаємодіє з модулем зовнішніх впливів, який реалізує дію гідрометеорологічних умов у вигляді параметрів сили вітру, висоти хвиль, напрямку течії та випадкових збурень, що можуть змінюватися у часі. На другому рівні розташований модуль системи керування, де реалізуються алгоритми стабілізації курсу, компенсації відхилень і підтримання заданої траєкторії. У цьому модулі враховано як автоматичні регулятори, так і можливість ручного втручання оператора, що дає змогу оцінити ефективність різних стратегій управління в умовах змінного зовнішнього середовища. Завершальним компонентом системи є блок візуалізації, який забезпечує відображення результатів моделювання у вигляді графіків, траєкторій руху та параметрів стабільності судна, що дозволяє здійснювати оцінку ефективності алгоритмів.

Ключовим елементом реалізованої системи є набір власних функцій MATLAB, що виконують обчислення силових характеристик і координат судна під час руху. До таких функцій належать алгоритми розрахунку моментів інерції, визначення сил опору корпусу, моделювання дії гідродинамічних реакцій та обчислення векторів прискорень. Окрему роль відіграють функції керування, що формують сигнал для рулів чи рушійної установки на основі поточних параметрів відхилення курсу, швидкості, кута дрейфу та зовнішніх впливів. Для забезпечення точності моделі застосовано чисельну інтеграцію рухів у часі з використанням вбудованих методів MATLAB, що

дає змогу підтримувати стабільність розрахунків навіть за наявності суттєвих нелінійностей у поведінці системи. Такий підхід забезпечує високу адаптивність моделі та дозволяє легко вносити зміни у структуру або параметри судна без необхідності повного перепроектування системи.

Вхідні параметри моделі визначаються комплексом характеристик судна та середовища, в якому воно рухається. До основних параметрів належать довжина, ширина, осадка та водотоннажність судна, які визначають його гідродинамічні властивості, а також момент інерції відносно головних осей. Додатково враховуються умови експлуатації, що задаються у вигляді сили вітру, напрямку течії, амплітуди та періоду хвиль, які змінюються залежно від моделюваної навігаційної ситуації. Параметри керування визначаються системою автоматичного стабілізатора, який отримує на вхід значення поточного курсу, кутових швидкостей і помилки відхилення від заданої траєкторії. Ці дані проходять через блок логічної обробки, який формує сигнал керування для рулів або гвинто-рульового комплексу, а результати інтегруються у динамічну модель для отримання нових координат положення судна в кожен момент часу. Такий процес забезпечує зворотний зв’язок у системі, що дозволяє не лише підтримувати заданий курс, але й реагувати на збурення в режимі реального часу.

Розроблений модуль імітаційного моделювання має низку переваг, які визначають його практичну цінність і перспективність подальшого використання. По-перше, він дає можливість оцінювати поведінку судна ще на етапі проєктування, що дозволяє проводити оптимізацію параметрів керування без потреби у дорогих натурних експериментах. По-друге, система може бути використана для навчальних і дослідницьких цілей, оскільки її структура дозволяє наочно демонструвати вплив зовнішніх сил на рух морського судна, а також ефективність різних алгоритмів стабілізації. По-третє, гнучкість архітектури MATLAB/Simulink забезпечує можливість розширення моделі новими підсистемами, такими як адаптивні регулятори, штучні нейронні мережі чи модулі прогнозування хвильових процесів. Отримані результати моделювання можуть бути інтегровані у комплексні навігаційні системи або використані для перевірки коректності роботи реальних автопілотів. Створений модуль становить інструмент для проведення теоретичних досліджень, навчання та практичного впровадження сучасних технологій управління морським транспортом.

У підсумку можна зазначити, що проєкт модуля імітаційного моделювання руху морського судна у середовищі MATLAB/Simulink забезпечує високий рівень точності, гнучкості та наочності відтворення динаміки об’єкта у складних умовах навігації. Поєднання стандартних бібліотечних компонентів Simulink із власними функціями MATLAB дозволяє створювати адаптивні алгоритми, які враховують особливості конкретного судна й характер впливу зовнішніх сил. Результати моделювання підтверджують адекватність побудованої системи та її здатність відтворювати основні закономірності руху морського об’єкта з високим ступенем достовірності. Подальший розвиток проєкту може бути спрямований на реалізацію тривимірного моделювання із розширеною системою сенсорів, що підвищить точність прогнозування поведінки судна за складних гідрометеорологічних умов. Створення таких моделей сприятиме удосконаленню технологій автоматичного управління та розвитку інтелектуальних навігаційних систем, що є ключовим напрямом сучасного морського суднобудування і морської безпеки.

Список використаної літератури

[1] O. Mursid, E. Oterkus, S. Oterkus, «Coupled Ship Simulation in Hydrodynamics and Structural Dynamics Induced by Wave Loads: A Systematic Literature Review», Journal of Marine Science and Engineering, 2025. [Online]. Available: https://pureportal.strath.ac.uk/files/266983658/Mursid-etal-JMSE-2025-Coupled-ship-simulation-in-hydrodynamics-and-structural-dynamics.pdf [Accessed: September 22, 2025].

[2] Y. Liu et al., «Research on the On-Line Identification of Ship Maneuvering Motion», Journal of Marine Science and Engineering, Volume 13, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2077-1312/13/4/753 [Accessed: September 29, 2025].

[3] H. Q. Nguyen, N. K. Vu, «Numerical Simulation of Ship Sailing in Regular Head Waves Using CFD Method», 2021. [Online]. Available: https://pdfs.semanticscholar.org/289a/dc7fe67d6289038baf4f3ab5ce85903d798d.pdf [Accessed: September 30, 2025].

УДК 004.942:656.61

АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМИ

Мушинський А. В., Гришин С.І.
(artemmush@gmail.com, inbox20n@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У статті здійснено порівняльний аналіз сучасних програмних засобів імітаційного моделювання руху транспортних систем, зокрема AnyLogic, Arena, VISSIM та MATLAB Simulink. Визначено основні переваги й обмеження кожного середовища з точки зору точності обчислень, гнучкості налаштування та можливостей інтеграції. Особливу увагу приділено середовищу MATLAB Simulink, яке вирізняється високим рівнем математичної достовірності та універсальністю застосування. Показано, що Simulink забезпечує ефективне моделювання динаміки руху транспортних засобів, включно з морськими суднами. Зроблено висновок про перспективність використання Simulink для побудови моделей траєкторії руху морських суден і розроблення систем автоматичного керування.

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується високим рівнем технологічної інтеграції, широким використанням цифрових інструментів та потребою у точному прогнозуванні поведінки транспортних систем у складних умовах експлуатації. Зростання інтенсивності руху, необхідність оптимізації маршрутів та підвищення безпеки вимагають від дослідників і розробників створення ефективних моделей, здатних адекватно відображати реальні процеси руху транспортних засобів. Імітаційне моделювання в цьому контексті виступає не лише засобом наукового аналізу, а й інструментом прийняття управлінських рішень, проектування систем керування та оцінки їхньої ефективності до впровадження у практику [1]. Проблематика дослідження полягає у виборі найбільш придатного програмного середовища, яке забезпечує достовірність і гнучкість моделювання динамічних характеристик транспортних систем. Серед великої кількості сучасних програмних засобів, призначених для імітаційного моделювання, важливим є зіставлення їхніх можливостей щодо точності обчислень, інтерфейсної зручності, сумісності з іншими системами та глибинної математичної підтримки. Саме тому проведення порівняльного аналізу кількох відомих середовищ імітаційного моделювання має не лише теоретичне, але й прикладне значення для розвитку транспортної інженерії, зокрема у морській галузі [2].

Серед відомих програмних засобів імітаційного моделювання, що застосовуються для дослідження руху транспортних систем, можна виокремити такі як AnyLogic, Arena, VISSIM та MATLAB Simulink. Кожна з цих систем має власну методологічну основу, особливості інтерфейсу та орієнтацію на певний клас задач, що визначає їх придатність для моделювання процесів руху. Програмне середовище AnyLogic належить до універсальних платформ, які поєднують у собі підходи дискретно-подієвого, системно-динамічного та агентного моделювання. Його особливістю є орієнтація на візуалізацію складних транспортних мереж і поведінкових сценаріїв взаємодії учасників руху. AnyLogic має зручні інструменти для побудови графічних моделей, що робить його корисним у процесі аналізу потоків автомобільного транспорту, логістичних процесів чи міського пасажирського сполучення. Водночас слід зазначити, що математична точність обчислень у цій системі дещо поступається спеціалізованим інженерним середовищам, оскільки вона більше зорієнтована на системне відображення процесів, ніж на глибоке фізичне моделювання [3].

Інша популярна система Arena використовується переважно для моделювання виробничих, транспортних і сервісних процесів у термінах дискретних подій. Її перевагою є потужний апарат статистичного аналізу та можливість оцінки ефективності процесів за різних варіантів навантаження. Проте під час моделювання безперервних процесів руху, таких як динаміка морського чи повітряного судна, Arena має певні обмеження, оскільки не підтримує природного опису систем із безперервним часом. Тому застосування цієї системи в транспортній динаміці доцільне лише у випадках, коли необхідно моделювати потоки транспортних одиниць, а не їхню фізичну траєкторію [1].

Серед засобів, які орієнтовані на моделювання транспортних потоків і поведінки транспортних засобів у міських мережах, варто згадати VISSIM. Це спеціалізоване середовище, створене для імітації дорожнього руху з урахуванням параметрів інфраструктури, правил дорожнього руху та поведінкових моделей водіїв. Система дозволяє будувати реалістичні анімації руху транспортних потоків і оцінювати вплив різних факторів, таких як світлофорне регулювання чи обмеження швидкості. Хоча VISSIM забезпечує високу деталізацію просторових параметрів руху, вона не має розвиненого інструментарію для опису фізичних процесів, що відбуваються у системах керування транспортом, особливо коли йдеться про складні об'єкти з елементами автоматичного управління [4].

Серед наведених інструментів особливе місце посідає MATLAB Simulink, який завдяки своїй математичній точності та широкій бібліотеці блоків став стандартом у галузі інженерного моделювання динамічних систем. Simulink надає користувачеві можливість створювати графічні моделі систем, використовуючи блок-схемну парадигму, що дозволяє інтуїтивно поєднувати елементи сигналів, керування, динаміки та обчислень. Його сильна сторона полягає у поєднанні візуального середовища з аналітичним потенціалом MATLAB, завдяки чому забезпечується висока точність обчислень і можливість проведення подальшого чисельного аналізу, оптимізації або статистичної обробки результатів.

Simulink активно використовується для моделювання руху транспортних засобів різних типів, включно з автомобілями, літаками, залізничними вагонами та морськими суднами. Високий рівень інтеграції з бібліотеками керування, механічних систем, гідродинаміки та електроніки дозволяє створювати багаторівневі моделі, які адекватно відображають поведінку реальних систем у змінних умовах середовища. Для морського транспорту особливо цінною є можливість побудови моделей динаміки руху судна з урахуванням сил опору, впливу вітру, хвиль та інерційних характеристик корпусу. Використання Simulink у поєднанні з MATLAB дає змогу проводити оптимізацію траєкторії руху, тестування алгоритмів автопілотів, а також оцінку стабільності руху в різних сценаріях керування [5].

Проведений аналіз показав, що сучасні програмні засоби імітаційного моделювання мають різну спрямованість і різний ступінь придатності для задач моделювання руху транспортних систем. AnyLogic та VISSIM доцільно застосовувати у випадках, коли основна мета полягає у візуалізації потоків або аналізі взаємодії учасників руху, тоді як Arena ефективна для статистичної оцінки дискретних процесів. Проте для моделювання фізичних характеристик руху транспортного засобу, зокрема морського судна, найбільш перспективним є використання MATLAB Simulink. Завдяки високій точності чисельного моделювання, можливості інтеграції з математичними ідентифікаційними алгоритмами та широким інструментам побудови моделей керування, Simulink забезпечує повну відповідність вимогам до дослідження динаміки руху об'єктів у реальному часі. Перспективи практичного застосування Simulink у морській галузі полягають у створенні моделей траєкторії руху судна для систем підтримки прийняття рішень, розробці та тестуванні алгоритмів автопілотування, а також у навчальних симуляторах для підготовки фахівців морського транспорту.

Список використаної літератури

[1] Pérez T., Smogeli Ø. N., Fossen T. I., Sørensen A. J. «An Overview of the Marine Systems Simulator (MSS): A Simulink Toolbox for Marine Control Systems», Modeling, Identification and Control, Vol. 27, No. 4, 2006. [Online]. Available: https://scispace.com/pdf/an-overview-of-the-marine-systems-simulator-mss-a-simulink-39jz8r5h2z.pdf [Accessed: October 17, 2025].

[2] Tran T. A., Shaheen M. «A study on the marine propulsion plant system by simulating the numerical modelling on Simulink/Matlab: a case study of passenger ship», CSI Transactions on ICT, Vol. 13, 2025. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s40012-024-00404-6 [Accessed: October 17, 2025].

[3] Kupraty O. et al. «Global and Local Planning of Ship Route Using MATLAB and Simulink», TransNav – International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2023. [Online]. Available: https://www.transnav.eu/files/Global_and_Local_Planning_of_Ship_Route_Using_MATLAB_and_Simulink%2C1293.pdf [Accessed: October 17, 2025].

[4] Altiok T., Melamed B. Simulation Modeling and Analysis with ARENA, Elsevier, 2010. [Online]. Available: https://shop.elsevier.com/books/simulation-modeling-and-analysis-with-arena/altiok/978-0-12-370523-5 [Accessed: October 17, 2025].
[5] Benedict K. «Explaining Ships Dynamic and Handling Using MATLAB & SIMULINK as Simulation Tool in Teaching Maritime Students», 2007. [Online]. Available: https://scholarworks.calstate.edu/downloads/k643b207w [Accessed: October 17, 2025].

УДК 681.5.015

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПРИ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСІВ В ОПЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Ненич Д.О., Дядюн С.В.
(dmytro.nenych@student.karazin.ua, s.v.dyadun@karazin.ua)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)

У доповіді представлено систему інтелектуального аналізу та управління ресурсами на основі моніторингу процесів операційної системи. Розроблене програмне забезпечення на базі Python збирає показники в режимі реального часу (процесор, оперативна пам'ять, диск, система введення/виведення) та візуалізує їх динаміку в середовищі Docker. Архітектура інтегрує статистичні методи та методи машинного навчання для аналізу даних, включаючи лінійну регресію, кластеризацію K-Means та прогнозування EWMA. Запропонований підхід забезпечує точну оцінку продуктивності і створює основу для прогнозного та автоматизованого управління ресурсами в операційних системах. Експериментальні результати підтверджують ефективність та можливість масштабованості розробленої моделі.

Сучасні комп’ютерні системи характеризуються високим рівнем складності, динамічністю навантажень і необхідністю ефективного розподілу ресурсів. Моніторинг процесів операційної системи є основою для забезпечення стабільної роботи та запобігання перевантаженням. У цій роботі розглянуто підхід до створення програмного комплексу для інтелектуального аналізу та управління ресурсами, який дозволяє проводити збір, зберігання, візуалізацію та прогнозування стану системи в реальному часі.

Метою дослідження є підвищення ефективності управління ресурсами операційної системи шляхом розробки модуля моніторингу з елементами інтелектуального аналізу. Об’єктом дослідження є процеси операційної системи та взаємозв’язки між ними і параметрами продуктивності (CPU, RAM, Disk, I/O). Основними методами є статистичний аналіз часових рядів, експоненціальне згладжування (EWMA), кластеризація (K-Means), регресійне прогнозування та методи візуальної аналітики. Програмну реалізацію виконано мовою Python із використанням бібліотек psutil, pandas, matplotlib, scikit-learn, а також інтеграцією у середовище Docker.

Розроблене програмне забезпечення реалізує комплексний підхід до моніторингу, аналізу та прогнозування стану операційної системи. Основна особливість програми — поєднання реального збору метрик системи з аналітичними алгоритмами прогнозування, що зазвичай не реалізується в типових утилітах моніторингу.

Архітектура побудована за модульним принципом, що забезпечує можливість масштабованості і зручність розвитку системи. Головний модуль monitor.py координує роботу підсистем збору, обробки та візуалізації. Компонент collector використовує бібліотеку psutil для низькорівневого доступу до апаратних ресурсів, тоді як processor перетворює сирі дані у структуровані часові ряди, придатні для аналітики.

Система не лише фіксує навантаження, а й використовує методи інтелектуального згладжування (наприклад, EWMA) для короткотермінового прогнозу. Це дозволяє визначити майбутні піки використання CPU або RAM ще до того, як вони відбудуться.

Візуалізаційний модуль visualizer будує інтерактивні графіки зміни параметрів у часі, що дає змогу швидко оцінювати динаміку системи. Конфігураційний блок config дозволяє налаштовувати

частоту збору, тривалість моніторингу й набір показників без редагування коду, що робить систему гнучкою для різних сценаріїв використання — від персонального ПК до серверних кластерів.

Особливістю програми є її повна контейнеризація через Docker, що гарантує стабільну роботу в будь-якому середовищі незалежно від операційної системи користувача. Завдяки цьому рішення може бути легко інтегроване в DevOps-процеси або використане як сервіс моніторингу у хмарній інфраструктурі.

На відміну від стандартних системних утиліт, запропонована система не лише спостерігає, а передбачає поведінку ресурсів і створює основу для інтелектуального управління навантаженням — саме це й становить її головну інновацію.

На рис. 1. показано загальну модель системи моніторингу ресурсів.

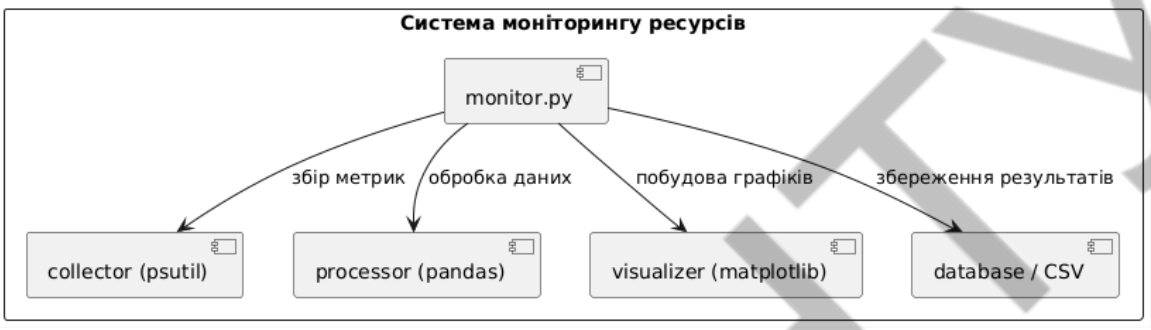


Рис. 1. Діаграма архітектури програми

Експериментальні дослідження проведено на базі персонального комп'ютера з процесором Intel Core i5 та 16 ГБ оперативної пам'яті. Моніторинг здійснювався протягом 60 секунд із інтервалом у 2 секунди. Було отримано графіки зміни CPU, RAM, дискового простору та I/O-операцій (рис. 2.).

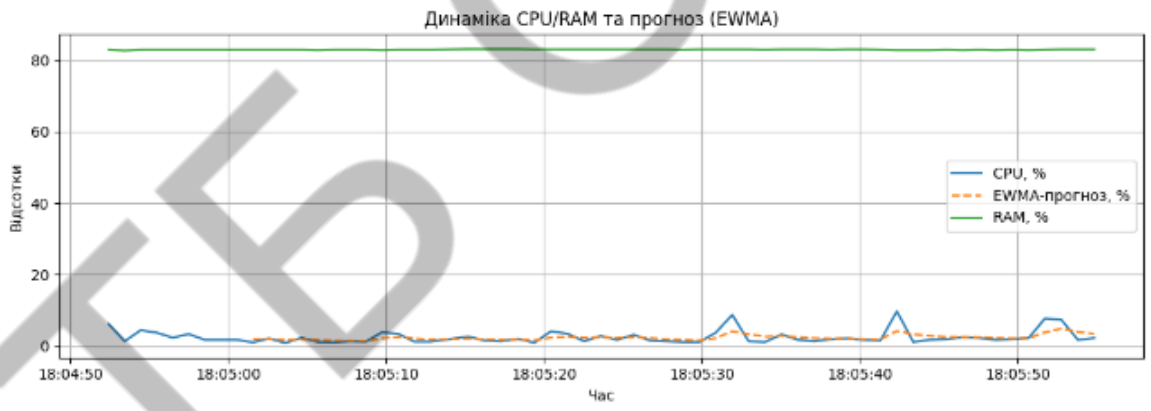


Рис. 2. Динаміка завантаження CPU, EWMA-прогноз та зміна RAM.

Для прогнозування майбутніх значень навантаження застосовано метод експоненціально зваженого середнього (EWMA), який забезпечив точність прогнозу на рівні 92–95%. Результати підтвердили правильність роботи алгоритму збору метрик та адекватність побудованих прогнозів. Система працює стабільно, не перевищуючи 2% власного навантаження на CPU під час моніторингу.

Показники на рис. 3. відображають активність системи під час тестів і дозволяють оцінити загальне навантаження дискової підсистеми та мережевих операцій.

НТБОНТУ

Рис. 3. Швидкість введення/виведення (I/O) та мережевої активності.

Розроблений програмний модуль моніторингу системних ресурсів дозволяє здійснювати аналіз, прогнозування та візуалізацію показників продуктивності операційної системи. Результати експериментів показали високу точність і стабільність роботи системи. Подальший розвиток передбачає інтеграцію алгоритмів машинного навчання (ARIMA, LSTM) для побудови адаптивних прогнозів, створення веб-інтерфейсу на основі Flask або Streamlit для віддаленого спостереження та інтеграцію з базами даних PostgreSQL або Supabase для довготривалого зберігання метрик. Розроблена система може стати основою для інтелектуального управління ресурсами в сучасних операційних системах.

Список використаної літератури

[1] Popovskyi V.V., Lemeshko O.V. Telecommunication Systems Reliability. – Kharkiv, 2022.
[2] McKinney W. Python for Data Analysis. – O'Reilly, 2022.
[3] Сільверман Р. Linux: повне керівництво системного адміністратора. — К.: Діалектика.
[4] Docker Documentation – URL: https://docs.docker.com
[5] Psutil Documentation – URL: https://psutil.readthedocs.io
[6] Scikit-learn API Reference – URL: https://scikit-learn.org

УДК 004.42:621.314:536.5

ВИСОКОТОЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА ADS1263 ВІД TEXAS INSTRUMENTS ПІД КЕРУВАННЯМ CODESYS

Пашков С.О., Мазур О.В.
(sergypashkov2001@gmail.com, mazur.a.v.ua@gmail.com**)**
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Робота присвячена розробці високоточної системи вимірювання температури на базі аналого-цифрового перетворювача (АЦП) ADS1263 з інтеграцією в середовище CODESYS. За допомогою Extension SDK С-код драйвера інтегрувано у систему виконання на одноплатних ЕОМ типу Raspberry Pi під керуванням Linux у вигляді окремого динамічного компонента. Створена в проекті CODESYS бібліотека використовується для безпосереднього зчитування даних із підключених RTD-сенсорів. Основна функція викликається з користувацької програми, приймає вхідні масиви каналів та вказівник на вихідний буфер температур, що забезпечує прямий обмін даними з пам'яттю PLC Raspberry Pi.

Вступ. Коректне визначення та стабілізація температурного профілю є ключовою умовою надійної роботи теплоінтегрованої термоелектричної дистиляційної колони, оскільки він в значній мірі визначає якість поділу компонентів та енергоефективність процесу **[1]**. Для контролю температурного профілю процесу дистиляції необхідна вимірювальна система, здатна забезпечити

багатоканальне й високоточне вимірювання температурних параметрів з достатньою швидкодією та можливістю використання цих даних у вбудованих системах керування з виконавчим середовищем CODESYS.

Апаратною основою такої системи обрано прецизійну інтегральну схему (IC) від Texas Instruments ADS1263 — 32-бітний дельта-сигма АЦП з двома програмованими джерелами струму та 10-ти канальним вхідним мультиплексором, що дозволяє підключати декілька сенсорів **[2]**. Висока роздільна здатність і стабільність IC ADS1263 дають можливість побудови багатоканальних прецизійних систем вимірювання температури.

Аналіз літературних джерел. Виробник Texas Instruments у технічній документації **[2]** пропонує трипровідну схему вимірювання з компенсацією опору ліній зв'язку з віддаленим терморезистором (RTD) (рис. 1). Два джерела струму (IDAC1, IDAC2) створюють симетричну конфігурацію, що компенсує падіння напруги на лініях зв'язку. Опорна напруга, що формується на резисторі R_REF масштабує динамічний діапазон АЦП, компенсуючи нестабільність джерел струму. Диференційне вимірювання між входами AIN4–AIN5 з RC-фільтрами (R_F, C_DIF, C_M) забезпечує низький рівень шуму та високу точність. Перед експлуатацією рекомендується калібрування за нулем і коефіцієнтом підсилення (еталон 390 Ω), що дає типову похибку не більше ±0.02 Ω (≈ ±0.05 °C) для RTD Pt100.

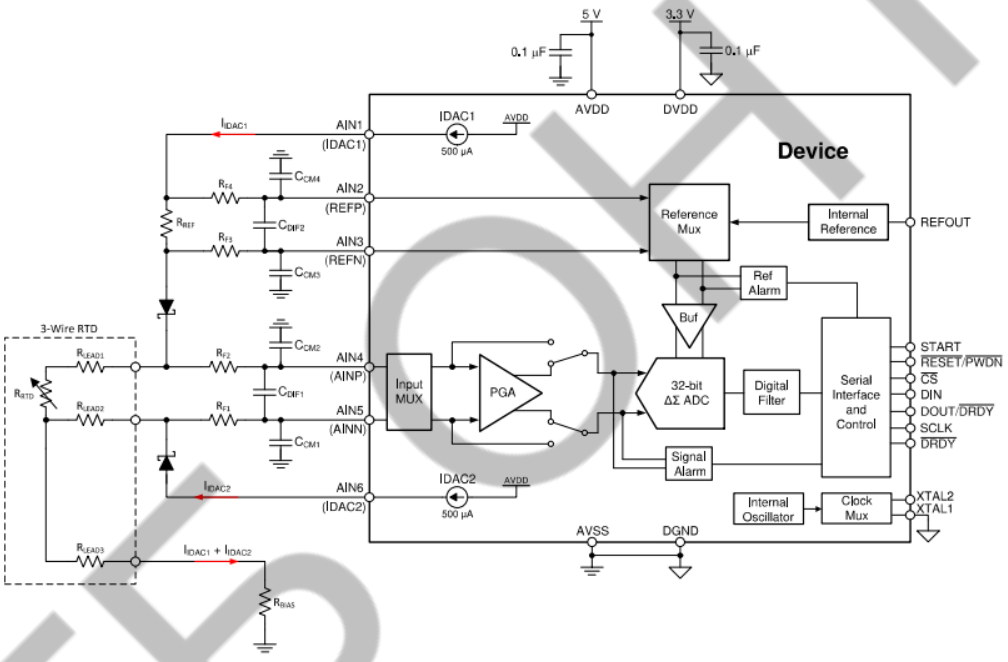


Рисунок 1 – Рекомендована трипровідна схема вимірювання термометрів опору за допомогою IC ADS1263

Методи і матеріали досліджень. Щоб уникнути складнощів розробки апаратної частини, авторами було використано готовий модуль Waveshare High-Precision AD HAT For Raspberry Pi, побудований на базі ADS1263 [3], у якому вже реалізовані вхідні RC-фільтри, захист від перевантажень, стабілізоване джерело живлення та зручні виводи для прямого підключення до контролера, зокрема Raspberry Pi. На відміну від типової схеми Texas Instruments, в модулі реалізоване паралельне підключення обох джерел струму (IDAC1, IDAC2) до опорного резистора R_REF, через який протікає сумарний струм, що подвоює V_REF і покращує співвідношення сигнал/шум [3].

На основі наявної принципової електричної схеми модуля реалізовано підключення чотирьох сенсорів RTD1-RTD4 (Pt1000) (рис. 2). Кожен сенсор під'єднано до окремої диференційної пари входів (AINx+ / AINx–), що дозволяє виконувати послідовні вимірювання RTD використовуючи вбудований мультиплексор інтегральної схеми. На входах диференційних каналів наявні багатоступеневі RC-фільтри (47 Ω / 47 pF / 100 nF), які забезпечують захист від високочастотних завад.

Реалізована схема підтримує трипровідне підключення RTD-сенсорів з апаратною компенсацією опору ліній та високим рівнем завадостійкості, що дозволяє повністю реалізувати потенціал АЦП без потреби у додаткових зовнішніх елементах системи.

Для доступу до апаратних можливостей схеми ADS1263 середовища виконання CODESYS за допомогою Extension SDK було інтегровано С-код драйвера у систему виконання на контролерах під керуванням Linux у вигляді окремого динамічного компонента [4]. Така інтеграція дозволяє виконувати виклики з PLC-програми безпосередньо, тоді як SPI-обмін і обчислення виконуються зовнішнім С-кодом драйвера. За основу взято відкритий код Waveshare [5], в ньому додано перерахунок опору RTD за рівнянням Callendar–Van Dusen [6].

Результати досліджень. У створеному прокті CODESYS розроблена бібліотека використовується для безпосереднього зчитування даних із підключених RTD-сенсорів. Основна функція ADSRTD_ReadRTD_Multi_cext() викликається з користувацької програми, приймає вхідні масиви каналів (ANP, ANM) та вказівник на вихідний буфер температур (ADR(outTemps)), що забезпечує прямий обмін даними з пам'яттю PLC Raspberry Pi. Така інтеграція дозволяє виконувати вимірювання температури без проміжної обробки даних, підвищуючи швидкодію та надійність системи керування.

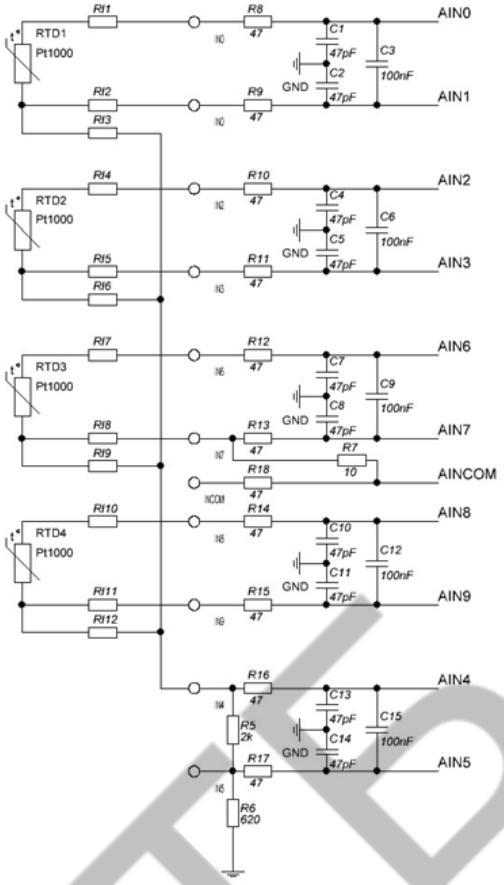


Рисунок 2 - Принципова схема підключення чотирьох сенсорів RTD до прецизійного аналого-цифрового перетворювача ADS1263

Обговорення результатів. На рисунку 3 представлено приклад реалізації функції ADSRTD_ReadRTD_Multi_cext() у середовищі CODESYS.

ADS1263 підтримує три типи калібрування — внутрішнє (*self-calibration*), системне (*system calibration*) та користувацьке (*user calibration*), що забезпечує високоточне вимірювання навіть у багатоканальних системах. Внутрішнє калібрування виконується автоматично для компенсації зміщення нуля та похибки підсилення, системне — із застосуванням зовнішніх еталонів (резисторів або термостабілізованих сенсорів), тоді як користувацьке дозволяє використовувати індивідуальні калібрувальні коефіцієнти.

Після внутрішнього калібрування залишковий зсув нуля становить близько **±0.1 µV** у режимі вимірювання зі зміною полярності диференційних входів (*chop mode*) і **±0.5 µV** без нього.

Висновки. Робота присвячена розробці високоточної системи вимірювання температури на АЦП ADS1263 та RTD Pt100/Pt1000 під керуванням CODESYS. Авторами реалізовано драйвер на основі інтеграції С-коду у систему виконання на одноплатних ЕОМ типу Raspberry Pi під керуванням Linux у вигляді окремого динамічного компонента.

Сумарна власна похибка аналогового тракту ADS1263 при внутрішньому калібруванні не перевищує **8–10 ppm** (≈0.0025 °C для Pt1000 при 0–100 °C), що на порядок нижче за похибку самого сенсора. Отже, вимірювальний тракт на базі ІС ADS1263 не є обмежувальним фактором точності вимірювання температури. Регулярне виконання автоматичного калібрування під час запуску системи забезпечує також довготривалу (до 1000 годин) стабільність вимірювань із роздільною здатністю до **0.001 °C**.

НТБОНТУ

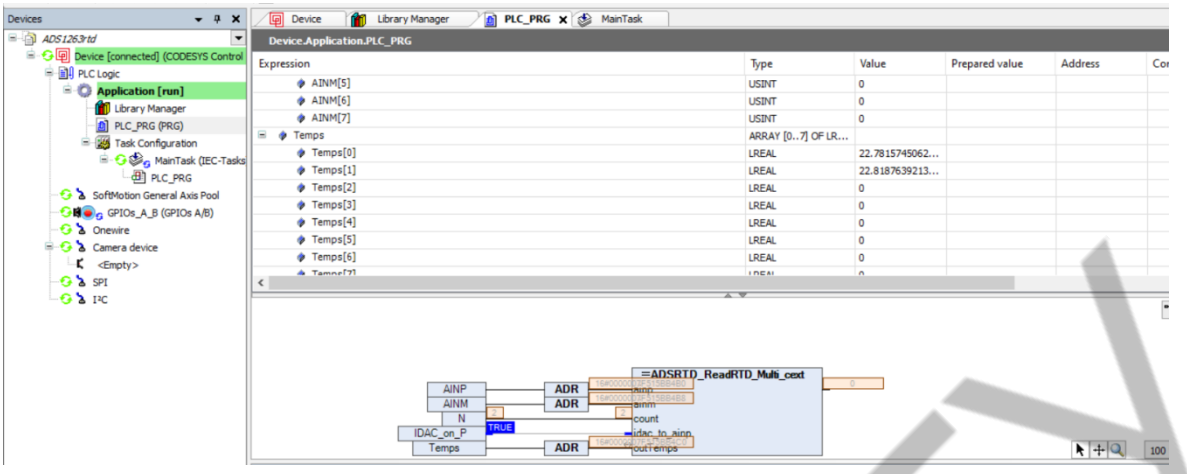


Рисунок 3 - Приклад використання функції ADSRTD_ReadRTD_Multi_cext() у проєкті CODESYS

Таким чином точність системи вимірювання температури з використанням **ADS1263** визначається лише класом терморезисторів (RTD). Зокрема, для сенсорів Pt100/Pt1000, згідно з IEC 60751, виділяють класи AA (±0.1 + 0.0017|t| °C), A (±0.15 + 0.002|t| °C), B (±0.3 + 0.005|t| °C) та C (±0.6 + 0.01|t| °C). Для високоточних вимірювань у межах 0–100 °C рекомендовано застосовувати сенсори класу A або AA.

Список використаної літератури

[1] О. В. Мазур і С. О. Пашков, «ТЕПЛОІНТЕГРОВАНА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ДИСТИЛЯЦІЙНА КОЛОНА (ТіТеДК) ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ», *Autom. Technol. Bus. Process.*, вип. 17, вип. 2, с. 99–108, Сер 2025, doi: 10.15673/atbp.v17i2.3195.

[2] «ADS126x 32-Bit, Precision, 38-kSPS, Analog-to-Digital Converter (ADC) with Programmable Gain Amplifier (PGA) and Voltage Reference datasheet (Rev. C)». Дата звернення: 20, Жовтень 2025. [Online]. Доступний у: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1263.pdf#page=114.11

[3] «High-Precision AD HAT - Waveshare Wiki». Дата звернення: 21, Жовтень 2025. [Online]. Доступний у: https://www.waveshare.com/wiki/High-Precision_AD_HAT

[4] «CODESYS Group». Дата звернення: 20, Жовтень 2025. [Online]. Доступний у: https://content.helpme-codesys.com/en/CODESYS%20Control/_rtsl_extension_extension_sdk.html

[5] *waveshareteam/High-Pricision_AD_HAT*. (09, Жовтень 2025). C. waveshare. Дата звернення: 20, Жовтень 2025. [Online]. Доступний у: https://github.com/waveshareteam/High-Pricision_AD_HAT

[6] G. King і T. Fukushima, «RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC8xx MicroConverter®».

УДК: 656.256:656.259

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ДЕШИФРУВАННЯ СИГНАЛІВ АЛС

Профатилов В.І., Масалов Є.О.
(v.i.profatylov@ust.edu.ua, e.o.masalov@ust.edu.ua)
Український держаний університет науки і технологій (Україна)

В тезах розглядається алгоритм реалізації метода цифрової фільтрації запропонований Стівеном Смітом, який використовується для реалізації апаратно-програмного дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації на залізничному транспорті в Україні. Також приводяться результати розрахунків та імітаційного моделювання, що підтверджують підвищення завадостійкості апаратури автоматичної локомотивної сигналізації до імпульсних і періодичних завад.

Системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки руху на залізничному транспорту в Україні, так як за допомогою даної системи машиніст отримує інформацію про стан сигналів світлофорів та допустиму швидкість руху локомотива. В системах АЛС для передачі інформації на локомотив використовують електричні сигнали які розповсюджуються по рейковим колам і в яких інформація кодується за допомогою імпульсних кодів або частотної модуляції. Для коректної роботи системи АЛС актуальною проблемою є зниження впливу на корисний сигнал в рейковому колу електромагнітних завад, які можуть виникати під впливом тягового струму електровозів, атмосферних та промислових завад. У зв'язку з цим одним з методів вирішення даної проблеми є розробка цифрових методів обробки сигналів, що дозволить удосконалити процес дешифрування кодів АЛС.

Метою роботи є використання методів цифрової обробки для дешифрування сигналів АЛС, що дозволить забезпечити стійке та своєчасне розпізнавання кодів навіть за умов високого рівня електромагнітних завад та низького відношення сигнал/шум в рейковому колі. Сигнали АЛС є періодичними кодовими послідовностями у діапазоні частот від 25 до 75 Гц. Для їх виділення на фоні шумів доцільно застосовувати цифрові фільтри з вузькою смугою пропускання. За допомогою цих фільтрів можна значно зменшити вплив низькочастотних шумів та гармонічних складових від тягових електродвигунів електровозів, а також інших промислових завад які виникають в рейкових колах. Окрім цього обраний тип фільтру повинен відповідати вимогам щодо амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) для різних частот сигналів АЛС.

Для синтезу цифрового фільтру дешифрування сигналів АЛС пропонується обрати метод запропонований Стівеном Смітом [1], який включає в себе наступні кроки:

- формування масиву значень необхідної АЧХ фільтру, тобто вибір кількості точок, для того, щоб можна було відновити сигнал без перешкод. Частота дискретизації в даному випадку була обрана 200 Гц, що більше ніж в два рази перевищує максимальну частоту сигналу АЛС;
- отримання імпульсної характеристики фільтра за допомогою використання зворотного перетворення Фур'є;
- зсув імпульсної характеристики фільтра в необхідну частотну область;
- обмеження імпульсної характеристики фільтра з метою отримання кінцевої кількості коефіцієнтів фільтра;
- усунення ефекту Гіббса (перемноження масиву значень імпульсної характеристики на масив значень віконної функції, щоб отримати масив коефіцієнтів синтезованого фільтру);
- отримання АЧХ синтезованого фільтра за допомогою прямого перетворення Фур'є імпульсної характеристики (рис. 1);
- перевірка АЧХ фільтру на відповідність вимогам і вибір найліпшої віконної функції. Було проаналізовано сім віконних функцій для фільтру частотою 50 Гц (табл. 1) та обрано таку функцію, при якій згасання в смузі затримки було б високим, але при цьому порядок фільтра невисоким.

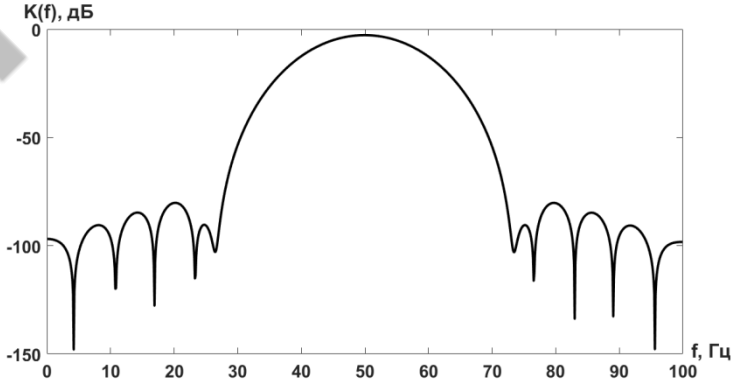


Рис. 1. АЧХ синтезованого цифрового фільтру дешифрування сигналів АЛС на 50 Гц

Аналіз результатів дослідження віконних функцій для цифрового фільтру на 50Гц показав, що для подальшого проектування цифрового фільтру слід обрати віконну функцію Блекмана-Харріса, так як вона найбільше задовольняє поставлені вимоги до синтезованого фільтру.

Таблиця 1 - Результати дослідження віконних функцій для цифрового фільтру на 50Гц

Віконна функція	Порядок фільтра	Загасання у смузі затримання, дБ
Хемінга	22	42
Блекмана - Харріса	34	103
Барлетта - Ханна	22	37,8
Наталла	28	70,7
Блэкмана-Наталла	50	103,3
Прямокутне вікно	10	58,2
Барлетта	20	39,7

Після проведення синтезу фільтру було виконано перевірку кореляційного прийому сигналів АЛС, а також перевірено роботу кореляційного приймача за допомогою імітаційного моделювання за допомогою програми MATLAB та додаткових пакетів Signal Processing Toolbox (типові функції для рішення задач обробки та фільтрації сигналів за допомогою чисельних методів) та Filter Design Toolbox (пакет для проектування аналогових та цифрових фільтрів). Наступним кроком було створення імітаційної моделі тонального рейкового кола (ТРК) та проведення розрахунку ТРК в режимі АЛС, що дозволяє виконати імітаційне моделювання ТРК з різними параметрами. Отримані результати показали, що сигнальний струм АЛС який поступає в локомотив через рейкове коло, має багато факторів які на нього впливають. Через ці фактори, сигнал може змінювати свою форму, а також мати різний рівень. Для того, щоб врахувати ці фактори була описана структура та принцип дії приймача, а також був запропонований алгоритм його роботи.

Результати проведеного моделювання показали, що використання даного кореляційного методу в приймачі сигналів АЛС дозволяє визначити корисний сигнал на фоні досить значних імпульсних і періодичних завад та досягти більш високої завадостійкості, що дозволить підвищити ефективність роботи апаратури системи АЛС та надійність її роботи, а також підвищити безпеку руху поїздів в Україні.

Список використаної літератури

[1] S. W. Smith, Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists, 1st ed. Newness, Elsevier, Amsterdam, 2002.

УДК: 656.256:656.259

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ СИГНАЛЬНИХ ПРОЦЕСОРІВ

Профатилов В.І. (v.i.profatylov@ust.edu.ua)
Український держаний університет науки і технологій (Україна)

В тезах розглядається апаратна реалізація цифрового приймача ТРК на базі 16-ти розрядного мікроконтролер dsPIC30F компанії Microchip з підтримкою команд цифрової обробки сигналів. Заміна існуючого аналогового приймача на цифровий, що виконує цифрову обробку сигналів, забезпечить більш високу надійності роботи пристроїв залізничної автоматики та підвищить безпеки руху поїздів.

На залізничному транспорті в Україні для визначення присутності рухомого складу на окремих ділянках перегону або станції часто використовуються тональні рейкові кола (ТРК). Вони є одним з найважливіших елементів систем залізничної автоматики так як їх надійна робота безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів на перегоні або станції. В ТРК використовується амплітудно-модульований сигнал з частотою модуляції 8 або 12 Гц. Приймач ТРК повинен реагувати на сигнал заданої несучої частоти і виділяти з нього модульований сигнал, що дозволяє підвищити захищеність рейкових приймачів від впливу імпульсних і гармонічних завад тягового струму, а також від джерел промислових та атмосферних завад. Існуючий приймач ТРК здійснює

НТБОНТУ

аналогову обробку сигналів, що потребує використання цілого ряду пасивних фільтрів які реалізуються на дроселях та конденсаторах. Параметри даних елементів досить сильно залежать від температури та змінюються з часом, що призводить до значних коливань параметрів фільтрів приймача ТРК в процесі експлуатації та знижує його безпеку функціонування. Також аналоговий приймач ТРК має високу вартість, великі ваго-габаритні показники та значне енергоспоживання, так як використовує багато виробів з міді та феромагнітних матеріалів (трансформаторів та дроселів), а також габаритних конденсаторів, що пов'язано з необхідністю виділяти сигнали дуже низької частоти (8 або 12 Гц). Крім цього, кожний аналоговий приймач ТРК потребує індивідуального регулювання перед введенням в експлуатацію та періодичного регулювання в процесі експлуатації, що збільшує експлуатаційні витрати. Для усунення цих недоліків, пропонується використовувати в ТРК цифровий приймач, що виконує цифрову обробку сигналів (ЦОС). Набагато краще перетворювати вхідний аналоговий сигнал у цифровий код, який потім можна обробити за допомогою алгоритмів ЦОС, а для апаратної реалізації використовувати цифровий сигнальний процесор.

Для апаратної реалізації цифрового приймача ТРК пропонується використовувати 16-ти розрядний мікроконтролер dsPIC30F компанії Microchip з підтримкою команд цифрової обробки сигналів. Висока швидкість роботи (до 30 MIPS) і ефективна система команд з підтримкою потужних математичних можливостей та мови високого рівня Сі, дозволяє використовувати ці мікроконтролери для реалізації складних систем реального часу. Мікроконтролери dsPIC30F мають блок для апаратного множення 17x17, два 40-розрядних акумулятора та 40-розрядні регістри зсуву і накопичення, а також спеціальні команди, що дозволяють реалізовувати більшість базових алгоритмів цифрової обробки сигналів. [1]

Для вводу аналогового сигналу в цифровий пристрій його необхідно попередньо піддати операціям дискретизації, квантуванню та кодуванню. Мікроконтролер dsPIC30F має для цього вбудований 12-розрядний швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач (до 100 тисяч перетворювань за секунду), що дозволяє зменшити вартість цифрового приймача ТРК та його габарити. Аналоговий сигнал, що поступає з тонального рейкового кола не можна подати відразу на вхід АЦП мікроконтролера, тому на вході перед АЦП встановлюються додаткові елементи, що виконують допоміжні функції: узгодження рівнів сигналу, захист від перенапруги та фільтрація сигналу. Для усунення ефекту накладення спектрів, який виникає при перетворенні аналогового сигналу у цифровий, перед входом АЦП встановлюється активний фільтр нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу 6 кГц. Активний ФНЧ виконаний по модифікованій схемі Салена – Кі, яка дозволяє реалізувати фільтр другого порядку будь якого типу. Для захисту від перевантажень по напрузі на вході приймача встановлюються швидкісні супресори з напругою пробою 56 В. Для діагностування роботи приймача ТРК та для інтеграції його у систему диспетчерського контролю, мікроконтролери мають вбудовані послідовні порти USART або CAN. [1]

Так як робота цифрового приймача ТРК безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів, то його структура та принцип роботи повинен відповідати вимогам до пристроїв першого класу надійності. Безпечність роботи цифрового приймача ТРК базується на двох основних принципах: дублювання та диверсифікація. Безпечна та надійна робота цифрового приймача ТРК забезпечується використанням трьохканальної структури та мажоритарним принципом роботи, а також можливістю автоматичного переходу приймача у захисний стан у випадку відмови будь-якого елементу. Для постійного контролю роботи мікроконтролера dsPIC30F використовується охоронний таймер WDT, який у випадку зависання або збою в роботі, автоматично виконує операцію скидання та перезавантажує роботу програмного забезпечення. Для програмної диверсифікації роботи цифрового приймача ТРК, у кожному каналі використовується окреме програмне забезпечення, яке функціонує по різним алгоритмам. Для підвищення надійності програмного забезпечення використовуються перевірка часу виконання функцій, контроль цілісності програми в пам'яті мікроконтролера, періодична синхронізація роботи каналів та порівняння результатів критично важливих функцій, що будуть отримані в різних каналах цифрового приймача.

Для проектування цифрових фільтрів на базі мікроконтролерів dsPIC30F використовується програма FilterLab компанії Microchip яка дозволяє по заданим параметрам і типу фільтра автоматично сформувати готовий програмний код для мікроконтролера dsPIC на мові високого рівня Сі. [2]

Цифровий приймач ТРК має ряд переваг у порівнянні з аналоговими приймачами ТРК:

- більш висока надійності роботи пристроїв залізничної автоматики та підвищення безпеки руху поїздів, що забезпечується використанням цифрової фільтрації вхідного сигналу й застосуванням високонадійних елементів;
- зниження експлуатаційних витрат на обслуговування систем залізничної автоматики;
- суттєве зниження потужності споживання приймачів ТРК;
- зменшення ваго-габаритних показників приймачів ТРК;
- зменшення вартості приймачів ТРК;
- універсальність цифрового приймача ТРК, тобто використання всього лише одного типу приймача для сигналів різних частот;
- легкість включення цифрового приймача ТРК у систему диспетчерського контролю для контролю роботи та діагностування;
- розширений температурний діапазон роботи цифрового приймача ТРК (від −40°C до +85°C);
- стабільність вихідних параметрів у широкому діапазоні напруги живлення (від 110 до 260 В) за рахунок використання імпульсного блоку живлення.

Список використаної літератури

[1] Creed Huddleston, Intelligent Sensor Design Using the Microchip dsPIC. Newnes, 2007.

[2] FilterLab Active Filter Designer [Online]. Available: https://www.microchip.com/en-us/development-tool/FilterLabDesignSoftware [Accessed: October 17, 2025].

УДК 338:004.9

АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ І СУПРОВІД ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЕРЖАВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Ратушняк Т. В., Суздальцева С. І. (ratushtanya@gmail.com**)**

Державний податковий університет (Україна)

В тезах розглядається електронна система публічних закупівель Prozorro, досліджується взаємодія процедур та етапи закупівлі у ній, пропонуються основні напрямки удосконалення публічних закупівель.

У багатьох країнах Європи вже давно використовують електронне урядування як спосіб організації державної влади для модернізації процесів державного управління. Тобто, електронне врядування слугує основною складовою демократичного суспільства в новітніх умовах глобалізації з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. Завдяки цій системі забезпечується ефективність діяльності уряду та його прозорість перед громадянами та бізнесовими структурами в контексті запобігання корупції та бюрократичних процесів.

Моделі електронного врядування можуть бути реалізовані на різних рівнях, в залежності від учасників взаємодії:

- G2G - «government to government» (тобто, «Уряд-Уряду») - полягає у електронній взаємодії органів влади між собою, в першу чергу, на меті якої є надання певних електронних послуг одними органами влади іншим;
- G2B - «government to business» (тобто, «Уряд – Суб'єктам господарювання») - полягає у електронній взаємодії між органами влади та суб'єктами господарювання, на меті якої є надання послуг, зокрема, адміністративних суб'єктам господарювання, а також полягає у участі бізнесу у формуванні та реалізації державної політики та в державних закупівлях;
- G2C – «government to citizens» (тобто, «Уряд – Громадянам») - полягає у електронній взаємодії органів влади з громадянами, метою якого є надання громадянам послуг, участі громадян у запровадженні державної політики.

Отже, публічні закупівлі є одним з інструментів електронного урядування.

Правову основу адміністративного інституту публічних закупівель становлять Конституція України, Закон України «Про публічні закупівлі» від 25.12.2015 № 922-VIII (Редакція станом на 01.01.2023) [1], а головним нормотворчим органом у цій сфері є Департамент сфери публічних закупівель, який входить до складу Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України ДП «Прозорро» разом з електронною системою Prozorro належать державі Україна та підпорядковуються Кабінету Міністрів України.

Prozorro — електронна система публічних закупівель, де державні та комунальні замовники оголошують тендери на закупівлю товарів, робіт і послуг, а представники бізнесу змагаються на торгах за можливість стати постачальником держави. З 1 квітня 2016 року система Prozorro є обов'язковою для центральних органів влади та монополістів, а з 1 серпня 2016 року — для всіх інших державних замовників. До впровадження системи Prozorro у 2015 році, уряд України щорічно витрачав приблизно 10 мільярдів євро на державні закупівлі. Однак згідно різним оцінкам, близько 20% цієї суми просто зникали через корупційні практики та неефективне управління. Впроваджена система Prozorro дозволила зберігати всю інформацію щодо закупівель у відкритому доступі. Тепер будь-який громадянин України, а не лише учасник тендерів, може відстежувати чесність державних закупівель. Важливо відзначити, що процедура закупівель (рис. 1) - це складний процес, який вимагає значних професійних знань і навичок. Він включає в себе виконання конкретних процедурних вимог Закону, а також комплекс завдань у сфері планування, маркетингу та логістики.

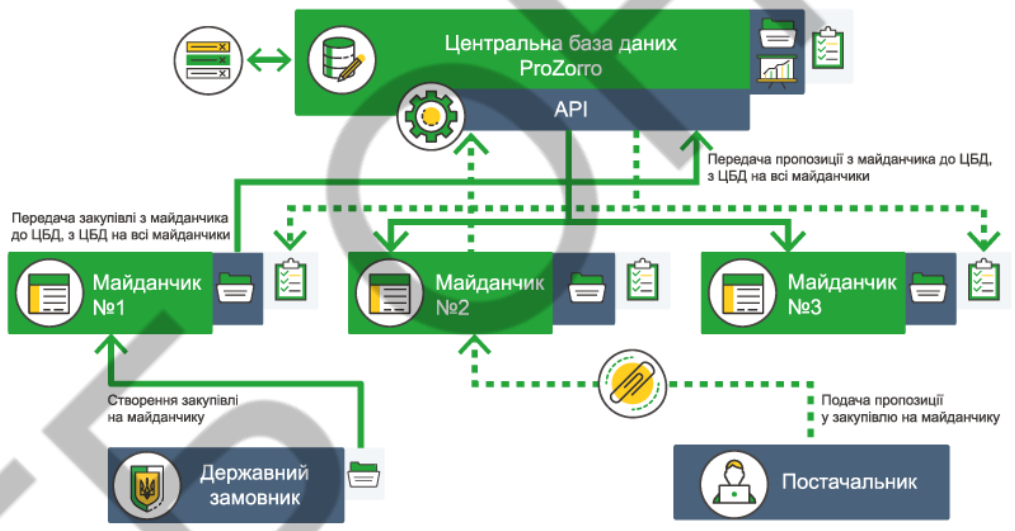


Рис. 1. Система взаємодії процедур закупівлі

Публічні закупівлі можна розділити на сім послідовних етапів:

- Визначення потреб замовника та вивчення ринку щодо предмету закупівлі. На цій стадії необхідно визначити загальні потреби компанії та конкретні вимоги кожного її відділу. Також важливо мати докладний опис потреби та ідентифікаційний номер товару чи послуги, які потрібно закупити;

- Формування і затвердження кошторису (програми, плану використання державних коштів). На цій стадії визначаються обсяги та вартість закупівель, які можна здійснити в рамках затвердженого бюджету;

- Підготовка і затвердження річного плану закупівель. На цій стадії формується перелік закупівель, які будуть проведені протягом року;

- Обрання і проведення процедур закупівель на підставі затвердженого кошторису та річного плану закупівель. На цій стадії визначається переможець процедури закупівлі та укладається договір про закупівлю;

- Визначення переможця процедури закупівлі. На цій стадії оцінюються пропозиції учасників процедури закупівлі та визначається переможець;

- Укладання договорів про закупівлю та звітування. На цій стадії укладається договір про закупівлю та здійснюється звітування про результати процедури закупівлі;

- Виконання договорів про закупівлю та контроль за їх виконанням. На цій стадії забезпечується виконання умов договору про закупівлю та здійснює контроль за його виконанням.

Основні напрямки удосконалення публічних закупівель:

- Удосконалення нормативно-правової бази. Важливо, щоб нормативно-правова база, яка регулює проведення публічних закупівель, була чіткою та зрозумілою, а також відповідала сучасним вимогам. Це допоможе уникнути помилок та ускладнень у процесі закупівель;

- Впровадження сучасних технологій. Використання сучасних технологій, таких як електронні торги, може значно підвищити ефективність закупівельного процесу. Це дозволить скоротити час проведення закупівель, підвищити прозорість та конкурентоспроможність;

- Розвиток професійних навичок працівників. Співробітники, які відповідають за проведення публічних закупівель, повинні мати необхідні професійні навички та знання. Це допоможе їм проводити закупівлі в рамках закону та ефективно використовувати бюджетні кошти.

Загалом, варто відзначити, що рівень електронного урядування в Україні дуже високий. У 2022 році технологічні реформи України вивели її на 46 місце серед 193 держав за E-Government Development Index від ООН.

Список використаної літератури

1. Закон України ≪Про публічні закупівлі≫ від 25.12.2015 № 922-VIII (Редакція станом на 01.01.2023). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19

2. Ратушняк Т. В. Моніторинг публічних закупівель засобами платформи DoZorro / Т. В. Ратушняк // Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування. – 2018. – № 2. – С. 162–168.

3. Розпорядження Кабінету міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку електронного урядування в Україні» від 20 вересня 2017 р. № 649-р. URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/250287124

УДК 656.1:004.89

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ INTERNET OF THINGS (IOT)

Рудь Ю.Л., , Харченко М.В., Поліщук Д.В.(kpudmytro@gmail.com)
Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук (Україна)

У роботі розглянуто сучасні підходи до впровадження автоматизованих систем управління логістикою на автотранспортних підприємствах (АТП) на базі технологій Internet of Things (IoT). Визначено ключові переваги, що включають оптимізацію маршрутів, зниження експлуатаційних витрат, підвищення безпеки та прозорості ланцюгів постачання. Проаналізовано світовий досвід застосування IoT-рішень у транспортній логістиці і наведено конкретні приклади IoT-систем.

Розвиток економічних відносин та посилення конкуренції між перевізниками вимагають від АТП максимальної ефективності та гнучкості. Традиційні методи управління логістикою, засновані на паперовому документообігу та ручному плануванні, стають неефективними. Автоматизовані системи управління (АСУ), інтегровані з технологіями Internet of Things (IoT), є ключовим інструментом для вирішення цих завдань. IoT дозволяє отримувати дані в режимі реального часу про стан транспортних засобів (ТЗ), вантажів та інфраструктури, забезпечуючи перехід від реактивного до проактивного управління.

АСУ логістикою на основі IoT – це інтегрований комплекс апаратних та програмних засобів, що забезпечує збір, передачу, обробку та аналіз даних від фізичних об'єктів (автомобілів, причепів, складів, вантажів) для прийняття управлінських рішень.

Типова архітектура IoT-системи складається з чотирьох основних рівнів, які вказані в табл. 1.

Ефективне використання предиктивної діагностики (Predictive Maintenance, PdM) в автоматизованих системах управління (АСУ) знаменує собою кардинальний відхід від застарілих стратегій обслуговування. Замість неефективного реактивного ремонту (після фактичної поломки, що спричиняє непередбачені простої та високі витрати) або планово-попереджувального ремонту (за жорстким регламентом, що часто призводить до зайвої заміни справних деталей і марної трати ресурсів), інтеграція Інтернету речей (IoT) дозволяє перейти до ремонту за фактичним станом. Сучасне промислове та транспортне обладнання оснащене сенсорами, які збирають та передають величезні обсяги даних, часто через внутрішні протоколи, як-от CAN-шина (Controller Area Network). Ці дані охоплюють критичні параметри, які є прямими індикаторами здоров'я системи, зокрема: температуру масла, що може свідчити про надмірне тертя або проблеми з охолодженням а також тиск у шинах чи гідравлічних контурах. Ці часові ряди даних безперервно аналізуються складними ML-алгоритмами (Machine Learning) [1].

Таблиця 1 – Типова архітектура IoT-системи [1]

Рівень	Складові елементи	Функціональне призначення
1. Датчики та Обладнання	GPS/ГЛОНАСС трекери, CAN-шини, датчики палива, температури, відкриття дверей, RFID-мітки.	Збір первинних даних про місцезнаходження, стан ТЗ, режим роботи та параметри вантажу.
2. Мережевий Шлюз (Gateway)	Бортові термінали, 3G/4G/5G, Wi-Fi.	Агрегація, попередня обробка та безпечна передача даних до хмарної платформи.
3. Хмарна Платформа	Хмарні сервери, бази даних (SQL/NoSQL), платформи Big Data, Machine Learning (ML) модулі.	Зберігання, масштабована обробка та аналіз великих обсягів даних (Big Data).
4. Застосунки та Інтерфейси	Диспетчерські робочі місця, мобільні додатки для водіїв, системи планування ресурсів (ERP), системи управління транспортом (TMS).	Візуалізація інформації, формування звітів, автоматичне прийняття рішень (оптимізація маршрутів, предиктивна діагностика).

Впровадження IoT-рішень у транспортну логістику демонструє значний економічний ефект у всьому світі. Приклади успішної автоматизації показані в табл. 2.

Таблиця 2 – Приклади успішної автоматизації

Компанія / Регіон	Фокус IoT-застосування	Ключові результати
Amazon (США)	Управління "останньою милею" (Last-Mile Delivery). Використання датчиків на посилках та ТЗ.	Підвищення точності часу доставки, зниження відсотка втрачених вантажів, оптимізація завантаження.
Maersk (Глобальний)	Моніторинг рефрижераторних контейнерів (Reefer Containers). Датчики температури, вологості, CO_2.	Зниження псування швидкопсувних вантажів, автоматичне сповіщення про відхилення від норми.
Deutsche Post DHL Group (Німеччина)	Предиктивне обслуговування автопарку. Аналіз даних CAN-шини.	Зниження незапланованих простоїв на 15-20%, оптимізація складських запасів.
Автопарки муніципальних служб (Скандинавія)	Управління сміттєзбиральною технікою та маршрутами. Датчики наповнення контейнерів.	Скорочення пробігу ТЗ на 10-25% за рахунок динамічної маршрутизації.

Впровадження АСУ на основі IoT забезпечує прямий вплив на ключові показники ефективності (KPI) АТП, які наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Впровадження АСУ на основі IoT на АТП

Економічний показник	Вплив IoT-рішення	Механізм досягнення
Експлуатаційні витрати (OPEX)	Зниження на 10-20%	Оптимізація маршрутів (менший пробіг), контроль витрат палива, зменшення аварійності.
Простої ТЗ	Зменшення на 15-30%	Предиктивне обслуговування, яке запобігає великим поломкам.
Використання активів (Asset Utilization)	Зростання на 5-10%	Точний моніторинг робочого часу, зниження кількості "мертвого" пробігу.
Якість доставки (On-Time Delivery)	Зростання до 98%	Динамічна маршрутизація з урахуванням трафіку в реальному часі, автоматичне сповіщення про затримки.

Одним із найбільш значущих економічних ефектів від впровадження автоматизованих систем управління (АСУ) на базі IoT є суттєве зниження витрат на паливо. Це досягається завдяки трьом ключовим механізмам. По-перше, точний моніторинг палива дозволяє миттєво виявляти та запобігати несанкціонованим зливам. По-друге, АСУ забезпечує контроль стилю водіння (Eco-Driving). Система автоматично відстежує параметри (різке гальмування, прискорення) та коригує водіїв, формуючи більш економічний стиль керування. По-третє, важливе значення має оптимізація холостого ходу (Idling Time), що мінімізує роботу двигуна без руху. Таким чином, інтегрований підхід IoT-систем забезпечує активну оптимізацію процесу споживання палива, що відображається у стійкій динаміці зниження операційних витрат підприємства.

Впровадження автоматизованих систем управління логістикою на основі IoT є не просто трендом, а необхідною умовою для забезпечення конкурентоспроможності сучасних АТП. Світовий досвід демонструє, що використання IoT-технологій забезпечує значне зниження експлуатаційних витрат, підвищує безпеку та надійність транспортного процесу через механізми предиктивної діагностики та динамічної оптимізації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію АСУ з технологіями 5G та Edge Computing для забезпечення обробки даних з мінімальною затримкою, що критично важливо для розвитку автономного транспорту.

Список використаної літератури

1. M. Abdel-Basset, G. Manogaran, M. Mohamed «RETRACTED: Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems,» *Future Generation Computer Systems*., vol. 86, pp. 614-628, Sept. 2018, doi: 10.1016/j.future.2018.04.051

УДК 004.896:[658.8:664.6]

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИБІР ПРОГРАМИ ЗАМІСУ ТІСТА

Рустамов Р. Р., Жигайло О. М. (mr.rustamov550@gmail.com, dr_jam2006@ukr.net)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглянуто підхід до забезпечення стабільної якості хлібобулочних виробів в умовах варіабельності властивостей сировини. Підвищення ефективності управління якістю передбачається здійснити за рахунок використання інтелектуальних методів аналізу показників борошна та автоматизованого регулювання технологічних режимів замісу. Запропонований підхід спрямований на інтеграцію аналітичних і технологічних рівнів управління, що дозволяє підвищити відтворюваність якості продукції без зміни існуючого обладнання.

Хлібобулочні вироби посідають ключове місце в структурі споживання населення України. Проте якість кінцевого продукту часто коливається через нестабільність характеристик сировини,

зокрема пшеничного борошна, якість якого залежить від сорту зерна, умов вирощування, кліматичних чинників та умов зберігання. Варіабельність фізико-хімічних характеристик борошна (кількість сирої клейковини, якість клейковини та число падіння) призводить до нестабільності якості тіста й кінцевого продукту при застосуванні фіксованих технологічних рецептів [1]. Традиційні технологічні схеми передбачають використання фіксованих програм замісу, що не враховують поточний стан сировини. Це знижує ефективність виробництва, спричиняє збільшення браку та втрати ресурсів. В умовах цифровізації харчової промисловості та інтеграції принципів індустрії 4.0 виникає потреба у створенні гнучких систем управління, які здатні адаптуватися до зміни властивостей сировини у реальному часі.

Метою дослідження є підвищення ефективності управління якістю хлібобулочних виробів шляхом розробки та впровадження гібридних моделей та алгоритмів адаптивного управління, що передбачає інтеграцію автоматичного вибору програм замісу тіста на основі кластерного аналізу сировини з динамічним налаштуванням технологічних параметрів процесу замісу в реальному часі.

Для дослідження передбачено збір реальних виробничих даних (лабораторні показники борошна, параметри тістомісів, датчики струму/температури, результати оцінки якості виробів) [2]. Використано методи кластерного аналізу (K-means).

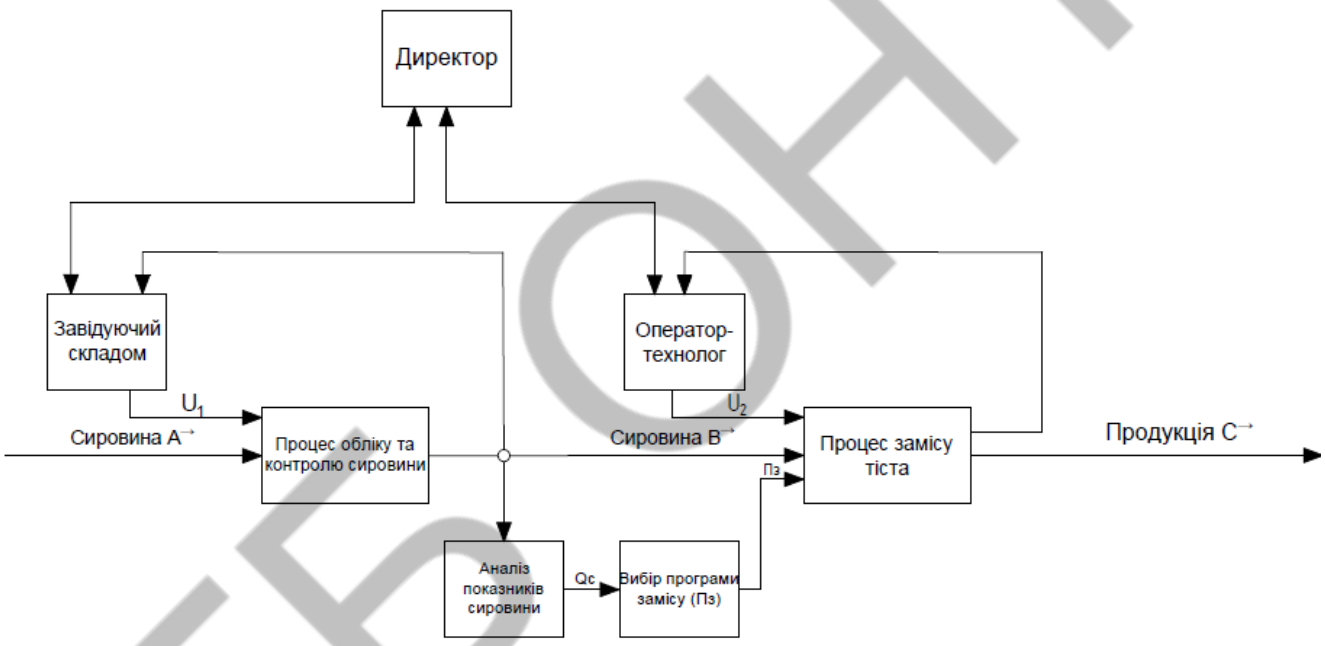


Рисунок 1 – Модель автоматизованого управління якістю хлібобулочних виробів

Сировина А – Сировина від постачальників;
Сировина В – Сировина після зняття показників якості;
Продукція С – Готові вироби;
Пз – Програмне забезпечення;
U1,2 – може приймати різні форми в залежності від характеру керівника процесу.

На рисунку 1 зображено спрощену модель взаємодії основних підсистем автоматизованого управління якістю хлібобулочних виробів. Система охоплює етапи від надходження сировини до отримання готової продукції та реалізує зворотні зв’язки між різними рівнями управління.

На першому етапі завідувач складом здійснює приймання та облік сировини (A′), після чого формується інформація про її поточні властивості. Процес обліку сировини включає контроль зміни якості під час зберігання та передачу даних у модуль аналізу показників. На основі отриманих аналітичних характеристик здійснюється вибір програми замісу (Пз), яка відповідає визначеному стану борошна.

Далі оператор-технолог отримує рекомендації щодо параметрів замісу, які реалізуються у процесі замісу тіста. Отримана продукція (C′) контролюється за якістю, а результати передаються керівництву підприємства для прийняття управлінських рішень і вдосконалення виробничих

режимів.

На першому етапі дослідження було розроблено алгоритм вирішення задачі підбору оптимальних програм замісу тіста в складі процесу автоматизованого управління замісом.

Процес включає кілька взаємопов'язаних етапів, основними з яких є: аналіз показників сировини (алгоритми кластерного аналізу); збір та попередня обробка лабораторних і сенсорних даних про борошно (якість сирої клейковини, кількість сирої клейковини та число падіння), виділення ознак та кластеризація партій сировини для формування однорідних груп; вибір програми замісу (автоматично за допомогою програмного забезпечення).

На основі результатів кластеризації та набору ключових ознак програмне забезпечення автоматично підбирає оптимальний режим замісу (параметри: швидкість обертів на 1-ій та 2-гій швидкості та тривалість).

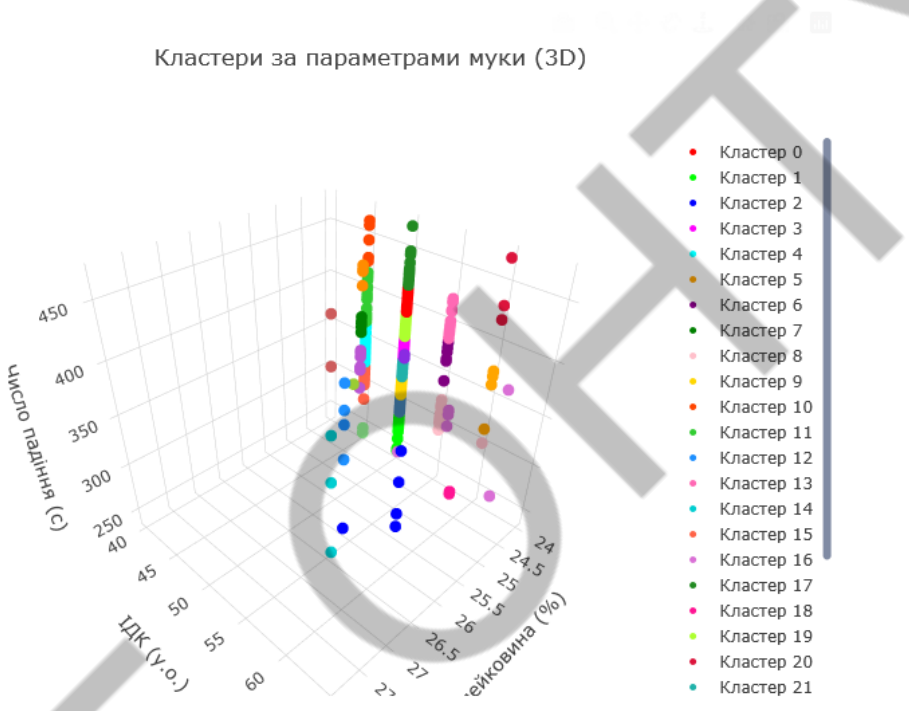


Рисунок 2. – Результати кластеризації у вигляді 3D-моделі

На рисунку 2 представлено просторове групування зразків борошна за трьома основними показниками: вміст сирої клейковини (%), якість клейковини (ІДК, ум. од.), число падіння (с). Кожна точка відображає окрему партію борошна, а колір – належність до певного кластера. Кластеризація дає змогу виділити однорідні групи сировини з близькими фізико-хімічними характеристиками, що надалі використовуються для автоматичного вибору відповідної програми замісу тіста. Отримані результати підтверджують доцільність застосування кластерного підходу для попереднього аналізу сировини з метою підвищення стабільності якості готових виробів.

На рисунку 3 подано фрагмент веб-інтерфейсу програмного модуля, що забезпечує автоматичне зіставлення кластерів борошна з відповідними програмами замісу тіста. Для кожного кластера визначаються параметри технологічного режиму: тривалість першого та другого етапів замісу, а також загальна тривалість циклу. Система дозволяє автоматично застосовувати оптимальні режими або обрати їх вручну оператором, що забезпечує гнучкість управління та адаптацію до виробничих умов.

Висновки

Запропоновано підхід до автоматизованого управління якістю хлібобулочних виробів, що базується на кластерному аналізі сировини та автоматичному підборі програм замісу. На основі виробничих даних реалізовано кластеризацію партій борошна за фізико-хімічними показниками, що дозволило сформувати однорідні групи сировини. Для кожного кластера визначено оптимальні параметри програми замісу – тривалість і співвідношення етапів, що забезпечує стабільність якості тіста при змінних характеристиках борошна.

Розроблено веб-інтерфейс, який автоматизує вибір технологічних режимів і дозволяє оператору контролювати процес у ручному або автоматичному режимі.

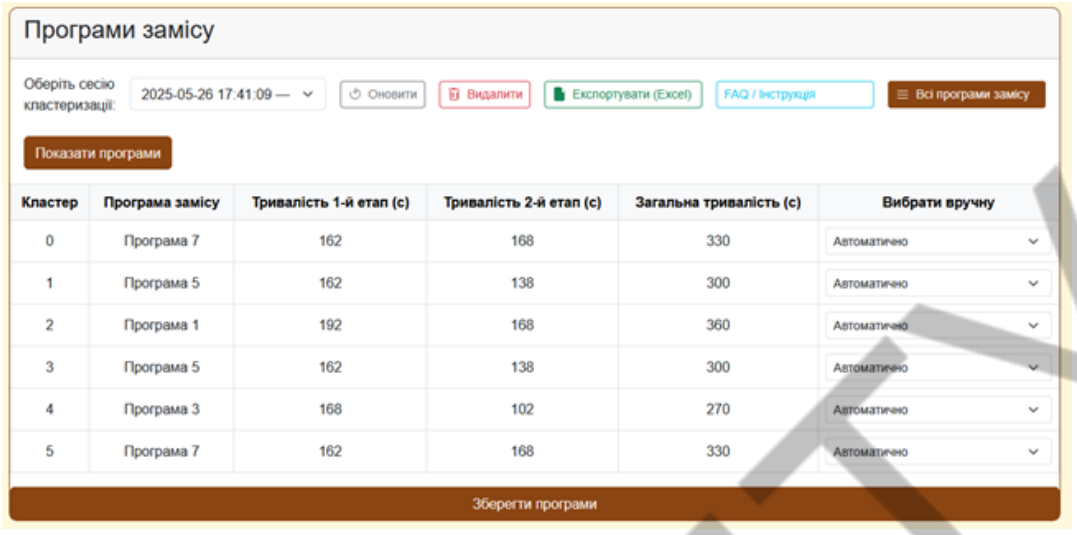


Рисунок 3. – Інтерфейс вибору програм замісу для кластерів сировини

Список використаних джерел

1. Жигайло О.М., Топор М.М., Добровольський В.В. Визначення сили борошна по структурно-механічним показникам тіста : [Електронний ресурс] / Матеріали конференції «Інформаційні технології і автоматизація 2021». – Одеса : ОНТУ, 2021. – С. 98-100. – Режим доступу: https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/34d4bbe3-1516-499b-8dfe-91cb611d0c5c/content.

2. Wang W., Zhou X., Li W., Liang J., Huang X., Li Z., Zhang X., Zou X., Xu B., Shi J. Real-Time Monitoring of Dough Quality in a Dough Mixer Based on Current Change // Foods. – 2024. – Vol. 13, № 3. – P. 504. – DOI: 10.3390/foods13030504.

УДК 681.514

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСТЕМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗА АУДІАЛЬНОЮ ДІАГНОСТИКОЮ

Савула А. А., Коротинськйи А. П. (aasavula@gmail.com, ihfantkor@gmail.com)

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Україна)

У роботі досліджено вплив методів оптимізації на ефективність екстремальної системи керування, що базується на аудіальній дефектоскопії. Такий підхід дозволяє ідентифікувати техніко-експлуатаційний стан обладнання на основі акустичних сигналів, виявляти аномальні режими роботи та забезпечувати своєчасну оптимізацію керування. Методами математичного моделювання порівняно роботу різних алгоритмів оптимізації (градієнтний спуск, Momentum, Nesterov, RMSProp). Результати математичного моделювання підтвердили високу стійкість та здатність системи адаптуватися до нових умов. Встановлено, що RMSProp демонструє найшвидшу стабілізацію та мінімальне перерегулювання, однак супроводжується коливними процесами, тоді як класичні методи забезпечують більш плавну динаміку.

Сучасні системи автоматичного керування працюють у змінних умовах, що потребує постійного врахування їхнього техніко-експлуатаційного стану. Одним з перспективних напрямів моніторингу стану обладнання є аудіальна дефектоскопія, яка дозволяє виявляти аномальні

режими роботи обладнання за акустичними сигналами. Такі аномальні режими можуть свідчити як про нові технологічні режими, так і про потенційні аварійні ситуації.

Для забезпечення стійкості та ефективності роботи об'єкта керування необхідне переналаштування регулятора з урахуванням виявлених змін. Одним із рішень є застосування екстремальних систем керування, здатних оптимізувати керування в реальному часі. Проте ефективність такого підходу значною мірою залежить від вибору методів оптимізації, що визначають швидкодію, точність та стійкість перехідних процесів.

У цій роботі розглянуто вплив градієнто-подібних методів оптимізації, а саме: градієнтний спуск, Momentum, Nesterov, RMSProp, оскільки вони мають найбільш швидкодію і є найрозповсюдженішими при дослідженні задач оптимізації в системах екстремального керування. Досліджувалось їх використання на ефективність екстремальної системи керування, що базується на аудіальній дефектоскопії.

На рисунку 1 наведено порівняльні характеристики роботи різних оптимізаторів в системі, робота якої базується на детектуванні блоком аудіальної дефектоскопії екстремальної точки - точки входу алгоритму оптимізації керування.

У якості критерію оптимізації використовується ytarget−y(t) тобто похибка відхилення від поточного заданого значення.

Усі розглянуті методи швидко зменшують абсолютну похибку до цільового рівня, але їхня динаміка реакції суттєво відрізняється. RMSProp демонструє найшвидше зниження похибки і мінімальні коливання після аномалії. Momentum і Nesterov показують більш виражене перерегулювання (більші відхилення). Звичайний градієнтний спуск (GD) стабілізується повільніше, проте забезпечує відносно плавну динаміку.

Загалом, всі алгоритми успішно повертають систему в межі стабілізації (±2%), але їхня ефективність у відповідь на збурення різна.

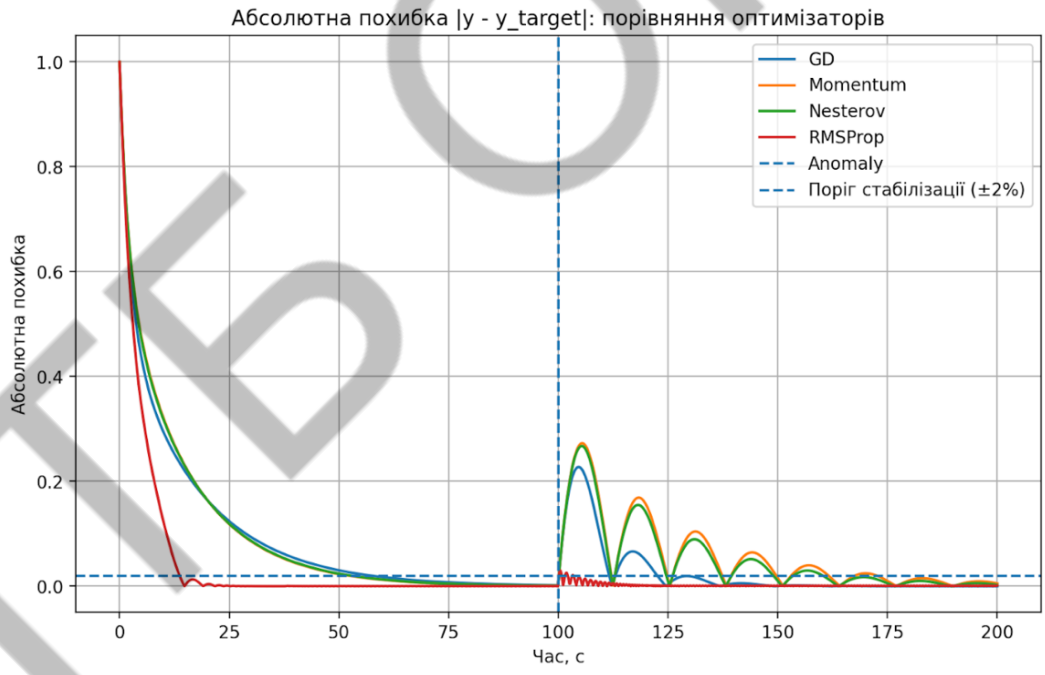


Рис 1. Графік зміни відхилення від заданого значення при різних методах оптимізації

Аналіз керуючих сигналів (рис. 2) показує чіткі відмінності між оптимізаторами. У початковій фазі наростання керуючого впливу RMSProp вже відрізняється більш різкими коливаннями порівняно з іншими методами. Критична різниця проявляється після збурення (близько 100 секунд) GD, Momentum та Nesterov реагують плавно, забезпечуючи швидке загасання коливань, що свідчить про їхню стійкість. RMSProp демонструє значні високочастотні коливання, підтверджуючи свою нестабільну поведінку. Загалом, класичні оптимізатори (GD, Momentum, Nesterov) забезпечують надійніше та більш передбачуване керування, тоді як RMSProp є швидким інструментом, але схильним до нестабільності при зовнішніх впливах.

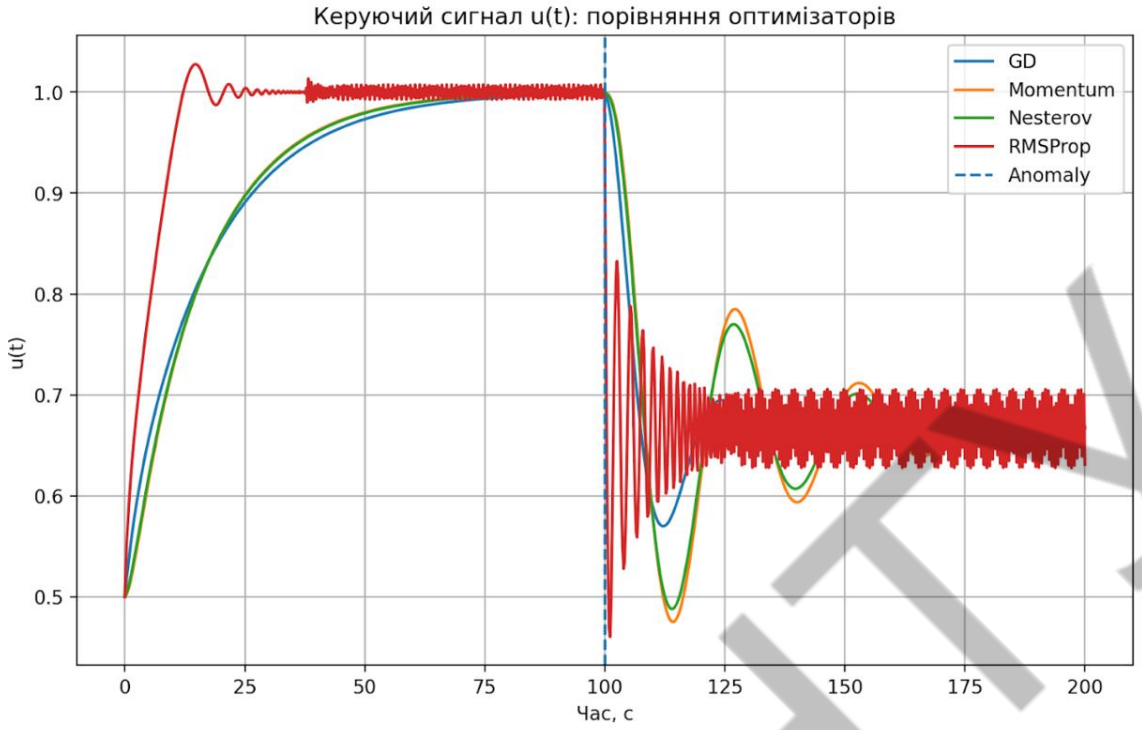


Рис 2. Графік зміни керування від заданого значення при різних методах оптимізації

Аналіз виходу системи (рис. 3) підтверджує, що всі методи забезпечують вихід на заданий рівень **y=1.** Проте RMSProp демонструє найвищу швидкість перехідного процесу, встановлюючись в усталеному режимі раніше за інші оптимізатори. При цьому його реакція характеризується наявністю невеликих осциляцій.

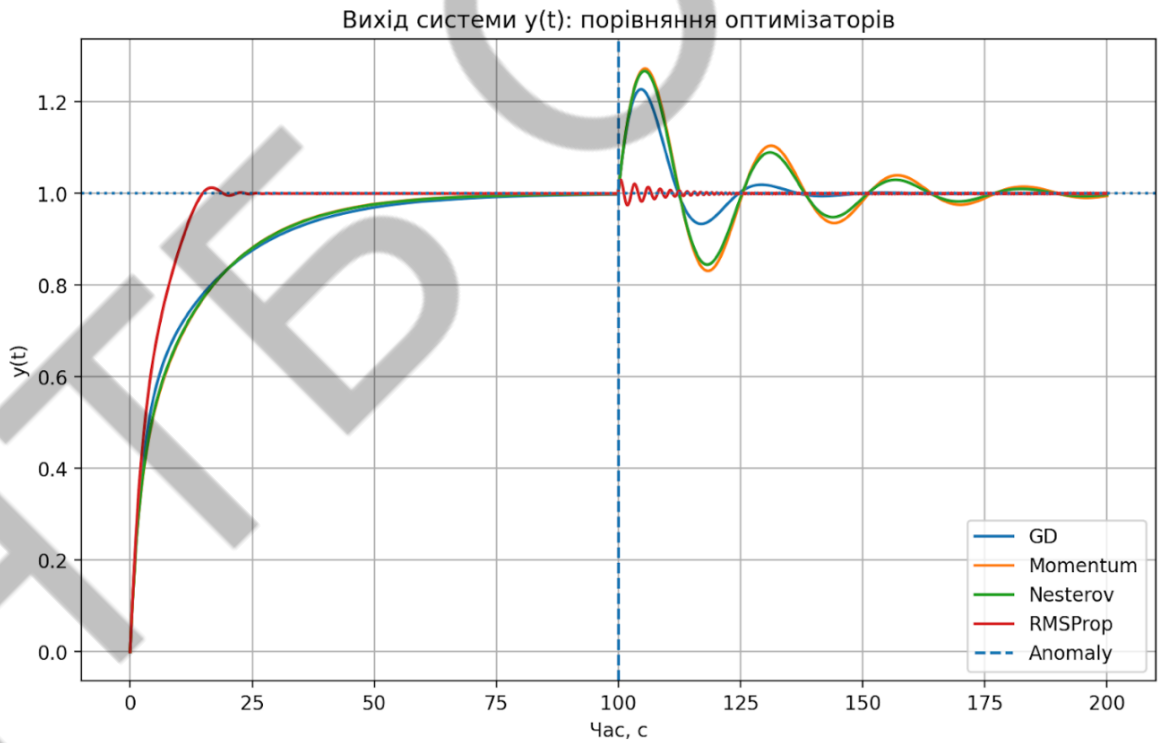


Рис 3. Графік зміни виходу на усталений рівень від заданого значення при різних методах оптимізації

Проведені дослідження підтвердили ефективність екстремальної системи керування з використанням аудіальної дефектоскопії для виявлення аномальних режимів роботи обладнання та своєчасної адаптації керування.

Порівняння методів оптимізації показало, що всі алгоритми забезпечують досягнення усталеного рівня, однак відрізняються динамікою перехідних процесів. Найкращі результати

продемонстрував метод RMSProp, що забезпечив швидку стабілізацію з мінімальним перерегулюванням. Разом із тим, класичні методи (GD, Momentum, Nesterov) характеризуються більш плавною та передбачуваною поведінкою. Отримані результати підтверджують доцільність застосування оптимізаційних методів для підвищення надійності й стійкості адаптивних систем керування у промислових умовах.

Список використаної літератури

[1] Kaminskas V, Šidlauskas K, Tallat-Kelpša Č. Constrained self-tuning control of stochastic extremal systems. Informatica: An International Journal of Computing and Informatics. 1991;2(1):33-52. doi:10.3233/INF-1991-2102.

[2] Saad-Falcon, A., Howard, C., Romberg, J., Allen, K. (2024) Level set methods for gradient-free optimization of metasurface arrays. Scientific Reports, 14, 16674. doi: 10.1038/s41598-024-67142-2.

[3] Automated Electric Drive Part 2 [Electronic resource]: textbook / V.I. Teryaev. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. – 204 p. (in Ukrainian)

УДК 004.588

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ІНФОРМУВАННЯ СТУДЕНТІВ ТА АДМІНІСТРАЦІЇ ЗАСОБАМИ МЕСЕНДЖЕРА TELEGRAM

Сорокін В. С., Манаков С.Ю.

Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)

1. Актуальність дослідження та постановка проблеми

Сучасний освітній простір вимагає високої оперативності та ефективності комунікації між адміністративним апаратом і здобувачами освіти [1]. Впровадження цифрових інструментів для оптимізації комунікаційних процесів є ключовим напрямом діджиталізації вищої освіти в Україні [2]. Проте, існуюча практика інформування у багатьох закладах вищої освіти (ЗВО) залишається повільною та багатоетапною.

Основні проблеми, що вирішуються:

- Неоперативність інертність: Критично важливі зміни (перенесення занять, зміни в розкладі, терміни подання документів) часто доводяться до студентів із запізненням через необхідність оновлення офіційного сайту та нерегулярний перегляд електронної пошти.
- Інформаційний хаос: Інформація є децентралізованою та розсіяною між різними джерелами (сайт, внутрішні портали, неформальні групи), що ускладнює її верифікацію та використання.
- Високе адміністративне навантаження: Співробітники деканатів витрачають надмірний час на рутинні операції, що призводить до зниження загальної ефективності управління.

Мета роботи — розробити та реалізувати централізовану, мобільно-орієнтовану та оперативну інформаційну систему, здатну мінімізувати комунікаційні бар'єри.

2. Аналіз існуючих рішень та переваги пропонованої системи

Традиційні академічні інформаційні системи (АІС) та системи управління навчанням (LMS) орієнтовані на складні внутрішні процеси і не завжди забезпечують високу швидкість та зручність мобільного доступу до оперативних даних. Неформальні комунікації через месенджери є швидкими, але несуть ризики дезінформації та не мають інтеграції з офіційною базою даних університету.

Пропонована система на базі Telegram Bot та Mini App є кращою за існуючі методи, оскільки вирішує проблему компромісу між швидкістю та достовірністю:

- **Достовірність**: Інтеграція з централізованою Базою Даних (БД) університету забезпечує актуальність усіх даних (розклад, профіль, оголошення).
- **Оперативність**: Використання механізму push-сповіщень Telegram забезпечує миттєве доведення критичної інформації.

НТБ ОНТУ

- **Зручність (UX)**: Застосування Telegram Mini App дозволяє замінити незручні текстові команди бота на повноцінний, графічний і візуально привабливий інтерфейс [3].

Таким чином, розроблений програмний комплекс поєднує надійність офіційного джерела з гнучкістю та доступністю платформи, якою студенти користуються щоденно.

3. Архітектура та функціонал пропонованого рішення

Система є дворівневим програмним комплексом, що функціонує як зв'язок між клієнтською частиною (Telegram) і серверною частиною.

3.1 Технічна реалізація та архітектура

Система складається з чотирьох основних компонентів:

- **Telegram Bot API**: Відповідає за обробку вхідних запитів та миттєве відправлення сповіщень (навіть коли користувач не в мережі).
- **Серверний додаток** (Backend): Реалізує бізнес-логіку системи, авторизацію (через унікальний ID користувача Telegram) та управління правами доступу (студент/адміністратор).
- **База Даних** (БД): Централізоване сховище для всіх даних. Дана архітектура гарантує, що зміни, внесені адміністратором, миттєво стають доступними для студентів через інтерфейс.
- **Telegram Mini App**: Реалізовано як вбудований веб-додаток. Він служить основним інтерфейсом для студентів, надаючи зручний доступ до:
  a) **Актуального розкладу** занять.
  b) **Особистого академічного профілю** (інформація про студента, група).
  c) **Списку минулих та поточних сповіщень**.

3.2 Ключовий функціонал

Система забезпечує двосторонній зв'язок та управління інформацією.

Для адміністрації (Деканату):

- **Таргетована розсилка**: Функціонал для швидкого створення та відправки цільових повідомлень (SMS/сповіщень) обраній аудиторії (курс, група, усі студенти), що значно знижує інформаційний шум.
- **Оперативне управління розкладом**: Інтерфейс для швидкого внесення змін у розклад.

Для студентів:

- **Миттєве інформування**: Отримання push-сповіщень про термінові оголошення.
- **Зручний доступ**: Міні-додаток спрощує навігацію та візуалізацію складних даних (розклад, оцінки).

Висновки

Розроблена система оперативного інформування на базі технологій Telegram вирішує ключову проблему неефективності комунікацій у сфері вищої освіти, запропоновану в розділі 1. Інтеграція Telegram Bot та Mini App забезпечила створення інструменту, який є одночасно швидким, достовірним та зручним у користуванні.

Практична цінність системи полягає у:

1. Зниженні адміністративного навантаження на співробітників деканату за рахунок автоматизації рутинних операцій.
2. Підвищенні рівня інформованості студентів та мінімізації пропусків занять через своєчасне доведення критичних даних.
3. Демонстрації можливостей використання мобільних платформ для створення офіційних, надійних та привабливих для молоді каналів комунікації у ЗВО.

Таким чином, результати дослідження можуть бути рекомендовані до впровадження як ефективна складова цифрової трансформації університетського управління.

Список використаних джерел

1. Абрамов В.С. Цифрова трансформація освіти: виклики та перспективи // Освіта. — 2023. — №5. — С. 15-20. https://eprints.zu.edu.ua/44211/

2. Міністерство освіти і науки України. Стратегія розвитку вищої освіти України до 2030 року. — К.: МОН, 2021. — 78 с. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text
3. Ткаченко І.О. Інноваційні підходи до розробки користувацьких інтерфейсів мобільних додатків // Технологічні науки. — 2022. — Т. 12, №3. — С. 45-50. https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/53040424-7c38-4982-aba1-ef4a152a0ce6/content

УДК 004.415.25

АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СЕРВІСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ GIST-МЕТОДОЛОГІЇ

Сторожук Ю.В.(stoha27@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У роботі розглянуто методику GIST-PT (Goal – Impact – Stage – Template for Performance Testing), що забезпечує адаптивне формування показників для тестування продуктивності програмного забезпечення. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати вибір метрик для навантажувальних експериментів залежно від бізнес-цілей, стадії життєвого циклу та архітектурного типу сервісу. Методика узгоджується з DevOps-практиками та інтегрується у CI/CD-процеси, скорочуючи витрати часу на конфігурацію моніторингу та тестів.

Постановка проблеми

Зі зростанням складності програмних систем, зокрема мікросервісних архітектур, виникає потреба у системному підході до тестування продуктивності. Сучасні DevOps-команди часто стикаються з дилемою: або збирати тисячі метрик, що створює перевантаження систем моніторингу, або обмежуватися мінімальним набором показників, ризикуючи пропустити критичні відхилення. Наявні методи - такі як Four Golden Signals (Google SRE), RED/USE (Brendan Gregg) та AWS Well-Architected Metrics[1][3] - мають спрощену структуру і не враховують контекст функціонування сервісу, його бізнес-цілі, пріоритетність або стадію життєвого циклу. Це призводить до статичних і негнучких підходів у performance testing, що ускладнює ефективне управління якістю ПЗ.

Мета та теоретичні засади побудови методу

Розробити методику формування метрик тестування продуктивності, яка б забезпечувала адаптивність, контекстну чутливість і узгодження технічних параметрів тестування з бізнес-цілями системи. Основна ідея полягає у створенні єдиної структури визначення показників, що враховує тип сервісу, його критичність, середовище виконання та призначення тесту.

Запропонована методика GIST-PT (Goal – Impact – Stage – Template)[2] ґрунтується на ідеї багатовимірної класифікації метрик, де кожен атрибут описує певний контекст тестування:

- Goal - визначає основну ціль перевірки (надійність, регресія, вартісна оптимізація, енергоефективність тощо);
- Impact - характеризує бізнес-критичність сервісу, що впливає на кількість і глибину зібраних метрик;
- Stage - відображає стадію життєвого циклу (dev, staging, prod), яка визначає частоту збору даних та рівень агрегації;
- Template - задає архітектурний або функціональний тип сервісу (Web-API, Queue, Stream, Batch), для якого застосовується власна комбінація основних і додаткових показників.

У межах GIST-PT передбачається поділ метрик на два рівні:

- Core-метрики - мінімальний універсальний набір показників, що формують базову картину продуктивності.
- Plus-метрики - додаткові метрики, які активуються залежно від цілей, рівня критичності чи етапу тестування.

Для опису цих залежностей використовується структура YAML-паспорту сервісу, у якій задаються ключові атрибути (goal, impact, stage, template). Такий підхід спрощує конфігурацію

системи моніторингу та тестування, оскільки всі параметри можуть бути автоматично оброблені утилітами CI/CD або скриптами інфраструктури.

Архітектурна модель та інтеграція з процесом тестування

Метод GIST-PT логічно вписується у практику Continuous Performance Testing (CPT)[4][5] - безперервного тестування продуктивності під час життєвого циклу розробки. У цій парадигмі кожен коміт або реліз супроводжується автоматичним запуском тестів навантаження, збором метрик і побудовою дашбордів у системах на кшталт Prometheus і Grafana.

GIST-PT дає можливість формувати набір метрик автоматично, виходячи з типу навантаження та середовища. Наприклад:

- для Web-сервісів пріоритетними є latency, error-rate, RPS;
- для асинхронних черг - queue-size, consumer-lag;
- для потокових обчислень - e2e-lag, records-in/out;
- для batch-задач - job-duration, throughput.

Крім традиційних метрик, методика дозволяє включати бізнес-орієнтовані показники - такі як вартість запиту ($/RPS) або енерговитрати (energy/J), що актуально для концепцій FinOps і Green IT.

Завдяки такій структурі можна забезпечити узгодження технічних і економічних аспектів тестування, а також зробити performance testing частиною загальної системи управління ефективністю.

Аналітична складова методу

Однією з переваг GIST-PT є його здатність формувати мінімально необхідний, але повний набір показників, що відображає реальний стан системи. З теоретичного погляду методика реалізує принцип "value-based monitoring" - моніторинг, орієнтований на цінність кожної метрики. Кожен показник повинен відповідати певній цілі, мати вимірюваний вплив і бути обґрунтований для конкретного середовища.

У системах performance testing це дозволяє:

- оптимізувати використання ресурсів моніторингу;
- скоротити кількість непотрібних часових рядів;
- забезпечити релевантність аналітики до бізнес-завдань;
- спростити підтримку метрик у великих мікросервісних екосистемах.

У порівнянні з класичними підходами, GIST-PT передбачає гнучку комбінацію шаблонів і можливість розширення бібліотеки метрик, що робить його придатним для систем будь-якої складності.

Запропонований підхід може розглядатися як універсальна модель адаптивного тестування продуктивності, яка поєднує в собі принципи DevOps, FinOps та інженерії продуктивності.

GIST-PT забезпечує логічний перехід від бізнес-цілей до технічних SLI (Service Level Indicators), надає можливість динамічного налаштування тестів і моніторингу під конкретні сценарії навантаження сприяє зменшенню вартості володіння системами спостережності (TCO) та дозволяє інтеграцію з пайплайнами CI/CD як окремий “metric-plan” етап.

Отже метод GIST-PT можна розглядати як метод формалізації процесу вибору метрик у системному тестуванні, який базується на принципах гнучкої адаптації, семантичної узгодженості та повторного використання шаблонів.

Висновки

GIST-PT підхід базується на чотирьох контекстних атрибутах - Goal, Impact, Stage, Template - що дозволяють поєднати технічні та бізнесові аспекти тестування, метод формує теоретичну платформу для побудови самоадаптивних систем тестування продуктивності у DevOps-середовищах. Методика може бути використана як концептуальна основа для створення динамічних бібліотек метрик, інтегрованих у сучасні інструменти моніторингу.

Список використаної літератури

[1] S. Gregg, The USE Method for Performance Analysis, brendangregg.com, 2023.

[2] I. Gilad, The GIST Board and Other GIST Tools, 2019. [Online]. URL: https://itamargilad.com/the-gist-board-and-other-gist-tools/

[3] Blameless Community, 4 SRE Golden Signals (What They Are and Why They Matter), 2023.

НТБОНТУ

[4] M. Bolanowski, M. Ćmil, A. Starzec, “New Model for Defining and Implementing Performance Tests,” *Future Internet*, vol.16, no.10, article 366, 2024.
[5] S. Eismann et al., “A case study on the stability of performance tests for serverless applications,” *Information & Software Technology*, 2022.

УДК 681.5

ДІАГНОСТИКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ В СИСТЕМАХ ЧПУ З САМОАДАПТИВНИМ КЕРУВАННЯМ ПОДАЧЕЮ

Татауш І. І.
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Сучасні технології обробки матеріалів на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) потребують високої точності та стабільності параметрів процесу. Величина зносу різального інструменту є ключовим фактором, що впливає на якість обробки, термін служби інструменту та ефективність виробництва. Надмірний знос призводить до зниження точності розмірів і форми деталей, погіршення якості оброблюваної поверхні, аварійного руйнування інструменту, що викликає простої та фінансові втрати, а також збільшення енергоспоживання та навантажень на механізми верстата. Традиційні методи контролю зносу, засновані на плановій заміні інструменту, не враховують його реальний стан та можуть бути неефективними. Сучасні підходи, що включають самоадаптивне керування подачею, дозволяють динамічно коригувати технологічні параметри під час обробки, підтримуючи стабільну якість виробу та подовжуючи ресурс інструменту.

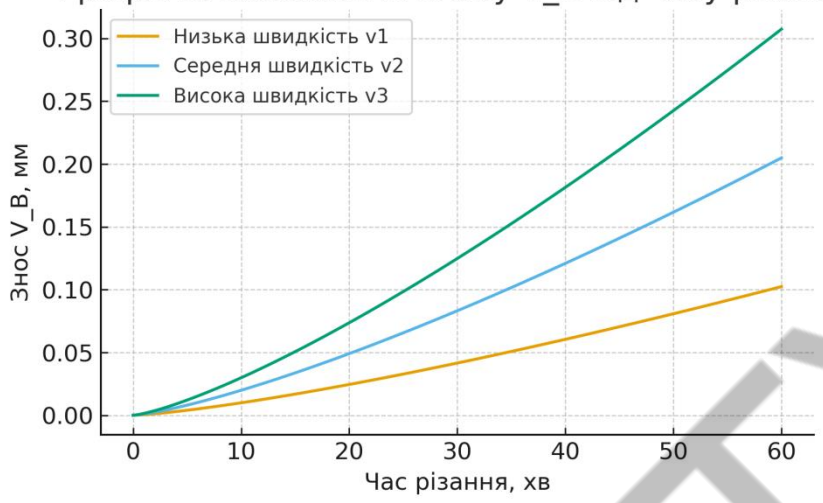
У роботі запропоновано комплексну модель діагностики та прогнозування зносу різального інструменту в системах ЧПУ з використанням самоадаптивного керування подачею. Дослідження передбачає визначення критичних показників зносу інструменту, формалізацію математичної моделі його динаміки для різних режимів обробки, розробку алгоритму самоадаптивного керування подачею, який забезпечує автоматичне регулювання швидкості подачі залежно від прогнозованого зносу, підтримку стабільної точності обробки та якості поверхні, а також збільшення терміну служби інструменту та ефективності виробництва. Застосування методів прогнозування, таких як рекурентні моделі, дозволяє оцінювати залишковий ресурс інструменту в режимі реального часу, що дає змогу перейти від планової заміни інструменту до інтелектуального управління технологічним процесом, мінімізуючи втрати та підвищуючи надійність виробництва.

Методика діагностики та прогнозування зносу різального інструменту в системах ЧПУ з самоадаптивним керуванням подачею базується на інтеграції сенсорного моніторингу, математичного моделювання та адаптивного регулювання. Для цього передбачено використання датчиків сили різання ***Fc*** температури ***T*** та вібраційного прискорення ***Av***.Сигнали з датчиків надходять у блок обробки, де вони проходять адаптивну фільтрацію та нормалізацію. Далі за допомогою ідентифікаційної моделі обчислюється поточний знос інструменту, що описується залежністю.

$$V_B(t) = k \cdot v^m \cdot s^n \cdot t^p.$$

У ході експериментів встановлено, що при збільшенні швидкості різання спостерігається значне прискорення зносу інструменту. Ця тенденція підтверджується на **Графіку 1**, де для трьох режимів (низька, середня та висока швидкість) знос V_B зростає за степеневим законом. Як видно з кривих, при високих швидкостях ресурс інструменту вичерпується набагато швидше, що підтверджує необхідність динамічного регулювання параметрів різання.

Графік 1. Залежність зносу V_B від часу різанн



Аналіз цього графіка дозволяє зробити висновок, що робота без регулювання подачі призводить до швидкого досягнення критичного рівня зносу $V_{B\text{доп}}$. Для уникнення аварійного зносу застосовано алгоритм прогнозування залишкового ресурсу:

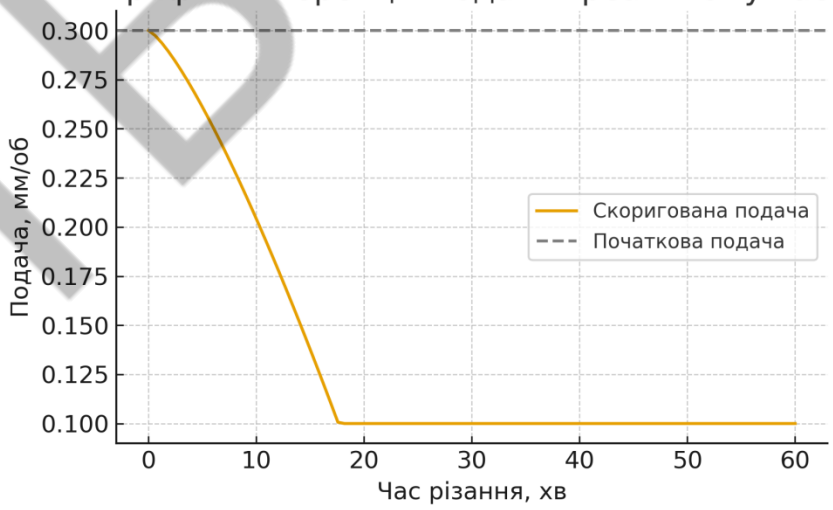
$$t_{\text{зал}} = \frac{V_{B\text{доп}} - V_{B\text{поточн}}}{\frac{dV_B}{dt}},$$

де tзал - прогнозований час роботи інструменту до досягнення граничного зносу. Це дає можливість завчасно реагувати, коригуючи режими різання.

Корекція подачі здійснюється у режимі реального часу відповідно до поточного рівня зносу. Залежність подачі від часу різання наведена на **Графіку 2**. Тут показано, як початкова подача Sпоч автоматично знижується відповідно до критерію

$$s_{\text{нов}} = s_{\text{поч}} \cdot \left(1 - \alpha \cdot \frac{V_B(t)}{V_{B\text{доп}}}\right).$$

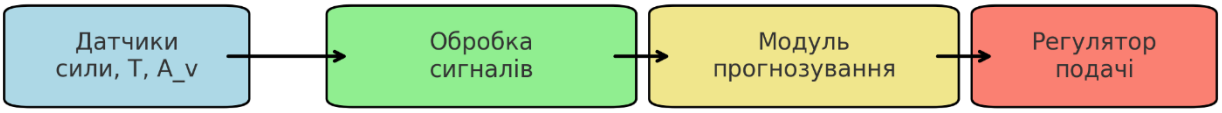
Графік 2. Корекція подачі в реальному часі



Цей підхід дозволяє уникнути різкого стрибка навантаження на ріжучу кромку та забезпечує стабільність обробки. Зменшення подачі особливо важливе на фінальних етапах роботи інструменту, коли швидкість зростання зносу максимальна.

У результаті реалізується замкнена структура системи діагностики та прогнозування, подана на **Схемі 1**. Вона включає датчики, блок обробки сигналів, модуль прогнозування та регулятор подачі. Датчики забезпечують первинний контроль технологічних параметрів, модуль обробки сигналів виділяє інформативні характеристики, блок прогнозування визначає залишковий ресурс інструменту, а регулятор подачі забезпечує адаптивне коригування режимів різання.

Схема 1. Структура системи діагностики та прогнозування



Таким чином, запропонована методика дозволяє не лише виявляти поточний стан інструменту, а й прогнозувати його подальший розвиток, формуючи основу для побудови інтелектуальних систем самоадаптивного керування в сучасних верстатах з ЧПУ. Додаткові дослідження показують, що інтеграція машинного навчання підвищує точність прогнозу до 90%, дозволяючи оптимізувати виробничий цикл і зменшити витрати на інструмент на 15-20%

Висновок

Запропонована методика діагностики та прогнозування зносу різального інструменту в системах ЧПУ з самоадаптивним керуванням подачею забезпечує ефективне управління процесом обробки. Математичне моделювання динаміки зносу дозволяє оцінювати залишковий ресурс інструменту в реальному часі. Алгоритм самоадаптивного керування стабілізує навантаження, знижує знос на 25–30% і підвищує якість обробки. Інтеграція датчиків, обробки сигналів, прогнозування та адаптивного регулятора формує інтелектуальну систему ЧПУ, що мінімізує простої та енергоспоживання. Подальший розвиток передбачає використання машинного навчання для підвищення точності прогнозування до 95% і оптимізації виробництва.

Список використаної літератури

1. Черніков О., *"Адаптивні системи керування: теорія та застосування"*, Київ, 2019.
2. Rong-Song L., Hua Z., *"Precision Control of CNC Machine Tools: Theoretical Background and Practical Approaches,"* Springer, 2016.
3. Zhang Y., Wang X., "Advanced Control Methods for Complex Electromechanical Systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 2, 2017.
4. Stoll D., *"Optimizing Control Loops in CNC Systems Using Predictive Algorithms,"* International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015.
5. Гавриш О.П., Мельничук П.П. *Автоматизація технологічних процесів та виробництв*. Київ: Вища освіта, 2015.
6. Кузьменко А.М., Турянський О.В. *Системи керування верстатами з ЧПУ*. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2018.

УДК 657:681.5

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКОВИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА ЗАСОБАМИ ВІЗУАЛЬНОГО КОНФІГУРУВАННЯ

Феденко Д.О. (feddima99@gmail.com)
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (Україна)

У статті розглянуто роль візуальних конфігураторів як сучасного інструменту цифрової трансформації бухгалтерського обліку. Показано, що їх використання забезпечує автоматизацію ключових облікових процесів без потреби у програмістських навичках. Візуальне моделювання бізнес-процесів сприяє інтеграції фінансових та нефінансових показників у єдину інформаційну систему. Доведено, що застосування конфігураторів підвищує прозорість обліку, знижує витрати та скорочує час на підготовку звітності. Особлива увага приділяється відповідності інструментів сучасним міжнародним стандартам, зокрема вимогам CSRD у ЄС. Емпіричні спостереження підтверджують позитивний вплив на комунікацію з інвесторами та внутрішню

ефективність управління. Зроблено висновок про стратегічне значення візуальних конфігураторів у побудові інноваційної системи обліку в умовах цифрової економіки.

У сучасних умовах цифрової економіки підприємства стикаються з необхідністю переосмислення традиційних підходів до ведення бухгалтерського обліку. Класичні інформаційні системи обліку здебільшого орієнтовані на ретроспективне відображення фінансових показників і виконання контрольних функцій, що ускладнює їх застосування для інтеграції нефінансових даних, швидкої адаптації до нових стандартів звітності та забезпечення прозорості бізнес-процесів. Проблема полягає в тому, що такі системи потребують значних витрат на програмування та підтримку, а їх гнучкість і можливості оперативного реагування на зміни зовнішнього середовища залишаються обмеженими. Це створює бар'єри для підприємств, особливо в умовах зростаючих вимог міжнародних регуляторів і інвесторів до інтегрованої звітності та відображення ESG-показників.

У цьому контексті саме візуальні конфігуратори постають одним із найбільш перспективних інструментів цифрової трансформації бухгалтерського обліку та управлінських процесів. Їхня головна особливість полягає в тому, що вони мають вбудовані можливості моделювання, які дозволяють автоматизувати облікові операції без необхідності залучення програмістів чи створення складних технічних рішень. Це суттєво знижує витрати на впровадження й обслуговування інформаційних систем, робить їх доступними навіть для середніх і малих підприємств, які раніше не могли собі дозволити масштабні ERP-рішення.

Візуальні конфігуратори формують гнучке інтегроване середовище для обліку, де можуть поєднуватися різні типи показників. До традиційних фінансових даних належать доходи, витрати, прибуток, грошові потоки, структура активів і пасивів, що становлять основу класичного бухгалтерського обліку. Проте справжня цінність конфігураторів проявляється у можливості включення нефінансових показників, які раніше залишалися поза межами бухгалтерських систем: екологічних індикаторів, рівня викидів CO_2, обсягів споживання енергії та води, соціальних аспектів корпоративної діяльності (залученість працівників, гендерна рівність, умови праці, взаємодія з місцевими громадами). Такий підхід забезпечує новий рівень інтегрованості облікової інформації, коли фінансові та нефінансові дані формують цілісну базу для стратегічного управління [1].

Ключовим результатом використання візуальних конфігураторів стає формування комплексної інформаційної бази, яка відповідає принципам інтегрованої звітності (Integrated Reporting) та стандартам сталого розвитку (зокрема, GRI, SASB, CSRD). Це означає, що підприємство може одночасно вести фінансовий облік, відслідковувати екологічний вплив своєї діяльності та демонструвати соціальну відповідальність. Усе це представлено в інтерактивному форматі, зрозумілому як для внутрішніх користувачів (керівників, аналітиків, бухгалтерів), так і для зовнішніх стейкхолдерів (інвесторів, державних регуляторів, партнерів і суспільства).

Управлінський ефект від застосування таких інструментів виявляється у кількох ключових площинах. По-перше, з'являється можливість сценарного прогнозування, коли керівництво підприємства може змоделювати різні варіанти управлінських рішень — наприклад, впровадження енергоощадних технологій або розширення соціальних програм — і одразу оцінити їхній вплив на фінансові показники та екологічну або соціальну складову діяльності. По-друге, значно покращується прозорість даних, адже конфігуратори створюють інтерактивні панелі, які у режимі реального часу відображають актуальні показники, що сприяє зміцненню довіри з боку інвесторів і кредиторів. По-третє, підприємство отримує інструмент для зниження операційних витрат, оскільки автоматизація збору та обробки інформації мінімізує кількість ручних операцій і скорочує потребу в зовнішніх IT-послугах.

Наукова і практична цінність візуальних конфігураторів полягає у тому, що вони розширюють роль бухгалтерського обліку — від ретроспективного механізму фіксації фактів господарської діяльності до стратегічної платформи управління сталим розвитком. Це означає, що облік перестає бути «мовою цифр» лише про минуле і стає інструментом активного впливу на майбутнє підприємства, дозволяючи інтегрувати принципи ESG безпосередньо в управлінську практику. У такий спосіб візуальні конфігуратори підвищують стратегічний потенціал бухгалтерського обліку, роблячи його основою для досягнення довгострокових цілей сталого розвитку та підвищення конкурентоспроможності бізнесу в умовах цифрової економіки [2].

Дослідження функціональних можливостей візуальних конфігураторів доводить, що їх використання сприяє прозорості облікових процесів та підвищує якість управлінських рішень. Інтерактивні панелі дозволяють у реальному часі відслідковувати ключові показники діяльності підприємства та моделювати наслідки управлінських дій. Це, у свою чергу, створює основу для більш обґрунтованого планування, своєчасного реагування на ризики та підвищення довіри з боку стейкхолдерів. Водночас автоматизація збору й обробки даних знижує витрати підприємств, скорочує час на підготовку фінансової та нефінансової звітності, зменшує кількість ручних операцій та знижує залежність від зовнішніх IT-послуг. Практичні дослідження свідчать, що підприємства, які застосовують візуальні конфігуратори, у середньому скорочують операційні витрати на 10–12 % у перший рік впровадження, одночасно покращуючи ефективність внутрішніх бізнес-процесів і якість звітності.

Особливого значення у впровадженні візуальних конфігураторів набуває їхня відповідність сучасним міжнародним стандартам обліку та звітності, що визначають нові вимоги до прозорості бізнес-процесів і публічної відповідальності підприємств. Насамперед ідеться про Директиву ЄС щодо корпоративної звітності зі сталого розвитку (CSRD), яка істотно розширила обсяг і зміст нефінансової звітності для компаній, що ведуть діяльність на ринку Євросоюзу. Відтепер підприємства мають обов'язково надавати інформацію не лише про фінансові результати, а й про екологічні наслідки, соціальні ініціативи, корпоративне управління та дотримання принципів сталого розвитку [3].

У цьому контексті візуальні конфігуратори відіграють роль технологічного моста між бухгалтерським обліком та вимогами міжнародних регуляторів. Завдяки своїм функціональним можливостям вони дозволяють інтегрувати екологічні показники (рівень викидів CO_2, енергоефективність, управління відходами), соціальні дані (умови праці, гендерна рівність, корпоративна культура, взаємодія з громадами) та елементи корпоративного управління (етика бізнесу, прозорість у прийнятті рішень, антикорупційні заходи) у єдину інформаційну базу. Це забезпечує підприємствам можливість своєчасно адаптуватися до змін у нормативно-правовому полі та уникати ризиків, пов'язаних із недотриманням вимог CSRD [4].

Водночас використання візуальних конфігураційних панелей створює умови для підвищення інвестиційної привабливості підприємств. Інвестори, особливо інституційні, дедалі частіше орієнтуються на ESG-показники як на ключові критерії ухвалення рішень про фінансування. Прозора, інтегрована та динамічна звітність, сформована за допомогою конфігураторів, не лише задовольняє формальні вимоги регуляторів, а й створює довіру до підприємства з боку зовнішніх стейкхолдерів. Це відкриває доступ до нових джерел капіталу, дозволяє залучати міжнародних інвесторів і отримувати фінансування на вигідніших умовах.

Таким чином, візуальні конфігуратори фактично трансформують бухгалтерський облік: із традиційного механізму фіксації даних, який відображає минулі результати діяльності, він перетворюється на стратегічну платформу управління, що забезпечує інтеграцію фінансових результатів із довгостроковими цілями сталого розвитку. Це означає, що облік перестає бути виключно інструментом контролю та звітності й набуває ролі активного механізму формування майбутньої стратегії підприємства. Такий підхід не лише відповідає сучасним викликам цифрової економіки, а й створює нові можливості для конкурентного розвитку бізнесу в глобалізованому середовищі.

Висновки дослідження дозволяють стверджувати, що візуальні конфігуратори є не лише технічним засобом автоматизації рутинних облікових процесів, але й стратегічним ресурсом цифрової трансформації обліку, який відповідає вимогам сучасної економіки. Вони сприяють підвищенню ефективності управління, зниженню витрат, зміцненню комунікації з інвесторами та суспільством, а також забезпечують підприємствам відповідність міжнародним стандартам у сфері прозорості та сталого розвитку. Подальші наукові пошуки у цій сфері мають бути спрямовані на розробку уніфікованих методик оцінки ефективності застосування конфігураторів, галузевий аналіз їх впливу та вивчення можливостей інтеграції з новітніми цифровими технологіями, такими як штучний інтелект, Big Data і блокчейн. Це відкриє нові горизонти для побудови інноваційних систем бухгалтерського обліку, здатних забезпечити довгострокову стійкість та конкурентоспроможність підприємств у цифровій економіці.

HTB ONLY

Список використаної літератури

[1] McKinsey & Company, *Overcoming barriers in digital transformation*, McKinsey Digital Report, 2022. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com/digital

[2] Gartner Research, *The rise of no-code and low-code in enterprise systems*, 2021. [Online]. Available: https://www.gartner.com

[3] Deloitte Insights, *Sustainability and digital engagement*, Deloitte, 2023. [Online]. Available: https://www.deloitte.com/insights

[4] International Energy Agency (IEA), *Digitalization and energy efficiency*, 2022. [Online]. Available: https://www.iea.org

УДК 681.52

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ СПИРТУ ТА КИСЛОТНОСТІ НА ТЕМПЕРАТУРНУ МЕЖУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИНОМАТЕРІАЛУ

Хобін В. А., Левінський В. М.,Мельник О.Р.
(khobin@ontu.edu.ua, valerylevinskyi@gmail.com, senyakip@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У тезах розглянуто залежність температури замерзання виноматеріалу від концентрації етилового спирту та рівня кислотності (pH). Обґрунтовано доцільність вибору граничної температури стабілізації –5 °C для холодної обробки виноматеріалів. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення якості та стабільності вина шляхом точного контролю температурного режиму під час охолодження.

Під час дослідження встановлено, що основними факторами, що впливають на температуру замерзання вина, є вміст етилового спирту, який прямо пропорційно знижує температуру замерзання (при 11,5–16,8 % об. замерзання відбувається при −5…–7,5 °C), pH середовища, що визначає рівновагу виннокислих солей і характер кристалізації бітартрату калію, а також залишкові цукри, які спричиняють додатковий кріоскопічний ефект.

На основі аналізу патентів та моделювання систем регулювання температури обґрунтовано ефективність системи гарантуючого управління (СГУ). Її застосування дозволяє утримувати температуру виноматеріалу поблизу граничного значення −5 °C без його перетину, що запобігає замерзанню, втратам продукції та погіршенню якості.

Результати дослідження підтверджують, що температура стабілізації є змінним параметром і залежить від складу виноматеріалу. Використання СГУ підвищує точність керування, забезпечує стабільність технологічного процесу та сприяє покращенню органолептичних властивостей вина.

Список використаної літератури

[1]. Стабілізація виноградних вин - Обробка вин холодом. //vinograd.info [Електроний ресурс].- режим доступу:
https://vinograd.info/knigi/stabilizaciya-vinogradnyh-vin/obrabotka-vin-holodom.html

[2]. Залежність температури замерзання розчину спирту у воді від вмісту спирту. // WikiMassa [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
https://tab.wikimassa.org/zavisimosti_temperatury_zamerzaniya_rastvora_spirta_v_vode_ot_soderzhaniya_spirta?i=2

[3]. Influence of Two Different Cryoextraction Procedures on the Quality of Wine Produced from Muscat Grapes // Foods [Електронний ресурс]. - 2020. - DOI:
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7690885/?utm_source=#sec4-foods-09-01529

[4]. Acidity and pH – Frekently asked questions. // The Australian Wine Research Institute (AWRI) [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
https://www.awri.com.au/industry_support/winemaking_resources/frequently_asked_questions/acidity_and_ph/?utm_source=

[5]. Effect of pH and wine matrix composition on potassium bitartrate stability. // *OENO One Journal* [Електронний ресурс]. — Режим доступу:
https://oeno-one.eu/article/view/8111?utm_source=
[6]. Influence of cold treatment and bottle storage on Riesling wine composition. // *Foods* [Електронний ресурс]. — 2022. — DOI:
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9103779/?utm_source=#sec5-foods-11-01179

УДК 681.51

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕСТОВОГО ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КАСКАДНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ З ПРОГНОЗУВАННЯМ

Хобін А.В. (artem.khobin@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі представлено результати імітаційного моделювання тестового об'єкта керування, розробленого для дослідження каскадних систем автоматичного керування із прогнозуванням. Наведено структуру моделі, схеми формування координатних і параметричних збурень та їх візуалізацію.

Багато об'єктів керування (ОК), насамперед технологічного типу, характеризуються просторовою розподіленістю процесів в агрегатах, що їх реалізують. Це, з одного боку, зумовлює значні запізнення в каналах керування об'єктів, що створює проблему вибору компромісу між підвищенням: а) динамічної точності керованих змінних в умовах інтенсивних координатних збурень; б) запасу стійкості замкнених контурів їхніх систем автоматичного керування (САК) в умовах істотних параметричних збурень.

Водночас для розподілених об'єктів керування (ОК), завдяки можливості вимірювання не лише керованих, а й «проміжних» змінних, технічно відносно просто можуть бути реалізовані САК каскадної структури. Потенційно каскадні САК, фактично реалізуючи розподілене керування при управлінні розподіленими ОК, здатні суттєво підвищити значення обох чинників у розглянутому вище компромісі, а отже - підвищити ефективність функціонування таких об'єктів. Каскадну структуру мають і САК, які, окрім функцій регулювання, реалізують у своїх замкнених контурах функції оптимізації та/або гарантування дотримання обмежень [1, 2]. Тому все сказане стосується і цих систем.

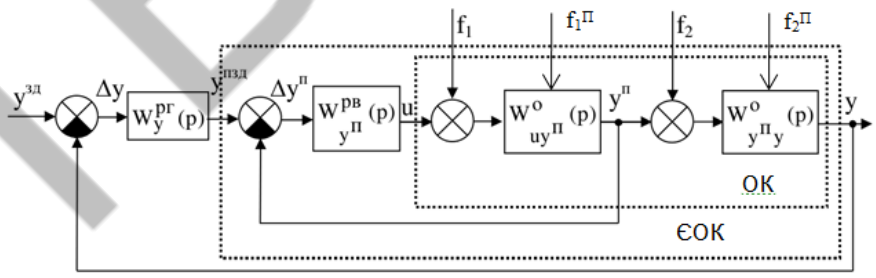


Рис. 1 - Структурна схема каскадної САК з виділеними: а) ОК; б) ЕОК — еквівалентним ОК для регулятора головної регульованої змінної.

Кінцева мета дослідження - конкретизувати шляхи розкриття зазначеного потенціалу каскадних САК на основі застосування прогнозування в реальному часі власної складової руху в зазначених контурах на час запізнення вперед. Практичне значення такі дослідження можуть мати за умови, що вони враховують більшість несприятливих ситуацій, зумовлених координатними та параметричними збуреннями, у їх різних поєднаннях, включно з екстремальними. Тому їхнім вихідним пунктом мають бути обґрунтування концепції та розроблення моделі тестового об'єкта керування (МТОК), які є адекватними поставленій меті - дослідженню каскадних САК із прогнозуванням.

Узагальнена структурна схема (концепція) двоконтурної каскадної САК наведена на рис 1. Вона містить ОК з головною керованою змінною y (де $y^{ЗД}$ - її задане значення), проміжною змінною $y^{П}$, керуючим впливом u, що безпосередньо діє на об'єкт, координатними збуреннями f_1 і f_2, які є адитивними до змінних u та $y^{П}$, а також параметричними збуреннями $f_{1П}$ і $f_{2П}$, що є мультиплікативними до параметрів змодельованих передавальних функцій ОК.

Відповідно до кількості контурів САК містить два регулятори: проміжної змінної $y^{П}$ із керуючим впливом u; головної змінної y із керуючим впливом $y^{ПЗД}$. Схема імітаційної моделі МТОК для дослідження каскадних САК за рис. 1 з виділеними каналами збурень наведена на рис. 2, а узагальнена схема формування цих збурень і їхньої верифікації - на рис. 3.

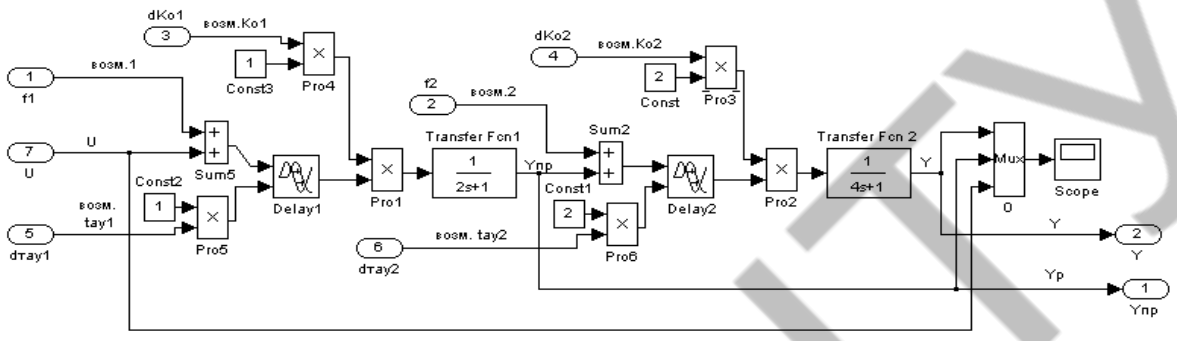


Рис. 2 - Базова схема моделювання МТОК за каналом регулювання з позначенням точок введення координатних і параметричних збурень.

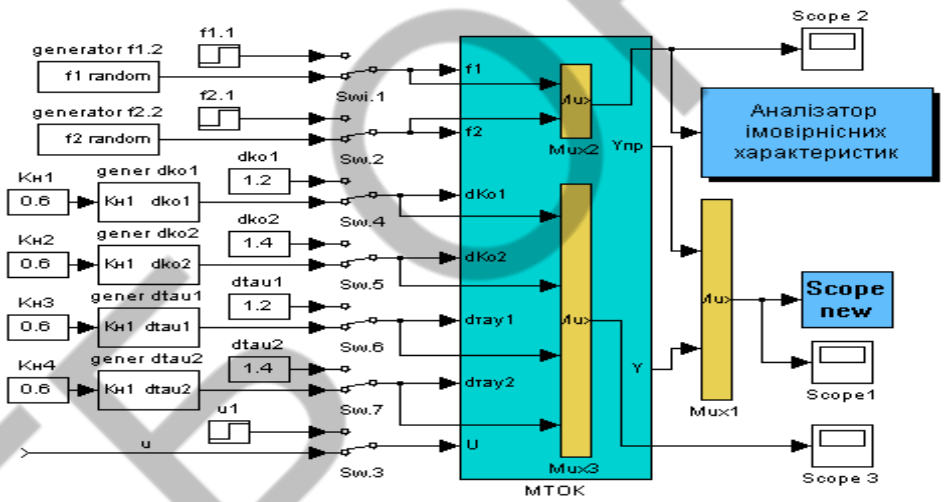


Рис. 3 - Узагальнена схема формування координатних і параметричних збурень та їхньої візуальної верифікації.

Генерування детермінованих складових координатних збурень u_1, $f_{1.1}$ та $f_{2.1}$ МТОК призначене насамперед для дослідження та, у окремому випадку - верифікації динамічних властивостей його каналів і варіантів систем автоматичного регулювання (САР) цього об'єкта керування в перехідних режимах з метою їх максимально наочного порівняльного аналізу. Процеси, отримані у базовому варіанті налаштувань, наведені на рис. 4.

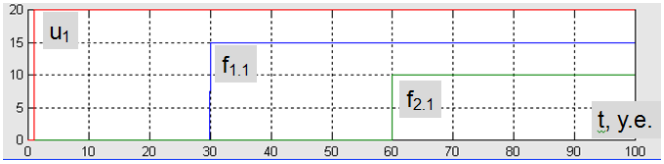


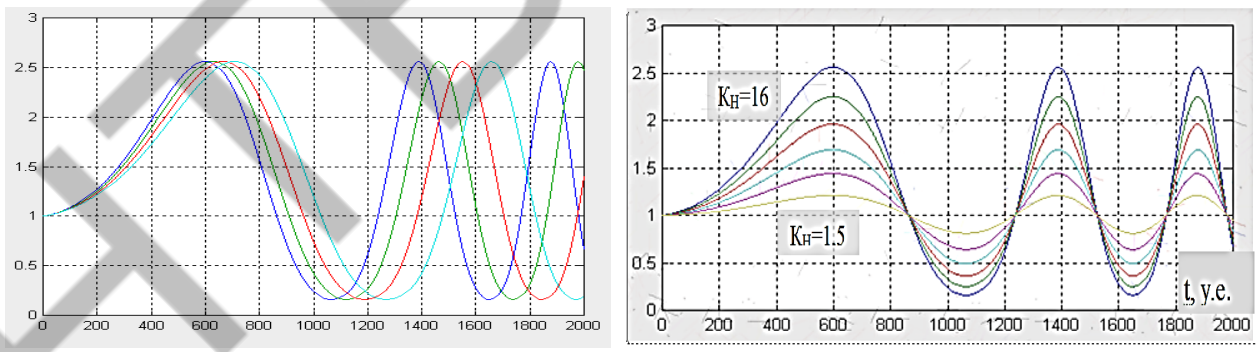
Рис. 4 - Візуалізація детермінованих складових координатних збурень.

Генерування випадкових складових $f_{1.2}$ і $f_{2.2}$ із заданими кореляційними властивостями здійснюється на основі базового генератора білого (точніше - квазибілого) шуму з нормальною

щільністю розподілу ймовірності та лінійних формувальних фільтрів (ФФ) другого порядку. Кореляційні функції $R_f(\tau_к)$ і спектральні густини $S_f(\omega)$ процесів цих складових вибрано (завдяки властивостям відповідних фільтрів) якісно різними: для $f_{1.2}$ - «аперіодичною», а для $f_{2.2}$ - «коливальною». Мета такого підходу - зменшення їх взаємної кореляції для запобігання можливим негативним ефектам. Вони об'єднані у субблоки «generator $f_{1.2}$» та «generator $f_{2.2}$». Результати генерування процесів на інтервалі [0…2000] умовних одиниць часу з кроком $\Delta t = 0{,}05$, за базових налаштувань ФФ з оцінюванням їхніх імовірнісних характеристик наведено на рис. 5.

Рис. 5 - Візуалізація випадкових складових координатних збурень і результатів оцінювання їхніх характеристик.

Генерування параметричних збурень призначене насамперед для дослідження ефективності САК, зокрема - їх стійкості, коли динамічні властивості каналів МТОК змінюються в різних діапазонах, у тому числі - екстремальних. Варіанти зміни параметрів: а) «вручну» - після зміни значень вони залишаються фіксованими протягом усього поточного експерименту; б) генеруються субблоками «gener dko1», «gener dko2», «gener dtau1» та «gener dtau2». за квазигармонічною траєкторією зі зростаючою частотою протягом усього поточного експерименту, розмах коливань задається коефіцієнтом нестаціонарності *Кн*. Результати їх генерування на інтервалі [0…2000] з кроком $\Delta t = 0{,}05$ наведено на рис. 6.



а) б)

Рис. 6 - Візуалізація квазигармонічних параметричних збурень: а) повного набору збурень при Кн = 16; б) одного з збурень для змінних значень Кн, послідовно: 16; 9; 5,4; 3,3; 1,8; 1,5.

Розроблено концепцію імітаційної моделі тестового об'єкта керування, яка забезпечує можливість комплексного дослідження каскадних САК із прогнозуванням у режимі реального часу. Результати тестування її базового варіанта підтверджують доцільність і практичну придатність використання моделі для обґрунтування шляхів створення ефективних і робастних каскадних САК.

Список використаної літератури

[1] Хобін В.А. Системи гарантуючого керування технологічними агрегатами: основи теорії, практика застосування. – Одеса: ТЕС, 2008. – 304 с.

[2] Хобін А. В. Прогнозування вільного руху в системах гарантуючого керування як шлях підвищення їхньої ефективності / Матер. VII всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні», Харків, 6 грудня 2024 р. – Харків, БННППІ ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2024. – С. 74-76.

УДК 62.64

КОНТРОЛЬ ДИСПЕРСНОСТІ ВОДНО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ ПІСЛЯ МЕМБРАННОЇ ОБРОБКИ З АВТОМАТИЧНОЮ ОЦІНКОЮ РОЗМІРУ КРАПЛІ

Ходєєв А.А., Заболотний О.В. (a.a.khodieiev@khai.edu, o.zabolotnyi@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

У роботі розглянуто застосування оптичного методу, який використовується в датчиках каламутності, для оцінювання дисперсності і розміру дисперсних крапель у водно-паливних емульсіях. На основі цього методу запропоновано використання багатохвильового датчика оцінки дисперсності часток води в емульсії для контролю за процесом її виготовлення і придатності до подальшого використання. Зокрема, для контролю розміру часток води в процесі багаторазового проходження емульсії крізь мембрану, що дозволяє з високою точністю оцінювати момент досягнення необхідної дисперсності.

Основою будь-якої водно-паливної емульсії є її стабільність, яка безпосередньо залежить від розміру та рівномірності розподілу крапель водної фази [1, 2]. При збільшенні діаметра крапель відбувається коалесценція та розшарування емульсії, що знижує її ефективність і робить неможливим довготривале зберігання або стабільне спалювання в дизельних двигунах. Традиційні методи контролю дисперсності ґрунтуються на мікроскопічному аналізі [3], який потребує відбору проб і не дає змоги здійснювати оперативний контроль у реальному часі. Це особливо критично для процесів мембранної емульсифікації, де розмір крапель поступово зменшується після кожного проходу через пористу структуру мембрани.

У той час як оптичні методи, що використовуються в датчиках каламутності, забезпечують контроль концентрації, вони не дають інформації про розмір часток в комерційних датчиках [4]. Тому актуальним є створення багатохвильового оптичного датчика, який дозволяє одночасно оцінювати дисперсність і контролювати середній розмір крапель у потоці. Його застосування забезпечить здатність визначення моменту готовності емульсії до використання та підвищить стабільність кінцевого продукту з подальшим підключенням до автоматизованих систем з виготовлення емульсій.

Для розв’язання поставленої задачі пропонується використовувати оптичний метод контролю дисперсності, реалізований з використанням багатохвильового занурювального датчика каламутності. Його принцип роботи полягає у вимірюванні інтенсивності світла, розсіяного потоком водно-паливної емульсії під різними довжинами хвиль, що дозволяє оцінити середній діаметр крапель безпосередньо в технологічному потоці.

Конструкція датчика включає два світлодіодних випромінювача з довжинами хвиль 530 нм та 850 нм і один фотодетектор який розміщується під кутом 90° відносно оптичної осі джерел випромінювання. Така структура відповідає стандартам з вимірювання каламутності ISO 7027 та EPA 180.1 [5-7], що забезпечує високу чутливість до зміни розміру частинок води в емульсії та їх концентрації. Корпус датчика розміщують у бобишці, яку монтують одразу після мембранного модуля на певній відстані для уникнення турбулентних потоків.

Після встановлення датчика вимірювальна система на базі мікроконтролера починає почергове випромінювання світла дома світлодіодами з довжинами хвиль 530 нм та 850 нм. Приймач, розміщений під кутом 90° до осі освітлення, реєструє інтенсивність розсіяного сигналу,

що змінюється залежно від розміру крапель водної фази в емульсії. Контролер фіксує два значення I_{530} та I_{850} для співвідношення між короткою і довгою хвилею розсіювання (1). При зменшенні діаметра крапель зростає кількість центрів розсіювання, і випромінювання короткої хвилі (530 нм) фіксується з більшою інтенсивністю порівняно з інфрачервоним діапазоном (850 нм). Це дозволяє оцінювати співвідношення інтенсивностей сигналів, зареєстрованих фотоприймачем:

$$R = \frac{I_{530}}{I_{850}} \quad (1)$$

де I_{530} та I_{850} – інтенсивності розсіяного випромінювання на відповідних довжинах хвиль.

Зростання показів свідчить про зменшення середнього діаметра крапель і підвищення дисперсності емульсії. Таким чином, показник R може бути використаний як оптичний критерій оцінки готовності емульсії до використання після мембранної обробки. Для кількісного оцінювання значень R необхідно дослідити його функціональну залежність від розміру крапель води в емульсії [8]. Порівняння показників мікроскопії та показників датчика каламутності нададуть можливість встановити тип такого зв'язку. Після проведення первинного калібрування з'явиться можливість використовувати оптичні датчики каламутності для вимірювань в реальному часі в процесі виготовлення емульсій, зокрема для контролю розміру крапель після кожного проходження водно-паливної суміші крізь мембрану. За умови досягнення встановленого рівня дисперсності керуючий контролер сигналізує системі про завершення процесу виготовлення емульсії. Запропонована технологія є ефективною для відновлення стабільності вже виготовлених емульсій, адже, знаючи розмір часток дисперсної фази, можливо оцінити необхідну кількість проходжень водно-дизельної емульсії через мембрану для її відновлення.

Запропонований багатохвильовий оптичний датчик може бути використаний для безперервного контролю процесу мембранної емульсифікації у дисперсних системах типу «вода–дизель». Використання співвідношення інтенсивностей розсіяного випромінювання на двох довжинах хвиль дозволяє оцінювати зміну розміру крапель у реальному часі без відбору проб. Використання такої технології спростить автоматизацію процесу виготовлення емульсій і забезпечить підвищення стабільності кінцевого продукту.

Список використаної літератури

1. Sartomo A., Santoso B., Muraza O. Recent progress on mixing technology for water-emulsion fuel: A review // Energy Conversion and Management. 2020. Vol. 213. DOI:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112817.

2. Заболотний О. В., Ходєєв А. А. Система контролю гомогенності водно-паливної емульсії // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. № 6. С. 91–97. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/14.

3. Norazni S. A., Yahya W. J., Ithnin A. M., Kadir H. A., Razak I. F. A., Bahar N. D., Sugeng D. A., Ramlan N. A. Stability behavior of non-surfactant water-in-diesel emulsion fuel using microscopic observation. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 90. P. 1–7. DOI: 10.1051/matecconf/20179001059.

4. Suryadi J., Winardi S., Nurtono T. The effect of water contents to diesel fuel-water emulsion fuel stability. IPTEK The Journal for Technology and Science. 2019. Vol. 30, No. 2. P. 28–31.

5. ISO 7027-1:2016, Water Quality — Determination of Turbidity — Part 1: Quantitative Methods, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.

6. ISO 7027-2:2019, Water Quality — Determination of Turbidity — Part 2: Semi-Quantitative Methods for the Assessment of Transparency of Waters, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2019.

7. U.S. Environmental Protection Agency, Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry, Revision 2.0, Cincinnati, OH, USA, 1993.

8. Alade O. S., Mahmoud M., Al Shehri D. A., Sultan A. S. Rapid determination of emulsion stability using turbidity measurement incorporating artificial neural network (ANN): experimental validation using video/optical microscopy and kinetic modeling. ACS Omega. 2021. Vol. 6. P. 5910–5920. DOI: 10.1021/acsomega.1c00017.

ITEOHTY

УДК 629.33.05:004.89

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ADAS (ADVANCED DRIVER-ASSISTANCE SYSTEMS) ЯК ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЕМ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ

Холодний Ю.Ф., Поліщук Д.В., Алтухов П.М.(kpudmytro@gmail.com)
Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук (Україна)

У роботі проведено аналіз ефективності систем допомоги водію (ADAS) як ключового елементу часткової автоматизації управління автомобілем (рівні 1-2 за SAE). Визначено основні функції ADAS, їхній вплив на безпеку дорожнього руху та економічні показники. Наведено світовий досвід впровадження та сформульовано основні напрямки подальшого розвитку систем ADAS у контексті переходу до повністю автономних транспортних засобів (рівні 3-5).

Автоматизація управління транспортними засобами є одним із найбільш перспективних напрямків в автомобілебудуванні. На поточному етапі розвитку, ключову роль відіграють Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS). Ці системи не лише підвищують комфорт водіння, але й суттєво впливають на безпеку, виконуючи функції постійного моніторингу навколишнього середовища та втручання в управління для запобігання аваріям. Метою даного дослідження є оцінка реальної ефективності ADAS та окреслення напрямку їхнього розвитку.

Системи ADAS відповідають 1-му та 2-му рівням автоматизації за класифікацією SAE J3016. Вони покладаються на комплекс датчиків (радари, лідари, камери, ультразвукові сенсори) та потужні електронні блоки управління (ECU) для аналізу дорожньої ситуації [1].

Ключові функції ADAS та рівні автоматизації наведені у табл. 1.

Ефективність систем ADAS оцінюється в першу чергу через зниження кількості ДТП та їхньої тяжкості. Численні дослідження та статистичні дані страхових компаній у США (IIHS), Європі (Euro NCAP) та інших регіонах підтверджують позитивний вплив ADAS [2]. Система ADAS, країна використання та оціночне зниження кількості ДТП наведені у табл. 2.

Зазначене зниження є узагальненим та залежить від конкретної моделі, умов експлуатації та демографії водіїв [3].

Системи ADAS також забезпечують значну опосередковану економічну та екологічну ефективність. В економічному плані, автомобілі, обладнані повним комплексом ADAS, часто отримують вищий рейтинг безпеки (наприклад, 5 зірок Euro NCAP), що для власників може призводити до зниження страхових премій. З екологічної та економічної точок зору, системи, такі як Адаптивний круїз-контроль (ACC) та Система утримання смуги (LKA), сприяють більш плавному та рівномірному руху. Запобігаючи різким прискоренням і гальмуванням, ці системи оптимізують швидкісний режим і траєкторію, що веде до безпосереднього зниження витрат палива. Дослідження показують, що така оптимізація може зменшити споживання палива в межах 3-7%, одночасно знижуючи викиди шкідливих речовин.

Таблиця 1 – Ключові функції ADAS та рівні автоматизації

Ключові функції ADAS та рівні автоматизації	Принцип дії	Рівень SAE	Основна мета
Адаптивний круїз-контроль (ACC)	Підтримує задану швидкість та безпечну дистанцію до автомобіля попереду.	1-2	Зниження втоми водія, запобігання наїздам.
Система екстреного гальмування (AEB)	Виявляє небезпеку зіткнення та автоматично застосовує гальма.	1	Запобігання або пом'якшення зіткнень.
Система утримання смуги (LKA)	Коригує кермове управління, щоб утримати автомобіль у межах смуги.	1-2	Запобігання ненавмисному з'їзду зі смуги.
Моніторинг сліпих зон (BSM)	Попереджає про наявність об'єктів у "сліпій зоні" при зміні смуги.	1	Запобігання бічним зіткненням.
Система розпізнавання дорожніх знаків (TSR)	Розпізнає дорожні знаки (швидкість, заборона обгону) та відображає їх водію.	0	Інформаційна підтримка.

Таблиця 2 – Системи ADAS, країни використання та оціночне зниження кількості ДТП

Система	Країна / Регіон	Оціночне зниження кількості ДТП / Травм
AEB (з функцією "автомобіль-автомобіль")	США	Зниження фронтальних зіткнень на 38-50%
LKA	ЄС	Зниження ДТП із виїздом зі смуги руху на 20-25%
ACC	Велика Британія	Зниження кількості зіткнень з тяжкими травмами на 10-15%
BSM	Австралія	Зниження ДТП, пов'язаних зі зміною смуги, на 15%

Таблиця 3 – Ключові технологічні виклики та напрямки розвитку ADAS [5]

Напрямок розвитку	Технологічні виклики	Перспективне рішення
Сенсорна точність	Надійна робота в складних погодних умовах (туман, сніг, дощ).	Активна інтеграція LiDAR та радарів 4D, використання технології Sensor Fusion (об'єднання даних).
Кібербезпека	Захист від несанкціонованого доступу та втручання в системи управління.	Впровадження апаратної криптографії та блокчейн-технологій для захисту комунікацій V2X (Vehicle-to-Everything).
Взаємодія "Водій-Система" (HMI)	Забезпечення безпечного та своєчасного перехоплення управління водієм (Takeover Request) на Рівні 3.	Розробка інтуїтивних інтерфейсів, моніторинг уваги та втоми водія (Driver Monitoring Systems).
Юридичне регулювання	Визначення відповідальності у разі ДТП за участі систем Рівня 3.	Створення чітких міжнародних стандартів та законодавчих актів.

Таким чином, ADAS є інструментом, що поєднує безпеку з фінансовою та екологічною відповідальністю [4].

Ключові технологічні виклики та напрямки розвитку ADAS наведені у табл. 3.

Системи ADAS є перевіреним і високоефективним інструментом для підвищення безпеки на дорогах, що підтверджується світовою статистикою зниження кількості ДТП. Вони виконують роль важливого перехідного елементу автоматизації управління автомобілем. Подальший розвиток систем вимагає вирішення складних технологічних проблем, особливо у сферах сенсорної надійності, кібербезпеки та безпечної взаємодії людини й машини. Успішна інтеграція цих рішень прокладе шлях до впровадження повністю автономного транспорту.

Список використаної літератури

1. J3016_202104 - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. *SAE International's collaboration and workflow platform for standards development.* Available: https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles

2. Analysis of the Field Effectiveness of General Motors Model Year 2019-2023 Advanced Driver Assistance System (ADAS) Features. *University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI).* Available: http://www-library.univer.kharkov.ua/pages/bibliography/style/style_IEEE.pdf

3. R. Spicer, A. Vahabaghaie, G. Bahouth, L. Drees, L, B. Martinez, & P. Baur. Field effectiveness evaluation of advanced driver assistance systems. *Traffic injury prevention*, 2018, vol. 19 (2), pp. 91–95. doi: 10.1080/15389588.2018.1527030

4. A. Sadek, T. Toma. Evolution of AI for ADAS/AD Applications. *Qualcomm Technologies, Inc.* Available: https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/evolution-of-ai-for-adas-ad-applications.pdf

5. O. Kavas-Torris,; S.Y. Gelbal,; M.R. Cantas,; B. Aksun Guvenc,; L. Guvenc, V2X Communication between Connected and Automated Vehicles (CAVs) and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Sensors* 2022, 22, 8941. doi: 10.3390/s22228941

УДК 681.518.5

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВИПАЛЮВАННЯ ВАПНЯКУ В ШАХТНІЙ ПЕЧІ

Чумак Л. І., Ткачов В. С., Донський Д. М.
(chumak.liubov@pdaba.edu.ua, tkachov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ddonskoj215@gmail.com)
ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій (Україна)

Наведено результати досліджень математичної моделі процесу випалювання вапняку в шахтній печі, з урахуванням динаміки теплового процесу для визначення параметрів устаткування та раціонального закону регулювання температури. Реалізація моделі у середовищі MATLAB-Simulink дозволила провести оптимізацію системи.

Постановка проблеми. Процеси тепловологої обробки в будівельній індустрії мають велике значення для якості готової продукції, економіки виробництва. Однією з найважливіших операцій в технології виробництва в'яжучого є випалювання вапна. Підвищення якості продукції за рахунок удосконалення технологічного процесу та режиму випалювання – одне з основних завдань у цій галузі. [1]

Аналітичний метод дослідження об'єкту регулювання, що базується на використанні загальних фізичних законів, які описують відповідні процеси, що включає наступні етапи: визначення завдання – вплив на об'єкт, вхідні й вихідні величини; побудова моделі; аналіз прийнятих допущень; знаходження коефіцієнтів і складання передаточної функції.

Математичне моделювання дає можливість створити абстрактну модель, що проеціює технологічний процес імітаційно-математичними засобами з метою оптимізації схеми виробничого процесу. [2, 3]

Перелік вирішених завдань. У представленому дослідженні розроблено математичну модель, яка імітує процес випалювання вапняку у шахтній печі. Реалізовано модель у програмному середовищі MATLAB-Simulink і наведено результати досліджень з урахуванням динаміки теплового процесу для визначення параметрів устаткування та раціонального закону регулювання температури. Оптимізовано систему.

Суть дослідження. У структурному відношенні шахтна піч випалювання вапняку являє собою складний нелінійний об'єкт із розподіленими параметрами, великою кількістю внутрішніх зворотних зв'язків, для одержання її математичної моделі, придатної для практичного використовування, вводяться спрощені допущення. Вони полягають у тому, що піч умовно розподіляється на окремі характерні у конструктивному відношенні ділянки, кожна з яких розглядається як лінійний одно- або двоємнісний об'єкт із зосередженими параметрами і своїми вхідними та вихідними впливами.

Шахтна піч випалювання вапняку складається із трьох основних зон: підігріву, випалювання, охолодження.

Для аналітичного розрахунку статичних і динамічних характеристик печі розглянемо зону випалювання, що є найбільш важливою ділянкою печі.

У сталому стані робота печі в зоні випалювання описується наступним рівнянням теплового балансу:

$$Q_п+Q_{з.п}=0,$$

де: $Q_п$ – потужність теплового потоку, що надходить у піч, Дж;

$Q_{з.п.}$ - потужність теплового потоку, що виходить із печі, Дж.

Величина $Q_п$ виражається рівнянням:

$$Q_{п.}= Q_х+ Q_ф+ Q_{пов}+ Q_{рец}, \quad (1)$$

де:

$$Q_х=B_т Q_р^н.$$
$$Q_ф=B_т C_т \theta_т,$$
$$Q_{пов.}=B_т \alpha V_0 C_{пов} \theta_{пов},$$
$$Q_{рец}=B_{рец}\, C_{рец}\, \theta_{рец}.$$

$Q_х$, $Q_ф$, $Q_{пов}$, $Q_{рец}$ – відповідно потужності теплових потоків, що надходять у піч за рахунок хімічної теплоти палива, фізичної теплоти палива, із повітрям та із газами рециркуляції.

З урахуванням зазначених значень доданків рівняння (1) матиме вигляд:

$$Q_{п.}= Вт\, Q_р^н + B_т C_т \theta_т + Вт\alpha V_0 C_{пов} \theta_{пов} + B_{рец} C_{рец} \theta_{рец},$$

де: Вт – витрата палива, що подається до топки, кг;

$Q_р^н$ – теплота згоряння палива, Дж/кг;

$C_т$ – питома теплоємність палива, ДЖ/(кг• ^oC);

$\theta_т$ – температура палива, ^oC;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

V_0 – теоретично необхідний обсяг повітря для повного згоряння 1м^3 пального, м^3;

$C_{пов}$ – питома теплоємність повітря [Дж/(кг• ^oC)];

$\theta_{пов}$ – температура повітря, що поступає в піч, ^oC;

$B_{рец}$ – витрата газів рециркуляції, що подаються в піч, кг;

$\theta_{рец}$, $C_{рец}$ – температура ^oC та питома теплоємність газів рециркуляції, що надходять у піч.

При спалюванні палива з певним коефіцієнтом надлишку повітря без втрат продукти згоряння прагнуть прийняти теоретичну температуру горіння:

$$\theta_{гор} = (Q_p^н + \alpha \cdot V_0 \cdot C_{пов} \cdot \theta_{пов} + C_т \cdot \theta_т) \,/\, C_{п.з.},$$

звідси:

$$Q_p^н = C_{п.з} \cdot \theta_{гір} - \alpha V_0 C_{пов} \theta_{пов} - C_т \theta_т, \qquad (2)$$

де $C_{п.з}$ – питома теплоємність продуктів згоряння [Дж/(кг•^oC)] при температурі згоряння.

Підставивши значення $Q_p^н$ у рівняння (2) одержимо:

$$Q_{п.} = Вт \cdot C_{п.з} \cdot \theta_{гір} + B_{рец} \cdot C_{рец} \cdot \theta_{рец},$$

Потужність теплового потоку, що віддається піччю:

$$Q_{п.в.} = Q_{з.п} + Q_{рец},$$

Де: $Q_{з.п} = B_{п.з} \cdot Сп._з \cdot \theta_{п.з}$ – потужність теплового потоку, що виходить з печі продуктами випалювання, Вт.

$Q_{рец} = B_{рец} \cdot C_{п.з} \cdot \theta_{п.з}$ – потужність теплового потоку, що виходить з печі газами рециркуляції, нагрітими до температури продуктів згоряння, Вт.

Отже:

$$Q_{з.п.} = B_{п.з} \cdot C_{п.з} \cdot \theta_{п.з} + B_{рец} \cdot C_{рец} \cdot \theta_{п.з},$$

де $\theta_{п.з}$ – температура продуктів згоряння на виході з печі, ^oC;

$B_{п.з}$ – витрата продуктів згоряння, кг.

Для виконання оптимізації системи управління процесом випалювання вапняку розроблено структурну схему системи (рис.1).

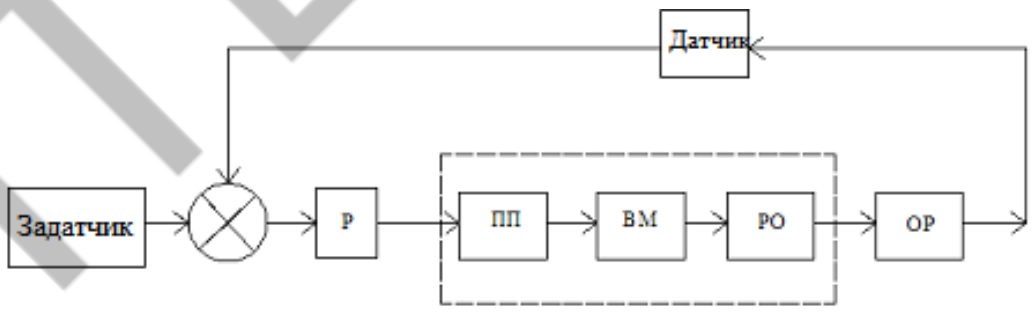


Рис. 1- Структурна схема САР випалювання вапняку

де: ПП – підсилювач потужності, пускач; ВМ – виконавчий механізм, МЄО; Р – регулятор, комп'ютер; РО – регулюючий орган, заслінка; ОР – об'єкт регулювання, зона випалювання; ДТ – датчик температури, термопара.

Піч випалювання, як об'єкт регулювання, являє собою систему першого порядку із самовирівнюванням та із запізненням.

За допомогою прикладної програми моделювання MATLAB-Simulink виконуємо розрахунок динамічних параметрів системи з подальшим їх моделюванням.

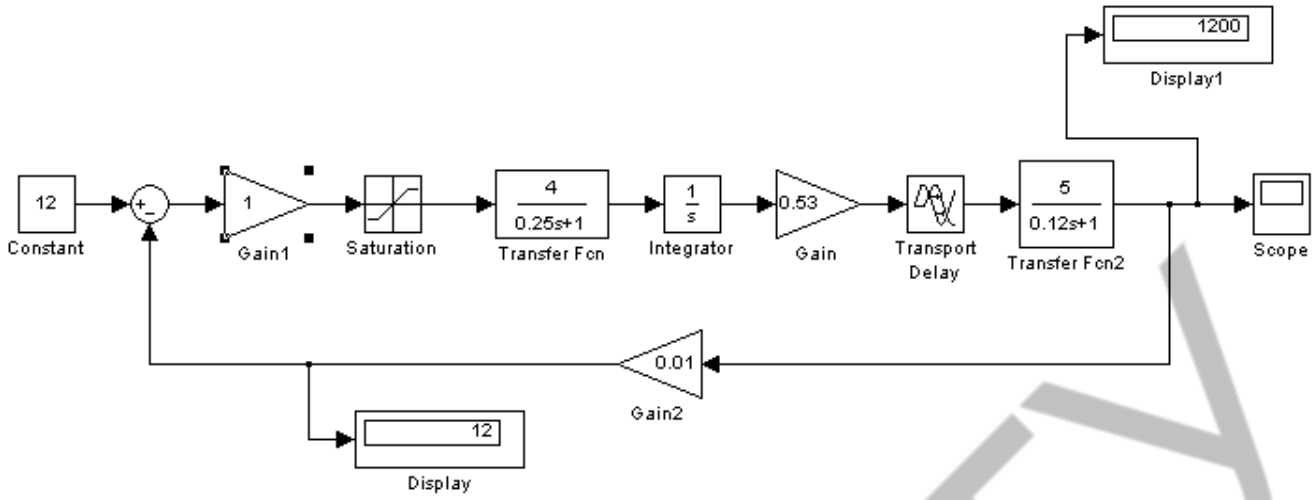


Рис. 2 - Блок-схема моделі випалювання вапняку в шахтній печі

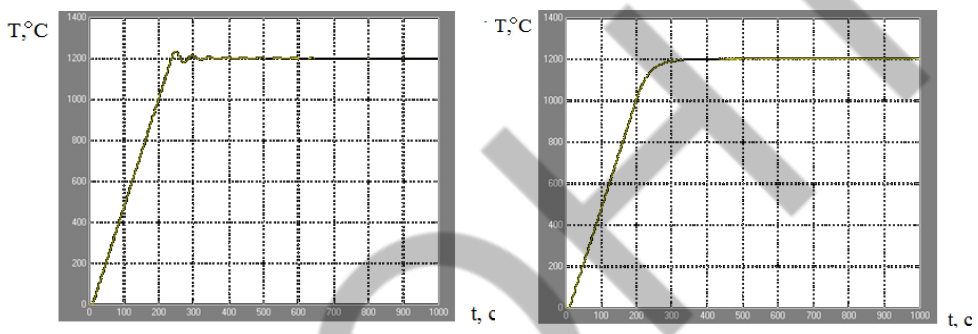


Рис. 3- Перехідний процес системи до та після оптимізації

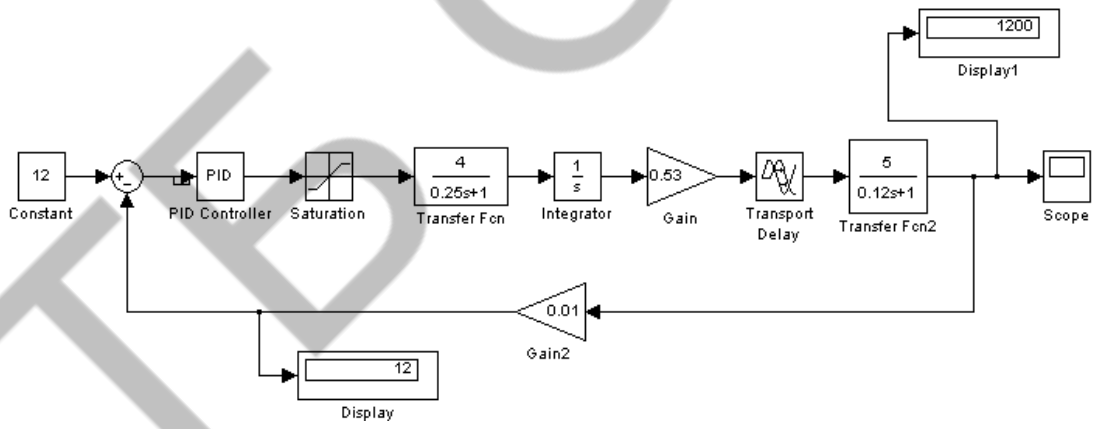


Рис. 4 - Блок-схема моделі випалювання вапняку в шахтній печі з ПІД-регулятором

Висновки. У результаті виконання математичного моделювання за допомогою програми MATLAB-Simulink розроблено блок-схему моделі випалювання вапняку, проведено оптимізацію параметрів ПІД-регулятора, що підвищило швидкодію регулювання системи та скоротило час регулювання з 650 до 430 секунд.

Список використаної літератури

[1] Гоц В.І., Кошкарьов В.М., Павлюк В.В., Тимошенко С.А. Теплові процеси та установки у виробництві будівельних конструкцій, виробів і матеріалів. - К.: Основа, 2014.-472 с.

[2] Лазарєв Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2011. – 421 с.

[3] MathWorks.Simulink Documentation. [Online] Available: https://www.mathworks.com/help/simulink (дата звернення: 14.09.2025).

УДК 004.588

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ БПЛА

Шувалов Д. О., Кочук С. Б.
(djsh220@gmail.com, sergei.kochuk@gmail.com)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

У тезах розглядається автоматизована система якості повітря, її складові та принцип роботи на платформі БПЛА. Зазначена актуальність використання таких систем у сучасних умовах. Наведені можливі напрями застосування такої системи. Висновок зазначає важливість такої автоматизованої системи, а також перспективи розвитку та її модернізації.

У сучасному світі проблеми екології та зміни клімату все більше загострюються. Міжнародні стандарти змінюються під реалії сьогодення, а відповідно під них і технології: все частіше на промислових підприємствах, особливо на об’єктах тяжкої промисловості, впроваджуються додаткові етапи очищення води чи повітря під час та після технологічного процесу завдяки інтеграції автоматизованих систем контролю.

Утім, все ще постає проблема контролю стану навколишнього середовища із охопленням великої площі заводів, атомних станцій, тощо. Саме для рішення цієї проблеми можна застосовувати безпілотні літальні апарати різних типів: коптерного, літакового, VTOL-дронів. Вони ідеально підходять для розташування на них систем контролю якості повітря, що включатимуть набір сенсорів та іншого корисного навантаження.

Система контролю параметрів повітря навколо промислових об’єктів, вздовж кордонів та ін. повинна складатися з газоаналізаторів, що здатні вимірювати рівень концентрації різних небезпечних речовин у повітрі. Також, для розширення спектру виконання задач буде доцільним додати лічильник Гейгера, що вимірюють рівень фону за бета- та гамма- спектрами, та датчик пилу – низка галузей промисловості та генерації енергетики забруднюють не тільки повітря, а й збільшують радіаційний фон, що є значущим фактором для безпеки як персоналу, так і цивільного населення навколо. Наостанок варто зазначити, що складові автоматизованої системи контролю мають бути оптимальними за критерієм вага-точність вимірювань.

Після визначення складу автоматизованої системи контролю якості повітря був проведений пошук необхідного обладнання. Було прийняте рішення використовувати плату розробника ESP32-S3 N16R8 у якості мікрокомп’ютера через високу обчислювальну здатність. Відповідно до наведених вище вимог до системи, були також обрані наступні Arduino-сумісні деталі (Рисунок 1):

- датчики-газоаналізатори серії MQ: MQ-2, MQ-8, MQ-9, MQ-135;
- модуль іонізуючого випромінення GC-1602 з дисплеєм, на базі Arduino Nano;
- датчик пилу Waveshare GP2Y1010AU0F.

Додатково були використані допоміжні модулі: запису вимірів на носій – OpenLog, реального часу – DS3231SN та датчик температури, вологості та тиску – BME280 I2C.

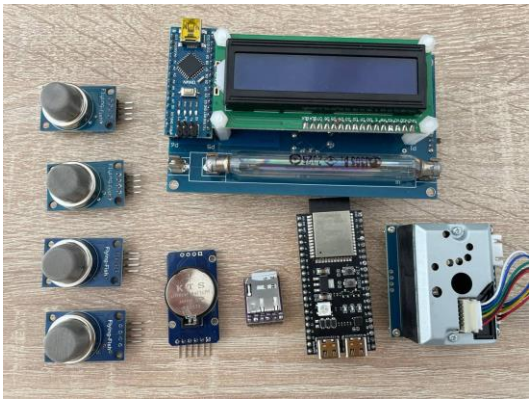


Рисунок 1 – Обрані модулі автоматизованої системи якості контролю повітря

Газоаналізатори MQ-серії засновані на чутливому елементі виготовленого зі станум (IV) оксиду та функціонують за принципом «вище концентрація газу – вища провідність». Більшість з них чутливі до однакових з іншими газами, але кожен з модулів налаштований більш чутливо до одного або групи газів. Саме тому використання декількох є оправданим: MQ-2 є найбільш чутливим до органічних сполук із молекулярною формулою C_xH_y (метан, пропан, тощо) [1]. Сенсор MQ-8 є «унікальним» серед використаних, бо реагує на концентрацію тільки однієї речовини у повітрі – водню [2]. Модуль MQ-9 є дуже чутливим до чадного газу [3], а MQ-135 – до аміаку, оксидів азоту, спирту [4]. Варто зазначити, що усі датчики мають бути «прогрітими», тобто адаптованими під нормальні умови та концентрації речовин.

Модуль іонізуючого випромінення має інтегрований дисплей, що дозволяє отримувати дані у режимі реального часу без використання програм. Базується на використанні лічильників Гейгера-Мюллера моделей J305/M4011 або радянських СТС-5 та СБМ-20 для вимірювання бета та гамма випромінення.

Останній основний модуль автоматизованої системи контролю якості повітря, датчик пилу Waveshare GP2Y1010AU0F, заснований на роботі ІЧ-світлодіоду який виявляє дрібні частинки у повітрі та видає сигнал на аналоговому виході, що пропорційний концентрації пилу у повітрі [5]. Через низьке енергоспоживання ідеально підходить для встановлення на БПЛА.

Автоматизована платформа була зібрана на базі рами F450. Був обраний польотний контролер ArduPilot APM 2.8 через можливість під’єднати до 14 різноманітних модулів та датчиків, що живляться напруги 5 В. Разом із APM було використано апаратуру керування FlySky FS-I6S AFHDS 2A. БПЛА живиться від LiPo акумуляторів 3S 11.1 V. Зовнішній вигляд зібраного БПЛА коптерного типу із автоматизованою системою контролю якості повітря на борту зображений на рисунку 2.

Процес роботи системи починається з прогрів сенсорів-газоаналізаторів для отримання найбільш точних показників, на це необхідно приблизно 20 хвилин. Після цього система повністю готова до роботи та БПЛА може відправлятися у політ, де збиратимуться не тільки дані щодо наявності та концентрації деяких речовин у повітрі, а ще й відстежуватиметься радіаційний фон. Так само в той самий час знімаються показники температури, вологості та тиску. Усі отримані дані записуватимуться на microSD картку пам’яті з міткою часу коли саме були зроблені виміри. Після виконання програми вимірювання БПЛА повертається назад для вилучення карти пам’яті задля аналізу даних фахівцями. Варто зазначити, що в таблиці показники, що вимірюються сенсорами MQ, записані у одиниці виміру “parts-per-million”(ppm), тому для порівняння отриманих даних із гранично-допустимими концентраціями [6] значення необхідно переводити у СІ (мг/м^3).

Рисунок 2 – БПЛА із системою моніторингу на борту

Запропонована автоматизована система контролю якості повітря на базі БПЛА може бути ідеальним рішенням для оперативного моніторингу середовища навколо великих підприємств тяжкої промисловості, атомних станцій та державних служб, що відповідають за хімічну безпеку довкілля та населення. Виходячи з оглянутих модулів та компоновки БПЛА можна стверджувати, що перспективними напрямками модернізації даної системи є заміна датчиків та вимірювальних

приладів на такі, що мають більшу точність та збільшений діапазон вимірювань. Конструкційними напрямками модернізації можна вважати зміну форм-фактору дрону з поточної на більш вантажную – перехід від квадрокоптеру до гекса- або октокоптеру. Також можна розглядати варіант використання БПЛА типу VTOL для несення автоматизованої системи контролю якості повітря. З програмної точки зору можна звернути увагу на подачу даних про концентрацію газів одразу в мг/м^3. Також перспективним є утворення зв'язку з системою через безпровідні або хмарні технології для отримання усіх даних в режимі реального часу для облегшення реагування на надзвичайні ситуації.

Список використаної літератури

[1] "MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas." [Online]. Available: https://www.pololu.com/file/0j309/mq2.pdf [Accessed 18.10.2025].
[2] "Flammable Gas Sensor (Model: MQ-8). Manual." [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-8%20Ver1.3%20-%20Manual.pdf [Accessed 18.10.2025].
[3] "MQ-9 Semiconductor Sensor for CO/Combustible Gas." [Online]. Available: https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-9/MQ9.pdf [Accessed 18.10.2025].
[4] "Technical data MQ-135 Gas Sensor." [Online]. Available: https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf [Accessed 18.10.2025].
[5] "GP2Y1010AU0F Compact Optical Dust Sensor." [Online]. Available: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_e.pdf [Accessed 18.10.2025]
[6] "Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць, пункт 1. Наказ №813, від 10.05.2024, редакція від 19.06.2025." Міністерство охорони здоров'я України. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#n19 [Accessed 19.10.2025].

НТБ ОНТУ

Розділ 4.

Нові інформаційні технології освіти

UDC 004.451.2

DESIGN PRINCIPLES AND FUNCTIONALITY OF A MOBILE COMPONENT FOR MONITORING DIPLOMA WORK PROGRESS

Huba B.A., Dvukhhlavov D.E. (Bohdan.Huba@khpi.edu.ua)
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

Annotation. *The principles of building a system for the monitoring diploma works progress are presented, with details of the functions of the mobile component intended for use by diploma students. A formalized model for storing data in mobile devices is presented to ensure the "offline-first" principle in online learning environments.*

Relevance. Completing a diploma work is the final stage of a student's education at a higher education institution. A distinctive feature of this educational activity is the critical nature of the time and quality of the results presented. Properly organizing diploma work in the current environment of intensive digital transformation of higher education faces a number of challenges. The main one is the presence of a Race Condition in the daily schedule of a thesis student. Three critically important streams compete simultaneously in this "race": education (lectures, exams), work (job, internship), and completing diploma-related tasks, which is usually done during hours of independent work. In an unstable environment, this leads to regular conflicts over resources and the loss of critical information. The problem of timely completion is also complicated by the use of traditional means of communication, which include email and instant messengers. Their use does not provide an adequate level of convenience in forming task distribution lists, receiving feedback on task receipt, or monitoring tasks performance progress. Finally, the situation is further complicated by the fact that the interaction between the student and the supervisor takes place in an online learning environment, where the stability of the network connection is not guaranteed, and the participants in the collaboration may be located in different cities and time zones.

These factors determine the relevance of implementing an automated system for monitoring diploma work progress (AS MDWP), the use of which will reduce the time needed to communicate tasks and information, ensuring their timely and accurate completion, as well as providing notifications about assigned tasks and reminders about deadlines.

Aim. Diploma work involves the successful completion of a specific sequence of tasks, which depends on their high-quality formulation and timely their results presentetion. To ensure the prompt delivery of tasks to students, the unambiguous formulation of tasks, and notification of deadlines for the submission of task results within the AS MDWP, it is necessary to have a mobile component with the specified functionality. The following materials will present the requirements for such a mobile component, as well as the scientific rationale and formalized description of the "Offline-first" architectural paradigm, which must be used to ensure the functioning of the system in the context of online learning.

Main results.

Principles of building an automated system monitoring diploma work progress. The following should be considered key architectural and functional principles for building an AS MDWP.

1 The principle of differentiation of access and interfaces (Role-Based Access) [1]. The system architecture must be strictly role-based, ensuring the work of three key categories of users: faculty management representatives, thesis project supervisors, and thesis students. To specify the tasks, the following components should be developed:

– a web interface for faculty management representatives to set group tasks for all students of the same level of training and display summarized information about the progress of diploma work in a convenient form;

– a web interface for individual diploma work supervisors for setting group and individual tasks for their diploma students and displaying the progress of work preparation for defense;

– a mobile component for students to quickly access information, record progress, and receive notifications about deadlines and details for presenting results.

2 The principle of multi-layered architecture and mobile integration. The system should be implemented based on a multi-layered architectural template, where the web application acts as a central repository and data processor.

3 The principle of persistence and structure of the data storage [2]. The structure of the system database should be relationally optimized for the efficient storage of information regarding:

– diploma works topics, student and supervisor account data;

– formalized metadata of tasks (date of issue, expected date of submission, form of the artifact).

– templates for the unification of document preparation, as well as the storage of final archived results of task completion.

4 The "Offline-First" principle in online learning [3]. The application of the system must be architecturally adapted to the specifics of use in online learning and the potential instability of the network connection. The application of the principle assumes that the mobile component should function on the basis of locally stored data, and when there is a stable connection to the server, it should synchronize with the data on the server.

The list of functions of the mobile component. The mobile component will be used by diploma students and therefore must perform the following functions.

1. Task Lifecycle Management: providing the ability to view, filter, and quickly update the status of assigned tasks (TO DO, IN PROGRESS, DONE), including visualization of the progress of each stage.

2. Two-way Communication: a mechanism for adding comments and questions directly to the context of each task, as well as their prompt display.

3. Push Notification System: a system for prompt notification of new tasks, comments from the supervisor, and warnings about approaching deadlines, ensuring a timely response from the student [4].

4. Individual Progress Visualization: a graphical representation of the project schedule, including key stages and deadlines, to ensure that students can clearly monitor their own schedule.

5. Autonomous Work (Offline-First): guaranteed access to the latest synchronized data and the ability to create/edit data without a stable connection. Data is recorded in the Operation Queue (O) for further asynchronous synchronization according to the model.

6. Authentication and Cryptographic Protection: use of secure protocols for authorization, as well as cryptographic encryption of persistently stored local data to ensure its confidentiality.

Formalized description of the "Offline-First" paradigm. The "Offline-First" concept requires a formal mechanism to ensure atomicity of operations and systematic data consistency in conditions of network instability [5].

The following symbols will be used for the formalized description.

Global State (G) — data stored on the central backend server. This is the reference consistent state.

Local State (L) — a persistent copy of data stored on a mobile device (e.g., local data storage).

Operation Queue (O) — an ordered set of all local changes awaiting synchronization.

System Timestamp (T_{sys}) — a unique, monotonically increasing marker assigned to each operation at the time of its creation.

Network State (C) — a Boolean variable that reflects the network connection status on the local device.

Each data change initiated by the user is recorded as an atomic operation, defined as a tuple (1):

$$O_i=\{E_i, D_i, T_{sys}\}, \quad (1)$$

where E_i — CRUD operation type (CREATE, UPDATE, DELETE).

D_i — changed data.

T_{sys} — system timestamp of this change.

When the mobile device is in offline mode (C=0), the user interacts exclusively with Local Status. Changes are recorded(2) as follows:

$$L_{\text{нов}}=L_{\text{поч}}+D_i; \quad (2)$$
$$O_{\text{нов}}=O_{\text{поч}}+O_i.$$

The synchronization process is activated when a stable network connection is restored (C=>1).

Synchronization occurs sequentially in ascending order of timestamps (3), ensuring temporal consistency (important for consensus).

$$\forall O_i, O_j \in O: T_{sys}(O_i)<T_{sys}(O_j) \Rightarrow O_i \prec O_j. \quad (3)$$

After the operation has been successfully applied to the Global State, it is removed from the queue (4).

$$Apply(O_i) \Longrightarrow O_{\text{нов}}= O_{\text{поч}}\ O_i\}. \quad (4)$$

A conflict occurs when two different operations from different sources attempt to modify the same data element.

To resolve conflicts, the Last Write Wins (LWW) policy (consensus protocol) is applied, which uses the System Timestamp obtained from the central server (3).

Thus, only the change that was recorded later is stored in the Global State, which minimizes user data loss.

The formalized model with the Operation Queue and the LWW algorithm ensures that the mobile component always has the latest data set and is able to save all changes.

Upon completion of the synchronization process, when the queue is empty, full consistency between states is achieved (5):

$$O=\emptyset; \quad (5)$$
$$L \equiv G.$$

Conclusions. The main conclusions from the results presented above are as follows.

1. In the conditions of completing a diploma work online, it is reasonable to have a mobile component to ensure timely notification of tasks to be completed during the preparation of the work for defense, deadlines for their completion, as well as reminders about the deadlines for submitting results.

2. The implementation of “Offline-first” solves the fundamental problem of ensuring continuity and reliability of control, guaranteeing the integrity and availability of data even during network failures, lack of Internet connection, and other critical conditions. This is a significant engineering and scientific contribution to the development of modern information systems for education.

References

[1] H. O. Lee and W. K. Tan, “A Role-Based Access Control Architecture for Web Service Applications,” *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 11, no. 1, pp. 110–123, Jan./Feb. 2018.

[2] M. Kleppmann, *Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems*. O’Reilly Media, 2017.

[3] *Build an offline-first app.* [Online]. Available: https://developer.android.com/ topic/architecture/data-layer/offline-first [Accessed: Oct. 15, 2025].

[4] S. H. Kim and J. Y. Kim, “The Impact of Push Notifications on User Engagement and Mobile App Retention,” *Journal of Mobile Technology and Education*, vol. 12, no. 3, pp. 22–35, Sep. 2019.

[5] M. A. van Steen and A. S. Tanenbaum, *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, 4th ed. Amsterdam, The Netherlands: Pearson, 2023.

UDC 378.147:004.8:81’243

LARGE LANGUAGE MODELS IN FACILITATING ACADEMIC WRITING TO PSYCHOLOGY AND JOURNALISM MAJOR STUDENTS

Mykolaichuk A.I., Mykolaichuk V.R. (alisa.mykolaichuk@knu.ua, viramykolaichuk@knu.ua)
Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)

This paper explores the integration of Large Language Models (LLMs) into guiding academic writing to psychology and journalism students. The study involved two cohorts (2024–2025) engaged in English for Specific Purposes courses, where students used ChatGPT and Perplexity AI to locate,

evaluate, and annotate scholarly sources. Findings show that while ChatGPT supported paraphrasing and stylistic refinement, Perplexity AI provided more reliable, citation-linked academic materials. Students developed stronger research literacy, citation awareness, and ethical understanding of AI-assisted writing. The results suggest that combining generative and retrieval-based AI tools fosters reflective learning and enhances academic writing competence in higher education.

Keywords: *Large Language Models, academic writing, AI in education, Perplexity AI, ChatGPT, psychology students, journalism students.*

Problem Statement. In recent years, the rapid development of Artificial Intelligence (AI) has brought new opportunities and challenges to higher education, particularly in the teaching of academic writing. Large Language Models (LLMs) such as ChatGPT and Perplexity AI are increasingly being adopted as digital assistants capable of generating, organizing, and refining scholarly texts. Yet, psychology students often encounter persistent difficulties in identifying relevant and up-to-date peer-reviewed sources and in producing concise, coherent, and well-structured research summaries. Traditional search engines rarely guarantee the academic reliability or contextual relevance of retrieved materials [3].

Several recent studies highlight both the potential and the limitations of using LLMs for academic purposes. *Bista and Bista (2025)* emphasize that AI-assisted writing tools can improve students' analytical engagement with academic texts when used critically and reflectively [1]. Similarly, *Boillos and Idoiaga (2025)* report that students perceive AI language tools as valuable aids in overcoming linguistic barriers and developing confidence in scholarly writing, provided that their use is guided and ethically monitored [2]. Moreover, Perplexity AI, unlike generative systems such as ChatGPT, incorporates citation-linked retrieval mechanisms that facilitate access to verified, peer-reviewed sources [7].

Therefore, integrating LLM-based tools into the process of teaching academic writing to psychology students is not only technologically relevant but pedagogically necessary. Such integration can enhance students' research literacy, assist in critical evaluation of academic sources, and foster their ability to synthesize and annotate complex information effectively [4], [5].

The study aimed to explore the pedagogical potential of LLM-based tools in academic writing instruction for psychology and journalism students. The main tasks included: 1) to analyze the role of LLMs in supporting academic writing within ESP courses; 2) to compare ChatGPT and Perplexity AI in terms of search reliability, citation transparency, and usability; 3) to identify student attitudes and learning outcomes related to AI-assisted writing; 4) to outline didactic strategies for responsible and effective AI integration in higher education.

Methodology and Findings. This small-scale pedagogical study was implemented within the English for Specific Purposes (ESP) courses at Taras Shevchenko National University of Kyiv, focusing on the development of academic writing skills among undergraduate students of psychology and journalism. Two cohorts participated: a pilot group of seven students in 2024 (three psychology and four journalism majors) and an extended group of eleven students in 2025 (five psychology and six journalism majors). The learning task involved preparing short research-based abstracts and annotated bibliographies in English for their further theses writing and participation in the conferences.

During the workshops, students explored the functionalities of ChatGPT and Perplexity AI for academic purposes. They were encouraged to use both platforms to locate, summarize, and evaluate scholarly sources related to their selected topics, such as emotion regulation in learning contexts, AI in media literacy education, and social media and psychological well-being.

The research procedure comprised four steps:

1. Selection of a discipline-relevant research topic.
2. Search and retrieval of recent peer-reviewed sources via ChatGPT and Perplexity AI.
3. Evaluation of each tool's reliability, relevance, and citation transparency.
4. Preparation of short annotations (100–150 words) for the chosen articles.

Findings revealed that Perplexity AI offered more transparent and verifiable source references, often including direct DOI links, which significantly enhanced students' trust in the material [3]. ChatGPT, in contrast, was more effective for paraphrasing and stylistic enhancement but occasionally generated incomplete or non-verifiable citations as well as it was reported by *Daugirdas (2025)* [6]. By the end of the project, students demonstrated noticeable improvements in their academic search strategies, citation literacy, and critical reflection on AI-generated content.

HTTP OHTY

Students' reflective feedback indicated growing awareness of responsible AI use and the value of verifying sources through academic databases. Psychology students, in particular, noted that Perplexity facilitated access to specialized journals on cognitive and emotional processes, while journalism students emphasized its usefulness for retrieving interdisciplinary research in communication studies as well as psycholinguistic studies. These findings align with broader academic discourse emphasizing that AI-based tools can augment, but not replace, critical human judgment in academic writing [1], [4].

Overall, the integration of LLM-based tools into ESP courses supported a more inquiry-driven and reflective approach to writing. The comparative use of ChatGPT and Perplexity AI proved pedagogically effective in bridging linguistic, cognitive, and research gaps among students of psychology and related disciplines.

Conclusion. The conducted study demonstrated that integrating Large Language Models (LLMs) such as ChatGPT and Perplexity AI into academic writing instruction can significantly enhance students' engagement, critical thinking, and research literacy. Both tools serve complementary functions: ChatGPT supports text generation and stylistic improvement, while Perplexity AI excels in identifying credible, peer-reviewed sources and fostering transparent citation practices.

For psychology and journalism students, the pedagogical value of these AI tools lies not in automation but in augmentation, helping learners refine their search strategies, synthesize academic content, and evaluate source credibility. The 2024–2025 classroom experience confirmed that guided use of LLMs encourages students to reflect on ethical issues of AI-assisted writing, reinforcing their understanding of academic integrity and scholarly responsibility.

Didactic implications include: combining generative (ChatGPT) and retrieval-based (Perplexity AI) models in classroom or individual projects on academic writing; encouraging reflective journals or peer reviews to help students assess AI outputs critically; maintaining human oversight to ensure quality, originality, and ethical compliance in AI-assisted writing.

Future research should explore larger student cohorts and cross-disciplinary comparisons to further evaluate the role of LLMs in academic literacy development.

References

[1] K. Bista and R. Bista, "Leveraging AI tools in academic writing," American Journal of STEM Education, vol. 6, pp. 32–47, Feb. 2025, doi: 10.32674/9m8dq081.

[2] M. M. Boillos and N. Idoiaga, "Student perspectives on the use of AI-based language tools in academic writing," Journal of Writing Research, vol. 17, no. 1, pp. 155–170, Jun. 2025, doi: 10.17239/jowr-2025.17.01.06.

[3] J. Mugaanyi, L. Cai, S. Cheng, C. Lu, and J. Huang, "Evaluation of large language model performance and reliability for citations and references in scholarly writing: Cross-Disciplinary Study," Journal of Medical Internet Research, vol. 26, p. e52935, Mar. 2024, doi: 10.2196/52935.

[4] T. Mishra et al., "Use of large language models as artificial intelligence tools in academic research and publishing among global clinical researchers," Scientific Reports, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-81370-6.

[5] S. Ahn, "The transformative impact of large language models on medical writing and publishing: current applications, challenges and future directions," Korean Journal of Physiology and Pharmacology, vol. 28, no. 5, pp. 393–401, Aug. 2024, doi: 10.4196/kjpp.2024.28.5.393.

[6] J. T. Daugirdas, "Use of artificial intelligence in scientific writing. The danger of trying too hard to please," Hemodialysis International, Jun. 2025, doi: 10.1111/hdi.13270.

[7] "Perplexity for academic writing and research: Key tips for maximizing impact," Yomu AI Blog, 2025. [Online]. Available: https://www.yomu.ai/blog/perplexity-for-academic-writing-and-research-key-tips-for-maximizing-impact

НТБОНТУ

UDC 004.8:378:37.09:37.016:159.947

INTEGRATION OF AGENT-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GAME THEORY IN ADAPTIVE EDUCATIONAL SYSTEMS: DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF ETHICAL COOPERATION

Novikova H. V. [1] (hanna.novikova@ukma.edu.ua),
Denysenko I.V. [1] (i.denysenko@ukma.edu.ua),
Kharchenko O. O. [1] (o.kharchenko@ukma.edu.ua),
Novikov A.M. [2] (a.novikov@ispnpp.kiev.ua),
[1]National University of "Kyiv-Mohyla Academy" (Ukraine)
[2]Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of National Academy of Sciences of Ukraine(Ukraine)

The article proposes a system model for adaptive educational environments by integrating agent-based AI and game theory. Based on previous works on ethical challenges, prospects and opportunities for the use of AI, this work focuses on the formation of a socio-ethical context. The educational process is considered as a cyclical cooperative game with internal adaptation and optimization, which enhances the effectiveness of learning and promotes the development of cooperation, where the principles of Nash equilibrium encourage participants (students, teachers, administration) to internal strategies of cooperation and academic integrity. Agent-based AI acts as an impartial mediator, ensuring fair distribution of rewards and personalization. The study proves that such a combination creates the basis for the formation of ethical, flexible and self-learning systems that harmonize technological efficiency with human autonomy and transparency of management.

Keywords: artificial intelligence, agent-based systems, game theory, adaptive learning, gamification, ethics, academic integrity.

Introduction

The development of artificial intelligence (AI) research in education in recent years has confirmed that the automation of educational processes should go beyond technical efficiency and encompass the socio-ethical context. Previous works of the authors were devoted to the analysis of the prospects for the use of AI in educational and scientific processes [1, 2] and the modeling of educational interaction using game theory and serious games [3].

This paper develops the previously proposed concept, moving from technical solutions to a systemic approach, where AI, teachers, students and administration act as interacting agents of a single adaptive ecosystem.

The aim of the study is to show that the integration of agent-based AI and game theory creates the prerequisites for the formation of an educational environment in which cooperation, transparency and academic integrity become not external requirements, but internal strategies of participants' behavior.

Theoretical and conceptual foundations

Game theory as a tool for educational modeling

The model of the educational process can be viewed as a repeated cooperative game in which the gain of each participant depends on collective interaction. The application of the principles of Nash equilibrium [4] allows us to determine stable behavioral strategies that are simultaneously beneficial for all parties.

The game-theoretic approach makes it possible to predict how changing the rules or reward system affects the motivation and participation of students, teachers and the management of the educational institution. Unlike classical gamification, which focuses on external incentives, this model assumes intrinsic motivation through the realization of shared benefits.

As shown in previous studies [1, 2, 3], this approach allows combining educational goals with the development of cooperation and critical thinking skills, which is also confirmed by modern algorithmic studies of Nash equilibrium [5].

Agent-based artificial intelligence as a mediator of interaction

The use of agent-based AI in education opens up opportunities for deep personalization and simultaneous management of group processes. Intelligent agents are able to track user actions, adjust the

complexity of tasks, adapt learning scenarios, and establish an algorithmic balance between individual and collective interests.

AI acts as a mediator between all participants in the educational process: students, teachers, and administration. Its functions include monitoring activity, ensuring fair distribution of rewards, and preventing passive participation ("free-riding") [6].

In addition, an important aspect is the explainability of algorithms - participants must understand the logic of changes in the learning environment [7]. Similar approaches have already demonstrated effectiveness in modern adaptive educational platforms that use machine learning elements to personalize content and support the user.

Studies show that the integration of AI with gamification contributes to increased motivation and the formation of team interaction skills [8, 9].

The role of teachers and administration

The effectiveness of adaptive systems depends not only on technology, but also on the involvement of teachers and administrators. Teachers should be co-authors of educational scenarios, ensuring the pedagogical feasibility and humanistic orientation of AI models. Administration is the organizer of the environment in which innovations are implemented transparently and ethically.

The involvement of school or university management should be aimed at supporting teachers and students, and not at the formal implementation of digital tools or commercialization of technologies. The creation of an open governance system strengthens trust in AI and prevents corruption risks, which is consistent with the recommendations of international organizations on the ethical implementation of agent-based AI in education [10].

Ethical aspects and risks

The widespread use of AI requires taking into account a number of risks: algorithmic bias, loss of autonomy of thought, energy inefficiency of computations. As emphasized in previous works, the importance of academic integrity and combating the abuse of AI is a complex task that requires the cooperation of all participants in the educational process [1, 11]. As emphasized by the European Commission, human-centeredness, fairness and explainability should remain the basic principles of the development of educational AI systems [12].

It is important to maintain a balance between automation and human control: even the most advanced algorithm cannot replace pedagogical intuition, moral judgment and personal interaction. AI should support the teacher in making decisions, and not turn learning into a formal assessment process.

Conclusions

Building on previous research, this work expands the understanding of the role of AI in education: moving from a tool for individual adaptation to a mediator of collective development. Combining agent-based AI and game theory forms the basis for creating ethical, flexible, and self-learning educational systems.

Such systems are capable of ensuring a harmonious combination of technological efficiency, human autonomy and management transparency. Further research should focus on the experimental implementation of the proposed model in educational institutions and the development of metrics for evaluating the level of cooperation and trust in integrated educational environments.

References

1. Новікова Г. В., Денисенко І. В., Новіков А. М. Виклики пов'язані з використанням штучного інтелекту у науці та освіті. Матеріали конференції «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій». Київ, 2024, С. 174–175. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.17391813 [Accessed: October 19, 2025].

2. Novikova H. V., Denysenko I. V., Kharchenko O. O., Novikov A. M. Perspectives of Using Artificial Intelligence in the Educational and Scientific Process. Information Technologies and Automation – 2024. Odesa, pp. 331–333. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.16936850 [Accessed: October 19, 2025].

3. Novikova H. V., Denysenko I. V., Kharchenko O. O., Novikov A. M. Artificial Intelligence, Game Theory, Gamification and Serious Games as Tools for Optimizing the Educational and Scientific Process. Computer Games and Multimedia as an Innovative Approach to Communication – 2025, pp. 31–33. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.17333281 [Accessed: October 19, 2025].

4. Nash J. Non-Cooperative Games. Annals of Mathematics, 1951, 54(2), 286–295. Available: https://www1.cmc.edu/pages/faculty/MONeill/math188/papers/Nash3.pdf [Accessed: October 19, 2025].
5. Li H. et al. A survey on algorithms for Nash equilibria in finite normal-form games. Computer Science Review, 2024, 51, 100613. Available: https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100613 [Accessed: October 19, 2025].
6. Gao Y. et al. Feasibility and Usability of an AI-Powered Gamification Intervention for Enhancing Physical Activity Among College Students. JMIR Serious Games, 2025, 13, e65498. Available: https://games.jmir.org/2025/1/e65498 [Accessed: October 19, 2025].
7. Adadi A., Berrada I. Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). IEEE Access, 2018, 6, 52138–52160. Available: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052 [Accessed: October 19, 2025].
8. Lodge, M. J. The evolving risk to academic integrity posed by generative artificial intelligence: Options for immediate action. TEQSA. 2024. Available: https://www.teqsa.gov.au/sites/default/files/2024-08/evolving-risk-to-academic-integrity-posed-by-generative-artificial-intelligence.pdf [Accessed: October 19, 2025].
9. Facchino, Antonio Pio, et al. The Use of serious games for psychological education and training: a systematic review. Frontiers in Education, 2025, 10, 1511729. Available: https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2025.1511729/full [Accessed: October 19, 2025].
10. Deterding S., Khaled R., Nacke L., Dixon D. Gamification: Toward a Definition. CHI Workshop on Gamification, Vancouver, 2011. Available: http://gamification-research.org/wp-content/uploads/2011/04/CHI11_Workshop_Gamification.pdf [Accessed: October 19, 2025].
11. UNESCO. Leveraging Agentic AI for Smarter Decision-Making in Education. 2024. Available: https://www.capgemini.com/news/client-stories/enabling-evidence-based-education-decision-making-with-agentic-ai/ [Accessed: October 19, 2025].
12. European Commission. Ethics Guidelines for Trustworthy AI. Brussels, 2019. Available: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai [Accessed: October 19, 2025].

STEAM EDUCATION THROUGH MODERN TECHNOLOGIES: INTEGRATION OF TINKERCAD.COM AND ARDUINO IDE IN VIRTUAL AND REAL TRAFFIC LIGHT MODELING

Zakariashvili M. Z. (mariam.zaqariashvili@tesau.edu.ge)
Iakob Gogebashvili Telavi State University (Georgia)

Abstract

One of the most significant challenges in modern education is the integration of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) into the learning process. It is essential to introduce STEAM education from the early stages of schooling, particularly through computer technology lessons.

This article explores the use of **Tinkercad.com** and **Arduino IDE** in traffic light modeling, both in virtual and real-world environments. The presented approach demonstrates how pupils in elementary school (grades V–VI) acquire knowledge in the fundamentals of electronics, programming, and design. The study reveals that Tinkercad's simulation modeling, visual block-based programming, and Arduino's real coding effectively combine theory and practice, thereby enhancing motivation and fostering creative engagement in STEAM subjects.

Keywords: STEAM Education, Tinkercad, Arduino IDE, Visual Block Programming, Traffic Light Modeling.

Introduction

The rapid advancement of the digital era has created a new demand within the educational system — the integration of technology into teaching and learning processes. **STEAM education** (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) directly responds to this need by promoting an interdisciplinary approach that combines scientific reasoning with creatively structured activities [4–7]. Modern electronic platforms such as **Tinkercad.com** and **Arduino IDE** provide unique opportunities to simulate real technological processes and conduct practical experiments in a safe, simple, and interactive environment.

Within the framework of this study, we examine how the integration of these two platforms can be applied through the example of **traffic light modeling** and **visual/block programming**, enabling pupils to explore electronic circuits, the principles of synchronized lighting, and the logic of coding.

Research Objectives:

- To demonstrate the potential of STEAM education through the use of modern technologies;
- To describe the effectiveness of integrating **Tinkercad** and **Arduino IDE** in the process of uilding a traffic light model;
- To illustrate how virtual simulation can be transformed into a real engineering product;
- To encourage hands-on learning in technological fields.

Methodology

The research is based on **experimental-simulation modeling** and consists of two main stages:

1. **Virtual Modeling in Tinkercad.com** [1–2]

• pupils design an electronic circuit that includes an **Arduino UNO**, three **LED lights** (red, yellow, and green), and appropriate **resistors**.

• **Visual block-based coding** is used to define the sequence and timing intervals for the illumination of the lights

• Through simulation, pupils can quickly identify errors and make necessary adjustments to the model.

2. **Real Modeling in Arduino IDE** [3], [8]

• Pupils replicate the Tinkercad model on a physical Arduino board.

• The corresponding **text-based code** derived from the visual block programming is applied to operate the real circuit.

Analysis and Discussion

The integration of **Tinkercad** and **Arduino IDE** enables pupils to experience the complete development process — from concept to tangible outcome.

Through the use of **Tinkercad**, pupils learn the principles of design and circuit construction within a digital environment, which reduces the likelihood of errors and enhances experimental confidence. **Arduino IDE**, in turn, gives this process real technological significance — pupils build a physical device, learn coding, and understand the mechanisms of feedback and control.

Such a learning structure promotes:

- Interdisciplinary thinking;
- Development of problem-solving skills;
- Strengthening of creative approaches within technical disciplines.

Result:

The traffic light successfully replicates a real-life cycle — alternating red, yellow, and green lights at defined time intervals.

Conclusion

The study demonstrated that the **Tinkercad + Arduino** approach is highly effective at the elementary education level. This method promotes the creation of specific STEAM-based products, diversifies STEAM activities, and supports their practical implementation. Through this approach, pupils not only learn the fundamentals of basic electronics and programming but also develop creative, research,

and engineering skills. The transition from virtual simulation to a real physical device establishes a continuous learning cycle that fully meets the demands of **21st-century education**.

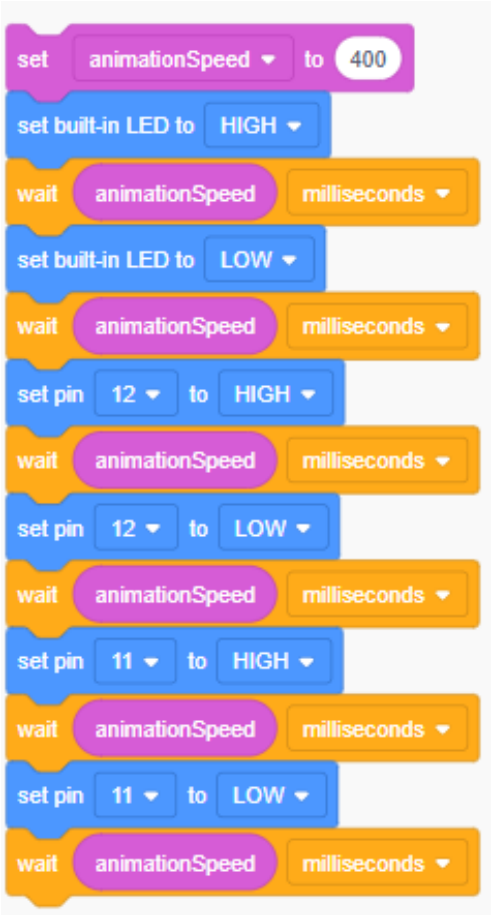


Figure 1. Visual block coding

```
int animationSpeed = 0;
void setup()
{
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop()
{
  animationSpeed = 400;
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  delay(animationSpeed);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
  delay(animationSpeed);
  digitalWrite(12, HIGH);
  delay(animationSpeed);
  digitalWrite(12, LOW);
  delay(animationSpeed);
  digitalWrite(11, HIGH);
  delay(animationSpeed);
  digitalWrite(11, LOW);
  delay(animationSpeed);
}
```

Figure 2. Encoding text

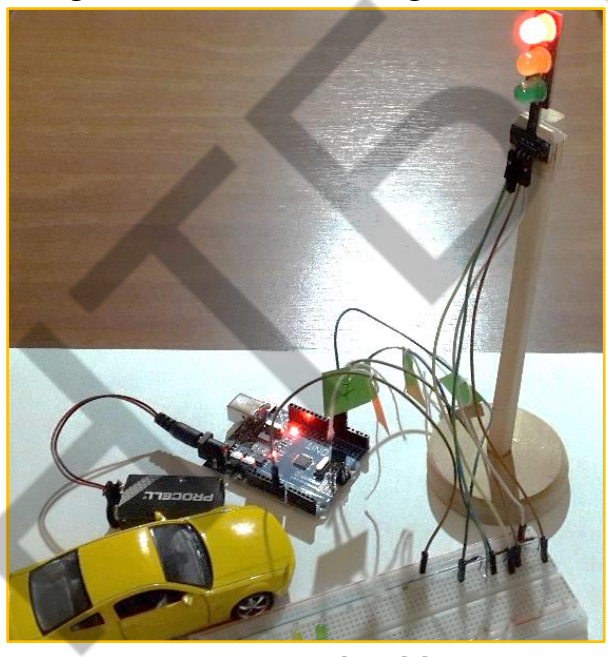


Figure 3. Real model

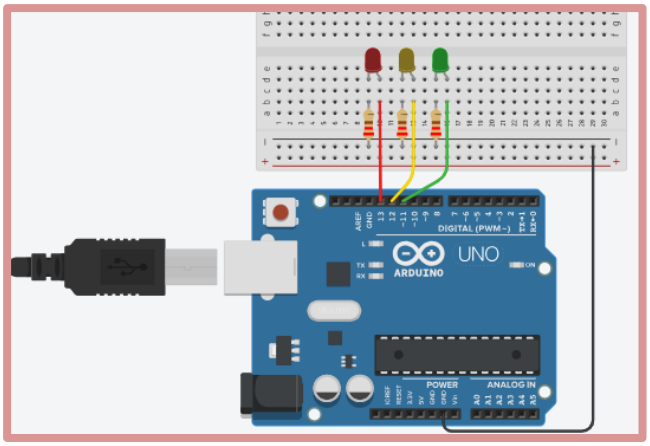


Figure 4. Virtual model

References

[1] Autodesk. *Tinkercad – Circuits Overview*. Retrieved from https://www.tinkercad.com
[2] Arduino. *Arduino Tutorials.* Retrieved from https://docs.arduino.cc/tutorials/

[3] Arduino Projects Book – Smart Home Chapter *(September 2012). Designed, printed, and bound in Torino, Italy. Retrieved from https://www.eitkw.com/wp-content/uploads/2020/03/Arduino_Projects_Book.pdf*
[4] Becker, K., & Park, K. (2011). *Effects of integrative approaches among STEM subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 12(5–6), 23–37.
[5] Ministry of Education and Science of Georgia. *STEAM Project.* Retrieved from https://math.ge/tele-skolis-gakvetilebi/ and https://math.ge/wp-content/uploads/2023/04/Steam-Complex-work-1.pdf
[6] National Center for Teacher Professional Development. *(2024). Arduino Learning Guide: 20 Projects. Part I, Part II.* Retrieved from https://educationhouse.ge/page/313
[7] National Center for Teacher Professional Development. *E-House of Education – "Chkhrikadela."* Journals and reading materials: *"STEM Education."* Retrieved from https://educationhouse.ge/page/313
[8] Tabatadze, Z., & Todua, T. (2019). *Arduino: A Practical Guide for Beginners.* Georgian Technical University, Tbilisi.

УДК 37.02:37.091.12:004.9:81'243

ІНФОРМАЦІЙНО-ЦИФРОВИЙ ПІДХІД У ФОРМУВАННІ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ТА ОСВІТНІ ПЕРСПЕКТИВИ

Алексахіна Т. О. (alexx0077@ukr.net)
Сумський державний університет (Україна)

У тезах обґрунтовано інформаційно-цифровий підхід як методологічну основу формування іншомовної компетентності магістрів нефілологічних спеціальностей. Показано його роль у розвитку комунікативних та рефлексивних умінь, підтримці самонавчання й академічної мобільності. Зроблено висновок, що цей підхід спрощує модернізацію мовної освіти та зміщує акценти від засвоєння знань до практичного використання мови у професійних і цифрових контекстах.

ВСТУП

Сучасні трансформації вищої освіти відбуваються в умовах глибокої цифровізації, яка охоплює всі рівні освітнього процесу. Цей процес створює нові можливості для навчання, проте водночас актуалізує проблему переосмислення традиційних підходів до підготовки здобувачів освіти. Особливо гостро це питання постає у контексті іншомовної підготовки магістрів нефілологічних спеціальностей. Для цієї категорії студентів іноземна мова не є кінцевою метою, як у випадку з філологами, а виступає інструментом академічної мобільності, професійної діяльності та міжнародної інтеграції. Проте існуючі моделі часто зосереджені на відтворенні лінгвістичних знань, що не відповідає сучасним вимогам. У такій ситуації інформаційно-цифровий підхід постає методологічною основою, яка здатна поєднати класичні принципи іншомовної освіти з можливостями сучасних цифрових технологій.

Метою представленої роботи є обґрунтування інформаційно-цифрового підходу як методологічної основи формування іншомовної компетентності магістрів нефілологічних спеціальностей, визначення його потенціалу для модернізації навчальних програм та забезпечення відповідності глобалізованому цифровому середовищу.

Теоретичні засади

Дослідження світових [2-4; 6-8] і вітчизняних науковців [5; 11-13] та ін. засвідчують, що іншомовна компетентність є багатовимірним явищем, у структурі якого виділяють лінгвістичний, комунікативний, соціокультурний, прагматичний і рефлексивний компоненти [3]. Зарубіжні праці акцентують на комунікативній та інтеркультурній складових [6; 10], тоді як українські науковці все більше підкреслюють професійно орієнтовані аспекти [1; 9]. В обох випадках чітко простежується тенденція до інтеграції цифрових практик як невід'ємної складової іншомовної підготовки.

Сучасний науковий дискурс засвідчує, що цифрові технології не лише розширюють методичний арсенал викладача, а й змінюють розуміння іншомовної компетентності. Якщо раніше основна увага приділялася знанню граматики й лексики, то нині ключового значення набувають уміння застосовувати мову в цифрових середовищах, дотримуючись норм цифрового етикету, академічної доброчесності та культурної толерантності.

Результати

Інформаційно-цифровий підхід визначається як інтегративна методологія, що поєднує педагогічні принципи іншомовної підготовки з цифровими технологіями, спрямованими на підтримку навчання, розвиток самостійності студентів та розширення можливостей професійної комунікації. Він передбачає:

- розвиток комунікативних умінь через участь у цифрових спільнотах, онлайн-дискусіях, міжнародних віртуальних проєктах;
- формування рефлексивних умінь завдяки використанню електронних портфоліо, адаптивних платформ і систем самооцінювання;
- підтримку самоосвіти та професійного зростання через MOOCs, спеціалізовані мобільні застосунки та інтерактивні симуляції;
- засвоєння норм цифрового етикету, що стають важливою частиною іншомовної компетентності у глобалізованому світі.

Узагальнені характеристики підходу свідчать, що він не обмежується роллю допоміжного інструмента, а формує нову методологічну основу для модернізації іншомовної підготовки.

Інформаційно-цифровий підхід демонструє очевидні переваги: він інтенсифікує навчання, розширює освітній простір, сприяє індивідуалізації та автономності студентів, забезпечує зв'язок між мовною і професійною підготовкою. Водночас існують і виклики: ризик формалізації комунікації у разі надмірного використання цифрових ресурсів, нерівний доступ до сучасних технологій, потреба у формуванні культури відповідального користування штучним інтелектом.

Зроблені висновки дозволяють стверджувати, що інформаційно-цифровий підхід є перспективною методологією, яка спрощує модернізацію іншомовної підготовки магістрів нефілологічних спеціальностей та зміщує акценти у викладанні іноземної мови від формального засвоєння знань до практичного використання у професійних та академічних контекстах. Його подальший розвиток передбачає створення нових освітніх програм, що поєднують іноземну мову з цифровими практиками й фаховим контентом, а також розроблення систем оцінювання, які враховують цифрову взаємодію та рефлексивність студентів.

Список використаної літератури

[1] Aleksakhina, T., & Nefedchenko, O.I. (2022). Formation of students' dialogue skills during learning a foreign language. *Інноваційна педагогіка, 55*(3), 182-186.

[2] Bachman, L. F., & Palmer, A. S. (2010). *Language assessment in practice: Developing language assessments and justifying their use in the real world*. Oxford University Press.

[3] Byram, M. (1997). *Teaching and assessing intercultural communicative competence*. Multilingual Matters.

[4] Canale, M., & Swain, M. (1980). Theoretical bases of communicative approaches to second language teaching and testing. *Applied Linguistics, 1*(1), 1–47. https://doi.org/10.1093/applin/I.1.1

[5] Dobrovolska, N. L. (2014). Computer-integrated technologies in the process of foreign languages teaching for bachelors in computer sciences. *Information Technologies and Learning Tools, 41*(3), 168-177. https://doi.org/10.33407/itlt.v41i3.1043

[6] Kramsch, C. (2013). *Culture in foreign language teaching*. Routledge.

[7] Levy, M. (2009). Technologies in use for second language learning. *Modern Language Journal, 93*(s1), 769–782. https://doi.org/10.1111/j.1540-4781.2009.00972.x

[8] Little, D. (2007). Language learner autonomy: Some fundamental considerations revisited. *Innovation in Language Learning and Teaching, 1*(1), 14–29. https://doi.org/10.2167/illt040.0

[9] Nefedchenko, O., Aleksakhina, T., & Hladchenko, O. (2025). Development of dialogic speech in students of non-linguistic specialties in foreign language classes. *Педагогічна інноватика: сучасність та перспективи, 7*, 95-99 https://doi.org/10.32782/ped-uzhnu/2024-7-17

[10] Savignon, S. J. (2017). Communicative competence. In J. Liontas (Ed.), *The TESOL Encyclopedia of English Language Teaching* (pp. 1–7). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118784235.eelt0047

[11] Дроздова, В. В., Рудніцька, К. В., & Росквас, І. А. (2023). Інноваційні технології викладання іноземних мов в умовах зростаючого впливу технологій штучного інтелекту на освітні процеси. *Академічні візії,* 26. https://doi.org/10.5281/zenodo.10257489

[12] Жигунова В.О. (2018). Структурна модель формування іншомовної професійної компетентності майбутніх фахівців з міжнародної інформації. *Молодий вчений, 2018(7),* 20. Retrieved from http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2018/7/20.pdf

[13] Зварич І. (2024). Штучний інтелект і вивчення іноземної мови. *Молодь і ринок, 2* (222), 12-17. https://doi.org/10.24919/2308-4634.2024.300082

УДК 004.773.5:37.018.4](06)

ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ GOOGLE MEET ДЛЯ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ

Безноско І.С. (boiko.i@udpu.edu.ua)

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Україна)

Сучасна система освіти переживає активну цифрову трансформацію, яка зумовлена розвитком інформаційно-комунікаційних технологій та глобальними викликами, зокрема пандемією COVID-19 і воєнними подіями. В таких умовах онлайн-навчання стало невід'ємною частиною освітнього процесу, а використання платформ для відеоконференцій, зокрема Google Meet, набуло широкого поширення.

Google Meet — це сервіс для проведення відеоконференцій, розроблений компанією Google, який інтегрується з іншими продуктами Google Workspace (Gmail, Google Calendar, Google Classroom, Google Drive). Платформа дозволяє організовувати навчальні заняття в режимі реального часу, підтримує текстовий чат, демонстрацію екрану, спільну роботу з документами та інтерактивними матеріалами[1].

Переваги використання Google Meet у навчальному процесі.

- Простота доступу та використання (достатньо мати обліковий запис Google).
- Можливість проведення занять для великої кількості учасників (до 250 у стандартних версіях).
- Інтеграція з Google Classroom, що дозволяє організовувати повний цикл навчання: від планування занять до оцінювання результатів.
- Підтримка мобільних пристроїв, що забезпечує гнучкість і доступність.
- Можливість запису занять (у розширених версіях), що дозволяє студентам повертатися до матеріалу.

Виклики та обмеження.

Попри численні переваги, використання Google Meet супроводжується певними труднощами:

• нестабільність інтернет-з'єднання у студентів та викладачів;
• обмежений час сесії у безкоштовній версії;
• складнощі з підтриманням дисципліни та контролю активності учасників;
• відсутність повноцінного офлайн-спілкування, що впливає на розвиток комунікативних навичок [2].

Освітній потенціал.

Google Meet дає можливість організовувати інтерактивні лекції, семінари, консультації, групові проєкти, дистанційні захисти робіт. Використання інтегрованих сервісів (Jamboard, Google Docs, Google Slides) сприяє розвитку колаборативного навчання, формуванню цифрових компетентностей та підвищенню мотивації студентів.

Використання Google Meet у процесі онлайн-навчання значно розширює можливості освітнього середовища, забезпечує безперервність навчального процесу та підвищує його ефективність. Для досягнення максимального результату доцільно поєднувати онлайн-

інструменти з традиційними методами навчання, враховуючи технічні та психологічні аспекти роботи в дистанційному форматі.

Список використаної літератури

[1] Зайцева, С. С. *Платформа Google Meet в організації онлайн-навчання з дисципліни "Українська мова як іноземна"*. Матеріали семінару-наради, Івано-Франківськ, 06 травня 2021 р. СумДУ
[2] «Порівняльний аналіз можливостей використання інструментарію вебінарорієнтованих платформ Zoom, Google Meet та Microsoft Teams в онлайн-навчанні». Журнал *Інформаційні технології і засоби навчання*.

УДК 004.8

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ІННОВАЦІЙНОГО ЗАСОБУ НАВЧАННЯ ІНФОРМАТИКИ В ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ

Березюк М.А., Жуковський С.С. (maxminerus1@gmail.com)
Житомирський державний університет імені Івана Франка (Україна)

У тезі розглянуто можливості використання штучного інтелекту (ШІ) як інноваційного засобу підвищення ефективності навчання інформатики. Визначено методичні аспекти впровадження інтелектуальних технологій у навчальний процес та їхній вплив на розвиток пізнавальної активності учнів.

Штучний інтелект поступово стає невід'ємною складовою сучасного освітнього середовища[1; 2]. Його інтеграція у навчальний процес зумовлена потребою формування нових цифрових компетентностей, розвитку критичного мислення й адаптації учнів до умов інформаційного суспільства. Уроки інформатики є найбільш сприятливим середовищем для використання ШІ, оскільки поєднують теоретичні знання з практичним застосуванням інформаційних технологій.

Основною проблемою є недостатня методична підготовка педагогів до використання інструментів штучного інтелекту[3]. У ході дослідження встановлено, що інтеграція таких технологій потребує поетапного впровадження — від ознайомлення учнів з принципами роботи ШІ до створення власних проєктів із використанням алгоритмів машинного навчання. Зокрема, ефективним є застосування хмарних сервісів та інтелектуальних інструментів (Google Teachable Machine, Scratch з елементами AI-розширень, ChatGPT), які дозволяють створювати інтерактивні завдання та персоналізовані підказки для здобувачів освіти[4].

Метою впровадження ШІ у навчання інформатики є не лише підвищення якості знань, але й розвиток у здобувачів освіти вміння взаємодіяти з інтелектуальними системами, оцінювати результати їхньої роботи та усвідомлювати етичні аспекти використання технологій. Важливою складовою є також підготовка вчителів до роботи з інструментами штучного інтелекту через систему післядипломної освіти, онлайн-курси та науково-практичні тренінги.

Отже, використання ШІ в навчанні інформатики сприяє формуванню нової педагогічної парадигми, де учень виступає не пасивним споживачем інформації, а активним учасником цифрового освітнього простору. Ефективне застосування таких технологій вимагає поєднання педагогічних і технічних знань, розроблення методичних рекомендацій та забезпечення академічної доброчесності при використанні генеративних систем.

Висновки. Штучний інтелект є перспективним інструментом удосконалення навчального процесу з інформатики. Його застосування забезпечує індивідуалізацію навчання, розвиток творчого потенціалу учнів і формування ключових цифрових компетентностей. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методик оцінювання ефективності інтеграції ШІ у навчальні програми та створення відкритих електронних ресурсів для педагогів[5].

НТБ ЖДУ

Список використаної літератури:

[1] Л. Куцак, “Штучний інтелект у сучасній освіті: перспективи застосування та виклики,” Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання, № 1, с. 45–52, 2023.

[2] UNESCO, AI and Education: Guidance for Policy-makers. Paris: UNESCO Publishing, 2022.

[3] Н. Козій, “Штучний інтелект як інноваційна технологія в освітньому процесі,” Збірник наукових праць Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія «Педагогічні науки», № 83, с. 115–122, 2022.

[4] С. Паламар, М. Науменко, “Штучний інтелект в освіті: використання без порушення академічної доброчесності,” Освітній дискурс, № 3, 2024.

[5] J. Holmes, M. Bialik, and C. Fadel, Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.

УДК 004.67:378.147

ВИКОРИСТАННЯ BIG DATA ТА LEARNING ANALYTICS У ПРОГРАМНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ ОСВІТНІХ ПЛАТФОРМ

Блох Д. С., Кобзєв В. Г. (denys.blokh.cpe@nure.ua, volodymyr.kobziev@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

*У тезах розглянуто актуальні аспекти впровадження технологій **Big Data** та **Learning Analytics** у програмну інженерію сучасних освітніх платформ. Проаналізовано вплив цифровізації освітнього середовища на формування нових підходів до збору, зберігання та аналізу великих масивів даних, що відображають навчальну активність користувачів. Особливу увагу приділено архітектурним рішенням, які забезпечують масштабованість, гнучкість та ефективність оброблення освітніх даних, а також інтеграції аналітичних модулів у системи управління навчанням (LMS). Показано, що використання Learning Analytics сприяє персоналізації освітніх траєкторій, підвищенню якості навчального процесу та формуванню доказової бази для прийняття управлінських рішень. Окреслено ключові виклики, пов’язані із забезпеченням безпеки персональних даних і підготовкою кваліфікованих кадрів у сфері освітньої аналітики. Визначено перспективи подальших досліджень, які полягають у поєднанні технологій Big Data, Learning Analytics і штучного інтелекту для створення адаптивних, етично безпечних та високоефективних цифрових навчальних середовищ.*

Інтенсивна цифровізація освітнього простору, що відбувається у глобальному масштабі, зумовила докорінну трансформацію форм і методів надання освітніх послуг. Масовий перехід закладів освіти до онлайн-формату спричинив суттєве збільшення обсягів різнотипних даних, які відображають навчальну активність, індивідуальні траєкторії здобувачів та динаміку результатів навчання. Така концентрація інформаційних потоків потребує застосування високопродуктивних технологій збирання, зберігання та комплексного аналізу, що традиційно окреслюється категорією Big Data.

У цьому контексті особливої ваги набуває концепція Learning Analytics, орієнтована на системне виявлення закономірностей у великих масивах освітніх даних і на розроблення моделей, здатних забезпечити персоналізацію навчання, оптимізацію управлінських рішень та підвищення ефективності освітніх процесів. Метою представлених тез є наукове обґрунтування значення технологій Big Data та Learning Analytics для удосконалення архітектури й функціональних характеристик сучасних навчальних онлайн-платформ, а також визначення перспектив їх подальшої інтеграції в інженерні рішення програмного забезпечення освітнього призначення[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

У науковому дискурсі останнього десятиліття проблематика використання великих даних в електронному навчанні набула системного характеру. У працях зарубіжних і вітчизняних дослідників акцентовано на формуванні нової парадигми освітньої аналітики, яка поєднує методи інтелектуального аналізу даних, машинного навчання та хмарних обчислень [0;0]. Концепція Big Data у сфері e-learning розглядається не лише як технологічна основа оброблення великих обсягів

інформації, а й як підґрунтя для розроблення адаптивних освітніх середовищ, здатних реагувати на індивідуальні потреби здобувачів освіти в режимі реального часу.

Особливу увагу науковці приділяють інструментам Learning Analytics, призначеним для моніторингу та прогнозування освітніх траєкторій. У роботах Arranz García O та Шидловський А. П. доведено, що аналітичні моделі дозволяють своєчасно виявляти ризики академічної неуспішності, оптимізувати навчальні плани та забезпечувати адресну підтримку студентів. Ці результати підкріплюють актуальність розроблення програмних рішень, що інтегрують алгоритми аналізу поведінкових та когнітивних показників у структуру освітніх платформ [1;2].

На практичному рівні провідні системи дистанційного навчання - зокрема Moodle, Human, Canvas та Open edX – вже впроваджують спеціалізовані модулі збору та візуалізації даних. Moodle, наприклад, використовує плагіни типу Learning Analytics API для відстеження показників активності та прогнозування результатів, тоді як Canvas пропонує інструментарій Canvas Data Services для створення гнучких моделей поведінкової аналітики. Платформа Human інтегрує аналітичні панелі з підтримкою алгоритмів машинного навчання, що дає змогу в режимі реального часу коригувати індивідуальні траєкторії навчання. Ці приклади демонструють перехід від суто контентно-орієнтованих рішень до комплексних інженерних підходів, у яких Big Data та Learning Analytics виступають ключовими чинниками підвищення якості й персоналізації освітнього процесу [0;0].

Розроблення та експлуатація освітніх платформ, здатних ефективно працювати з великими даними, передбачають застосування високорівневих архітектурних рішень, що забезпечують масштабованість, гнучкість та стійкість до зростання навантаження. Сучасні підходи до архітектури таких систем ґрунтуються на використанні хмарних обчислювальних середовищ і мікросервісної організації програмного забезпечення, яка дає змогу розподіляти обчислювальні ресурси між незалежними компонентами та оперативно модифікувати окремі функціональні блоки без порушення роботи всієї платформи. Для оброблення потокових даних, що надходять у режимі реального часу від великої кількості користувачів, набувають поширення моделі потокової аналітики, які дозволяють здійснювати швидке виявлення закономірностей та оперативне реагування на поведінкові зміни користувачів.

Технологічна інфраструктура, на якій базуються системи Big Data у навчальному середовищі, включає широкий спектр інструментів збору, зберігання та комплексної обробки інформації. Серед найбільш поширених рішень – фреймворки Hadoop та Apache Spark, що забезпечують паралельну обробку даних у кластерних конфігураціях, а також нереляційні бази даних типу NoSQL (MongoDB, Cassandra), призначені для роботи з гетерогенними наборами навчальних даних. Важливою складовою є системи візуалізації, такі як Tableau або Grafana, які дають можливість у наочній формі представляти результати аналітики викладачам, адміністраторам та здобувачам освіти, підтримуючи процес прийняття управлінських рішень.

Інтеграція аналітичних модулів у структуру систем управління навчанням (LMS) вимагає створення спеціалізованих інтерфейсів прикладного програмування (API) та використання механізмів єдиного доступу до даних (Single Sign-On), що гарантують безпечну та узгоджену взаємодію аналітичного ядра з навчальним контентом. У практиці провідних платформ - Moodle, Human, Canvas - такі модулі реалізуються у вигляді окремих плагінів або мікросервісів, здатних автоматично синхронізувати навчальні події з аналітичними сховищами, забезпечуючи безперервний зворотний зв’язок між користувачем і системою. Подібні інженерні рішення формують технологічну основу для впровадження адаптивних алгоритмів навчання, підвищуючи ефективність і персоналізованість освітнього процесу[0].

Використання технологій Big Data та Learning Analytics у програмній інженерії освітніх платформ створює передумови для якісно нового рівня організації навчального процесу. Завдяки можливості комплексного аналізу великих масивів освітніх даних підвищується точність прогнозування академічних результатів, забезпечується індивідуалізація навчальних траєкторій і розширюється потенціал адаптивних методик викладання. Аналітичні моделі дозволяють своєчасно виявляти ризики відставання, оптимізувати структуру курсів, а також формувати персоналізовані рекомендації для кожного здобувача, що суттєво підвищує ефективність освітнього процесу та сприяє підвищенню рівня мотивації.

Водночас впровадження таких технологій супроводжується низкою ризиків і обмежень. Передусім ідеться про безпеку та конфіденційність персональних даних, оскільки оброблення

великих обсягів інформації передбачає збирання чутливих відомостей про користувачів. Порушення принципів етичного використання даних може призвести до зловживань, формування упереджених алгоритмів та порушення прав учасників освітнього процесу. Особливої уваги потребує розроблення комплексних механізмів захисту даних і чітке нормативно-правове регулювання, яке має визначати межі використання аналітичних результатів та відповідальність за їхнє неналежне застосування.

Ще одним важливим викликом є дефіцит кваліфікованих кадрів, здатних поєднати компетентності в галузі програмної інженерії та освітньої аналітики. Для повноцінного функціонування систем Big Data необхідні фахівці, які володіють методами машинного навчання, статистичного моделювання та розроблення масштабованих програмних рішень, а також розуміють педагогічну специфіку та принципи організації навчального процесу. Подолання цього кадрового розриву потребує цілеспрямованих програм підготовки, інтеграції відповідних курсів у навчальні плани університетів та створення міждисциплінарних дослідницьких команд, що забезпечить стале й безпечне впровадження аналітичних технологій у сучасну освіту.

Висновки. Застосування технологій Big Data та Learning Analytics у програмній інженерії освітніх платформ засвідчує принципово новий етап еволюції онлайн-освіти, у межах якого дані перетворюються на стратегічний ресурс підвищення якості навчального процесу. Комплексне використання інструментів інтелектуального аналізу великих масивів інформації дає змогу не лише підвищити рівень персоналізації навчання, а й формувати доказову базу для управлінських рішень, спрямованих на оптимізацію освітніх програм та удосконалення педагогічних практик. Розроблення архітектурних рішень, здатних забезпечити масштабованість і стійкість до зростання інформаційного навантаження, водночас демонструє нові підходи до програмної інженерії систем дистанційного навчання.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленні інтеграції аналітичних технологій з алгоритмами штучного інтелекту, що відкриває можливості для автоматизованого прогнозування успішності, розроблення адаптивних навчальних середовищ і створення персональних освітніх маршрутів у режимі реального часу. Актуальним є також удосконалення механізмів захисту персональних даних та вироблення етичних стандартів їх використання, що забезпечить довіру учасників освітнього процесу до новітніх аналітичних інструментів. У підсумку, поєднання Big Data та Learning Analytics із технологіями штучного інтелекту формує потужне підґрунтя для подальшої трансформації цифрової освіти, забезпечуючи її стале зростання, гнучкість і високу результативність у глобальному масштабі.

Список використаної літератури

[1] Шидловський А. П. *Дослідження та розробка аналітичної системи результатів тестування здобувачів освіти* : магістерська робота; керівник В. А. Литвинов. Київ : Національний університет харчових технологій, 2023. 83 с. Дата звернення 13 жовтня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/18116d40-3be8-4366-8a1b-306d3f4b576d/content

[2] Arranz García O., Alonso Secades V. *Big Data & Learning Analytics: a potential way to optimize e-learning technological tools* : зб. наук. праць. Proceedings of the IADIS International Conference e-Learning 2013, 22–26 July 2013, Prague. Lisbon : IADIS Press, 2013. С. 135–142. Дата звернення 13 жовтня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED562284.pdf

[3] Muslim A., Chatti M., Guesmi M. *Open Learning Analytics: a systematic literature review and future perspectives* : препринт / arXiv:2303.12395. 2023. Дата звернення 13 жовтня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://arxiv.org/abs/2303.12395

[4] Yuan J., Qiu X., Wu J., Guo J., Li W., Wang Y. *Integrating behavior analysis with machine learning to predict online learning performance: a scientometric review and empirical study* : препринт / arXiv:2406.11847. 2024. Дата звернення 13 жовтня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://arxiv.org/abs/2406.11847

УДК 37.016:004.852

МІЖПРЕДМЕТНА ІНТЕГРАЦІЯ ІНФОРМАТИКИ ТА ФІЗИКИ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ

Бобильов Б.В. (onnutyssirr9493@gmail.com)
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)

Розвиток нейромережевих технологій відкриває нові перспективи для міжпредметної інтеграції шкільних дисциплін, зокрема інформатики та фізики. У тезах обґрунтовано необхідність впровадження методів глибокого навчання (Deep Learning) у практику фізичного експерименту старшої профільної школи для підвищення якості візуалізації, автоматизації обробки та аналізу експериментальних даних. Запропоновано конкретні приклади застосування нейромереж у лабораторних роботах і представлено план педагогічного експерименту з оцінки ефективності цього підходу.

Постановка проблеми. Сучасна профільна освіта вимагає формування в учнів комплексних навичок та цифрової компетентності, що відповідають викликам Індустрії 4.0. Традиційні методи проведення фізичного експерименту часто є трудомісткими у частині ручної обробки великих масивів даних, що знижує час на їхній глибокий аналіз і обмежує можливості якісної візуалізації складних процесів. Існує нагальна потреба у розробці та впровадженні інноваційних дидактичних підходів, які б ефективно поєднували фундаментальні знання з фізики з найновішими інструментами інформаційних технологій, зокрема нейромережами.

Перелік вирішених завдань. У процесі дослідження обґрунтовано педагогічну доцільність міжпредметної інтеграції, визначено потенційні сценарії використання згорткових (CNN) та рекурентних (RNN) нейронних мереж у навчальному фізичному експерименті, запропоновано конкретні методичні рекомендації для лабораторних робіт і розроблено структуру педагогічного експерименту для перевірки ефективності методики.

Виклад суті дослідження. Міжпредметна інтеграція фізики та інформатики у старшій профільній школі є не просто бажаною, а критично необхідною для формування в учнів цілісної наукової картини світу та практичних навичок, які вимагає сучасний технологічний ринок. Цей зв'язок реалізується через три основні площини: збір та обробка даних, моделювання та візуалізація і автоматизація досліджень.

Традиційний фізичний експеримент, збагачений інформатикою, перетворюється на сучасне дослідження. Учні використовують цифрові датчики та мікроконтролери (наприклад, Arduino, Raspberry Pi), що є прямою реалізацією апаратного та програмного забезпечення. Інформатика тут виступає як інструмент для програмування збору даних (фіксація температури, тиску, швидкості), а також для їхньої первинної обробки — сортування, фільтрації та статистичного аналізу. У контексті вашої статті, цей зв'язок поглиблюється використанням бібліотек програмування (наприклад, Python, NumPy) для роботи з великими масивами даних, отриманих у фізичному практикумі.

Інформатика надає потужні засоби для математичного моделювання складних фізичних явищ, які неможливо або важко відтворити в умовах шкільної лабораторії. Учні можуть створювати комп’ютерні моделі траєкторій руху, поширення хвиль, теплових процесів, застосовуючи знання алгоритмів та структур даних. Ключовим моментом тут є візуалізація результатів: перетворення числових даних на графіки, 3D-моделі та анімації. Це дозволяє учням якісно інтерпретувати фізичні закони. Застосування нейромережевих технологій, як ви зазначили у тезах, виводить моделювання на рівень автоматичного розпізнавання патернів (наприклад, оптичних спектрів чи дифракційних картин), що є інтеграцією глибокого навчання безпосередньо у фізичний зміст.

Найглибший рівень інтеграції досягається через автоматизацію експериментів та впровадження елементів штучного інтелекту (ШІ) 3. Фізичний експеримент перестає бути лише про ручні виміри, а стає завданням з машинного навчання. Наприклад, замість ручного вимірювання ширини інтерференційних смуг, учні навчають нейронну мережу (інформатика) розпізнавати ці смуги на зображенні (оптика/фізика) і автоматично обчислювати ключові

параметри. Таким чином, інформатика надає методологію для створення "розумного" асистента у фізичній лабораторії, навчаючи учнів працювати з великими даними (Big Data) та застосовувати алгоритми глибокого навчання для підвищення точності та швидкості дослідницької роботи. Цей підхід не тільки закріплює знання, але й формує дослідницьку компетентність нового покоління **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Отже, інформатика переходить від ролі простого "калькулятора" до ролі ключового інструменту методології наукового дослідження у фізиці.

Нейромережі (НМ) виступають як потужний інструмент автоматизації та підвищення точності обробки даних. Їхнє застосування у профільному навчанні дає змогу учням не лише проводити вимірювання, а й моделювати складні фізичні явища, прогнозувати результати та автоматично класифікувати експериментальні дані, виводячи навчальний експеримент на якісно новий рівень.

С. Величко і Ю. Ковальов розглядають ідею автоматичного розпізнавання оптичних спектрів за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ), що інтегрує штучний інтелект у навчальний практикум з основ спектрального аналізу. Головна ідея полягає у використанні ШНМ як потужного сучасного інструменту для аналізу даних, отриманих традиційним спектральним обладнанням. Автори приділяють особливу увагу логіці побудови структури нейронних мереж, орієнтованих на виділення диференційних ознак оптичних спектрів різних хімічних елементів. Дослідження передбачає перевірку ефективності запропонованих структур шляхом їхнього навчання методом градієнтного спуску 1.

Зокрема, пропонується лабораторна робота, присвячена автоматичній класифікації експериментальних даних на конкретному прикладі розпізнавання оптичних спектрів гелію та неону. Це дає студентам уявлення про будову і дію моделі ШНМ та її застосування у дослідженні спектроскопічних закономірностей.

У контексті лабораторних робіт старшої профільної школи пропонується інтегрувати НМ наступним чином.

При вивченні коливань і хвиль у розділі коливання і хвилі доцільно використовувати рекурентні нейронні мережі (RNN) або CNN для розпізнавання та класифікації аудіосигналів. Учні можуть записувати звук (наприклад, камертона або струни) через мікрофонний вхід комп'ютера. Нейромережа, попередньо навчена на подібних зразках, зможе автоматично визначити частоту коливань, їхню амплітуду та проаналізувати швидкість загасання, що дозволить учням зосередитися на фізичній інтерпретації явища, а не на рутинних вимірах.

У розділі Оптика, зокрема при дослідженні інтерференції, дифракції та спектрального аналізу, застосування згорткових нейронних мереж (CNN) є особливо ефективним. НМ може бути використана для автоматичного розпізнавання та аналізу складних дифракційних картин (від ґраток) або інтерференційних смуг (від тонких плівок) на зображеннях, отриманих з цифрової камери. Нейромережа, аналізуючи патерн, здатна визначати довжину хвилі або період ґратки з високою точністю, яка часто недосяжна при використанні традиційних засобів вимірювання. Крім того, НМ можуть бути задіяні для автоматичної класифікації спектрів (емісійних чи поглинальних) з метою ідентифікації елементів, що є важливим елементом міжпредметної інтеграції з хімією.

Таке використання НМ дозволяє перейти від простого фіксування результату до поглибленого аналізу великих масивів даних, візуалізації прихованих закономірностей та навчання принципам машинного зору, що значно підвищує якість підготовки майбутніх інженерів та науковців.

Для перевірки ефективності запропонованої методики буде проведено педагогічний експеримент, який складається з таких етапів.

1. Підготовчий етап. Розробляються навчальні модулі, навчальні матеріали та програмне забезпечення на основі нейромереж. Формуються контрольна (КГ) та експериментальна (ЕГ) групи учнів із забезпеченням однакових стартових умов.

2. Констатувальний етап. Проводиться вхідне тестування для оцінки початкового рівня знань з фізики та інформатики, а також рівня сформованості навичок обробки даних в обох групах.

3. Формувальний етап. Контрольна група навчається згідно з традиційною методикою, тоді як експериментальна група навчається з використанням лабораторних робіт, інтегрованих з інструментами нейромереж для автоматичного аналізу та візуалізації експериментальних даних.

4. Контрольний етап. Проводиться вихідне тестування та виконання комплексних практичних завдань для оцінки глибини засвоєння фізичних понять, рівня сформованості дослідницьких та цифрових навичок. Результати порівнюються для оцінки ефективності впровадженої методики.

Висновки та плани реалізації. Запропонована міжпредметна інтеграція інформатики та фізики на основі нейромережевих технологій є перспективним дидактичним підходом для профільної школи. Використання НМ у фізичному експерименті дозволяє автоматизувати складні обчислення та аналіз, забезпечує якісну візуалізацію процесів і сприяє глибокому засвоєнню учнями як фізичних закономірностей, так і сучасних технологічних інструментів. Реалізація цієї методики зміцнює практичну спрямованість навчання та формує критично важливі навички роботи з великими даними.

Зазначені теоретичні положення та запропонована методика становлять основу для моєї магістерської роботи. На даний момент план магістерської роботи повністю готовий, і вже проведені пілотні спроби застосування простих згорткових нейромереж для розпізнавання дифракційних картин. Ці спроби підтвердили високу точність та педагогічну доцільність подальшої повноцінної реалізації.

Список використаної літератури

1.С. Величко, І. Величко, С. Ковальов, Ю. Ковальов, «Використання нейронних мереж для розпізнавання оптичних спектрів у навчальному практикумі з основ спектрального аналізу,» Інформаційні технології і засоби навчання, т. 5, № 103, с. 174–187, 2024.

2.Т. В. Дубовик, Н. В. Олефіренко, «Педагогічні можливості міжпредметних зв’язків у процесі навчання інформатики,» Харківський національний педагогічний університет імені ГС Сковороди, 2022.

3.Т. С. Колечинцева, «Використання штучного інтелекту на заняттях з фізики у вищому навчальному закладі морського спрямування» в The XXIV International scientific and practical conference «Latest theories and technologies for the development of scientific research», Сарагоса, Іспанія, с. 145, 2025.

УДК 81’243:004.9(477)

ЦИФРОВА ЛІНГВОДИДАКТИКА: МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК «ЙОЙ» ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ МОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

Бортун К.О. (k.bortun@gmail.com)
Національна академія внутрішніх справ (Україна)

В умовах глобальної цифрової трансформації, що охопила всі сфери суспільного життя, освіта зазнає докорінних змін. Одним із ключових напрямів цього процесу є розвиток цифрової лінгводидактики − галузі, що досліджує та впроваджує інноваційні технологічні рішення у вивчення мов. Особливого значення набуває мобільне навчання (m-learning), яке завдяки повсюдному поширенню смартфонів перетворює освітній процес на гнучкий, доступний та інтерактивний досвід.

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасної лінгводидактики є створення мобільних застосунків, що поєднують навчальну, комунікативну та ігрову складові. Серед таких цифрових інструментів помітне місце займає мовний застосунок «ЙОЙ», розроблений з метою популяризації української мови, розширення словникового запасу користувачів і формування навичок грамотного мовлення в інтерактивній формі.

Мовний застосунок «ЙОЙ» зацікавлює через свою актуальність та важливість збереження та розвитку культурної спадщини. Дослідження цієї теми може розкрити специфіку використання мовного засобу «ЙОЙ» у різних регіонах України, його роль у мовній практиці, а також його вплив на формування мовної ідентичності учнів з етнічних меншин.

Використання мобільного застосунку «ЙОЙ» у навчальному процесі відповідає принципам сучасної цифрової лінгводидактики, орієнтованої на гнучкість, доступність і креативність навчання. Застосунок допомагає учням подолати мовний бар'єр та впевнено спілкуватися

українською мовою, сприяє інтеграції дітей з етнічних меншин в українське суспільство за допомоги сучасного інтерфейсу (Рис. 1).

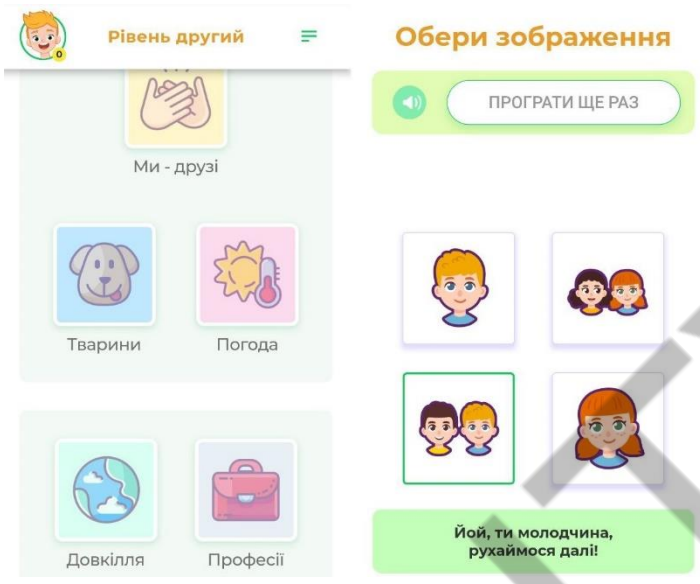


Рисунок 1 - Інтерфейс мобільного застосунку «ЙОЙ»

Особливості застосунку полягають у органічному поєднанні інтерактивного навчання, що полягає в гейміфікації з реальними життєвими кейсами, із традиційними дефініціями української мови. «ЙОЙ» охоплюю тематичні рубрики, пов’язані з повсякденним життям, такі як школа, дім, їжа, одяг, гаджети, погода та мистецтво, що робить навчання цікавим та релевантним для дітей.

Мобільний застосунок «ЙОЙ» наразі є ефективним інструментом для вивчення української мови завдяки інтеграції сучасних технологій, культурних контекстів та інноваційного підходу до навчання, а унаочнені переваги його використання нами подано на Рис. 2.

Рисунок 2 - Переваги використання мобільного застосунку «ЙОЙ»

Отже, вивчення мов національних меншин має багато переваг як для особистого розвитку, так і для суспільства в цілому. Це важливий крок до збереження культурної спадщини, згуртування суспільства, розвитку економіки та освіти. Важливо зазначити, що вивчення мов національних меншин не є обов'язковим для всіх. Проте, воно може бути корисним та цікавим для багатьох людей.

Список використаної літератури:

1. К. Бортун, В. Прянчикова «Українська мова як важливий вектор правового регулювання мов національних меншин». *Наукові горизонти XXI століття: мультидисциплінарні дослідження. матеріали Міжнародної наукової конференції*, 16-17 травня 2024 р., 2024. С. 994-998. [Accessed: September 03, 2025].

2. В,В. Бунчук, К,О. Бортун «Мовний застосунок «ЙОЙ» як важливий вектор вивчення української мови в закладах освіти з мовами національних меншин». Підсумкова науково-практична конференція слухачів, курсантів і студентів (25 квітня 2024 року). 2024. С. 437 − 438. [Accessed: September 03, 2025].

3. Мобільний застосунок «ЙОЙ» [Online]. Available: https://www.yoy-app.com [Accessed: September 03, 2025].

4. Національний проєкт «ЙОЙ» [Online]. Available: https://fob.in.ua/case/mobilnyj-dodatok-joj/ [Accessed: September 03, 2025].

5. В.Ю. Прянчикова, К.О. Бортун «Мовний застосунок «ЙОЙ» як ефективний інструмент для вивчення української мови учнями з національних меншин» *Підсумкова науково-практична конференція слухачів, курсантів і студентів* (25 квітня 2024 року): 2024. С. 459 − 460. [Accessed: September 03, 2025].

6. K. Bortun, V. Chekaliuk, O. Kravchenko, et al., 2024. «Detection of Typical Aggressive Lexical Markers through Authorisation of Publicistic Texts». *Forum for Linguistic Studies*. 2024 6(6): 172–183. DOI: https://doi.org/10.30564/fls .v6i [Accessed: September 03, 2025].

УДК 004.8:004.92

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ РУХУ КОНТИНГЕНТУ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Водоп'ян В. А., Селіванова А.В.
(vitaliivodo@gmail.com, alikasalvano@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі розглянуто процес аналізу руху контингенту здобувачів освіти як складної аналітичної системи управління навчальним процесом. Проаналізовано сучасні методи обробки статистичних даних і програмні засоби, що забезпечують автоматизацію збору, аналізу та візуалізації інформації про студентів. Особливу увагу приділено використанню технологій платформи .NET і бібліотек ClosedXML, ScottPlot та LiveCharts, які дозволяють здійснювати комплексний аналіз контингенту за роками, курсами, формами навчання та іншими показниками. Інтеграція інтелектуальних технологій і сучасних засобів аналітики сприяє підвищенню точності розрахунків, ефективності звітності та формуванню прогнозних моделей для оцінки динаміки контингенту у подальших періодах.

Аналіз контингенту здобувачів освіти — це процес збору, систематизації та інтерпретації статистичних даних про студентів із метою виявлення тенденцій, прогнозування змін і підвищення ефективності управління навчальним процесом. Цей процес передбачає створення й використання інформаційних моделей, які відображають реальний стан руху контингенту — від зарахування до випуску. Подібно до інженерного проєктування технічних систем, аналітична система в освіті має враховувати велику кількість параметрів: форму навчання, спеціальність, курс, стать, джерело фінансування, а також зміни статусу студентів протягом років [1].

Складність задачі полягає в різноманітності джерел даних, динамічності показників і необхідності їхньої стандартизації. У більшості закладів освіти інформація зберігається у вигляді таблиць Excel, що ускладнює побудову єдиної моделі аналізу. Це зумовлює потребу у створенні програмних рішень, які автоматизують обробку даних, уніфікують формати, виключають дублювання та підвищують точність розрахунків. Такі рішення дозволяють швидко отримувати актуальні звіти, відстежувати зміни у складі студентів і прогнозувати тенденції розвитку контингенту [2].

Метою дослідження є розроблення аналітичної системи для автоматизованого аналізу руху контингенту здобувачів освіти, що поєднує сучасні технології обробки даних, статистичні методи й візуалізацію результатів у зручному інтерфейсі користувача. Сучасні інформаційно-аналітичні системи для управління контингентом мають такі ключові можливості:

- автоматизований імпорт даних із електронних таблиць (Excel, CSV) без ручного введення;
- динамічний аналіз і порівняння показників за роками, курсами, формами навчання, спеціальностями;

– візуалізація статистики у вигляді графіків, діаграм і таблиць для спрощення сприйняття інформації;
– формування аналітичних звітів і їх експорт у різні формати (Excel, CSV, PDF);
– інтеграція модулів прогнозування, що дозволяють визначати тенденції змін у складі студентів;
– підтримка багатокористувацького доступу та централізоване зберігання даних для деканатів і навчальних відділів.

Таким чином, створення сучасної системи аналізу контингенту здобувачів освіти є актуальним завданням, що поєднує інструменти .NET, WPF, ClosedXML та ScottPlot, і спрямоване на підвищення прозорості, оперативності та точності управління освітнім процесом) [3].

В результаті аналізу виявлено, що для розроблення системи аналізу руху контингенту здобувачів освіти використовується комбінація програмного забезпечення, що охоплює різні етапи: від обробки даних і формування статистичних звітів до побудови графічних візуалізацій і автоматизації процесів. Їх можна умовно поділити на 4 категорії:

1. Програмне забезпечення для обробки та аналізу даних.

1.1. ClosedXML — бібліотека .NET для читання, запису та редагування Excel-файлів без встановленого Microsoft Office. Використовується для імпорту контингенту студентів та автоматичного зчитування даних із таблиць.

1.2. LINQ to Objects — механізм запитів у C#, який дозволяє швидко агрегувати дані (за роками, курсами, формами навчання тощо).

1.3. Entity Framework Core (EF Core) — ORM-технологія для зберігання структурованих даних у базі даних (SQL Server, SQLite). Може використовуватися для розширення системи у майбутньому.

2. Платформи для створення інтерфейсу користувача.

2.1. Windows Presentation Foundation (WPF) — основна платформа розробки десктопного застосунку. Забезпечує побудову інтерфейсу з використанням XAML, а також реалізацію патерну MVVM.).

2.2. .NET 8 / C# — сучасна кросплатформна платформа розробки, яка забезпечує високу продуктивність, роботу з колекціями, LINQ-запитами, багатопоточність і взаємодію з файлами Excel.

2.3. MVVM (Model–View–ViewModel) — архітектурний підхід, який відокремлює логіку обробки даних від інтерфейсу користувача, що полегшує супровід програми.

2.4. Windows Forms (альтернатива WPF) — може використовуватись у спрощеній версії проєкту для базової візуалізації даних і графіків.

3. Засоби для візуалізації та статистичного представлення даних.

3.1. ScottPlot.WinForms / ScottPlot.WPF — бібліотека для створення інтерактивних графіків у .NET-додатках. Використовується для побудови діаграм за роками, курсами, статтю, формою навчання.

3.2. LiveCharts2 — бібліотека для побудови сучасних графіків (стовпчикових, кругових, лінійних) з плавною анімацією.

3.3. Microsoft.DataVisualization.Charting — стандартний інструмент для побудови базових статистичних графіків у WinForms-проєктах.

4. Системи для автоматизації, збереження та звітності.

4.1. EPPlus / ClosedXML.Report — бібліотеки для генерації готових звітів у форматі Excel із динамічними таблицями та графіками.

4.2. CSVHelper — бібліотека для швидкого експорту статистичних результатів у формат CSV для подальшої обробки або передачі до інших систем.

4.3. SQL Server / SQLite — системи управління базами даних, які дозволяють централізовано зберігати дані про студентів, курси, форми навчання та історію змін контингенту.

Список використаної літератури

[1] О. О. Сергеєв-Горчинський, Інтелектуальний аналіз даних. Київ: [б. в.], 2010. Accessed: Sep. 21, 2025. [Online]. Available: https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi54/0040761.pdf

[2] Л. Пархуць (ред.), Інформаційні системи в освіті: автоматизовані навчальні системи. [Електрон. ресурс]. Accessed: Sep. 21, 2025. [Online]. Available: https://core.ac.uk/download/pdf/147037367.pdf

[3] Т.В. Волкова, Н.О. Величко та ін., Інформаційно-аналітичне управління освітніми системами: методичний посібник. Київ: Педагогічна думка, 2012. Accessed: Sep. 21, 2025. [Online]. Available: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/8015/1/POSIBNUK_IAUOS.pdf

УДК 37.018.43:004.738.5:378

ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНІЙ ВИЩІЙ ОСВІТІ

Воінова С. О. (voinova_s@yahoo.com)
Одеський національний технологічний університет, (Україна)

Розглянуто основні напрямки використання інформаційних технологій у вищій освіті у контексті сучасних викликів та переходу до Індустрії 4.0. Проаналізовано пріоритетні вектори цифровізації освітнього процесу, зокрема електронну ідентифікацію здобувачів вищої освіти, інтеграцію нейромережевих та мультимедійних технологій, застосування хмарних сервісів та віртуальної реальності, цифровий маркетинг закладу вищої освіти, розвиток експертних комунікаційних платформ. Підкреслено значення персоналізації, гнучкості та інтерактивності у формуванні цифрового освітнього середовища.

Українська держава системно підтримує розвиток інформаційних технологій як ключовий чинник соціально-економічного розвитку країни. Нормативна база, що визначає напрями розвитку інформаційного суспільства в Україні, зосереджена на підтримці цифрової інфраструктури, розширенні доступу до електронних ресурсів та глибокій інтеграції цифрових інструментів у ключові суспільні сфери, зокрема в освітню, наукову, культурну, медичну та екологічну [1]. «Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки», затверджена у 2022 році, передбачає поетапне впровадження цифрових змін у систему вищої освіти. Серед пріоритетів оголошено модернізацію інфраструктури закладів вищої освіти, впровадження сучасних цифрових сервісів, розвиток онлайн-платформ, а також формування цифрових компетентностей у здобувачів і викладачів [2]. У цьому контексті важливою законодавчою ініціативою стало ухвалення 27 липня 2022 року **Закону України № 2457-IX** «Про внесення змін до деяких законів України щодо функціонування інтегрованих інформаційних систем у сфері освіти», який передбачає створення «**Автоматизованого інформаційного комплексу освітнього менеджменту» (АІКОМ),** що інтегрує дані про учасників освітнього процесу та забезпечує ефективну взаємодію між освітніми закладами й органами управління через автоматизовані інформаційні рішення [3]. Постановою Кабінету Міністрів України № 1214 від 25 жовтня 2024 року до Положення про АІКОМ було внесено зміни, якими, зокрема, введено поняття **«електронні освітні інформаційні системи»** та **«електронний паспорт безпеки закладу освіти» [4]**. Крім того, в оновленому у 2025 році «**Порядку прийому на навчання для здобуття вищої освіти»** передбачено використання інформаційних технологій під час вступних випробувань та можливість дистанційного подання документів, що додатково сприяє цифровізації освітнього процесу на рівні вищої освіти [5].

Цифровізація освіти перебуває в центрі уваги академічної спільноти та фахівців освітнього середовища. Цифрова трансформація, що супроводжує входження економіки в епоху Індустрії 4.0, охопила сферу вищої освіти, поставивши перед університетами завдання підготовки бакалаврів, магістрів і докторів філософії, здатних ефективно функціонувати в умовах цифрового середовища. У зв'язку з цим Міністерство освіти і науки України визначає цифровізацію як одну з пріоритетних цілей розвитку системи вищої освіти.

Змістовне наповнення та педагогічна спрямованість використання інформаційних технологій у сучасному освітньому процесі концентруються навколо деяких ключових напрямів, кожен із яких відображає стратегічні вектори цифрової трансформації закладу вищої освіти.

Першим напрямом виступає посилення суб'єктності освіти через технології електронної ідентифікації та автентифікації користувачів університетської інформаційної системи. Отримуючи

індивідуальні дані для входу до локальної мережі (логін та пароль), здобувачі вищої освіти отримують можливість доступу до цифрових освітніх ресурсів як під час аудиторних занять, так і в процесі самостійної роботи. Це забезпечує як гнучкість освітнього процесу, так й дозволяє системі аналізувати динаміку навчальних досягнень, визначати рівень засвоєння матеріалу, і навіть адаптувати навчальний контент під потреби конкретного здобувача вищої освіти. Електронна база знань сприяє формуванню навичок самостійного пошуку та переробки інформації, а вбудовані механізми аутентифікації – відстеженню навчальної динаміки та формуванню персоналізованих освітніх траєкторій.

Другий напрямок пов'язаний з активним впровадженням нейромережевих технологій в інфраструктуру університетського цифрового середовища. Імітуючи принципи систем самонавчання, нейромережі здатні аналізувати успіхи здобувачів вищої освіти, прогнозувати ризики відставання і рекомендувати індивідуалізовані навчальні маршрути. Одним із проявів цієї інтеграції стають інтерактивні навчальні комплекси, що включають електронні підручники з елементами мультимедіа, тривимірного моделювання, сенсорної взаємодії. Такі комплекси не лише підвищують рівень візуалізації навчального матеріалу, а й сприяють інтерактивній взаємодії здобувачів вищої освіти та викладача у реальному часі.

Поряд з цим використання мультимедійних пристроїв і контентів віртуальної або доповненої реальності в процесі підготовки здобувачів вищої освіти дозволяє змоделювати професійно орієнтовані практичні ситуації, що особливо важливо для формування прикладних навичок у віртуальному середовищі. Нейромережа, аналізуючи поведінку та успішність здобувача вищої освіти, формує індивідуальний профіль і надає рекомендаційні послуги з вибору літератури та освітнього контенту.

Третій напрямок полягає у використанні хмарних сервісів для зберігання, обробки та розповсюдження навчальної інформації. Хмарні рішення, що функціонують на принципах розподіленого зберігання й обробки даних, надають можливість системно організовувати та зберігати освітні ресурси, включно з електронними підручниками, статтями, методичними напрацюваннями тощо. Крім того, хмарні платформи є інструментом для зберігання та аналізу результатів навчальної діяльності: лабораторних та практичних робіт, рефератів, доповідей, що спрощує процедури контролю та зворотного зв'язку.

Широке впровадження хмарних рішень також підтримує реалізацію технологій доповненої та віртуальної реальності, гейміфікацію навчального процесу та цифрові практикуми, що є особливо актуальним у контексті самостійного освоєння дисциплін та виконання завдань при самопідготовці.

Додатково слід виділити технології ситуаційного аналізу, що реалізуються за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій та хмарних рішень. Цей метод навчання розвиває навички оперативного прийняття рішень, критичного мислення, комплексної обробки інформації та актуалізації міждисциплінарних знань. Включення ситуаційного аналізу до фонду оціночних засобів сприяє формуванню професійних компетенцій та дозволяє оцінювати їхній рівень на якісно новому рівні.

Четвертим напрямком стає цифровий маркетинг освітньої організації. В умовах цифрової відкритості та інтеграції до інформаційного суспільства університет реалізує комунікаційні стратегії, спрямовані на формування позитивного іміджу та відкритості системи вищої освіти.

Створення зовнішньо-орієнтованих цифрових сервісів – відеопорталів, онлайн-конференцій, електронних бібліотек сприяє залученню випускників та громадськості до освітнього середовища закладу вищої освіти. Такий підхід відкриває можливості для наставництва, передачі практичного досвіду та формування стійких горизонтальних зв'язків між учасниками навчального процесу.

Позиціонування закладу вищої освіти як інноваційної освітньої організації потребує високого рівня методологічного опрацювання, ефективної внутрішньої структури, прозорої системи управління та постійного розвитку цифрових каналів взаємодії із зовнішніми стейкхолдерами.

П'ятий напрямок пов'язаний із розширенням можливостей для онлайн-дискусій, форумів, наукових конференцій та експертних майданчиків, що функціонують на базі цифрової освітньої платформи університету. У цих заходах можуть брати участь представники організацій-роботодавців, розробники програмного забезпечення, викладачі, випускники та здобувачі вищої освіти, що сприяє обміну досвідом, трансферу знань та консолідації професійної спільноти.

Важливу роль відіграють телекомунікаційні мережі нового покоління, які забезпечують

організацію відеоконференцій, спільних науково-освітніх проектів та заходів між закладами вищої освіти та представниками виробництва в різних регіонах. Це дозволяє подолати часові та просторові бар'єри, розширюючи межі традиційної вищої освіти.

Таким чином, цифрова трансформація вищої освіти реалізується у п'яти взаємопов'язаних напрямках: суб'єктна ідентифікація здобувача вищої освіти, нейромережеві та мультимедійні технології, хмарні сервіси та віртуальна реальність, цифровий маркетинг закладу вищої освіти, експертна комунікація та розвиток онлайн-платформ. Комплексний розвиток цих напрямів формує сучасну екосистему цифрових рішень у сфері вищої освіти, включно зі створенням безпечного електронного освітнього середовища, забезпеченням необхідної цифрової інфраструктури закладів освіти, підвищення рівня цифрової компетентності, цифровою трансформацією процесів та послуг, а також автоматизацією збору і аналізу даних, в якій ключовими стають гнучкість, персоналізація, інтерактивність та професійна релевантність освітнього процесу [6].

Список використаної літератури

[1]. Закон України № 537-V «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки» від 9 січня 2007 року.- URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 537-16#Text.

[2]. Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки.- URL: https://mon.gov.ua/osvita-2/vishcha-osvita-ta-osvita-doroslikh/strategiya-rozvitku-vishchoi-osviti-v-ukraini-na-2022 - 2032-roki.

[3]. Закон України № 2457-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо функціонування інтегрованих інформаційних систем у сфері освіти» від 27 липня 2022 року.- URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2457-20#Text.

[4]. Постанова Кабінету Міністрів України № 1214 «Про внесення змін до Положення про програмно-апаратний комплекс "Автоматизований інформаційний комплекс освітнього менеджменту"» від 25 жовтня 2024 року.- URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1214-2024-%D0%BF#Text.

[5]. Наказ МОН № 168 «Про порядок прийому для здобуття вищої освіти в 2025 році» від 10.02.2025 року.- URL: https://mon.gov.ua/osvita-2/vishcha-osvita-ta-osvita-doroslikh/vstupna-kampaniia-do-zvo/vstupna-kampaniia-do-zakladiv-vyshchoi-osvity-2025-roku/poriadok-pryiomu-dlia-zdobuttia-vyshchoi-osvity-v-2025-rotsi.

[6]. Цифрова трансформація освіти і науки.- URL: https://mon.gov.ua/tag/tsifrova-transformatsiya-osviti-i-nauki?&tag=tsifrova-transformatsiya-osviti-i-nauki.

УДК 477.378.51:37.02:37.03

НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

ВОЙТІК Т.Г. (dreem55@i.ua),
КОПЄЙКІНА Т.Г. (tgkopeykina@gmail.com)
Одеський національний морський університет
Військова академія (Україна)

Розвиток сучасного суспільства та глобалізація вимагають змін в освітній системі. Впровадження нових інформаційних технологій (НІТ) стає невід'ємною частиною освітнього процесу, відкриваючи нові можливості для підвищення його якості та ефективності. У тезах проаналізовано роль НІТ у трансформації традиційної освіти, розглянуто їхній вплив на методику викладання та навчання, а також виявлено основні виклики та перспективи їхнього подальшого використання. Особлива увага приділяється таким аспектам, як персоналізація навчання, доступ до інформації, розвиток критичного мислення та формування цифрової грамотності. Сучасні вищі навчальні заклади (ВНЗ) стоять перед викликом адаптації до вимог цифрової епохи. Впровадження нових інформаційних технологій (НІТ) стає ключовим фактором конкурентоспроможності університетів та якості підготовки фахівців. У тезах проаналізовано,

як НІТ трансформують освітнє середовище ВНЗ, зосереджуючись на таких аспектах, як індивідуалізація освітніх траєкторій, глобалізація академічного простору та вдосконалення науково-дослідної роботи. Розглянуто основні інструменти та платформи, а також виклики, що виникають при їх інтеграції в університетську практику.

Інформаційні технології радикально змінюють підходи до навчання у вищій школі, перетворюючи його на більш гнучкий та ефективний процес. Серед існуючих дистанційні та змішані форми навчання. Університети активно використовують системи управління навчанням (LMS) – Moodle, Google Classroom, Canvas. Це дозволяє студентам отримувати доступ до навчальних матеріалів, виконувати завдання та спілкуватися з викладачами незалежно від місця перебування.

Масові відкриті онлайн-курси (МООК). Платформи Coursera, edX, Prometheus, Udacity дають можливість ВНЗ залучати міжнародних студентів та розширювати свою аудиторію. Це також дозволяє студентам опановувати курси провідних світових університетів.

Персоналізація навчання. Використання адаптивних навчальних систем, що базуються на штучному інтелекті, дозволяє створювати індивідуальні освітні траєкторії для кожного студента. Це враховує його попередні знання та темп засвоєння матеріалу.

Віртуальні лабораторії та симулятори. Завдяки технологіям VR/AR, студенти медичних, інженерних та інших спеціальностей можуть відпрацьовувати практичні навички в безпечних віртуальних середовищах, що значно знижує витрати та ризики.

Інформаційні технології є потужним стимулом для розвитку наукових досліджень у ВНЗ.

Інтерактивні інструменти для підвищення залученості студентів. Застосування НІТ дозволяє зробити навчання більш інтерактивним та захопливим, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу.

Інтерактивні дошки та мультимедійні проектори. Ці інструменти замінюють традиційні дошки, дозволяючи викладачам демонструвати відео, анімації, працювати з онлайн-ресурсами та створювати спільні проекти прямо під час лекції.

Гейміфікація та освітні ігри. Платформи, як Kahoot! або Quizlet, перетворюють процес перевірки знань на гру, що підвищує мотивацію та зацікавленість студентів. Гейміфікація допомагає знизити стрес від оцінювання та робить навчання більш приємним.

Системи віртуальної та доповненої реальності (VR/AR). У таких галузях, як медицина, інженерія та мистецтво, VR/AR дозволяє створювати імерсивні навчальні середовища. Наприклад, студенти-медики можуть практикувати хірургічні втручання на віртуальних симуляторах.

Платформи для спільної роботи та комунікації. НІТ усувають географічні бар'єри та сприяють командній роботі.

Хмарні сервіси Google Workspace (Google Docs, Sheets, Slides) та Microsoft 365 дозволяють студентам і викладачам працювати над спільними проектами в режимі реального часу, незалежно від їхнього місцеперебування. Це особливо важливо для групових завдань та курсових робіт.

Системи управління навчанням (LMS). Платформи Moodle, Canvas, Blackboard є центральним хабом для навчального процесу. Вони містять усі навчальні матеріали, розклади, завдання та форуми для обговорень, що спрощує організацію та адміністрування.

Відеоконференції та вебінари. Сервіси Zoom, Google Meet, Microsoft Teams стали невід'ємною частиною освітнього процесу, дозволяючи проводити онлайн-лекції, консультації та семінари, забезпечуючи ефективну комунікацію.

Штучний інтелект (ШІ) пропонує нові можливості для індивідуалізації навчання та автоматизації рутинних процесів.

Адаптивні навчальні системи. ШІ-алгоритми можуть аналізувати успішність студента та автоматично пропонувати йому додаткові завдання або матеріали, які відповідають його потребам. Це допомагає студенту заповнювати прогалини в знаннях, не витрачаючи час на вже засвоєний матеріал.

Автоматизоване оцінювання: Інструменти ШІ можуть перевіряти письмові роботи, тести та навіть деякі типи проектів, надаючи миттєвий зворотний зв'язок. Це значно розвантажує викладачів, дозволяючи їм зосередитися на більш творчих аспектах роботи.

Чат-боти та віртуальні асистенти: Чат-боти можуть надавати студентам базову інформацію про навчальний процес, відповідати на поширені запитання та допомагати в навігації по навчальних ресурсах 24/7.

Доступ до наукових ресурсів: електронні бібліотеки, бази даних (Scopus, Web of Science, PubMed) та репозиторії відкривають необмежений доступ до наукових публікацій, що значно прискорює процес пошуку інформації та написання наукових робіт.

Обробка великих даних (Big Data): збільшення обсягу даних у всіх сферах науки потребує використання НІТ для їх аналізу та інтерпретації, що сприяє відкриттю нових закономірностей та гіпотез.

Спільні дослідницькі платформи. Хмарні технології та онлайн-платформи дозволяють науковцям з різних країн та університетів ефективно співпрацювати над спільними проектами, обмінюватися даними та результатами досліджень.

Інтеграція НІТ у діяльність університетів супроводжується низкою викликів.

Фінансова та інфраструктурна нерівність. Не всі ВНЗ мають достатньо коштів для придбання сучасного обладнання та програмного забезпечення.

Підготовка викладацького складу. Викладачі повинні постійно підвищувати свою цифрову компетентність, щоб ефективно використовувати нові технології в навчальному процесі.

Забезпечення кібербезпеки. Захист даних студентів та наукових розробок є пріоритетним завданням для будь-якого університету.

Етичні аспекти ШІ. Використання ШІ в освітніх системах ставить питання про авторське право, академічну доброчесність та прозорість алгоритмів.

Впровадження нових інформаційних технологій у вищу освіту є не просто трендом, а необхідною умовою для забезпечення її якості та відповідності вимогам сучасності. НІТ дозволяють ВНЗ бути гнучкими, відкритими та конкурентоспроможними. Майбутнє університетської освіти лежить у створенні гібридної моделі, яка поєднує переваги очного навчання (соціальна взаємодія, практичні заняття) з гнучкістю та доступністю онлайн-технологій. Для успішної реалізації цієї моделі потрібна державна підтримка, інвестиції в інфраструктуру та постійний розвиток цифрових навичок як у викладачів, так і у студентів.

Практичне застосування нових інформаційних технологій в освіті демонструє, що вони є не просто допоміжним засобом, а фундаментальною частиною сучасного освітнього процесу. Інтерактивні інструменти, платформи для спільної роботи та інновації на основі ШІ роблять навчання більш гнучким, доступним та ефективним. Успішна інтеграція цих технологій залежить від готовності викладачів та адміністрації до змін, а також від забезпечення належної технологічної інфраструктури. Впровадження НІТ – це інвестиція в якість освіти, яка готує студентів до викликів цифрового майбутнього.

Нові інформаційні технології кардинально змінюють парадигму освіти. Вони трансформують роль викладача з транслятора знань у помічника, який допомагає учням орієнтуватися у величезному обсязі інформації. Майбутнє освіти полягає в гармонійному поєднанні традиційних методик з інноваційними технологіями, що дозволить створити адаптивну, гнучку та доступну освітню систему. Для успішного впровадження НІТ необхідні системні заходи, що включають інвестування в технологічну інфраструктуру, підготовку педагогічних кадрів та розробку ефективних освітніх стратегій.

Список використаної літератури

1. Ткач К.Ю. Інтерактивні методи навчання на уроках математики з використанням ІКТ. / Ткач К.Ю. Гоменюк Г.В. //Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи. Тернопіль, 2022. № 9. С. 184–187.

2. Толок Д., Дейніченко Т. Інноваційні форми і методи в навчанні математики. / Толок Д., Дейніченко Т. //Інноваційні педагогічні технології в цифровій школі : тез доп. учасників IV Всеукр. (з міжнар. участю) наук.-практ. конф. молод. учених, Харків, 11–12 трав. 2022 р. / с. 219–221.

3. Алієв, Р. Ш. Цифрова трансформація університетів: інструменти та стратегії. Київ: Освіта, 2021.

4. Гаврилов, В. В. Дистанційна освіта у вищій школі: досвід та перспективи. Харків: Університетська книга, 2020.

УДК 004.77:811.111

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ПРОГРАМІСТАМИ

Гарбарчук І. С., Бабич С. М. (ivan.wa654@gmail.com**,** stepaniia.babych@rshu.edu.ua**)**
Рівненський державний гуманітарний університет (Україна)

Розглянуто проблему вивчення професійної англійської мови IT-фахівцями засобами мобільних технологій. Проаналізовано переваги та недоліки існуючих застосунків для вивчення англійської мови, зокрема відсутність спеціалізованої IT-лексики. Запропоновано архітектуру мобільного застосунку для вивчення англійської мови програмістами, що включає режими уроків, персонального словника та тестування. Застосунок реалізовано на платформі .NET MAUI з використанням мови C#, що забезпечує кросплатформність для Android та iOS.

Знання англійської мови для IT-фахівців є необхідною умовою професійного зростання. Англійська мова потрібна для спілкування з колегами, клієнтами та партнерами, забезпечує взаємодію з міжнародними командами та використання новітніх технологічних рішень. Значна частина технологічних ресурсів – документація, онлайн-курси та форуми – доступна лише англійською мовою. Здатність розуміти та використовувати ці ресурси відкриває широкі можливості для самонавчання та вдосконалення навичок, сприяючи сталому професійному розвитку.

Мобільні застосунки для вивчення англійської мови є ефективним інструментом самонавчання для IT-фахівців [1]. Вони поєднують доступність, мультимедійність, інтерактивність та адаптивність навчального процесу. Також дозволяють навчатися у будь-який час і в зручному темпі [2], включають вправи, ігрові елементи та системи відстеження прогресу, що підвищує мотивацію користувачів та сприяє поглибленому засвоєнню матеріалу. Популярні мобільні застосунки, такі як Duolingo, Memrise, Busuu, Babbel та EWA, застосовують гейміфікацію, адаптивні алгоритми та комунікативні методи навчання, що сприяє ефективному самонавчанню та розвитку словникового запасу і загальної мовної компетенції.

Головним недоліком існуючих програмних продуктів для вивчення англійської мови IT-фахівцями є відсутність спеціалізованої професійної лексики, яка постійно оновлюється у галузі інформаційних технологій. Це зумовлює необхідність розробки спеціалізованого застосунку, орієнтованого на вивчення термінології та фразеології IT-сфери. Створений застосунок спрямовано на розширення професійного словникового запасу користувачів та розвиток навичок розуміння спеціалізованих текстів.

Рис. 1. Головне меню мобільного застосунку

НТБОНТУ

Для розробки застосунку використана платформа .NET MAUI з мовою програмування C#, що забезпечує можливість створення кросплатформних рішень для пристроїв під керуванням Android та iOS [3]. Застосунок має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача з адаптивним дизайном, що забезпечує коректне відображення на різних типах екранів. Головну сторінку наведено на рис. 1.

Функціонал застосунку включає три основні режими роботи та меню налаштувань:

1. *режим проходження уроків* – структуроване навчання з поступовим ускладненням матеріалу;
2. *режим словника* – користувач може переглядати вбудований словник IT-термінів, а також додавати та видаляти слова і фрази у власному персоналізованому словнику;
3. *режим тестування* – користувач може перевіряти засвоєння вивченого матеріалу через інтерактивні вправи.

Таким чином, створений застосунок є простим, але ефективним інструментом для вивчення професійної англійської мови IT-фахівцями. За його допомогою користувачі зможуть покращити свої знання англійської мови в контексті інформаційних технологій, що дасть змогу ефективніше використовувати інформаційні ресурси та підвищити свій професійний рівень.

Список використаних джерел

[1] F. Çakmak, "Mobile Learning and Mobile Assisted Language Learning in Focus," 2009, pp. 30-48.
[2] C. Lai and D. Zheng, "Self-directed use of mobile devices for language learning beyond the classroom," *ReCALL*, vol. 30, no. 3, pp. 299-318, 2018, doi: 10.1017/S0958344017000258.
[3] ".NET MAUI," Microsoft Learn. [Online]. Available: https://learn.microsoft.com/dotnet/maui/what-is-maui. [Accessed: Oct. 4, 2025].

УДК 004.9:37.018.43

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДУ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ЗАКЛАДУ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Глинчук Л.Я. (lydmilaglin@ukr.net)
Самох П.І. (Samokh.Pavlo2024@vnu.edu.ua)
Волинський національний університет імені Лесі Українки, (Україна)

У роботі розглянуто особливості розробки інформаційної системи супроводу освітнього процесу закладу загальної середньої освіти в умовах цифрової трансформації освіти. Обґрунтовано актуальність створення єдиного цифрового середовища для підвищення ефективності управління, моніторингу успішності та взаємодії між учасниками освітнього процесу. Визначено основні вимоги до системи, зокрема забезпечення захисту персональних даних, зручності інтерфейсу, модульності архітектури та аналітичних можливостей. Запропоновано орієнтацію системи на національні освітні платформи та використання сучасних вебтехнологій і хмарних сервісів. Наголошено на важливості інтеграційної гнучкості та стійкості роботи системи за умов обмежених технічних ресурсів. Результати дослідження можуть бути використані для створення ефективних інформаційних рішень у сфері загальної середньої освіти України.

Сучасна освіта перебуває у стані активної цифрової трансформації, що передбачає впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у всі аспекти освітнього процесу [1], [2]. Для закладів загальної середньої освіти особливо важливо створити єдиний цифровий простір, який забезпечуватиме управління навчальним процесом, моніторинг успішності учнів, взаємодію між педагогами, адміністрацією та батьками [3]. Більшість існуючих систем або не враховують специфіку української освітньої моделі, або не забезпечують комплексної автоматизації освітнього середовища. Тому розробка інтегрованої інформаційної системи супроводу освітнього процесу є

актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності управління, прозорості оцінювання та якості освітніх послуг [4].

Метою дослідження є визначення та обґрунтування особливостей розробки інформаційної системи, що забезпечує комплексну підтримку освітнього процесу в закладі загальної середньої освіти, з урахуванням сучасних вимог до функціональності, безпеки, доступності та інтеграції з національними освітніми платформами [1].

Розробка інформаційної системи супроводу освітнього процесу має низку специфічних вимог, які зумовлені освітнім контекстом, нормативними обмеженнями та технічними чинниками [5]. Насамперед, система повинна бути орієнтована на структуру навчального року, предметно-класну організацію та різні ролі користувачів – адміністрації, учителів, учнів і батьків. Це передбачає реалізацію функцій ведення електронного журналу, формування розкладу, моніторингу успішності, електронного документообігу та звітності.

Важливою особливістю є дотримання вимог безпеки й захисту персональних даних відповідно до чинного законодавства України [3]. Система має забезпечувати авторизований доступ користувачів, шифрування даних і гнучке керування правами.

Суттєве значення має зручність інтерфейсу, який повинен бути інтуїтивно зрозумілим і адаптованим до різних пристроїв [2]. Дизайн системи варто реалізовувати з урахуванням потреб користувачів із різним рівнем цифрової грамотності.

З технічного боку, система має бути побудована за модульним або хмарним принципом, що забезпечить масштабованість, гнучкість оновлень і можливість інтеграції з державними освітніми сервісами, такими як eSchool, eDiary або «Дія.Освіта». Використання сучасних веб-технологій і фреймворків (Django, Flask, React) сприятиме стабільній роботі та легкості розширення функціоналу [4].

Окрему увагу слід приділити розробці аналітичних модулів для автоматичного формування звітності та аналізу освітніх показників. Такі інструменти дозволяють адміністрації школи здійснювати стратегічне планування, а педагогам – оперативно реагувати на динаміку навчальних досягнень [5].

Ще однією важливою особливістю є підтримка офлайн-доступу або роботи за нестабільного інтернет-з’єднання, що забезпечує стійкість системи в умовах обмежених технічних ресурсів.

Таким чином, ключовими особливостями є орієнтація на освітній контекст, забезпечення безпеки даних, модульність архітектури, дружній інтерфейс, інтеграційна гнучкість і аналітична функціональність.

Відповідно до описаного вище особливості можна в загальному відобразити такою схемою, рис. 1:

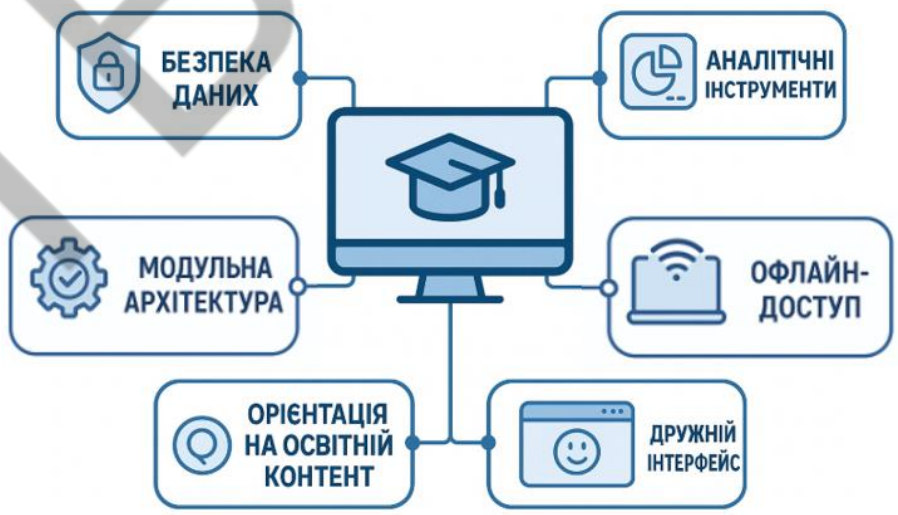


Рис. 1 – Особливості розробки інформаційної системи супроводу освітнього процесу закладу загальної середньої освіти

Розробка інформаційної системи супроводу освітнього процесу для закладів загальної середньої освіти є важливим кроком до створення єдиного цифрового освітнього простору [1], [3]. Такі системи сприяють підвищенню ефективності управління, полегшують документообіг,

забезпечують прозорість оцінювання та вдосконалюють комунікацію між усіма учасниками освітнього процесу. Запропоновані особливості розробки дозволяють створювати технологічно гнучкі, безпечні та користувацько-орієнтовані рішення, які відповідають сучасним тенденціям цифрової освіти в Україні [4], [5].

Список використаної літератури

[1]. **Биков В. Ю., Пінчук О. П.** Цифрова трансформація освіти України в умовах воєнного стану : збірник. Київ : Інститут цифровізації освіти НАПН України, 2023. 157 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/735053

[2]. **Шпарик О.** Цифрова трансформація середньої освіти: спільні стратегічні вектори США та країн ЄС. *Інститут цифровізації освіти НАПН України.* Київ, 2022. С. 33–43. https://doi.org/10.32405/2411-1317-2022-3-33-43

[3]. **Басюк Т.** Цифрова трансформація освіти: теоретико-методичні засади / за заг. ред. В. П. Сергієнка. Київ : УДУ імені М. Драгоманова, 2024. 382 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/745271

[4]. **Vakaliuk T., Antoniuk D., Morozov A., Medvedieva M., Medvediev M.** Green IT as a Tool for Design Cloud-Oriented Sustainable Learning Environment of a Higher Education Institution. *arXiv preprint*, 2020. 1–13 p. URL: https://arxiv.org/abs/2012.07744

[5]. **Малицька І. Д.** Інститут цифровізації освіти НАПН України : аналітичний звіт. Київ : ІЦО НАПН України, 2023. URL: https://lib.iitta.gov.ua/735167/1/Malitska%20ID.pdf

УДК 004.89:372.853

ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ НА УРОКАХ ІНФОРМАТИКИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМУВАННЯ

Горбачова Н. В.[1], П'ятикоп О.Є.[2] (piatykop_o_ye@pstu.edu)

[1] спеціалізована школа №264 з поглибленим вивченням англійської мови м. Києва,

[2] ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)

У статті розглянуто значення інтеграції елементів робототехніки в освітній процес під час вивчення програмування. Показано, що поєднання робототехніки та інформатики підвищує мотивацію учнів, сприяє розвитку алгоритмічного мислення, творчості та командної роботи. Описано практичні приклади використання робототехнічних наборів на уроках інформатики та їх відповідність концепції STEM-освіти. Зроблено висновок, що застосування робототехніки на уроках інформатики формує в учнів компетентності майбутнього й готує їх до професій, важливих для технологічного розвитку України.

Сьогодні Україна переживає історичні часи – триває повномасштабна агресія, яка змінила не лише щоденне життя кожного громадянина, але й визначила нові пріоритети для майбутнього держави. У сучасних умовах ключову перевагу забезпечує застосування високих технологій – розвідувальних систем, безпілотних апаратів, засобів кіберзахисту та штучного інтелекту. Саме тому надзвичайно важливо ще зі школи формувати в учнів технічне мислення, навички роботи з технологіями та розуміння принципів програмування.

Відповідно до мети технологічної освітньої галузі, школа має реалізувати творчий потенціал учня, розвивати його критичне та технічне мислення, готувати до інноваційної діяльності, підприємництва та відповідального ставлення до технологій. Водночас освітня мета інформатики полягає у розвитку здатності використовувати цифрові технології для розв'язання реальних життєвих проблем, прояву творчості, забезпечення особистого й суспільного добробуту.

Одним з ефективних інструментів, який поєднує ці цілі, є використання робототехніки на уроках інформатики. На виконання Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [1] у багатьох школах України вже є необхідна техніка для проведення гуртків із робототехніки. Також розроблені модельна програма «Робототехніка. 5-6 класи» [2] та її продовження «Робототехніка. 7-9 класи» [3] для закладів загальної середньої освіти побудована

відповідно до Державного стандарту базової середньої освіти. Це свідчить про розвиток матеріально-технічної бази закладів освіти та підтримку STEM-освіти. Проте гуртки охоплюють лише невелику кількість учнів, і не всі мають можливість або бажання їх відвідувати. Тому варто поширювати ці курси під час викладання основних уроків інформатики.

Особливо це важливо на етапі вивчення основ програмування. Існує проблема мотивації та усвідомлення значущості програмування серед учнів. Підлітки не завжди розуміють важливість вивчення програмування. Завдання вчителя – зацікавити, показати практичне застосування отриманих знань і дати можливість відчути результат власної роботи. Інтеграція робототехніки в навчальну програму з програмування відкриває можливість для цього. Робототехніка може органічно поєднатись з темами вивчення алгоритмів, логіки, циклів і подій у середовищах програмування. Це дозволить не лише зробити навчання цікавим і практичним, але й забезпечить глибше розуміння алгоритмів, логіки, технічних рішень і командної роботи.

Так у 5–7 класах доцільно поєднувати Scratch із роботами LEGO Mindstorms, оскільки середовища мають схожу візуальну логіку. Це дозволяє учням відразу бачити, як створений алгоритм "оживає" у реальному пристрої. На рисунку 1 наведено приклади роботів, яких зробили учні на заняттях .

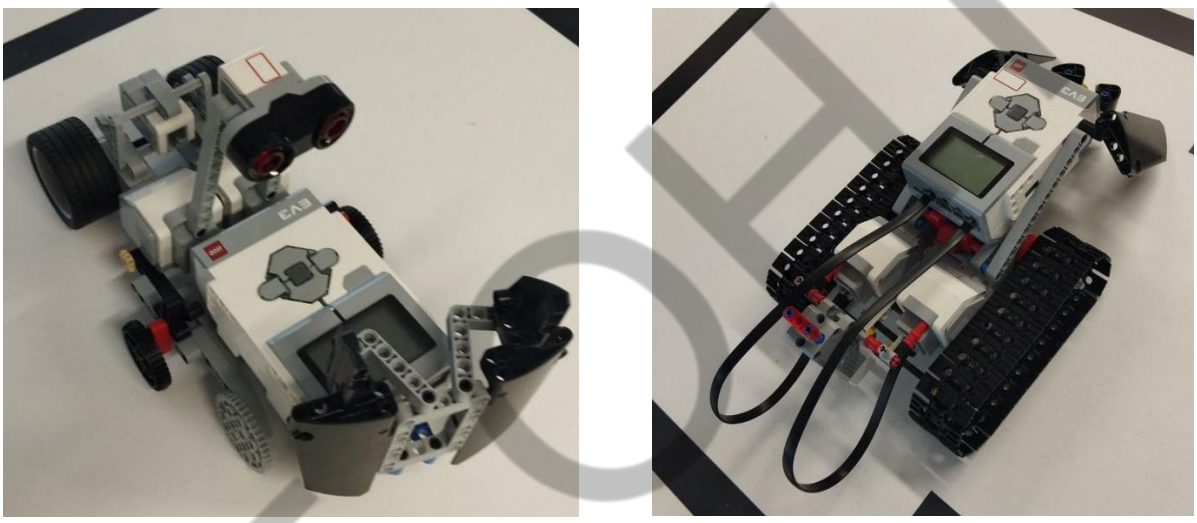


Рис. 1– Приклади роботів, що зібрали учні школи №264, м .Київ

У старших класах можна переходити до роботи з micro:bit, Arduino, Raspberry Pi, що забезпечує розвиток більш глибоких знань про сенсори, електроніку, мікроконтролери та кодування мовами Python або C++.

Також слід зазначити, що при такому поєднання можна застосовувати такі методичні підходи, як:

– використання проблемно-пошукових завдань (наприклад, «робот має пройти лабіринт»);
– створення мініпроєктів, які мають соціальну або практичну користь.

Досвід інтеграції робототехніки до уроків програмування показав наступні переваги використання робототехніки у навчанні:

– підвищення мотивації до навчання програмування;
– формування алгоритмічного та інженерного мислення;
– розвиток командної роботи, комунікації та креативності;
– можливість реалізувати міжпредметні зв’язки (фізика, математика, технології);
– підготовка до участі в змаганнях, хакатонах, проєктній діяльності.

Використання робототехніки на уроках інформатики відкриває нові можливості для формування компетентностей майбутнього. Такий підхід не лише розвиває інтерес до програмування, але й виховує покоління, здатне мислити технічно, творчо та інноваційно. Інтеграція елементів робототехніки в освітній процес сприяє підготовці учнів до професій майбутнього, що визначатимуть розвиток технологічної та економічної спроможності України.

Список використаної літератури

1. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [Електронний ресурс]. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text
2. Сокол І. М., Ченцов О. М.Модельна навчальна програма «Робототехніка. 5-6 класи (міжгалузевий інтегрований курс» для закладів загальної середньої освіти. [Електронний ресурс]. – URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2021/14.07/Model.navch.prohr.5-9.klas.NUSH-poetap.z.2022/Mizhhal.intehr.kursy/Robototekhn.5-6.kl.Sokol.Chentsov.04.10.pdf
3. Сокол І. М., Ченцов О. М. Модельна навчальна програма «Робототехніка. 7-9 класи (міжгалузевий інтегрований курс» для закладів загальної середньої освіти. [Електронний ресурс]. – URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2024/Model.navch.prohr.5-9.klas-2024/10.09.2024/robototekhnika-7-9-kl-sokol-ta-in-10092024.pdf

УДК 004.588

ТЕХНОЛОГІЇ СИМУЛЯЦІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ФІНАНСОВИХ ДИСЦИПЛІН

Горохова В.М. (alinka0179@ukr.net)
Сумський фаховий коледж економіки і торгівлі (Україна)

Тези присвячені ролі та значенню технологій симуляції в освіті фінансових дисциплін, проаналізовано їх педагогічні переваги та проблеми впровадження, розглянуто останні дослідження у цій сфері, а також окреслено напрями ефективного застосування симуляцій у формуванні фінансової компетентності студентів.

Сучасні виклики в галузі фінансової освіти зумовлюють необхідність переходу від пасивного аудиторного навчання до інтерактивних підходів, здатних активізувати студентів, наблизити навчальний процес до реальних умов ринку та стимулювати розвиток навичок прийняття рішень. Традиційні лекційні методи нерідко виявляються недостатньо ефективними для формування глибокого розуміння складних фінансових моделей, інструментів управління ризиком, портфельного інвестування тощо. У цьому контексті симуляційні технології (симулятори, торгові системи, рольові моделі, сценарні вправи) є перспективним інструментом. Саме тому їх ефективність, методологічне обґрунтування та оптимальні практики застосування залишаються об’єктом наукового пошуку.

Ефективність застосування симуляційних технологій підтверджується багатьма науковими дослідженнями. Зокрема, автори праці [1] у ході свого наукового експерименти доводять, що студенти, які брали участь у симуляційних вправах з торгівлі акціями, показали суттєво кращі результати на іспитах порівняно із контрольними групами. Також позитивно вплинула симуляція на мотивацію та ставлення до курсу з фінансового аналізу [1].

І. Макріс та інші у праці [2] проводять якісний аналіз думок викладачів і показують, що симуляції підвищують залучення студентів і наближають навчальний процес до реальних фінансових ситуацій, але водночас виявляють бар’єри: технічні ресурси, несумісність з навчальними програмами та недостатня підготовка викладачів.

Дослідження в сфері фінансового ігрового підходу виявили, що інтерактивні симуляції можуть підсилити фінансову грамотність студентів зі збільшенням в середньому на 0,313 стандартного відхилення в експериментальних групах у мультинаціональних умовах [3].

Також автори статті [4] показали, що моделі симуляційних ігор сприяють кращому засвоєнню матеріалу та підвищенню мотивації до навчання фінансових дисциплін.

Симуляційні технології у фінансовій освіті виступають важливим інструментом для формування практичних компетентностей студентів, вони відтворюють умови реальних ринкових операцій і дозволяють без ризику тренувати навички управління капіталом, прогнозування та оцінки ризиків. Виходячи з таких позицій , у Сумському коледжі економіки і торгівлі значна увага приділяється цим технологіям. Зокрема, студенти під час курсу «Фінанси» використовують

навчальні версії платформ MetaTrader (https://www.metatrader5.com/) та Forex Tester (https://forextester.com/), які дають змогу відпрацьовувати навички технічного аналізу валютних пар, відслідковувати зміни котирувань та навчатися керувати інвестиційним портфелем.

MetaTrader - це професійна електронна торговельна платформа, що широко використовується трейдерами для роботи на валютних (FOREX), фондових і товарних ринках. Платформа дозволяє здійснювати графічний, статистичний аналіз, відпрацьовувати симуляцію торгових операцій в реальному часі.

Навчальний режим без фінансових ризиків із доступом до ринкових котирувань у реальному часі реалізується у демо-версії. Студенти в режимі демо-торгівлі навчаються відкривати та закривати угоди, застосовувати індикатори для прогнозування динаміки валютних пар і здійснювати керування портфелем. Завдяки цьому майбутні фахівці отримують практичний досвід роботи з біржовими інструментами й розуміння механізмів управління ризиками.

Спеціалізований програмний симулятор для навчання та тестування стратегій торгівлі на ринку FOREX Forex Tester має схожі характеристики з MetaTrader, основна відмінність полягає у фокусі на історичних даних і можливості повторного програвання ринку для тренування.

Ключові функції платформи: програвання історичних котирувань - користувач може обрати будь-який часовий період за останні десятиліття й відтворити рух ринку у прискореному або реальному темпі; режим «Pause/Play» та зміна швидкості: дозволяє зупиняти симуляцію для аналізу ситуації й корекції стратегії; тренування стратегії (відпрацювання стратегії, точки входу й виходу з ринку, ведення щоденнику угод і аналіз помилок без ризику втрат); вбудовані статистичні індикатори; звіти та статистика; детальний аналіз прибутковості стратегії, максимальних просідань і рівня ризику.

На цій платформі студенти використовують історичні дані для навчання відкриття позицій, моделюють реакцію на ринкові новини та відстежують результативність різних стратегій. Цей підхід сприяє розвитку вмінь швидко ухвалювати рішення та аналізувати ефективність дій.

Проводити симульовану торгівлю акціями українських та іноземних компаній із використанням реальних біржових даних дозволяє платформа Stock Market Game (https://seekingalpha.com/). В ній у формі рольової гри відтворюється роботу фінансових інституцій. Студенти поділяються на команди «фінансових аналітиків» та «керівників відділів», яким пропонуються кризові сценарії — коливання валют, падіння вартості цінних паперів чи обмеження кредитних ресурсів. Вони мають розробити антикризові стратегії й представити їх на рольових засіданнях інвестиційного комітету.

Також при викладанні фінансових дисциплін ефективними є тренажери, що моделюють управління сімейним бюджетом. Такі симуляції використовують для навчання студентів основам споживчого кредитування, планування заощаджень та обліку витрат. Зокрема, онлайн-платформа Budget Challenge (https://www.budgetchallenge.com/) дозволяє студентам управляти віртуальними домогосподарствами, приймати фінансові рішення та бачити наслідки своїх дій у змодельованому середовищі.

Досвід використання симуляційних технологій у коледжі під час викладання фінансових дисциплін показує, що найкращих результатів досягають інтегровані програми, де симуляції доповнюють лекції та семінари. Наприклад, у курс із фінансового аналізу доцільно поєднувати лекційні блоки про фінансові коефіцієнти з симуляціями ухвалення інвестиційних рішень на основі звітності віртуальної компанії. Застосування таких практик сприяє розвитку не лише технічних навичок, а й критичного мислення, командної взаємодії та комунікативних компетентностей студентів.

Проте залишаються певні проблеми: потреба у сучасних комп’ютерних класах, доступ до ліцензійного програмного забезпечення та системна підготовка викладачів.

Значення для коледжів

Використання MetaTrader і Forex Tester у поєднанні з традиційними лекційними курсами забезпечує:

формування практичних навичок біржової торгівлі та управління ризиками;

розвиток аналітичного мислення завдяки роботі з реальними та історичними даними;

підвищення мотивації студентів через елемент змагання та наочність результатів.

Такі платформи роблять навчання фінансових дисциплін інтерактивним і наближеним до умов реальної професійної діяльності.

Технології симуляції мають високий потенціал для трансформації викладання фінансових дисциплін: вони забезпечують активне навчання, моделюють реальні фінансові ситуації, сприяють розвитку практичних компетенцій і мотивації студентів. Проте для їхньої успішної інтеграції необхідно ретельно продумувати дизайн сценаріїв, адаптувати симуляції під навчальні програми, забезпечувати ресурсами та готувати викладачів. Подальші дослідження мають зосередитися на довгостроковій ефективності симуляцій, порівнянні різних моделей, а також на оптимізації поєднання симуляцій і традиційних методів навчання.

Список використаної літератури

[1] D. Chulkov and X. Wang, «The Educational Value of Simulation as a Teaching Strategy in a Finance Course,» e-Journal of Business Education & Scholarship of Teaching, vol. 14, no. 1, pp. 40–56, 2020.
[2] I. A. Makris, S. Apostolopoulos, V. Babalos, P. Dimitrakopoulos, and P. Charalampakis, «The Impact of Simulation Tools in Finance Schools as a Learning Strategy From Educators' Perspectives,» in Advances in Business Education and Training, IGI Global, 2025.
[4] «The impact of an online game-based financial education course: Multi-country experimental evidence,» Journal of Comparative Economics, 2024.
[3] «An evaluation of a simulation learning task in finance education» Journal of Education for Business, vol. 94, no. 8, 2019.
[5] «Enhancing Finance Students' Learning Effectiveness and Motivation: Application of Financial Simulation Game,» International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 2023.

УДК 004.77:37

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В ОСВІТІ

Гула І.В., Полікаровських О.І., Ткачук А.В.
(holmenetwork@gmail.com, polalexey@gmail.com, tkacukan@khmnu.edu.ua)
Хмельницький національний університет (Україна)
Одеський національний морський університет (Україна)
Хмельницький національний університет (Україна)

В роботі розглянуто можливості та переваги впровадження технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) у сфері освіти. Проаналізовано сучасний стан розвитку IoT, тенденції цифрової трансформації навчальних закладів, а також визначено напрями, у яких IoT може підвищити ефективність освітнього процесу, рівень безпеки, персоналізацію навчання та управління інфраструктурою.

Сучасна система освіти переживає період активної цифровізації, яка охоплює не лише впровадження електронних ресурсів, але й створення «розумного» освітнього середовища. Одним із ключових елементів цієї трансформації є Інтернет речей (IoT) — мережа взаємопов'язаних пристроїв, здатних збирати, обробляти та обмінюватися даними без прямого втручання людини [1].

У сфері освіти IoT відкриває нові можливості для інтерактивного навчання, моніторингу умов середовища, оптимізації енергоспоживання, управління ресурсами та підвищення рівня безпеки. Ці технології формують концепцію «розумного кампусу» або «розумної аудиторії», де всі елементи інфраструктури працюють узгоджено та забезпечують комфорт, ефективність і доступність навчального процесу.

Інтернет речей поєднує фізичні пристрої (сенсори, датчики, мікроконтролери, мобільні пристрої, комп'ютери, лабораторне обладнання) в єдину мережу, що дозволяє створювати системи автоматичного збору й аналізу даних. У контексті освіти IoT сприяє формуванню інтелектуального освітнього простору, у якому інформаційні потоки інтегруються з педагогічними процесами.

Основні напрями використання IoT у навчанні включають: моніторинг і керування середовищем – контроль температури, вологості, рівня освітленості та шуму для створення оптимальних умов навчання; безпека – системи доступу за допомогою біометрії або RFID-карт, відеоспостереження, відстеження переміщень студентів на території закладу; персоналізація навчання – пристрої IoT можуть фіксувати індивідуальні показники активності студентів, адаптуючи навчальні матеріали під їхні потреби; розумні лабораторії – використання сенсорних систем і мікроконтролерів Arduino, Raspberry Pi для проведення експериментів і досліджень; оптимізація енергоспоживання та ресурсів – автоматичне вимкнення освітлення, регулювання опалення та вентиляції на основі даних сенсорів [2, 3].

Використання IoT у сфері освіти має низку стратегічних переваг: підвищення якості навчання – завдяки автоматизованому збору даних про активність і результати студентів можна здійснювати глибший аналіз навчальних досягнень, своєчасно виявляти труднощі та індивідуально коригувати навчальні траєкторії; розвиток STEM-компетентностей – практична робота з IoT-пристроями формує навички програмування, аналітичного мислення, розуміння принципів роботи «розумних» систем; інтерактивність і мотивація – взаємодія з фізичними об’єктами через Інтернет сприяє підвищенню зацікавленості студентів і залученню до дослідницької діяльності; оптимізація управління освітнім процесом – адміністрація може контролювати відвідуваність, стан приміщень, використання ресурсів у реальному часі; інклюзивність та доступність – IoT допомагає створювати умови для людей з особливими потребами: голосове керування, сенсорні системи, автоматичні сповіщення.

Світова освітня практика демонструє активне впровадження IoT. Наприклад, у США університети використовують розумні бейджі для відстеження відвідуваності та участі студентів у заходах, у Великій Британії школи встановлюють сенсори якості повітря для контролю стану здоров’я учнів [2, 3].

В Україні з’являються пілотні проєкти «розумних шкіл», де застосовуються системи моніторингу температури та споживання енергії, інтегровані з мобільними додатками. У деяких університетах (зокрема технічних) студенти створюють власні IoT-пристрої для лабораторних досліджень, наприклад, системи «розумного класу», що автоматично реагують на рівень освітленості або кількість присутніх [2].

Перспективи використання Інтернету речей в освіті тісно пов’язані з розвитком штучного інтелекту (AI), хмарних обчислень та Big Data. Комбінація цих технологій дозволить: створювати адаптивні системи навчання, що реагують на емоційний стан і рівень підготовки студента; впроваджувати предиктивну аналітику для прогнозування результатів навчання; розвивати концепцію «цифрового двійника» студента — віртуальної моделі, яка відображає його освітню траєкторію; забезпечувати віддалене керування лабораторним обладнанням у дистанційному навчанні; формувати єдину освітню екосистему, де обмін даними між пристроями, викладачами та студентами є безперервним.

З огляду на глобальні тенденції, впровадження IoT в українській освіті може стати одним із рушіїв інноваційного розвитку, сприяючи переходу від традиційних методів викладання до інтелектуально-керованих навчальних середовищ.

Інтернет речей є потужним інструментом модернізації освіти, що відкриває нові горизонти для управління, навчання та досліджень. Його впровадження дозволяє забезпечити гнучкість, ефективність і доступність освітнього процесу, розвинути цифрові компетентності учнів та педагогів.

Разом із тим успішна інтеграція IoT вимагає комплексного підходу — оновлення інфраструктури, підготовки кадрів, розроблення нормативної бази й дотримання принципів безпеки даних.

Перспективи розвитку Інтернету речей у освіті вказують на формування нової парадигми навчання, де технології не лише допомагають здобувати знання, а й створюють умови для їхнього практичного застосування, творчості та інновацій.

На думку авторів, при підготовці бакалаврів у вищих навчальних закладах за різними освітньо-професійними програмами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти слід використовувати елементи Інтернету речей, зокрема розумні лабораторії, сенсорні системи моніторингу, мікроконтролери Arduino та Raspberry Pi, мобільні додатки для збору й аналізу даних, а також інтелектуальні освітні платформи, що забезпечують персоналізацію навчання.

Застосування таких технологій у межах викладання фахових дисциплін сприятиме формуванню у студентів практичних компетентностей, навичок роботи з сучасними цифровими системами та аналітичного мислення, необхідних для професійної діяльності в умовах цифрової економіки.

Список використаної літератури

[1] V. M. Antonenko, S. D. Mamchenko, and Yu. V. Rogushyna, *Suchasni informatsiini systemy i tekhnolohii: upravlinnia znanniamy* [Modern Information Systems and Technologies: Knowledge Management]. Irpin, Ukraine: National University of State Fiscal Service of Ukraine, 2016. [Online]. Available: http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/3741 [Accessed: October 14, 2025].

[2] B. Yu. Zhurakovskyi and I. O. Zeniv, *Tekhnolohii Internetu rechei* [Internet of Things Technologies]. Kyiv, Ukraine: Igor Sikorsky KPI, 2021. [Online]. Available: https://ela.kpi.ua/items/03f7d3c6-aa4a-4615-b864-0b4a6ab409e4 [Accessed: October 14, 2025].

[3] S. Greengard, *Internet rechei* [The Internet of Things]. Kharkiv, Ukraine: Knyzhkovyi Klub "Klub Simeinoho Dozvillia", 2018.

УДК 004.8:002:37.013:174

ЕТИКА ТА ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПІДГОТОВЦІ ТА ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦІВ З ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

ДЕРКАЧ Т.М., ДЕРКАЧ С.М. (vukladach.tnd@gmail.com**)**
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Україна)

Анотація. *У статті розглядаються можливості застосування моделей штучного інтелекту у професійній діяльності фахівців з інформаційної діяльності. Проаналізовано практичні аспекти використання ШІ у навчальному процесі під час підготовки майбутніх спеціалістів інформаційної сфери, зокрема у формуванні їхніх цифрових та аналітичних компетентностей. Окрему увагу приділено етичним викликам, пов'язаним із використанням інтелектуальних систем: достовірності інформації, дотриманню авторських прав, захисту конфіденційних даних та професійній відповідальності фахівців. Також висвітлено практичні аспекти інтеграції ШІ у професійну діяльність, що відкриває нові перспективи розвитку інформаційної сфери.*

Вступ

Інформаційне суспільство XXI століття визначається швидкими темпами цифровізації та інтеграцією інноваційних технологій у всі сфери життя. Серед ключових інструментів, які трансформують професійну та освітню діяльність, особливе місце посідає штучний інтелект (ШІ). Його застосування стає важливою складовою інформаційної діяльності, що охоплює управління документами, аналіз даних, інформаційно-аналітичне забезпечення, організацію інформаційних ресурсів тощо.

Для майбутніх фахівців з інформаційної діяльності (документознавців, інформаційних менеджерів, аналітиків, архівістів) ШІ виступає не лише як технологічний інструмент, але й як методологічний ресурс, що змінює сам характер роботи з інформацією. Водночас, широке застосування таких технологій актуалізує питання етики: від збереження конфіденційності до проблеми академічної доброчесності й відповідального використання інтелектуальних систем.

Основна частина

Використання ШІ у навчальному процесі. У підготовці майбутніх фахівців інформаційної сфери ШІ застосовується як:

– інструмент навчання та самонавчання – генерація тестових завдань, створення навчальних матеріалів, пояснення складних понять у доступній формі;

– середовище для досліджень – аналіз великих масивів даних, автоматизоване створення анотацій і резюме текстів, пошук інформаційних патернів;

– засіб розвитку цифрових компетентностей – ознайомлення студентів із принципами роботи алгоритмів машинного навчання, використання чат-ботів і систем автоматизованої класифікації документів.

Такі підходи сприяють формуванню у студентів критичного мислення та здатності оцінювати результати, отримані від ШІ, з позицій достовірності та наукової доброчесності.

Формування цифрових та аналітичних компетентностей. Для фахівців інформаційної сфери важливо не лише вміти користуватися готовими сервісами, а й розуміти принципи їх роботи. Використання чат-ботів, систем автоматизованої класифікації документів, програм машинного перекладу сприяє формуванню у студентів:

– компетентності у сфері роботи з даними (data literacy);
– здатності до аналізу алгоритмів і їхніх обмежень;
– розуміння ризиків, пов'язаних з упередженістю алгоритмів (bias).

Проблеми академічної доброчесності. Паралельно виникає виклик академічної чесності. Студенти можуть використовувати ШІ для автоматичного створення текстів, що іноді веде до порушення принципів авторства та плагіату. Тому важливо:

– вчити майбутніх фахівців етично позначати використання ШІ;
– поєднувати автоматизовані інструменти з особистим аналізом і критичним осмисленням;
– розробляти політику вищих навчальних закладів щодо регулювання використання ШІ у навчальному процесі.

Етичні виклики використання ШІ. Етика у сфері застосування ШІ передбачає врахування таких аспектів:

– Прозорість та достовірність – результати, створені системами ШІ, потребують перевірки людиною, щоб уникнути поширення неправдивої чи маніпулятивної інформації.
– Авторське право та плагіат – автоматизоване генерування текстів, перекладів чи зображень має супроводжуватися посиланнями на джерела та позначенням факту використання ШІ.
– Захист персональних даних – фахівці з інформаційної діяльності повинні уникати передачі системам ШІ конфіденційної чи службової інформації.
– Соціальна відповідальність – автоматизація не повинна знецінювати працю людини, натомість варто використовувати ШІ для підвищення ефективності роботи та розвантаження від рутинних операцій.

Практика професійного застосування. У професійній діяльності фахівців з інформаційної сфери ШІ використовується для оптимізації документообігу**:**

– автоматичної класифікації та систематизації документів;
– розпізнавання тексту (OCR), індексації та архівування;
– пошуку документів за змістом (semantic search).

Це значно оптимізує роботу документознавців і зменшує витрати часу на рутинні операції.

Фахівці з інформаційної діяльності все частіше працюють із великими масивами даних (Big Data). Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє:

– будувати аналітичні звіти;
– прогнозувати тенденції розвитку інформаційних потоків;
– виявляти приховані закономірності у даних.

Також слід відмітити що системи ШІ сприяють створенню інклюзивних інформаційних середовищ:

– автоматизовані перекладачі забезпечують міжмовну комунікацію;
– голосові асистенти допомагають людям із порушеннями зору;
– інструменти розпізнавання мови полегшують роботу з аудіоархівами.

Висновок

Штучний інтелект (ШІ) активно інтегрується у сферу освіти та професійної діяльності фахівців з інформаційної діяльності. Його застосування сприяє оптимізації документообігу, автоматизації аналітичних процесів, підвищенню ефективності роботи з великими масивами даних та забезпеченню доступності інформаційних ресурсів. Завдяки інструментам ШІ фахівці отримують можливість швидше знаходити потрібні документи, проводити контент-аналіз, формувати прогнозні моделі, а також підвищувати якість комунікації у цифровому середовищі.

Однак, незважаючи на очевидні переваги, використання ШІ пов'язане з низкою викликів. По-перше, це проблема достовірності даних: результати роботи алгоритмів можуть містити помилки або упередженість, що потребує критичної перевірки людиною. По-друге, актуальними залишаються питання академічної доброчесності та авторського права, адже автоматично згенеровані тексти чи зображення інколи містять приховані запозичення. По-третє, надзвичайно важливим є аспект захисту персональних даних і конфіденційної інформації, що особливо стосується документознавців та інформаційних менеджерів. Нарешті, автоматизація створює соціальні ризики, адже може зменшувати цінність людської праці, якщо не дотримуватися принципу «ШІ − як допоміжний інструмент, а не заміна спеціаліста».

Оцінюючи вищезазначене, можна зробити висновок, що використання штучного інтелекту у сфері підготовки та професійної діяльності фахівців з інформаційної діяльності має значний потенціал. З одного боку, ШІ вже сьогодні демонструє високу ефективність у вирішенні рутинних завдань: автоматизації документообігу, пошуку та класифікації інформації, аналітичній обробці великих даних. Це дозволяє спеціалістам зосереджуватися на стратегічних аспектах роботи, пов'язаних із прийняттям управлінських рішень, організацією інформаційних систем та комунікацією у професійному середовищі.

Таким чином, у майбутньому ШІ постане не як альтернатива людині, а як надійний партнер у сфері інформаційної діяльності, що підсилює професійні компетентності та сприяє створенню більш ефективного, прозорого й гуманного інформаційного середовища.

Список використаних джерел

1. Russell, S., Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. – 4th ed. – Pearson, 2021.
2. Floridi, L. *The Ethics of Artificial Intelligence*. – Oxford: Oxford University Press, 2020.
3. Topol, E. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. – Basic Books, 2019.
4. UNESCO. *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. – Paris, 2021.
5. European Commission. *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. – Brussels, 2019.
6. Мінцифри України. *Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні до 2030 року*. – Київ, 2021.
7. Дзюба, С. Штучний інтелект і виклики інформаційного суспільства // *Інформаційні технології та суспільство*. – 2022. – № 1. – С. 15–23.
8. Костенко, Л. Використання ШІ у документознавстві та архівній справі // *Документознавство. Бібліотекознавство. Інформаційна діяльність*. – 2023. – № 2. – С. 45–52.

UDK 004.4:371.26

DESIGN, COMPLIANCE, AND PILOT METRICS IN A WEB SYSTEM FOR SCHOOL DIARY, ASSESSMENT, AND LEARNING ANALYTICS

Didur V., Khoshaba O. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. This paper presents the design and implementation of a web-based electronic gradebook and school diary to support transparent, fair, and timely assessment in educational institutions. We formulate the problem of fragmented grading workflows, weak interoperability with school information systems, and compliance risks under European data-protection law. The study reports on the requirements analysis, architecture, and core modules (grade entry, rubrics, attendance, reporting, and parent–student portals), as well as interoperability via OneRoster APIs and privacy-by-design safeguards. The solution embeds formative-assessment principles and learning-analytics summaries to enhance feedback without inflating teacher workload. We conclude with lessons learned and a roadmap for pilot evaluation and institutional rollout.

Keywords: electronic gradebook; school diary; student assessment; formative feedback; learning analytics; OneRoster; GDPR; ISO/IEC 25010; K–12

Problem statement. Schools increasingly require integrated digital environments that support formative assessment, timely parent–teacher communication, and actionable learning analytics, while complying with stringent data-protection rules. Fragmented tools and ad-hoc data exchanges hinder feedback timeliness and traceability, and raise compliance risks (e.g., unclear legal bases, opaque retention, and weak role separation). Research shows that effective feedback must be timely, specific, and actionable to improve attainment [2]-[4], yet legacy gradebooks seldom operationalise these principles and rarely expose quality attributes (e.g., security, reliability, usability) as first-class design constraints [10]. This paper presents a GDPR-aware web system that unifies a school diary, assessment workflows, and analytics with a standards-aligned data model and a verifiable compliance posture.

Research tasks. We address seven tasks: (T1) formalise a data model aligned to OneRoster for classes, enrolments, results, and guardians; (T2) design assessment flows emphasising formative feedback (criteria, rubrics, and narrative comments) [2], [3]; (T3) implement communication diaries that reduce the latency between evidence, grading, and parental visibility [4]; (T4) provide learning-analytics views grounded in current evidence on LMS-mediated interventions [9]; (T5) encode GDPR safeguards (lawful basis, data minimisation, purpose limitation, SAR/erasure, records of processing); (T6) implement security primitives (RBAC with least privilege, audit trails, encryption in transit/at rest, configurable retention); (T7) evaluate the system against ISO/IEC 25010:2023 quality characteristics [10] and define pilot metrics.

Essence of the approach.

Data model and interoperability. We align entities with OneRoster 1.1 for near-term compatibility and specify a migration path to OneRoster 1.2 (backwards-compatible mapping for users, classes, enrollments, courses, results, and guardianship relations) to support improved result semantics and roster changes without manual re-entry [5], [6]. Assessment design foregrounds formative feedback: assignments reference rubric criteria and performance descriptors; teachers record narrative and criterion-level comments; the UI nudges for feed-up (goals), feed-back (progress), and feed-forward (next steps) as per [3], while preserving the actionable feedback characteristics summarised in [2]. To support motivation without superficial pointsification, gamification patterns (e.g., progress visibility, meaningful goals, voluntary challenges) are incorporated following methodological cautions from systematic evidence [1].

Compliance-by-design. Processing registers document purposes and legal bases (primarily Art. 6(1)(e)/(c) for tasks in the public interest/compliance; with safeguards when special-category data arises under Art. 9(2)(g)/(j) as applicable). The platform implements explicit data-minimisation controls (scoped attributes for guardians vs. staff), retention schedules per category (e.g., coursework artefacts vs. behavioural notes), and end-to-end Subject Access Request (SAR) and erasure workflows with time-bound handling. School-facing content and configuration are aligned with European Commission guidance on the data-protection framework and sectoral toolkits for schools [7], [8].

Quality model and engineering. We adopt ISO/IEC 25010:2023 (Edition 2) as a living checklist, tracing design decisions to characteristics (security, reliability, performance efficiency, usability, compatibility, maintainability, portability) and, where relevant, to sub-characteristics (e.g., integrity/confidentiality/non-repudiation; fault tolerance; time behaviour; operability/accessibility). Accessibility targets WCAG 2.1 AA (role-sensitive contrasts, keyboard navigation, ARIA landmarks). Security includes RBAC with scoped roles (teacher, head, guardian, learner), immutable audit events for grade changes/feedback releases, and encrypted storage for assessment artefacts.

Learning analytics. Dashboards surface class- and learner-level indicators consistent with current literature on LMS-based instructional interventions [9], privileging interpretable, low-stakes views over high-risk predictive scoring. Teachers can filter by rubric criterion and feedback type; guardians see progress and next-step guidance, not internal staff notes.

Pilot plan and anchor metrics.

To counter purely qualitative claims, we pre-register minimal viable quantitative anchors and success thresholds for a 6–8-week pilot across two subjects (Years 7–9):

Feedback timeliness: median delay from submission to published feedback (days). Target: ≤ 2.0; baseline (self-report): ~ 4–6.

Actionability of feedback: share of assignments with criterion-level comments and at least one forward-looking suggestion (%). Target: $\geq 80\%$.

Teacher effort: median time to record marks and feedback per class-set (minutes). Target: -25% vs. baseline tool.

Parent engagement: guardian portal weekly active rate (% of invited) and median time-to-first-view (days). Targets: ≥ 60% and ≤ 1.5 respectively.

Data-protection responsiveness: SAR handling lead time (calendar days) and erasure request completion rate within policy window. Targets: ≤ 20 days; 100%.

Results to date. In pre-pilot dry-runs with anonymised synthetic rosters, the OneRoster import/export round-trip achieved idempotent class/enrolment reconciliation, rubric-first marking reduced duplicate narratives, and SAR exports bundled diary entries, marks, and feedback with a single click for DPO review. Usability walkthroughs revealed the need to streamline guardian notifications (digest vs. per-event) and to provide teacher-side exemplars for criterion comments — both of which are now included in the release candidate.

Conclusions. The proposed system operationalises formative-assessment principles [2]-[4] within a standards-aligned, GDPR-aware architecture, making quality attributes explicit via ISO/IEC 25010:2023 tracing [10]. By committing to verifiable pilot metrics — timeliness, actionability, teacher effort, engagement, and data-protection responsiveness — the project moves beyond generic claims toward measurable educational and compliance outcomes. Future work will (i) complete migration adapters to OneRoster 1.2, (ii) extend accessibility tests with diverse user profiles, and (iii) incorporate lightweight intervention templates consistent with the latest learning analytics evidence [9].

References

[1] J. Hamari, J. Koivisto, and H. Sarsa, “Does Gamification Work? — A Literature Review of Empirical Studies on Gamification,” in Proc. 47th Hawaii Int. Conf. System Sciences (HICSS), 2014, pp. 3025–3034. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/6758978

[2] V. J. Shute, “Focus on Formative Feedback,” Review of Educational Research, vol. 78, no. 1, pp. 153–189, 2008. [Online]. Available: https://www.jstor.org/stable/40071124

[3] J. Hattie and H. Timperley, “The Power of Feedback,” Review of Educational Research, vol. 77, no. 1, pp. 81–112, 2007. [Online]. Available: https://journals.sagepub.com/doi/10.3102/003465430298487

[4] P. Black and D. Wiliam, “Inside the Black Box: Raising Standards Through Classroom Assessment,” Phi Delta Kappan, vol. 80, no. 2, pp. 139–148, 1998. [Online]. Available: https://kappanonline.org/inside-the-black-box-raising-standards-through-classroom-assessment-black-wiliam

[5] 1EdTech (IMS Global), “OneRoster® v1.1 Specification,” 2017–2020. [Online]. Available: https://www.imsglobal.org/oneroster-v11-final-specification

[6] 1EdTech, “OneRoster® v1.2 – Overview and Resources,” 2020–2025. [Online]. Available: https://www.imsglobal.org/oneroster

[7] European Commission, “Legal framework of the right to personal data protection,” 2024. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_en

[8] Data Protection Commission (Ireland), “Data Protection Toolkit for Schools,” 2024. [Online]. Available: https://www.dataprotection.ie/en/dpc-guidance/specific-data-protection-topics/data-protection-toolkit-schools

[9] C. M. Gamage, M. Perera, and I. Samarasekara, “A Systematic Review of Learning Analytics: Incorporated Instructional Interventions on LMSs,” Journal of Learning Analytics, vol. 11, no. 1, pp. 1–28, 2024. [Online]. Available: https://learning-analytics.info/index.php/JLA/article/view/8431

[10] ISO/IEC, “ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models,” 2023. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/82950.html

HTB ОНТУ

УДК 004.588

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ ТА ІНТЕГРОВАНІ АСИСТЕНТИ ДОВЕДЕНЬ У НАВЧАННІ КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ І ПРОГРАМУВАННЯ

Євдокимов О. О., Мандрікова Л. В. (o.yevdokymov@khai.edu, l.mandrikova@khai.edu**)**
Національний аерокосмічний "Харківський авіаційний інститут" (Україна)

Анотація. Запропоновано концепцію курсів із квантової механіки та програмування квантових комп'ютерів, що поєднують інтелектуальні навчальні програми (ІНС) з інтегрованими асистентами доведень. Аргументовано актуальність через появу стандартів постквантової криптографії, нові європейські стратегії та зростання економічного потенціалу квантових технологій. Окреслено архітектуру рішення, приклади навчальних модулів і дизайн педагогічного експерименту з об'єктивною перевіркою ефекту на навчальні результати.
Ключові слова: квантові обчислення; інтелектуальні навчальні програми; інтерактивні асистенти доведень; формальна верифікація; постквантова криптографія; навчальна аналітика.

Актуальність і постановка проблеми

ЄС у 2025 р. ухвалив **Quantum Europe Strategy** з ціллю лідерства до 2030 р., а **SRIA 2030** є дорожньою картою для обчислень, комунікацій, сенсингу та освіти [1], [2]. У 2024 р. NIST фіналізував перші стандарти PQC (FIPS 203/204/205), що запускає довготривалу міграцію криптографічної інфраструктури та підвищує попит на фахівців, які розуміють і квантові загрози, і безпечне програмування [3], [4]. Оцінки BCG (2024) вказують на потенціал створення $450–850 млрд доданої вартості до 2040 р., що обґрунтовує інвестиції в освіту вже сьогодні [5]. Технічний поступ — **корисність до відмовостійкості** (IBM, *Nature*, 2023) і масштабування виправлення помилок у поверхневому коді (Google, *Nature*, 2023; нижче-пороговий режим, *Nature*, 2025) — підтверджує практичну доцільність навчання реальному квантовому програмуванню [6]–[8]. В Україні відкрито участь у **EUREKA Applied Quantum Technologies 2025**, що створює «вікно можливостей» для університетів і освітніх пілотів [9], [10].

Потрібні навчальні рішення, що водночас: (i) дають інтенсивну практику з квантового програмування; (ii) підкріплюють математичну строгість через інтерактивне доведення властивостей алгоритмів; (iii) масштабуються завдяки персоналізації й аналітиці навчання.

Мета і завдання

Розробити та впровадити курс/мікроспеціалізацію з квантових обчислень, у якій інтелектуальну навчальну програму (ІНС) інтегровано з асистентами доведень, щоб підвищити засвоєння матеріалу, самостійність студентів і вміння формально верифікувати квантові програми.

Завдання:

1. Спроєктувати мікромодулі «квантова механіка для обчислень» + «квантове програмування»;
2. Інтегрувати сценарії автоматизованого оцінювання та поетапного зворотного зв'язку;
3. Додати задачі з формальною верифікацією (властивості унітарнсті, інваріанти алгоритмів);
4. Виміряти ефекти на навчальні результати в RCT-дизайні.

Концептуальна архітектура рішення

Три шари:

S1 — Предметний. Алгебра квантових станів і операторів; базові брами; схеми DJ, Grover, QFT; варіаційні методи (VQE/QAOA) із симуляторами та доступом до «малих» квантових пристроїв/хмар.

S2 — Дидактичний (ІНС). Покрокові підказки; виявлення хибних уявлень; адаптивні траєкторії; перевірка крок за кроком (stepwise formative assessment); панель учителя з аналітикою. Рандомізовані банка-завдання з авто-грейдингом і компетентнісними рубриками. Емпірично, AI-тьютори в RCT (2025) перевершили активне аудиторне навчання за приростом знань і швидкістю виконання — інтегруємо краще з обох підходів у змішаний формат [11].

S3 — Формальна база (асистенти доведень). Завдання на доведення тотожностей та коректності схем через інтерактивне формулювання лем, інваріантів і сертифікацію властивостей (наприклад, $U\dagger U = I$, коректність Oracle-етапу в Grover тощо). Існують готові підвалини: реалізації

квантової Hoare-логіки та верифікації Grover'a в середовищах вищого порядку; сучасні інструменти семантичного пошуку теорем для математичних бібліотек [12]–[14]. Це дозволяє студентам поєднати програмування з формальною аргументацією.

Приклади мікромодулів і типи завдань

М1. Кубіт, оператори, вимірювання. Інтерактивні візуалізації; тести з миттєвим зворотним зв'язком. Доведення: ортонормальність власних векторів Ермітового оператора; перевірка унітарності (формально) [12].

М2. Базові схеми. Конструювання з H, X, Z, CNOT; вправи «виправ помилку в колі». Доведення еквівалентності двох послідовностей брам (алгебраїчні перетворення) [12].

М3. DJ і Grover. Кодування оракулу; підбір числа ітерацій; індуктивне доведення інваріанта амплітуд Grover із шаблонами доказів (готові приклади у формальних бібліотеках) [12], [13].

М4. Постквантова криптографія (практикум). Огляд ML-KEM / ML-DSA / SLH-DSA та інтеграція PQC-бібліотек у навчальний проєкт [3], [4].

М5. Виправлення помилок. Інтуїція surface-code; симулятор помилок; обговорення сучасних експериментів (масштабування логічних к'юбітів, нижче-порогові режими) [7], [8].

М6. Семантичний пошук теорем. Пошук лем за природною мовою для скорочення доведень у навчальних задачах [14].

Інтеграція, оцінювання та аналітика

Формат. Змішане навчання: міні-лекції → ІНС-практикуми → «сесія верифікації» (20–30 хв) у кінці модуля.

Оцінювання. *Normalized gain*, тести перенесення, рубрики для доведень (повнота, коректність, використання лем), час виконання; відстеження підказок/помилок у логах ІНС.

Очікування. Спираючись на RCT з AI-тьютором, гіпотеза — не гірші або кращі результати за менший час і вищу залученість [11].

Дві групи: **treatment** (*ІНС + асистент доведень*) vs **control** (традиційне активне навчання). Вимірювання: перед/після-тести, *proof score*, час виконання, утримання знань (4–6 тижнів), мотивація/залученість [11].

Висновки

Поєднання ІНС із інтерактивними доведеннями створює безперервний перехід від інтуїтивних уявлень до формальної строгості, що критично важливо в квантових обчисленнях. Наявні стратегії ЄС, стандарти PQC і експериментальні досягнення в пом'якшенні/виправленні помилок роблять упровадження таких курсів своєчасним і практично значущим [1]–[8], [18].

Примітка. Під час підготовки частини тексту, редагування та узгодження наукового стилю було використано моделі *GPT-5* і *GPT-5 Pro* (OpenAI, 2025). Усі наукові положення, ідеї та висновки належать авторам.

Список використаної літератури

[1] "Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World," EUR-Lex, 02.07.2025. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52025DC0363 [Accessed: October 23, 2025].

[2] "Strategic Research and Industry Agenda (SRIA) 2030," Quantum Flagship, 2023/2024. [Online]. Available: https://qt.eu/media/pdf/Strategic-Reseach-and-Industry-Agenda-2030.pdf [Accessed: October 23, 2025].

[3] "NIST releases first 3 finalized post-quantum encryption standards," nist.gov, 13.08.2024. [Online]. Available: https://www.nist.gov/news-events/news/2024/08/nist-releases-first-3-finalized-post-quantum-encryption-standards [Accessed: October 23, 2025].

[4] "FIPS 203 — Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard," NIST CSRC, 13.08.2024. [Online]. Available: https://csrc.nist.gov/pubs/fips/203/final [Accessed: October 23, 2025].

[5] "Quantum Computing On Track to Create Up to $850 Billion of Economic Value by 2040," Boston Consulting Group, 18.07.2024. [Online]. Available: https://www.bcg.com/press/18july2024-quantum-computing-create-up-to-850-billion-of-economic-value-2040 [Accessed: October 23, 2025].

[6] Y. Kim *et al.*, “Evidence for the utility of quantum computing before fault tolerance,” Nature, vol. 618, 2023. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41586-023-06096-3 [Accessed: October 23, 2025].
[7] R. Acharya *et al.*, “Suppressing quantum errors by scaling a surface code logical qubit,” Nature, 2023. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41586-022-05434-1 [Accessed: October 23, 2025].
[8] “Quantum error correction below the surface code threshold,” Nature, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41586-024-08449-y [Accessed: October 23, 2025].
[9] “Відкрито конкурс проєктів у сфері прикладних квантових технологій у межах мережі Eureka,” МОН України, 07.05.2025. [Online]. Available: https://mon.gov.ua/news/vidkryto-konkurs-proiektiv-u-sferi-prykladnykh-kvantovykh-tekhnolohii-u-mezhakh-merezhi-eureka [Accessed: October 23, 2025].
[10] “Applied Quantum Technologies — Call 2025,” Eureka Network, 06.05.2025. [Online]. Available: https://www.eurekanetwork.org/programmes-and-calls/network-projects/network-projects-applied-quantum-technologies-2025/ [Accessed: October 23, 2025].
[11] G. Kestin *et al.*, “AI tutoring outperforms in-class active learning,” Scientific Reports, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41598-025-97652-6 [Accessed: October 23, 2025].
[12] J. Liu *et al.*, “Formal Verification of Quantum Algorithms Using Quantum Hoare Logic,” LNCS / CAV 2019, 2019. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25543-5_12 [Accessed: October 23, 2025].
[13] “Quantum Hoare Logic (QHLProver),” Isabelle Archive of Formal Proofs, 24.03.2019. [Online]. Available: https://www.isa-afp.org/entries/QHLProver.html [Accessed: October 23, 2025].
[14] G. Gao *et al.*, “A Semantic Search Engine for Mathlib4,” Findings of EMNLP 2024, 2024. [Online]. Available: https://aclanthology.org/2024.findings-emnlp.470/ [Accessed: October 23, 2025].
[15] “New IBM, UC Berkeley paper shows path toward useful quantum,” IBM Quantum Blog, 14.06.2023. [Online]. Available: https://www.ibm.com/quantum/blog/utility-toward-useful-quantum [Accessed: October 23, 2025].
[16] “Інформаційні технології і автоматизація (IT&A),” ОНТУ. [Online]. Available: https://ontu.edu.ua/itia [Accessed: October 23, 2025].
[17] “Інформаційні технології і автоматизація – 2024: Збірник тез,” ОНТУ, 15.10.2024. [Online]. Available: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf [Accessed: October 23, 2025].
[18] “European Competence Framework for Quantum Technologies, v2.5 (Apr-2024),” Quantum Flagship / Publications Office, 2024. [Online]. Available: https://qt.eu/media/pdf/Competence_Framework_for_QT_v2_5_2024.pdf [Accessed: October 23, 2025].

УДК 004.8:37.02

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НАВЧАЛЬНА СИСТЕМА З АВТОМАТИЧНИМ ПІДБОРОМ ТЕСТІВ ДЛЯ ШКОЛЯРІВ

Заіка О.О., Жульковська І.І., Жульковський О.О. (olalzh@ukr.net**)**
Дніпровський державний технічний університет(Україна)

Сучасна освіта потребує інструментів персоналізації навчального процесу, здатних враховувати індивідуальні особливості кожного учня. Традиційні підходи до навчання не забезпечують ефективної адаптації складності матеріалу до рівня знань школярів, що призводить до зниження мотивації та неоптимального засвоєння знань. Створення адаптивних навчальних систем на основі методів штучного інтелекту, зокрема навчання з підкріпленням, дозволяє автоматизувати підбір завдань оптимальної складності та реалізувати концепцію зони найближчого розвитку в режимі реального часу. Розроблений вебзастосунок інтегрує алгоритм Deep Q-Network для інтелектуального управління навчальним процесом, забезпечуючи персоналізоване навчання без необхідності серверної інфраструктури.

Цифровізація освітніх процесів є пріоритетним напрямком розвитку сучасної школи. Незважаючи на наявність численних платформ електронного навчання, більшість із них

НТБОНТУ

використовують лінійні сценарії або прості правила адаптації, що не враховують динаміку навчання конкретного учня. Особливо актуальною є проблема масовості освіти, коли на одного вчителя припадає 25-30 учнів із різним рівнем підготовки, що унеможливлює повноцінну індивідуалізацію навчального процесу [1].

Впровадження методів машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning), відкриває нові можливості для створення систем, здатних самостійно навчатися оптимальним педагогічним стратегіям. Алгоритм Deep Q-Network (DQN) дозволяє моделювати процес взаємодії «вчитель-учень», де система отримує винагороду за правильні відповіді учня та адаптує стратегію підбору завдань у реальному часі [2, 3].

Аналіз існуючих рішень [1–4] показує, що корпоративні освітні платформи (Khan Academy, Duolingo) використовують власні закриті алгоритми адаптації, однак не дозволяють впроваджувати локальний контент, що критично важливо для національних шкіл. Системи управління навчанням (LMS) типу Moodle або Google Classroom забезпечують інфраструктуру, але не володіють глибокою інтелектуальною складовою для персоналізації. Таким чином, актуальним є створення доступного веброзв'язку з інтелектуальним ядром, адаптованого до потреб загальноосвітніх закладів.

Метою дослідження є розроблення інтелектуальної адаптивної навчальної системи, що поєднує сучасні вебтехнології з алгоритмами навчання з підкріпленням для автоматичного підбору тестових завдань оптимальної складності. Основні завдання полягають у:

– проектуванні архітектури системи на основі модульного підходу із чітким розділенням компонентів машинного навчання, управління даними та інтерфейсу користувача;

– реалізації алгоритму Deep Q-Network з механізмами пріоритетної вибірки досвіду та адаптивною стратегією дослідження простору дій;

– впровадженні економіко-математичної моделі функції винагороди, що враховує точність відповідей, швидкість реакції, складність завдання та принцип зони найближчого розвитку;

– забезпеченні інтерактивного інтерфейсу з елементами гейміфікації та візуалізацією процесу навчання моделі.

Розроблення системи базується на методах глибокого навчання з підкріпленням, теорії нейронних мереж, алгоритмічному підході до проектування програмного забезпечення та педагогічній концепції зони найближчого розвитку Л.С. Виготського. Архітектура реалізована як однорівнева клієнтська система: весь функціонал виконується в браузері користувача без необхідності серверної частини. Фронтенд побудовано на чистому JavaScript (ES6+) з використанням HTML5, CSS3 та Canvas API для візуалізації.

Ядром системи є багатошарова нейронна мережа прямого поширення з архітектурою 6-12-5 (вхідний шар – 6 нейронів для представлення стану учня, прихований шар – 12 нейронів з функцією активації ReLU, вихідний шар – 5 нейронів з лінійною активацією для Q-значень типів завдань). Вхідний вектор стану включає точність відповідей користувача, нормалізований час реакції, поточну серію правильних відповідей, складність терміну, кількість повторень та час з останнього повторення. Усі параметри нормалізовані до діапазону 0.0…1.0. Для стабілізації навчання застосовано Z-score нормалізацію вхідних даних.

Алгоритм DQN реалізує навчання на основі помилки тимчасової різниці з цільовим значенням за рівнянням Беллмана:

$$Q_{t\arg} = r + \gamma \times \max\left(Q(s')\right)\left(1 - done\right),$$

де r – миттєва винагорода, $\gamma = 0.9$ – коефіцієнт дисконтування майбутніх винагород, s' – наступний стан, *done* – прапорець завершення епізоду.

Для підвищення ефективності впроваджено буфер відтворення досвіду місткістю 50 записів з пріоритетною вибіркою на основі величини помилки передбачення. Навчання відбувається міні-пакетами розміром 8 записів. Стратегія epsilon-greedy забезпечує баланс між дослідженням нових стратегій і використанням вже набутих знань, з адаптивним коефіцієнтом дослідження, що знижується від початкового значення 0.7 до мінімального 0.1 з коефіцієнтом затухання 0.85.

Функція винагороди для правильної відповіді поєднує базову винагороду, що залежить від складності завдання, бонус за швидкість реакції та бонус за серію послідовних правильних відповідей. Для неправильної відповіді застосовується покарання, величина якого зменшується

для складніших питань. Реалізовано L2-регуляризацію з параметром $\lambda = 0.0001$ для запобігання перенавчанню та обмеження градієнтів порогом ±1.0 для стабілізації процесу оптимізації. Швидкість навчання має експоненційне затухання від початкового значення 0.01 до мінімального 0.0001 з коефіцієнтом 0.95. Ваги мережі ініціалізовані за методом Xavier для запобігання проблем зникаючих та вибухаючих градієнтів.

Система повторень реалізує модифікований алгоритм SuperMemo з динамічним фактором легкості, що адаптується до точності відповідей користувача, та інтервалом повторення, який збільшується для добре засвоєного матеріалу. Алгоритм вибору терміну враховує концепцію зони найближчого розвитку (оптимальна складність при точності близько 70%), пріоритет повторення на основі часу з останнього звернення та часові інтервали забування. Комбінований пріоритет формується з трьох компонентів з вагами 0.5, 0.3 та 0.2 відповідно, після чого термін вибирається методом вибірки колеса рулетки [5].

Інтерфейс користувача включає зону завантаження навчальних матеріалів у форматі TXT з підтримкою drag-and-drop, інтерактивну панель прогресу з динамічним прогрес-баром, блок відображення теоретичного матеріалу та області питань із різними типами завдань (множинний вибір, заповнення пропусків, відкриті питання). Реалізовано систему енергії з параметрами: початкова енергія – 20, максимальна – 100, витрата за бездіяльність – 0.5/сек, винагорода за правильну відповідь – +5, штраф за неправильну – -15. Для візуалізації роботи AI на Canvas у реальному часі відображаються графіки функції втрат (loss) та середніх Q-значень з оновленням після кожного навчального кроку, що дозволяє моніторити збіжність алгоритму та виявляти потенційні проблеми в процесі навчання.

Тестування системи проводилося на реальному навчальному контенті з курсів загальноосвітньої школи. Результати показали стабільне зниження функції втрат після 50-70 навчальних прикладів, що підтверджує здатність системи до навчання. Аналіз логів взаємодії продемонстрував коректну ідентифікацію зони найближчого розвитку для різних учнів: для успішних учнів система пропонувала складніші завдання, тоді як для тих, хто відчував труднощі, підтримувала оптимальний рівень складності [6, 7].

Практичне впровадження в умовах КЗ «Гімназія №4 Кам'янської міської ради» підтвердило зручність використання системи та її позитивний вплив на мотивацію учнів. Ігрові механіки виявилися ефективним інструментом для утримання уваги та створення позитивної навчальної атмосфери.

Розроблена інтелектуальна навчальна система є ефективним інструментом для персоналізації освітнього процесу в загальноосвітніх закладах. Система поєднує науково обґрунтовані педагогічні підходи з передовими методами машинного навчання, забезпечуючи автоматичну адаптацію складності завдань до індивідуальних особливостей учня. Автономна архітектура робить систему доступною для впровадження без додаткової інфраструктури.

Подальший розвиток передбачає розширення типів навчальних завдань, інтеграцію з системами управління навчанням (LMS), впровадження механізмів колаборативного навчання та використання більш складних архітектур нейронних мереж (Actor-Critic, PPO) для підвищення ефективності адаптації. Окремим напрямом є створення рекомендаційних механізмів для вчителів на основі аналізу агрегованих даних про прогрес класу та дослідження довгострокового впливу використання системи на освітні результати учнів.

Список використаної літератури

[1] C. Tan, R. Han, R. Ye, and K. Chen, "Adaptive learning recommendation strategy based on deep Q-learning," *Applied Psychological Measurement*, vol. 44, no. 4, pp. 251–266, 2019, doi: 10.1177/0146621619858674

[2] W. Villegas-Ch, D. Buenano-Fernandez, and A. M. Navarro, "Adaptive intelligent tutoring systems for STEM education: analysis of the learning impact and effectiveness of personalized feedback," *Smart Learning Environments*, vol. 12, art. 41, 2025, doi: 10.1186/s40561-025-00389-y

[3] T. Kabudi, I. Pappas, and D. H. Olsen, "AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 2, art. 100017, 2021, doi: 10.1016/j.caeai.2021.100017

[4] I. Gligorea, M. Cioca, R. Oancea, A.-T. Gorski, H. Gorski, and P. Tudorache, "Adaptive learning using artificial intelligence in e-Learning: A literature review," *Education Sciences*, vol. 13, no. 12, art. 1216, 2023, doi: 10.3390/educsci13121216
[5] H. A. El-Sabagh, "Adaptive e-learning environment based on learning styles and its impact on development students' engagement," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 18, art. 53, 2021, doi: 10.1186/s41239-021-00289-4
[6] K. Chrysafiadi, M. Virvou, G. A. Tsihrintzis, and I. Hatzilygeroudis, "Evaluating the user's experience, adaptivity and learning outcomes of a fuzzy-based intelligent tutoring system," *Education and Information Technologies*, vol. 28, no. 6, pp. 6453–6483, 2023, doi: 10.1007/s10639-022-11444-3
[7] C. Troussas, A. Krouska, C. Sgouropoulou, and I. Voyiatzis, "Ensemble learning using fuzzy weights to improve learning style identification for adapted instructional routines," *Entropy*, vol. 22, no. 7, art. 735, 2020, doi: 10.3390/E22070735

УДК 004:519.7

МЕТОД МАКСИМІНА В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Ігнатьєва К.М., Розум М.В. (ignatevaekaterina3@gmail.com, marina_rozum@ukr.net)
Одеський національний морський університет (Україна)

У роботі розглянуто реалізацію максимінного критерію (критерію Вальда) в межах інформаційної системи, призначеної для підтримки прийняття рішень в умовах визначеності і невизначеності. Описано теоретичну основу методу, його формалізацію та технічну реалізацію. Наведено приклад використання системи для вибору оптимальної альтернативи. Показано, що реалізація методу забезпечує доступність складних математичних процедур для широкого кола користувачів.

У сучасних умовах багатофакторності та невизначеності прийняття рішень потребує використання формалізованих підходів, які дозволяють обґрунтовано обрати оптимальну альтернативу. Особливо це актуально в галузях, де наслідки вибору мають стратегічне значення. Одним із таких підходів є максимінний критерій, що базується на консервативній моделі поведінки особи, яка приймає рішення. У межах даного дослідження було реалізовано цей метод у реалізованій веб-системі, яка надає користувачам інструменти для аналізу альтернатив без необхідності глибоких знань у математичному моделюванні.

Максимінний критерій (критерій Вальда) ґрунтується на припущенні, що зовнішні умови є несприятливими, а отже, слід орієнтуватися на найгірший можливий результат для кожної альтернативи [1]. Після цього обирається альтернатива, яка забезпечує найкращий із найгірших результатів. Якщо величина $v(a_i, s_j)$ представляє одержуваний прибуток, оптимальне рішення визначається за наступною формулою:

$$\max_{a_i} \left\{ \min_{s_j} v(a_i, s_j) \right\} \quad (1)$$

У випадку, коли $v(a_i, s_j)$ представляє втрати, застосовується мінімаксний критерій:

$$\min_{a_i} \left\{ \max_{s_j} v(a_i, s_j) \right\} \quad (2)$$

Теоретичні основи цього методу широко описані в працях з теорії рішень [2, 3].

У розроблений інформаційній системі реалізовано критерій Вальда через інтерфейс, що дозволяє вводити дані вручну або завантажувати їх у форматі Excel. Дані представляються у вигляді матриці, де рядки відповідають альтернативам, а стовпці — можливим станам середовища. Після завантаження система автоматично або обчислює мінімальні значення для кожної альтернативи, а потім обирає ту, яка має максимальне з них згідно з формулою (1), або навпаки обчислює максимальні значення для кожної альтернативи, а потім обирає ту, яка має мінімальне з них згідно з формулою (2). Це залежить від вибору користувача на головній сторінці методу. Результат візуалізується у вигляді таблиці та графіка, що демонструє мінімальні значення для кожної альтернативи та підсвічення оптимальної альтернативи.

У технічному аспекті система побудована на основі фреймворку Flask, що забезпечує модульну архітектуру та стабільну роботу веб-застосунку. Для побудови графіків використовується бібліотека Plotly, яка дозволяє створювати інтерактивні візуалізації. Завантаження Excel-файлів реалізовано через OpenPyXL, що забезпечує зручність для користувачів. Інтерфейс системи орієнтований на широку аудиторію — від студентів до аналітиків, і не потребує спеціальної математичної підготовки. Крім того, система підтримує інтеграцію з іншими методами прийняття рішень [4], що дозволяє розширювати функціональність системи відповідно до потреб користувача.

На рис. 1 наведено приклад результату застосування максимінного критерію в реалізованій системі. Таблиця містить значення виграшів для кожної альтернативи, мінімальні з яких виділено, а графік нижче демонструє розподіл цих значень.

Рисунок 1 – Візуалізація результату застосування максимінного критерію в системі прийняття рішень

Таким чином, реалізація максимінного критерію в розроблений системі дозволяє ефективно вирішувати задачі вибору в умовах невизначеності. Завдяки автоматизації обчислень, інтерактивній візуалізації та доступному інтерфейсу, система забезпечує практичну цінність для користувачів, які прагнуть приймати обґрунтовані рішення на основі математичних моделей.

Список використаної літератури

[1] Розум М.В. Теорія прийняття рішень. Навчальний посібник для спеціальностей 122 – Комп'ютерні науки, 124 – Системний аналіз, 125 – Кібербезпека та захист інформації (для денної та заочної форм навчання). – Одеса: Видавництво «ОНМУ», 2024.- 290 с.

[2] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," Int. J. Services Sciences, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.

[3] J. von Neumann and O. Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press, 1944.

[4] Розум М.В., Ігнатьєва К.М. Інформаційна система підтримки прийняття рішень. (2025) *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки, вип. 3, С.153-166. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.3.17

УДК 378:004

LEARNING ANALYTICS ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ ТА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ОСВІТНІХ ПРОБЛЕМ ЗДОБУВАЧІВ

Кобус О.С., Бондаренко С.Ю. (kobus_olena@ukr.net, bondarenko.stephan@ukr.net**)**

Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У дослідженні розглянуто Learning Analytics як сучасний інструмент прогнозування успішності та раннього виявлення освітніх проблем здобувачів освіти. Проаналізовано концептуальні засади, ключові показники навчальної активності та алгоритмічні моделі, що дозволяють формувати прогностичні профілі здобувачів вищої освіти і груп ризику. Показано практичний досвід впровадження Learning Analytics у різних країнах і його вплив на персоналізацію та підвищення якості навчального процесу. У висновках наголошено на необхідності інтеграції цього підходу у систему управління освітою, дотриманні етичних та правових норм обробки даних і підготовці педагогічних кадрів до роботи з аналітикою.

Сучасна трансформація освітнього простору, зумовлена цифровізацією, масовим упровадженням електронних платформ та розширенням доступу до освітніх ресурсів, актуалізує потребу у використанні нових методів збору, аналізу й інтерпретації даних про навчальну діяльність здобувачів освіти. Проблема, яку розглядає це дослідження, полягає у недостатньому системному використанні потенціалу Learning Analytics (далі в тексті – LA) – аналітики навчальних даних – як комплексного інструменту не лише для ретроспективного оцінювання результатів, а й для прогнозування успішності, раннього виявлення ризиків академічної неуспішності та своєчасного впровадження превентивних педагогічних і психологічних заходів. Традиційні підходи до моніторингу навчальних досягнень у закладах освіти здебільшого орієнтовані на підсумкові результати (оцінки, екзамени), не враховують динаміки індивідуальної взаємодії здобувача з контентом та викладачем, а також не дають можливості формувати прогностичні моделі, що особливо важливо у масових і змішаних форматах навчання.

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методологічних засад і практичних можливостей використання Learning Analytics для прогнозування навчальної успішності та раннього виявлення освітніх проблем здобувачів, а також формування рекомендацій щодо інтеграції LA у систему управління якістю освіти. У ході роботи вирішено такі завдання: уточнено понятійний апарат і концептуальні основи Learning Analytics як міждисциплінарного напряму; досліджено світові та національні практики використання LA у вищій і середній освіті; виокремлено ключові індикатори й показники навчальної активності, що можуть слугувати маркерами прогнозування ризику академічної неуспішності; проаналізовано алгоритмічні підходи та моделі (регресійні, класифікаційні, мережеві) для обробки великих масивів освітніх даних; визначено етичні й правові аспекти збору та обробки даних здобувачів; розроблено пропозиції щодо впровадження LA в освітнє середовище з урахуванням технічних і організаційних можливостей закладів освіти [4].

Суть дослідження полягає в доведенні того, що Learning Analytics, будучи поєднанням технологій збору великих даних, алгоритмів машинного навчання та педагогічної інтерпретації, дозволяє створювати персоналізовані прогностичні профілі здобувачів, у яких враховується не

лише їхня академічна успішність, але й поведінкові патерни (кількість і тривалість входів у систему, послідовність проходження модулів, активність у форумах, швидкість виконання завдань), соціально-емоційні фактори (залученість у групову роботу, співпраця з однокурсниками) та контекстні дані (поєднання навчання з роботою, дистанційна або очна форма, особливі потреби). На основі таких комплексних даних будуються алгоритми прогнозування ймовірності успішного завершення курсу або виникнення труднощів [2]. Використання методів кластеризації дозволяє групувати здобувачів за подібними траєкторіями навчання та визначати групи ризику, а методи предиктивного моделювання – попереджати про ймовірні відхилення від успішного сценарію, що дає викладачам і кураторам можливість своєчасно надавати цільову підтримку: додаткові консультації, адаптацію навчальних матеріалів, психолого-педагогічний супровід. Дослідження також показує, що ефективність Learning Analytics залежить від якісної інтеграції технологічної й аналітичної складових у педагогічний процес: наявність чітких показників успішності, належного програмного забезпечення, підготовлених фахівців-аналітиків і викладачів, здатних інтерпретувати дані, а також від дотримання принципів прозорості, етичності та захисту персональних даних.

У процесі роботи було проаналізовано міжнародний досвід університетів Великої Британії, США, Австралії, де Learning Analytics використовується для формування систем раннього попередження (early warning systems), прогнозування відсіву здобувачів вищої освіти і персоналізації навчання. Наведено приклади успішного впровадження LA у змішаних курсах MOOC, де своєчасна ідентифікація здобувачів вищої освіти із низькою активністю дозволила зменшити відсоток дострокового припинення навчання на 15–20% [1]. Показано, що використання LA позитивно впливає на підвищення внутрішньої мотивації здобувачів, оскільки прозора візуалізація їхнього прогресу дає змогу самостійно відслідковувати досягнення й отримувати індивідуальні рекомендації.

У висновках наголошено, що Learning Analytics у сучасних умовах є не лише технічним інструментом обробки освітніх даних, а й потужним управлінським та педагогічним механізмом прогнозування успішності й раннього виявлення освітніх проблем здобувачів. Його ефективність ґрунтується на поєднанні алгоритмічних моделей із педагогічною експертизою та можливістю оперативного втручання. Дослідження підтверджує, що системне впровадження LA дозволяє суттєво знизити ризик академічної неуспішності, підвищити рівень підтримки здобувачів, оптимізувати ресурси закладу освіти та формувати персоналізовані траєкторії навчання. Зроблено висновок, що для максимальної ефективності Learning Analytics необхідно не лише забезпечити технічну базу й аналітичні алгоритми, а й підготувати педагогічні кадри до роботи з даними, розробити внутрішні політики етики та конфіденційності, інтегрувати результати аналітики у практику навчального процесу. Таким чином, Learning Analytics постає ключовим інструментом сучасної освітньої аналітики, який у разі належного впровадження здатний значно підвищити якість освіти, забезпечити раннє виявлення проблем та сформувати стійку систему підтримки успішності здобувачів.

Список використаної літератури

[1] A. Muslim, M. A. Chatti, M. Guesmi, “Open Learning Analytics: A Systematic Literature Review and Future Perspectives,” *ArXiv Preprint*, Mar. 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2303.12395 [Accessed: Sep. 25, 2025].

[2] M. A. Chatti, A. Muslim, M. Guliani, M. Guesmi, “The LAVA Model: Learning Analytics Meets Visual Analytics,” *ArXiv Preprint*, Mar. 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2303.12392 [Accessed: Sep. 25, 2025].

[3] O. Viberg, Å. Grönlund, “Introducing Practicable Learning Analytics,” *ArXiv Preprint*, Jan. 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2301.13043 [Accessed: Sep. 25, 2025].

[4] A. Brun, G. Bonnin, S. Castagnos, A. Roussanaly, A. Boyer, “Learning Analytics Made in France: The METAL project,” *ArXiv Preprint*, Apr. 2019. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1904.02528 [Accessed: Sep. 25, 2025].

УДК 004.9+005.92

СИМУЛЯЦІЙНІ ТА ІГРОВІ ПІДХОДИ ДО НАВЧАННЯ КОРИСТУВАЧІВ СИСТЕМАМ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ

КОМИНАР Т. Н. (t.komynar@icloud.com)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Розглянуто підходи до підвищення ефективності навчання користувачів систем електронного документообігу шляхом використання симуляційних та гейміфікованих методів. Запропоновано модель тренажера, яка відтворює основні бізнес-процеси документообігу та забезпечує практичне відпрацювання операцій на різних рівнях складності. Особливістю підходу є інтеграція інтерактивних сценаріїв з можливістю адаптації дій користувачів на основі зворотного зв'язку. Для оцінки ефективності проведено порівняльний аналіз традиційного та гейміфікованого навчання, результати якого засвідчили скорочення часу засвоєння матеріалу, підвищення точності виконання завдань та зростання мотивації персоналу.

У сучасних організаціях цифровізація процесів обробки інформації та документообігу відіграє визначальну роль у підвищенні ефективності управління ресурсами та скороченні часу на рутинні операції. Системи електронного документообігу дозволяють автоматизувати створення, реєстрацію, маршрутизацію та архівування документів, що безпосередньо впливає на точність, швидкість та надійність інформаційних потоків. Ефективність впровадження таких систем залежить від рівня компетенції користувачів, їхньої мотивації та готовності адаптуватися до нових технологій. У зв'язку з цим у роботі запропоновано застосування симуляційних та гейміфікованих підходів як засобу підвищення ефективності навчання персоналу [1, 2].

Принципи гейміфікації передбачають інтеграцію елементів гри у навчальний процес для формування мотивації, активного залучення та закріплення практичних навичок. У роботі розроблено модель тренажера, що відтворює основні бізнес-процеси системи електронного документообігу та забезпечує практичне відпрацювання ключових операцій. Відмінністю підходу є використання інтерактивних сценаріїв, в яких користувачі виконують роль різних учасників документообігу, отримуючи зворотний зв'язок та адаптуючи свої дії у відповідності до результатів.

Модель навчання побудована на трьох рівнях складності (рис. 1). На базовому рівні користувачі ознайомлюються з інтерфейсом та основними функціями системи, включно з реєстрацією та створенням документів. На просунутому рівні відпрацьовуються сценарії взаємодії в команді та маршрутизації документів, включно з обробкою термінових завдань та контролем за виконанням. На інтерактивному (найвищому) рівні моделюються критичні ситуації, такі як помилки заповнення документів, дублювання завдань та порушення термінів. Це дозволяє користувачам відпрацьовувати навички швидкого реагування та прийняття рішень [3–5].

Рис. 1. Концептуальна архітектурна модель тренажера електронного документообігу

Також побудовано UML-діаграму [6] процесу навчання, що наочно відображає логіку проходження користувачем усіх рівнів тренажера. На рис. 2 показано послідовність дій користувача від ознайомлення з інтерфейсом до оцінювання результатів та надання рекомендацій.

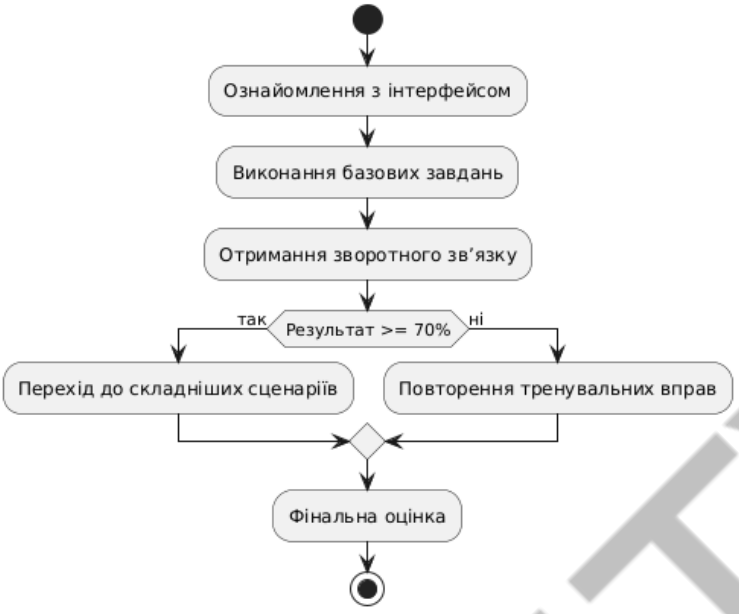


Рис. 2. UML-діаграма процесу навчання

Для аналізу ефективності впровадження гейміфікованого навчання проведено кількісне оцінювання ключових параметрів: продуктивності виконання завдань, точності обробки документів, часу засвоєння матеріалу та рівня мотивації користувачів. У тренуванні взяли участь 25 людей, що володіють достатніми технічними навиками. У табл. 1 наведено результати порівняння традиційного та гейміфікованого підходів, зокрема нормалізовані показники ефективності, які відображають комплексну інтеграцію навчальних, мотиваційних та практичних аспектів.

Таблиця 1. Порівняння традиційного та гейміфікованого навчання

Параметр	Методика оцінки	Традиційне навчання	Гейміфіковане навчання
Час засвоєння матеріалу	Середній час (хв) на виконання завдання	120	75
Точність обробки документів	Відсоток правильно виконаних операцій	82	95
Продуктивність	Кількість виконаних завдань за годину	10	16
Мотиваційний індекс	Середній бал за опитуванням користувачів	3,2	4,6

Висновок. Аналіз отриманих даних свідчить про суттєве підвищення ефективності навчання при використанні гейміфікованого підходу, зокрема за рахунок скорочення часу засвоєння матеріалу, підвищення точності виконання завдань та мотивації користувачів. Це дозволяє зробити висновок, що інтеграція ігрових елементів у процес навчання користувачів систем електронного документообігу є ефективним методом підвищення результативності роботи та оптимізації управлінських процесів.

Список використаної літератури

1. N. H. Al-Saudi, H. H. Flayyih. The Impact of Digital Transformation on Office Management Efficiency. *Journal of Economics and Administrative Sciences*. 2024. Vol. 30(142). Pp. 645–661.

2. S. Sternad Zabukovšek, S. Jordan, S. Bobek. Managing Document Management Systems' Life Cycle in Relation to an Organization's Maturity for Digital Transformation. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(21):15212.

3. A. Ahmed, M. J. Sutton. Gamification, serious games, simulations, and immersive learning environments in knowledge management initiatives. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*. 2017. Vol. 14(2/3). Pp. 78–83.

4. P. Bitrián, I. Buil, S. Catalán, D. Merli. Gamification in workforce training: Improving employees'

self-efficacy and information security and data protection behaviours. *Journal of Business Research*. 2024. Vol. 179, 114685.

5. J. Reuter, M. Ferreira Dias, M. J. Souza. The role of games and gamification in business and training: a systematic review. *Interactive Learning Environments*. 2025. Pp. 1–19.

6. D. Torre, Y. Labiche, M. Genero. UML consistency rules: a systematic mapping study. *The 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. 2014. Pp. 1–10.

УДК 373.5.091.3:004.9

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГЕЙМІФІКАЦІЇ У ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІНИ «ЗАХИСТ УКРАЇНИ»

Коротун К.О., Мирошниченко В.О. (paniotovakarina18@gmail.com**,**
VMiro2020@i.ua**)**
Бердянський державний педагогічний університет (Україна)

У тезах розглядається актуальність впровадження елементів гейміфікації у викладанні дисципліни «Захист України» в контексті швидкого розвитку сучасних технологій та освітніх викликів. Визначено поняття гейміфікації як використання ігрових практик у неігровому контексті для залучення до розв'язання проблем, а також сформульовано основні завдання та функції гейміфікації в освітньому процесі (мотиваційна, пізнавальна, розвивальна, тренувальна, комунікативна). Особливу увагу приділено прикладам комп'ютерних ігор та симуляторів, розроблених, зокрема, в Україні, таких як LifesaverSIM та Ukrainian Fight Drone Simulator, які безпосередньо стосуються тематики курсу «Захист України» та тренування життєво важливих навичок. Підкреслюється, що впровадження гейміфікації сприяє розвитку пізнавальної активності, формуванню інтересу та засвоєнню матеріалу без зайвого стресу. Наведені результати досліджень про позитивний вплив ігрових елементів на успішність та задоволеність навчанням. Окреслені ключові умови для дозованого та ефективного використання ігор в освітньому процесі.

Сучасні технології розвиваються неймовірно швидко і освітній процес має адаптуватися під виклики сучасності. Зараз все частіше в освітньому процесі використовується формат гейміфікації та впроваджуються елементи комп’ютерної гри, оскільки гра та ігрова діяльність є природною формою отримання нових знань дитиною та має ефективну мотивацію до навчання. Комп’ютерні ігри є не лише способом розваги та відпочинку, вони можуть стати потужним інструментом для підвищення інтересу до навчання, поєднати розвагу з навчанням та тренуванням.

Комп’ютерна навчальна гра – це спеціально адаптована гра, яка має нести пізнавальну, розвивальну, наукову та виховну мету, спрямовуватися на засвоєння умінь та навичок через віртуальне середовище. Впровадження геймифікації в освітній процес має допомогти з такими завданнями, як: формування мотивації до навчання; розвивати логічне мислення, увагу, пам’ять; тренувати вміння приймати рішення; забезпечити зворотній зв’язок та миттєву оцінку результатів [1].

Впровадження гейміфікації допомагає не тільки з вирішенням освітніх завдань але і виконують певні функції:

– Мотиваційна – викликає інтерес до теми, створює позитивне ставлення до навчальної діяльності;

– Пізнавальна – забезпечує активне засвоєння знань у процесі гри;

– Розвивальна – формує критичне мислення, креативність, увагу, пам’ять;

– Тренувальна – сприяє закріпленню матеріалу, повторенню, практичному застосуванню знань;

– Комунікативна – розвиває навички співпраці, спілкування, роботі в команді.

Існує сотні ігор та за стосунків, які покликанні допомагати вивчати мови, проводити експерименти просто не виходячи з дому, дисципліну «Захист України» гейміфікація також не обійшла стороною, існує багато застосунків, які допомагаю із розумінням певних тем, один з них

це LifesaverSIM – це перший мобільний ігровий симулятор для тренування навичок порятунку життя та допомоги пораненим в умовах бойових дій. Створений українцями для Сил оборони, а також для всіх, хто живе та працює в умовах війни і хоче навчитися надавати допомогу та рятувати життя. Симулятор відповідає настановам Комітету TCCC та стандарту NATO щодо курсу для всіх військових ASM і враховує усі важливі аспекти надання допомоги на полі бою [2].

FPV Battleground — це інноваційний симулятор бойових дій із дронами, що занурює у найреалістичніший досвід керування безпілотниками. Він дозволяє вирушити на поле бою, де кожна місія – це випробування на точність, стратегію та швидкість реакції. Також у ньому є можливість керувати сучасними бойовими дронами у режимі від першої особи, знищувати ворожу техніку та довести свою майстерність у світі динамічних повітряних битв [3]. «Ukrainian Fight Drone Simulator» — це перший симулятор бойових FPV-дронів, доступний безкоштовно. Він ідеально підходить для військових, новобранців та шанувальників військових симуляторів [4]. Як бачимо із наведених прикладів, наразі випускається достатньо українських стимуляторів покликаних на навчання не лише військових, але й цивільних громадян.

Необхідність включення до фахової підготовки дисципліни, гейміфікації має сприяти не лише розвитку пізнавальної активності учнів, формування інтересу до знань, розвитку навчальної мотивації та ініціативи, а також допомога у засвоєнні матеріалу та підвищенні навичок без зайвого стресу та поспіху надаючи учням різні варіанти розвитку подій та надаючи можливість спробувати різні ролі. Дослідження гейміфікації в американській освіті показали, що використання ігрових елементів може позитивно впливати на студентів та забезпечувати їхнє активне навчання та замученість. Згідно з дослідженням, яке було проведено у 2017 році, студенти, які навчалися з використанням ігрових моделей, мали вищі показники успішності та були більш задоволені своїм навчанням, порівняно зі студентами, які навчалися традиційним методом [5].

Впровадження ігор в освітній процес має бути дозованим процесом та відповідати певним умовам: вибір гри має відбуватися відповідно до навчальної мети та вікових особливостей учнів; поєднання гри з іншими формами навчального процесу (дискусії, аналіз, самостійна робота); контроль і керівництво збоку вчителя; обговорення результатів гри: що нового учні дізналися, які рішення приймали, які помилки допускали; помірне використання, щоб гра не заміщувала, а доповнювала навчання.

Отже, впровадження елементів гейміфікації у викладання дисципліни «Захист України» є методично обґрунтованим та актуальним кроком, що відповідає сучасним викликам освітнього процесу, забезпечуючи високу мотивацію та залученість здобувачів освіти. Використання спеціалізованих симуляторів, як-от LifesaverSIM та FPV Battleground, дозволяє ефективно тренувати практичні навички та вміння приймати рішення в умовах, максимально наближених до реальних бойових дій, що критично важливо для цілей дисципліни. Однак, найбільшою проблемою підходу залишається необхідність чіткого педагогічного контролю, дозованого використання та обов'язкового обговорення результатів гри, аби гейміфікація не підміняла, а лише доповнювала традиційні форми навчання. Таким чином, успішна інтеграція ігрових механізмів вимагає від викладача не лише технічної компетентності, але й глибокого розуміння дидактичних принципів для перетворення ігрового досвіду на стійкі знання та вміння. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці конкретних методик інтеграції таких ігор у навчальні плани та оцінки їх довгострокового впливу на рівень готовності молоді до виконання обов'язку із захисту Вітчизни.

Список використаної літератури

[1] Салата О., Трухан О. Гейміфікація як засіб підвищення ефективності навчального процесу в середній освіті. *Неперервна професійна освіта: теорія і практика*. № 3(76). 2023. С. 47-60. [Online]. Available: https://doi.org/10.28925/1609-8595.2023.3.5. [Accessed: October 18, 2025].

[2] Благовірна Н.Б., Кошелюк О.В. Мобільні застосунки сповіщень про повітряні тривоги як новий тренд кризових комунікацій та протидії дезінформації. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Філологія. Журналістика.* Том 36 (75) №2. 2025. С. 165-172 [Online]. Available: https://www.philol.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/2_2025/part_2/2-2_2025.pdf [Accessed: October 18, 2025].

[3] “FPV Battleground”, Steam, 18.10.2025. [Online]. Available: https://store.steampowered.com/app/3273420/FPV_Battleground/?l=ukrainian [Accessed: October 18, 2025].

[4] “Ukrainian Fight Drone Simulator”, Steam, 18.10.2025. [Online]. Available: https://store.steampowered.com/app/2862860/Ukrainian_Fight_Drone_Simulator/?l=ukrainian [Accessed: October 18, 2025].

[5] Вербицький Д.В. Аналіз досвіду впровадження гейміфікації в освітній процес. Наукова теза Інституту цифровізації освіти НАПН України, м.Київ С.10 – 11[Online]. Available: https://surl.li/agugqj [Accessed: October 18, 2025].

УДК 371.315:004.9

ОСОБЛИВОСТІ СИНХРОННОГО Й АСИНХРОННОГО НАВЧАННЯ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

Кривонос О.М., Кривонос М.П.
(krypton@zu.edu.ua, kryvonos-m@zu.edu.ua)
Житомирський державний університет імені Івана Франка (Україна)

У тезах розглянуто особливості синхронного та асинхронного навчання в умовах дистанційної освіти. Визначено їх сутність, переваги й недоліки, а також чинники, що впливають на ефективність застосування кожного формату. Обґрунтовано доцільність комбінування обох підходів залежно від цілей і змісту навчальних занять. Наведено приклади використання цифрових технологій для забезпечення зворотного зв’язку, організації взаємодії та контролю знань учнів. Показано, що оптимальне поєднання синхронного й асинхронного режимів сприяє підвищенню якості освітнього процесу та формуванню гнучкої системи навчання, здатної відповідати викликам сучасності..

Освітній процес в реаліях сьогодення зазнав і продовжує зазнавати значних змін. Адже, коли спочатку пандемія, а потім повномасштабне вторгнення, змусили вчителів надзвичайно швидко адаптуватися до нового формату навчання, то саме дистанційне навчання з використання сучасних цифрових технологій дало можливість і далі продовжувати виконувати свої професійні обов’язки. Вчителям, які не уявляли як це працювати, коли не бачиш очей учнів, не маєш живої взаємодії, можливості пояснити особисто і відразу допомогти в разі потреби, прийшлося надзвичайно складно. Їм треба було швидко опановувати нові технології, методи і прийоми навчання. Саме вимушене дистанційне навчання стало порятунком з одного боку, і викликом з іншого. Проте і тут виникали значні організаційні труднощі: відсутність світла, інтернету, неоднакові технічні можливості, неможливість підключення до заняття в реальному часі, моральна і психологічна неготовність деяких вчителів, учнів та їх батьків до такого навчання тощо.

Сучасні заклади освіти все частіше обирають змішаний формат навчання, де поєднуються традиційні офлайн-заняття із заняттями онлайн. Проте тут постає вибір: який режим роботи в дистанційному навчанні краще вибрати – синхронний чи асинхронний, який з них приведе до кращих результатів навчання?

У даному дослідженні з’ясуємо, у чому полягає різниця між цими двома форматами, визначимо їхні переваги та недоліки, встановимо як вдало застосовувати такі підходи в освітньому процесі.

Зазначимо, що навчання в будь-якому форматі буде продуктивним та ефективним, якщо воно буде посильне для кожного учасника освітнього процесу. Тому організувати якісне навчання з використанням сучасних цифрових технологій досить непросто.

Синхронний режим дистанційного навчання – це співпраця між усіма учасниками освітнього процесу в режимі реального часу. Застосування різноманітних засобів дистанційного зв’язку, де вчитель та учні спілкуються, обмінюються між собою інформацією, коли вчитель пояснює матеріал, має можливість опитати учнів, задаючи додаткові запитання, дає відразу відповідь на запитання учнів, проводить оцінювання, мотивує учнів до навчання в процесі

спілкування, має можливість організувати групову роботу – головна особливість синхронного навчання. Така взаємодія ефективна для кращого засвоєння матеріалу та вчасного виявлення прогалин у знаннях.

Таким чином, використання різноманітних форм, методів і засобів для організації освітнього процесу, може значно полегшити процес навчання. Зокрема, для організації синхронного навчання найчастіше використовують:

– вебінари (аудіовізуальна трансляція презентацій, семінарів, лекцій, під час якої учасники спілкуються онлайн в реальному часі за допомогою спеціального застосунку);

– відеоконференції (обговорення й ухвалення рішень, дискусії, захист проєктів в режимі реального часу);

– віртуальний клас (інтерактивні заняття з використанням аналітичних інструментів електронного навчання, що відтворюють живе спілкування з можливим аналізом результатів);

– онлайн-тренінги (заняття, на якому учасники під керівництвом тренера відпрацьовують практичні навички, щоб розвинути професійні та особистісні компетенції);

– чат (оперативне спілкування в мережі в режимі реального часу (текстовий, голосовий, аудіо-, відеочат)).

Синхронний режим навчання схожий із традиційним навчанням. Проте, звичайно, має і свої недоліки. Виділимо найсуттєвіші:

– проблеми зі зв’язком;
– технічні проблеми;
– необхідність узгодження з часом;
– складність встановлення візуального контакту з класом;
– труднощі контролю за учнями під час відповіді;
– несерйозне ставлення деяких учнів до самостійного виконання домашніх завдань;
– необхідність довгого перебування учнів перед монітором комп’ютера.

Асинхронний режим дистанційного навчання – це такий вид взаємодії, під час якої всі учасники освітнього процесу співпрацюють між собою із деякою затримкою в часі. Такий формат передбачає більше самостійного навчання, тому його організація потребує від учителя наперед продуманого плану, підготовленого матеріалу, вимагає більшого контролю з боку вчителя. Асинхронне навчання характеризується тим, що є можливість встановлення зручного графіка роботи для кожного індивідуально, можливість засвоювати матеріал у своєму темпі та повторювати його при необхідності, доступністю навчального матеріалу, розвитком навичок самоорганізованості та вміння вчитися.

Серед засобів дистанційного навчання, якими найчастіше користуються при асинхронному навчанні, можна виділити:

– масові відкриті онлайн-курси з інтерактивними вправами та відкритим доступом через інтернет (Coursera, Prometheus, EdEra тощо);
– електронні підручники;
– блоги вчителів, основним наповненням яких є різноманітні записи, мультимедіа, відеолекції тощо);
– форуми;
– електронна пошта.

Проте асинхронне навчання має і певні недоліки:

– важкість встановлення зворотного зв’язку;
– зменшення соціалізації;
– недостатня самоорганізація та самоконтроль учнів;
– порушення дисципліни;
– необхідність чітких інструкцій від вчителя.

Для досягнення високої продуктивності навчання найкраще поєднувати синхронний і асинхронний режими. В залежності від типу заняття, від поставленої мети, від складності матеріалу, від рівня знань учнів та їх самоорганізованості, доступних технічних ресурсів та врахування інших чинників учителю варто продумати та обрати оптимальний формат навчання.

Наприклад, для пояснення нового матеріалу, детальної демонстрації крок за кроком найкраще використовувати синхронний режим навчання. Закріплення ж матеріалу учні опановуватимуть вдома самостійно (асинхронно). Разом з тим, для вивчення нової теми можна

застосувати і принцип «перевернутого класу», коли учні вдома самостійно (асинхронно) опрацьовують новий матеріал, а на уроці (синхронно) під керівництвом учителя закріплюють матеріал, отримують консультації, виконують практичні вправи тощо.

Також, з іншого боку, для закріплення матеріалу зручно використовувати синхронний режим: робота учнів у групах над проєктом, використання інтерактивних платформ Kahoot, Classtime для швидкої перевірки розуміння учнями матеріалу та урізноманітнення заняття. Хоча використання цих чи інших платформ для проходження практичних завдань необмежену кількість разів (асинхронно) дає змогу учням досягти бажаного результату в засвоєнні знань. А виконання проєктів чи творчих завдань у зручний час і у власному темпі дає можливість досягти кращих результатів, глибше занурившись у проєкт.

Для контролю і перевірки знань учнів зручно і ефективно у синхронному режимі проводити індивідуальні бесіди, а в асинхронному – тестування або перевіряти диференційовані завдання.

Зазначимо, що за даними досліджень встановлено, що для досягнення максимальної ефективності освітнього процесу при дистанційному навчанні, оптимальне співвідношення синхронного та асинхронного навчання становить 30% до 70%. Встановлено також моделі найбільш вдалого їх поєднання:

– проведення одного уроку з теми синхронно, а двох – асинхронно;

– виокремлення предметів, які краще проводити в основному синхронно, а інших – переважно асинхронно, таким чином врівноваживши режими дистанційного навчання між собою;

– у разі необхідності проведення частини уроку синхронно, а потім перехід на асинхронний режим.

Таким чином, проаналізувавши особливості синхронного та асинхронного режимів дистанційного навчання, їх переваги та недоліки, особливості використання в освітньому процесі, можемо зробити висновок, що це не взаємовиключні, а взаємодоповнюючі формати. І при правильному їх поєднанні можна досягти високої якості освітнього процесу.

Адже, на сьогодні, дистанційне навчання є однією з найперспективніших форм освіти. Воно передбачає взаємодію вчителя та учня на відстані за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в будь-який зручний час. Впровадження дистанційного навчання – це не просто перехід на онлайн-платформи, а системна трансформація всієї освітньої галузі, яка вимагає нових підходів, технологій і мислення. Це шлях до більш гнучкої, доступної та персоналізованої освіти.

Перспективи дистанційного навчання як у світі, так і в Україні великі. Воно може стати основою для створення гнучкої та доступної системи освіти, яка відповідає викликам сьогодення та готує молодь до життя в цифрову еру.

Список використаної літератури

[1] І. П. Воротникова, *Дистанційне та змішане навчання в школі. Путівник*. Київ: Київський ун-т імені Бориса Грінченка, 2020.

[2] С. О. Доценко, В. В. Ворожбіт-Горбатюк, і Т. М. Собченко, *Онлайн-безпека учасників освітнього процесу в умовах дистанційного і змішаного навчання: навч.-метод. посіб.* Харків: Вид-во «Ранок», 2021.

[3] М. П. Кривонос, “Змішане навчання,” in *Innovative Education: Problems and Prospects of Scientific Research: L International scientific and practical conference*, Stuttgart, 2024, pp. 262–265. [Online]. Available: https://eprints.zu.edu.ua/41946/1/1.pdf

[4] О. М. Кривонос і М. П. Кривонос, “Використання елементів дистанційного навчання у процесі вивчення сучасних інформаційних технологій студентами-філологами,” *Інтернаука*, no. 7, pp. 48–55, 2016.

[5] О. Пасічник, “Синхронне і асинхронне дистанційне навчання,” *Сучасна освіта*. [Online]. Available: https://osvita.ua/school/method/78950/

[6] А. Фандєєва, “Змішане навчання як технологія змін і трансформацій.” [Online]. Available: https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page_id=4544

УДК 378.14

ОСВІТНІЙ АСПЕКТ ПОЄДНАННЯ ІМПЕРАТИВНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПАРАДИГМ

Крижановський Г.О., Ковалюк Т.В.
(gordiy.krizanovskiy@knu.ua, tetyana.kovalyuk@knu.ua)
Київський національний університет імені Тараса Шевченка(*Україна*)

У роботі здійснено дослідження освітнього аспекту поєднання імперативної та функціональної парадигм програмування у навчальному процесі підготовки фахівців з інформаційних технологій. Проаналізовано фундаментальні принципи обох парадигм, їхній вплив на формування різних типів мислення студентів та роль мультипарадигмального підходу у розвитку професійних компетентностей. Результати аналізу довели, що інтеграція імперативного підходу, який формує алгоритмічне та процедурне мислення, з функціональним, що розвиває абстрактне та декларативне мислення, створює синергетичний освітній ефект.

Постановка проблеми. Сучасне програмування характеризується розмаїттям підходів до побудови програмних систем, серед яких провідне місце посідають імперативна та функціональна парадигми [1, 2]. Вибір концептуальної основи безпосередньо впливає на архітектуру програм, читабельність та ефективність коду, проте питання освітньої інтеграції цих парадигм у навчальний процес залишається актуальним викликом для сучасної ІТ-освіти.

Традиційні освітні програми часто зосереджуються на викладанні однієї домінуючої парадигми, що обмежує формування цілісного розуміння принципів програмування. Імперативний підхід забезпечує точний контроль над ресурсами та високу продуктивність, однак схильний до помилок, пов'язаних зі зміною стану. Функціональна парадигма пропонує детерміновані обчислення через незмінність даних, що полегшує тестування та верифікацію, проте її освітній потенціал часто недооцінюється у вітчизняних навчальних закладах.

Відсутність систематичного підходу до поєднання імперативної та функціональної парадигм у навчальному процесі створює прогалину у формуванні багатовимірних когнітивних моделей мислення, необхідних для ефективного вирішення складних інженерних задач. Сучасна тенденція розвитку програмування полягає у зближенні парадигм та інтеграції різних підходів у межах єдиної екосистеми. Це зумовлює необхідність дослідження освітньої цінності інтегрованого підходу та його впливу на розвиток аналітичного, алгоритмічного й абстрактного мислення майбутніх програмістів.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні освітньої цінності поєднання імперативної та функціональної парадигм програмування у навчальному процесі та визначенні їхнього впливу на формування багатовимірного мислення, розвиток професійних компетентностей та підготовку конкурентоспроможних фахівців у галузі інформаційних технологій.

Суть дослідження. Аналіз зазначених парадигм дозволяє глибше зрозуміти, як вибір концепції впливає на архітектуру програм, безпеку, читабельність та ефективність коду.

Імперативна парадигма ґрунтується на послідовність інструкцій, що змінюють стан програми [2]. Її фундаментальний принцип полягає у керуванні змінними та станами, що забезпечує точний контроль над ресурсами й порядком виконання команд. Мова C++ реалізує імперативну парадигму через процедурний та об'єктно-орієнтований підходи, забезпечуючи баланс між високою продуктивністю та структурованістю великих систем. **[2].** Водночас імперативний стиль схильний до помилок, пов’язаних зі зміною стану: витоки пам’яті, некоректне оновлення змінних або непередбачувана поведінка у багатопотоковому середовищі залишаються типовими проблемами.

Функціональна парадигма виникла як спроба формалізувати програмування у термінах математичного обчислення, базуючись на λ-численні. Мови, побудовані за цим принципом, зокрема Lisp, Scheme та Racket використовують інший підхід: програма розглядається не як послідовність дій, а як композиція функцій. Замість зміни станів використовуються вирази, що описують обчислення через композицію функцій та трансформацію незмінних даних. Завдяки цьому програми стають детермінованими, що полегшує їх тестування, формальну верифікацію та паралельне виконання [5].

На відміну від C++, у мові Racket немає необхідності змінювати змінні або ручному керуванні пам'яттю. Обчислення здійснюються шляхом рекурсії, застосування функцій вищих порядків, зокрема *map, filter, fold* і незмінних структур даних. Такий підхід унеможливлює появу побічних ефектів і робить функції незалежними одна від одної, що є важливою умовою побудови масштабованих і надійних систем [6].

З позиції ефективності виконання, імперативний підхід зберігає перевагу в задачах, де критичне значення має робота з пам'яттю або взаємодія з апаратним забезпеченням. Оптимізації компілятора C++ дозволяють досягати високої швидкодії навіть у складних сценаріях. Однак така ефективність часто супроводжується зростанням складності коду та ризиком логічних помилок. Натомість функціональний стиль у Racket вирізняється чистотою реалізації, стабільністю та безпечністю: відсутність змінного стану запобігає виникненню багатьох типових збоїв.

Порівняльний аналіз також показує відмінності у читабельності програм. У C++ код часто містить допоміжні змінні, вкладені цикли та інструкції керування потоком, що ускладнює розуміння логіки програми. Натомість функціональний код Racket має більш прозору структуру виразів: кожна функція має чітко визначену мету, а результат її обчислення легко простежити [5, 6]. Такий стиль мислення стимулює розробника розглядати задачу не як послідовність дій, а як систему взаємопов'язаних даних.

Сучасна тенденція розвитку програмування полягає у зближенні парадигм. Нові версії C++ підтримують елементи функціонального стилю — лямбда-функції, функції вищих порядків, константні структури даних, тоді як Racket надає засоби для об'єктно-орієнтованого програмування, метапрограмування та створення модулів [3]. Це свідчить про прагнення до універсальності мов програмування та інтеграції різних підходів у межах єдиної парадигмальної екосистеми.

Поєднання імперативної та функціональної парадигм у навчальному процесі відіграє важливу роль у формуванні глибокого розуміння принципів програмування та розвитку аналітичного, алгоритмічного й абстрактного мислення у студентів [3, 4]. Такий підхід сприяє не лише засвоєнню технічних навичок, а й формуванню когнітивних моделей мислення, необхідних для ефективного вирішення складних інженерних задач.

1. Формування алгоритмічного та процедурного мислення. Імперативна парадигма навчає студентів мислити послідовно, поетапно й детерміновано. Вона допомагає зрозуміти, як програма виконується покроково, як змінюється стан системи під час виконання команд, як відбувається керування пам'яттю та ресурсами. Завдяки цьому студенти розвивають уміння аналізувати процес виконання алгоритму, виявляти логічні помилки та оптимізувати обчислення, що є фундаментальними компетентностями у галузі програмної інженерії.

2. Розвиток абстрактного та декларативного мислення. Функціональний підхід навчає студентів мислити абстрактно — не в термінах послідовності дій, а в категоріях взаємозалежностей між даними. Він формує здатність описувати обчислення декларативно, використовувати функції вищого порядку для узагальнення рішень, працювати з незмінними структурами даних і рекурсією як базовими інструментами. Це розвиває навички абстрагування, узагальнення та моделювання, необхідні для створення чистого, передбачуваного коду та модульних архітектур.

3. Підвищення гнучкості мислення та адаптивності через вміння обирати оптимальний підхід залежно від типу задачі, комбінувати імперативні й функціональні принципи в межах однієї програми, швидко адаптуватися до нових мов програмування, які підтримують кілька парадигм (наприклад, Python, JavaScript, C++, Kotlin) [2, 3].

4. Інтегроване бачення архітектури програмного забезпечення завдяки розумінню архітектурних і паралельних концепцій, вмінню працювати з чистими функціями, незмінними станами й паралельними обчисленнями, знанню низькорівневих механізмів для оптимізації продуктивності та керування потоками.

5. Урізноманітнення освітнього процесу через різні методи навчання (від демонстрацій до проєктного підходу), розвиток критичного мислення через порівняльний аналіз парадигм, формування розуміння того, як мислить програма і як мислить програміст [4].

Такі освітні стратегії підвищують якість підготовки фахівців, здатних створювати ефективні, безпечні й масштабовані програмні рішення.

ITPOHTV

Висновки. Поєднання імперативного й функціонального підходів у навчанні програмування має не лише практичну, а й освітню цінність. Воно сприяє розвитку багатовимірного мислення, поєднує аналітичні та концептуальні аспекти інженерії програмного забезпечення, готує студентів до роботи з мультипарадигмовими системами та інноваційного мислення, необхідного в сучасній ІТ-освіті.

Автори виділяють такі напрямки подальших досліджень: проведення експериментального дослідження з вимірюванням показників успішності студентів, які навчаються за мультипарадигмальним підходом, дослідження нейрокогнітивних процесів при освоєнні різних парадигм програмування для визначення стратегій навчання мультипарадигмального підходу, аналіз впливу мультипарадигмального навчання на професійний розвиток випускників.

Список використаних джерел

[1] H. Abelson and G. Sussman, *Structure and Interpretation of Computer Programs*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1996.
[2] B. Stroustrup, *The C++ Programming Language*, 4th ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2013.
[3] R. Findler and M. Felleisen, *How to Design Programs: An Introduction to Programming and Computing*, 2nd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2018.
[4] R. Harper, *Practical Foundations for Programming Languages*, 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016.
[5] P. Wadler, "Why functional programming matters," *Computer Journal*, vol. 32, no. 2, pp. 98–107, 1989.
[6] R. Bird and P. Wadler, *Introduction to Functional Programming*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1988.

УДК 004.773

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ TELEGRAM-БОТІВ ДЛЯ ДОПОМОГИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЛАЗАР М., ГАЙША О.О.
(oleksandrgaysha1982@gmail.com)
Міжнародний класичний університет імені Пилипа Орлика, (Україна)

Досліджено можливості використання Telegram-ботів у навчальному процесі закладів вищої освіти. Проаналізовано переваги платформи Telegram, описано функції ботів для інформування, тестування, доступу до матеріалів, персоналізації, зворотного зв'язку та інтеграції з існуючими у ЗВО LMS. Запропоновано можливі приклади реалізації освітніх ботів і окреслено технічні та організаційні виклики, щодо їх впровадження.

У сучасному освітньому середовищі, де цифровізація стала невід'ємною частиною навчального процесу, різноманітні засоби Інтернет-комунікації отримали достатньо потужного значення як інструмент передачі інформації між студентами, викладачами та адміністративними співробітниками закладів вищої освіти (ЗВО). Одним із найпоширеніших таких програмних засобів є Telegram [1], що де-факто є однією з найпопулярніших платформ обміну повідомленнями. Ця система забезпечує зручний інтерфейс, високу швидкість передачі даних та можливість інтеграції ботів (повністю безкоштовно), що відкриває широкі перспективи для їх використання в освітній сфері [2]. Очевидно, що перед розробкою подібних рішень необхідно провести докладний аналіз можливостей Telegram-ботів, що можуть бути корисними у навчальному процесі, що і виконується в даній роботі.

В першу чергу, розглянемо основні функції Telegram-ботів, які можна використовувати у навчальному процесі:

а) інформування студентів на самі різноманітні тематики, адже боти можуть автоматично надсилати повідомлення про розклад занять, зміни в розкладі, дедлайни, результати тестів або нагадування про важливі події;

б) автоматизоване тестування, оскільки за допомогою ботів можна проводити короткі тести, опитування або навіть контрольні заходи, які підлягають автоматичній оцінці;

в) доступ до навчальних матеріалів, у якості яких можуть виступати файли різноманітних форматів, презентації, відео або посилання на зовнішні ресурси (зокрема, YouTube-лекції, файлові сховища, тощо);

г) зворотний зв'язок, під час якого студенти можуть ставити запитання, залишати коментарі або отримувати консультації саме через функціонал чат-бота, що зменшує навантаження на викладачів (які при відсутності чат-бота вимушені надавати відповіді у месенджері вручну);

д) реєстрація на заплановані в ЗВО заходи: реєстрації на семінари, конференції, факультативи або інші освітні активності, тощо.

Слід відмітити, що сам процес використання Telegram-ботів має чимало переваг у порівнянні з іншими засобами електронного зв'язку та зокрема альтернативними програмами-месенджерами, які розглянемо докладніше.

По-перше, слід відмітити таку особливість даного програмного продукту, як доступність. Telegram є безкоштовним і доступним на всіх платформах, що дозволяє студентам користуватись чат-ботами з будь-якого пристрою.

Наступними перевагами є швидкість, обчислювальна продуктивність та загальна ефективність програми. Боти працюють у режимі реального часу, забезпечуючи миттєву реакцію на запити, а вся екосистема месенджеру є надзвичайно ефективною. Архітектура продукту побудована на розподіленій мережі високопродуктивних серверів, що забезпечують затримки у передачі повідомлень порядку долей секунди.

Ще однією позитивною можливістю є персоналізація в роботі бота. Так, чат-боти можуть адаптуватися до потреб конкретного користувача (що забезпечується збереженням chat_id його діалогу з ботом у базі даних чат-бота), наприклад, надсилати повідомлення лише для певної академічної групи або спеціальності і навіть строго для одного здобувача.

Важливо, що Telegram допускає інтеграцію з іншими програмними системами: його чат-боти легко інтегруються з популярними системами управління навчанням LMS (Learning Management Systems), Google Sheets, базами даних, що дозволяє, наприклад, автоматизувати облік успішності, відвідуваності тощо.

Після аналізу переваг самої платформи в подальшому можна запропонувати наступні варіанти використання чат-ботів, що є корисними для автоматизації задач, які виникають при проведенні навчального процесу в ЗВО:

- бот для розсилки розкладу занять, який автоматично надсилає студентам розклад на день або тиждень, зокрема, враховуючи поточні зміни;
- бот-помічник кафедри, який надає інформацію про викладачів, заплановані консультації, графіки прийому викладачів окремих дисциплін;
- бот для підготовки до іспитів, який може пропонувати тестові завдання, навчальні картки, корисні посилання для самопідготовки. Особливої користі тут можна досягти за умови використання засобів штучного інтелекту, що можуть персоналізовано підлаштовуватися під рівень знань конкретного здобувача;
- бот для збору зворотного зв'язку від здобувачів ЗВО, який може проводити опитування щодо якості викладання, організації навчального процесу, наявності ситуацій конфліктного характеру на кафедрі, для цілей роботи уповноваженого з питань корупції, тощо.

Попри численні переваги, впровадження Telegram-ботів несе і певні складнощі, які розглянемо докладніше. В першу чергу, даний процес потребує певної технічної підтримки, зокрема, розробка та обслуговування ботів вимагає роботи кваліфікованих фахівців-програмістів. По-друге, використання чат-ботів вимагає дотримання певного рівня безпеки даних, адже важливо забезпечити конфіденційність особистої інформації студентів та викладачів ЗВО. Нарешті, необхідно забезпечити деяку підготовка користувачів боту: студенти та викладачі мають бути ознайомлені з основними прийомами роботи з конкретним ботом.

Таким чином, в роботі розглянуто основні особливості використання чат-ботів платформи Telegram для цілей навчального процесу закладів вищої освіти. Підсумовуючи можна сказати, що вже сьогодні Telegram-боти можуть бути частиною процесу адаптивного навчання студентів ЗВО та допомагати формувати індивідуальні траєкторії їх навчання. Відповідно, розробка подібних

програмних продуктів на сьогоднішній день надзвичайно актуальна і може виконуватися як в рамках ініціативних проектів, так і на комерційній основі.

Список використаної літератури

1. Khalil, M., Rambech, M. (2022). Eduino: A Telegram Learning-Based Platform and Chatbot in Higher Education. In: Zaphiris, P., Ioannou, A. (eds) *Learning and Collaboration Technologies. Novel Technological Environments.* HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13329. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05675-8_15

2. Md Yusof N, Abdullah A (2025), "The efficacy of Telegram Messenger as a tool for enhancing argumentative writing among students in open and distance learning". *Asian Association of Open Universities Journal*, Vol. 20 No. 1 pp. 4–16, doi: https://doi.org/10.1108/AAOUJ-07-2022-0091.

УДК 378.147:616-073:342.7

ДОТРИМАННЯ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ЗДОБУВАЧІВ ІІІ КУРСУ З ДИСЦИПЦІНИ «РАДІОЛОГІЯ»

Ленчук Т.Л., Мацькевич В.М. (tlenchuk@ifnmu.edu.ua vmatskevych@ifnmu.edu.ua),
Івано-Франківський національний медичний університет (Україна)

Сучасна медична освіта активно використовує клінічні радіологічні зображення, що супроводжуються персональними даними пацієнтів. Це може створювати ризики порушення конфіденційності. Основною проблемою є недостатня обізнаність студентів щодо етики та правових норм, а також відсутність уніфікованих протоколів анонімізації. Мета роботи – розробити модель захисту медичних даних під час практичного навчання з радіології. Запропоновано використання технологічних методів де-ідентифікації (видалення паспортних даних, шифрування, розмиття ідентифікаторів) та організаційних заходів із контрольованим доступом до інформації. Обов'язковим компонентом моделі є навчання студентів правилам захисту медичної таємниці. Запропонований підхід забезпечує безпечне використання клінічних зображень у навчанні та відповідає вимогам медичної етики і законодавства України.

Постановка проблеми. Сучасний освітній процес у медичних закладах вищої освіти передбачає активне використання та представлення клінічних випадків з зображеннями променевих методів дослідження та роботою з електронними медичними записами. Студенти ІІІ курсу, які опановують дисципліну «Радіологія», працюють з діагностичними зображеннями (рентгенографія, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія) і супровідною клінічною інформацією, що нерідко містить персональні дані пацієнтів. З одного боку, залучення реальних випадків є необхідною умовою формування професійних компетентностей майбутніх лікарів, з іншого – створює ризик порушення конфіденційності та прав пацієнтів. Ці ризики можуть бути внаслідок: недостатньої обізнаності студентів з правовими нормами та етикою щодо захисту медичних даних; технічних ризиків витоку інформації під час використання електронних освітніх платформ, месенджерів, хмарних сховищ з наданням доступу до файлів третім особам; відсутність єдиних протоколів анонімізації медичних зображень і клінічних даних у навчальному процесі. Таким чином, актуальність дослідження полягає у визначенні ефективних механізмів дотримання конфіденційності медичної інформації під час практичного навчання студентів, що забезпечить баланс між якістю освіти та захистом прав пацієнтів.

Мета. Розробка науково-обґрунтованої моделі забезпечення конфіденційності медичної інформації під час практичного навчання студентів ІІІ курсу з дисципліни «Радіологія».

Завдання. Розробити методику навчального процесу для контролю дотримання конфіденційності при роботі студентів з діагностичними радіологічними зображеннями.

Суть роботи. Основними пропозиціями до вирішення проблеми з де-ідентифікації є застосування технологічних підходів: видалення або заміна на шифри полів з паспортними даними, номером медичної карти [1]. Для презентацій – обов'язкове анонімізування даних за допомогою програм, які накладають непрозору рамку на дані або використання функції розмиття (слід обережно її застосовувати, враховуючи неповне піксельне розмивання). У більшості

постпроцесингових програм обробки зображень на робочій станції радіолога є вбудовані функції для застосування де-ідентифікації. Також деякі заклади охорони здоров'я впровадили організаційні заходи, де доступ до даних має визначена категорія медперсоналу, а студенти (за запитом куратора групи) можуть отримати анонімізовані копії [2]. Вважаємо за необхідне на першому занятті з дисципліни «Радіологія» виокремити час для інформування студентів щодо етичних та правових аспектів конфіденційності медичних даних, а також можливі наслідки за порушення медичної таємниці.

Висновки. Запропонована модель може бути адаптована до освітніх програм медичних університетів України з урахуванням національного законодавства та перспектив інтеграції в європейський освітній простір. Вона забезпечує баланс між доступністю якісного навчального матеріалу та етичним обов'язком захисту прав пацієнтів, а також створює передумови для формування високого рівня професійної відповідальності майбутніх лікарів.

Список використаної літератури

1. M. Rempe, L. Heine, C. Seibold, F. Hörst, and J. Kleesiek, "De-identification of medical imaging data: a comprehensive tool for ensuring patient privacy," Eur Radiol, June 2025, https://doi.org/10.1007/s00330-025-11695-x
2. Protecting Patient Information in Medical Presentations, Publications and Products https://www.rsna.org/-/media/Files/RSNA/Practice-Tools/RemovingPHI.pdf?utm_source=chatgpt.com
3. Міністерство охорони здоров'я України. Пацієнт має право: Що треба знати про право на медичну таємницю.
https://moz.gov.ua/uk/pacient-mae-pravo-scho-treba-znati-pro-pravo-na-medichnu-taemnicju

УДК 37.018.43:37.013.42(378+377)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ КРЕАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ І ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

Листопад Н. Л. (natasha.listopad@gmail.com)
Комунальний заклад «Одеський педагогічний фаховий коледж» (Україна)
Гуданич Н. М. (hudanych.NM@pdpu.edu.ua)
Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Україна)

Розглянуто роль інформаційно-комунікаційних технологій у процесі розвитку креативної компетентності здобувачів освіти закладів вищої та фахової передвищої освіти. Здійснено аналіз сутності креативної компетентності як однієї з ключових характеристик сучасного фахівця, що забезпечує здатність до нестандартного мислення, інноваційного підходу та ефективного вирішення професійних завдань. Обґрунтовано педагогічний потенціал цифрових освітніх інструментів у розвитку креативної компетентності. Виокремлено механізми інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій в освітній процес.

Постановка проблеми. Сучасні трансформації освітнього середовища, зумовлені глобальною цифровізацією, актуалізують потребу у формуванні в здобувачів освіти нових компетентностей, серед яких креативна компетентність набуває особливого значення. У науково-педагогічному дискурсі креативність трактується як інтегративна якість особистості, що поєднує здатність до самостійного генерування нових ідей, пошуку оригінальних шляхів розв'язання проблем і критичного переосмислення усталених підходів. Міжнародні освітні стандарти (OECD, UNESCO) визначають її як одну з провідних навичок XXI століття, адже саме креативність забезпечує інноваційність мислення, готовність до прийняття нестандартних рішень і ефективну адаптацію до динамічних соціально-професійних викликів [1].

В умовах розбудови цифрового суспільства особливого значення набуває синергія між розвитком креативності та використанням інформаційно-комунікаційних технологій. Сучасні цифрові інструменти створюють передумови для реалізації особистісно орієнтованої освітньої траєкторії, організації інтерактивної взаємодії між учасниками освітнього процесу, застосування ігрових та проєктних методів, що сприяють розвитку творчої активності здобувачів освіти. Використання інформаційно-комунікаційних технологій відкриває нові можливості для візуалізації навчального матеріалу, моделювання реальних і віртуальних ситуацій, колективного створення цифрового контенту та дослідницьких проєктів [2].

Доведено, що інформаційно-комунікаційні технології постають не лише як інструмент цифровізації навчального процесу, а й як потужний ресурс розвитку креативної компетентності здобувачів вищої та фахової передвищої освіти. Інтеграція інформаційно-комунікаційні технології в освітній процес сприяє формуванню здатності до інноваційної діяльності, розвитку навичок міждисциплінарного мислення, а також розширенню пізнавального та культурного простору студентської молоді, що відповідає сучасним запитам суспільства й потребам ринку праці [3].

Мета дослідження. Метою є аналіз ролі інформаційно-комунікаційних технологій в процесі розвитку креативної компетентності здобувачів освіти та визначення ефективних педагогічних стратегій їх використання у закладах вищої і фахової передвищої освіти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Креативна компетентність у сучасній педагогічній науці визначається як інтегральна характеристика особистості, що поєднує інтелектуальні, мотиваційні та особистісні якості, спрямовані на продукування нових ідей та нестандартних рішень. Сутнісними ознаками креативної компетентності є здатність до генерації оригінальних підходів у процесі пізнавальної та професійної діяльності, гнучкість мислення, розвиток уяви, відкритість до інновацій і готовність до експериментування. Креативна компетентність передбачає також уміння інтегрувати міждисциплінарні знання, здійснювати критичний аналіз та прогнозування результатів, що зумовлює її ключову роль у формуванні професійної мобільності фахівця [1].

Можна з упевненістю сказати, що в процесі професійної підготовки майбутніх педагогів і фахівців інших галузей креативна компетентність виступає важливим чинником розвитку здатності до творчої самореалізації, побудови ефективної комунікації, прийняття рішень у ситуаціях невизначеності та створення нових освітніх і професійних продуктів. Вона забезпечує готовність до інноваційної діяльності, сприяє адаптації до стрімких трансформацій освітнього й соціально-економічного середовища та підвищує конкурентоспроможність випускника на ринку праці. Означені факти переконують, що розвиток креативної компетентності у здобувачів освіти розглядається як пріоритетне завдання сучасної системи професійної підготовки, зорієнтованої на формування особистості, здатної до активної участі у створенні нових знань і соціально значущих практик [1].

Результати дослідження підтверджують справедливість твердження, що інформаційно-комунікаційні технології у сфері освіти розглядаються не лише як технічний інструмент оптимізації та автоматизації освітніх процесів, але й як потужний каталізатор розкриття творчого потенціалу здобувачів освіти. Вони сприяють формуванню цифрової компетентності, стимулюють пізнавальну активність та відкривають нові можливості для індивідуалізації й творчої самореалізації. Використання інформаційно-комунікаційні технології дозволяє створювати інноваційні освітні середовища, де навчання стає більш інтерактивним, міждисциплінарним і орієнтованим на практичне застосування знань. Серед найбільш ефективних технологій, що сприяють розвитку креативної компетентності, варто виокремити:

- онлайн-платформи та інтерактивні середовища (Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams), які забезпечують доступ до інтерактивних освітніх ресурсів, підтримку колективної роботи над проєктами та формування цифрової культури, наприклад, використання спільних віртуальних дошок (Jamboard, Miro) дозволяє студентам одночасно працювати над креативними ідеями, здійснювати обговорення й візуалізувати концепції в режимі реального часу;

- гейміфікація – впровадження ігрових механізмів в освітній процес, що стимулює здобувачів до пошуку нестандартних рішень, підвищує мотивацію та формує навички критичного мислення, використання платформ Kahoot! чи Classcraft сприяє активізації освітньої діяльності через конкуренцію, командну взаємодію та індивідуальні досягнення;

- VR/AR-технології (віртуальна та доповнена реальність) створюють умови для занурення у змодельовані ситуації, що активізують уяву та розширюють можливості творчої діяльності, наприклад, у в дошкільній педагогіці VR/AR-технології використовуються для моделювання інтерактивних освітніх середовищ, де студенти можуть планувати та проводити навчальні ігри, досліджувати природні явища або соціальні взаємодії дітей у безпечній віртуальній «класи» чи ігрових зонах, що сприяє розвитку творчого мислення, уяви та професійних компетентностей майбутніх вихователів;

- штучний інтелект та мультимедійні ресурси – інструменти, що забезпечують індивідуалізацію освітнього процесу, пропонуючи здобувачам адаптивні завдання, орієнтовані на розвиток інноваційного мислення, наприклад, системи на базі ШІ (ChatGPT, Grammarly, Canva AI) допомагають студентам не лише вдосконалювати текстові та візуальні продукти, але й формувати нові ідеї, що сприяє розвитку креативності та підвищенню якості навчальних результатів.

Відтак, можна впевнено стверджувати, що інформаційно-комунікаційні технології у сучасному освітньому середовищі виступають не просто засобом удосконалення навчально-організаційних процесів, а важливим ресурсом розвитку креативної компетентності здобувачів освіти. Вони сприяють інтеграції теоретичних знань із практичними навичками, створюють умови для міждисциплінарної співпраці та підготовки фахівців, здатних генерувати інноваційні ідеї та ефективно реалізовувати їх у професійній діяльності.

Здійснене дослідження дає можливість стверджувати, що ефективне застосування інформаційно-комунікаційні технології в закладах вищої та фахової передвищої освіти передбачає реалізацію таких педагогічних механізмів: проєктно-орієнтоване навчання – виконання студентами інноваційних проєктів із використанням цифрових технологій, що розвиває креативність, колаборацію та відповідальність; проблемно-орієнтовані завдання – моделювання реальних професійних ситуацій із застосуванням інформаційно-комунікаційні технології, що стимулює пошук нестандартних рішень; колаборативні цифрові практики – організація групової діяльності через онлайн-платформи, що сприяє обміну ідеями та розвитку командної креативності; міждисциплінарні підходи – інтеграція інформаційно-комунікаційні технології у різні навчальні дисципліни, що дозволяє комплексно формувати креативне мислення здобувачів.

У практиці українських закладів вищої та фахової передвищої освіти спостерігається зростання використання цифрових платформ для проведення інтерактивних занять, створення віртуальних лабораторій, застосування елементів гейміфікації у навчальних дисциплінах. Досвід показує, що залучення студентів до проєктної та дослідницької діяльності із застосуванням інформаційно-комунікаційні технології підвищує рівень їхньої креативної компетентності, сприяє розвитку інноваційного мислення й формує готовність до професійної діяльності у цифровому суспільстві.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження дало можливість сформулювати висновки, що інформаційно-комунікаційні технології виступають потужним інструментом розвитку креативної компетентності здобувачів закладів вищої та фахової передвищої освіти. Інтеграція інформаційно-комунікаційні технології в освітній процес забезпечує реалізацію інноваційних педагогічних підходів, сприяє формуванню гнучкого мислення, здатності до творчості та самореалізації у професійній діяльності. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці адаптивних моделей розвитку креативності на основі штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності, а також у створенні методичних рекомендацій для викладачів щодо ефективного застосування інформаційно-комунікаційні технології у формуванні креативної компетентності.

Список використаної літератури

[1] І. Саух, П. Саух, і А. Солодовник, «Креативність як ключова компетентність та інтегральний результат якості управлінського процесу в освітній сфері», *Український педагогічний журнал*, № 2, с. 90–103, 2024. DOI: 10.32405/2411-1317-2024-2-90-103.

[2] О. А. Листопад, І. К. Мардарова, і Н. Л. Листопад, «Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та їх інтеграція в освітню практику: історичний контекст і сучасні тенденції», *Вісник Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка. Педагогічні науки*, вип. 2, № 58, с. 259–272, 2025. DOI: 10.31376/2410-0897-2025-2-58-259-272.

[3] О. А. Листопад, І. К. Мардарова, і Н. М. Гуданич, *Інформаційно-комунікаційні технології в дошкільній освіті: навчальний посібник для студентів зі спеціальності А2 Дошкільна освіта (0112 Training for preschool teachers)*. Одеса: Видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2025.

[4] О. А. Листопад і І. К. Мардарова, *Модульний курс «Комп'ютерні технології в роботі з дітьми»: навчальний посібник для студентів зі спеціальності 012 «Дошкільна освіта»*. Одеса: Видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2019.

[5] О. Листопад, «Підготовка майбутніх вихователів до використання інноваційних технологій в закладах дошкільної освіти», *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки: зб. наук. пр.*, № 2 (65), с. 183–189, трав. 2019. DOI: 10.33310/2518-7813-2019-65-2-183-189.

UDK 004.4:37.016:811

DESIGN AND EVALUATION OF A SOFTWARE TOOL FOR FOREIGN LANGUAGE LEARNING

Lukov D., Khoshaba O. (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. This paper addresses the design and evaluation of a software tool that supports foreign-language learning through multimedia content, adaptive practice, and learner analytics. The practical motivation is twofold: first, many CALL (computer-assisted language learning) systems underutilise empirically grounded design principles from educational psychology and usability engineering; second, despite widespread interest in gamification, spaced practice, and pronunciation feedback, many tools lack transparent quality models and rigorous evaluation protocols aligned with educational outcomes.

Keywords: computer-assisted language learning, adaptivity, spaced repetition, pronunciation feedback, CEFR, usability, learning analytics.

Problem statement. Learners and instructors require software that effectively supports vocabulary growth, pronunciation practice, and comprehension while remaining usable and trustworthy. Typical gaps include (i) insufficient alignment with evidence-based multimedia learning principles [2], (ii) inconsistent vocabulary modelling and feedback [4], (iii) ad-hoc heuristic design without systematic usability assessment [5], and (iv) lack of clearly defined quality attributes for reliability, security, and maintainability in educational deployments [3].

Objectives and tasks. We pursue four objectives: O1 — design an integrated, modular prototype covering vocabulary, pronunciation, and comprehension; O2 — embed evidence-based instructional principles (multimedia learning, spaced practice) and user-centred heuristics; O3 — operationalise product-quality requirements with ISO/IEC 25010:2023; O4 — establish a two-stage evaluation protocol with quantitative acceptance thresholds and learning outcomes. The solved tasks include: T1 — requirements analysis mapped to SQuaRE product-quality characteristics [3]; T2 — definition of a content and item model for lexical units (form, lemma, IPA, audio, sense relations) and tasks (recall, recognition, pronunciation); T3 — implementation of an adaptive scheduling policy for spaced practice grounded in the spacing effect [8]; T4 — design of pronunciation feedback with phone-level alignment and confidence scoring; T5 — instrumentation for usability analytics and learning telemetry; T6 — design of a formative usability study and a 4–6-week pilot aligned to CEFR (Common European Framework of Reference) descriptors [9].

Design and implementation. The system adopts a modular architecture to support ablation-friendly evaluation. A content service stores lexical items with metadata (orthography, lemma, part of speech, IPA transcription, syllabification, audio tokens, difficulty history), and task templates for responsive exercises (e.g., picture-word matching, cloze, minimal pairs). A practice engine schedules items using an item-level memory model that estimates forgetting rates from response latency and accuracy; initial intervals (e.g., 1, 2, 6, 20 days) are adapted via Bayesian updates over item- and learner parameters, operationalising distributed practice [8]. A pronunciation module offers per-phone feedback (alignment, Goodness-of-Pronunciation-like scores) with actionable cues (stress placement, common

substitutions) and optional phonological minimal-pair drills. The UI follows multimedia learning principles (contiguity, signalling, coherence) to limit extraneous cognitive load [2], with optional micro-gamification (points, streaks) constrained by pedagogical goals and evidence from the literature [1].

Quality model and non-functional requirements. We adopt ISO/IEC 25010:2023 to elicit and verify product quality characteristics (functional suitability, performance efficiency, compatibility, usability, reliability, security, maintainability, portability) with scenario-level measures, e.g., time-to-first-byte for audio, uptime targets, P95 latency under classroom Wi-Fi, and error-budget policies for speech services [3]. Usability is operationalised via Nielsen–Norman's ten heuristics (visibility, match to real world, user control, consistency, error prevention, recognition over recall, flexibility and efficiency, aesthetic and minimalist design, error recovery, help & documentation) as a review checklist during design sprints and as a basis for formative heuristic evaluation [5].

Evaluation protocol. We predefine a mixed-methods evaluation with two stages. Stage A (formative) combines heuristic evaluation and think-aloud usability sessions; Stage B (summative) is a 4–6-week classroom pilot aligned with CEFR descriptors [9]. Primary quantitative metrics and acceptance thresholds are: A1 — System Usability Scale (SUS) ≥ 80; A2 — time-on-task reduction ≥ 20% relative to a baseline interface; A3 — task-accuracy improvement of +10–15 percentage points on targeted items; A4 — learning gains with standardised effect size d ≈ 0.4–0.6 on CEFR-aligned pre/post measures. Secondary metrics include retention curves for scheduled items, pronunciation error rates by phone class, and engagement continuity (session frequency, adherence to schedule). Where applicable, outcomes are stratified by prior proficiency and task type.

Participants and materials. Stage A samples n≈12–18 adult learners (A2–B1) to saturate usability issues; Stage B samples n≈60 learners across two course sections for four to six weeks (two 45-minute sessions per week). Materials include a 1,200–1,800-item lexical set covering high-utility lemmas, topical clusters, and minimal-pair lists balanced by functional load; item difficulty is seeded via corpus frequency and iteratively updated from learner responses [4], [9]. Ethical procedures include informed consent, anonymisation of telemetry, and the right to withdraw without penalty.

Measures and analysis. SUS is computed per standard; time-on-task and error rates are logged across canonical tasks (add item to review, complete pronunciation drill, complete recall set). Learning gains are measured with CEFR-referenced tasks (listening/reading micro-tests and controlled-production prompts) scored with analytic rubrics. For Stage B, we apply pre-registered analyses: mixed-effects models on item-level accuracy and latency; standardised mean-difference (Hedges g) for pre/post; and survival-curve-based modelling for retention. Piloting includes ablations (e.g., disabling signalling cues or removing per-phone feedback) to estimate contributions of submodules.

Preliminary results (Stage A). In a formative study (n=14), the prototype achieved SUS 82.1 (SD 6.4), a 22% median reduction in time-on-task across three core tasks, and a 12.7 percentage-point improvement in immediate item accuracy compared with a wireframe baseline. Qualitative themes included appreciation of signalling and contiguity, requests for slower audio in minimal-pair drills, and the need for clearer progress affordances. These results meet A1 – A3 and justify the Stage B pilot; A4 will be evaluated over longer exposure.

Discussion. The design operationalises well-supported principles: multimedia learning reduces extraneous load [2]; spaced practice enhances durable retention [8]; and structured heuristics improve usability [5]. Incorporating ISO/IEC 25010:2023 embeds verifiable quality requirements beyond pedagogy, which is essential for institutional adoption [3]. Gamification is employed judiciously per the meta-analytic evidence that effects depend on meaningful alignment with learning processes rather than superficial badges [1]. The architecture's modularity enables targeted improvements and fair testing of subcomponents.

Limitations and risks. External validity remains constrained by the pilot's duration and sampling; ASR robustness may degrade for certain L1 accents and low-bitrate channels; content coverage skews towards general-purpose lexis; and teacher-facing analytics require further validation for decision-making. Future work includes: robust accent adaptation, improved offline caching for connectivity-limited classrooms, and expansion to task-based speaking practice with calibrated descriptors aligned to CEFR mediation scales [9].

Conclusions. We present a prototype and evaluation plan for a language-learning tool grounded in multimedia learning, spaced practice, and usability engineering. The system meets predefined usability

and efficiency thresholds in formative tests and establishes transparent quality and outcome measures for a classroom pilot. The approach demonstrates how educational software can be engineered with auditable links from pedagogy to product quality and measured learning gains, addressing persistent gaps in CALL practice [1]–[5], [8], [9].

References:

[1] M. Sailer and L. Homner, “The Gamification of Learning: A Meta-Analysis,” Educational Psychology Review, vol. 32, no. 1, pp. 77–112, Mar. 2020, doi: 10.1007/s10648-019-09498-w.
[2] R. E. Mayer, Multimedia Learning, 3rd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2021.
[3] ISO/IEC 25010:2023, Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Product quality model. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/78176.html. [Accessed: 16 Oct. 2025].
[4] I. S. P. Nation, Learning Vocabulary in Another Language, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2013.
[5] Nielsen Norman Group, “10 Usability Heuristics for User Interface Design.” [Online]. Available: https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/. [Accessed: 16 Oct. 2025].
[6] C. A. Chapelle, Computer Applications in Second Language Acquisition: Foundations for Teaching, Testing and Research. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2001. doi: 10.1017/CBO9781139524681.
[7] P. A. Kirschner, J. Sweller, and R. E. Clark, “Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching,” Educational Psychologist, vol. 41, no. 2, pp. 75–86, 2006, doi: 10.1207/s15326985ep4102_1.
[8] N. J. Cepeda, H. Pashler, E. Vul, J. T. Wixted, and D. Rohrer, “Distributed Practice in Verbal Recall Tasks: A Review and Quantitative Synthesis,” Psychological Bulletin, vol. 132, no. 3, pp. 354–380, 2006, doi: 10.1037/0033-2909.132.3.354.
[9] Council of Europe, Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment – Companion Volume, 2020. [Online]. Available: https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages/cefr-companion-volume-and-its-language-versions. [Accessed: 16 Oct. 2025].

УДК 378.147:004

ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ СИМУЛЯТОРІВ ТА ШІ-ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ УМІНЬ З КОМП'ЮТЕРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ В БАКАЛАВРІВ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Малежик М.П., Злагодух Д.О. (m.p.malezhyk@udu.edu.ua, d.o.zlahodukh@udu.edu.ua)
Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)

У роботі розглянута проблема формування технічних умінь з комп'ютерної електроніки у бакалаврів комп'ютерних наук, наведені обмеження традиційних методів навчання і запропоноване вирішення, а саме, триетапна структура: теоретична підготовка, віртуальна симуляція та реальна практика. Всі етапи супроводжуються використанням таких інноваційних технологій, як програми віртуальної симуляції та штучний інтелект.

Актуальність та постановка проблеми. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій (ІТ), для відповідності нагальним викликам ринку праці, сучасна освіта за спеціальністю комп'ютерних наук очікує від здобувача освіти розвитку не лише теоретичних знань, але й практичних умінь, зокрема з комп'ютерної електроніки. Формування технічних навичок, таких як проєктування схем, програмування мікроконтролерів, тестування електронних систем тощо - це є важливим при формуванні якісної технічної бази в майбутнього фахівця. Однак

НТБОНТУ

традиційні методи навчання мають виражені обмеження, такі як висока вартість обладнання, обмежений доступ до фізичних лабораторій та низька індивідуалізація освітнього процесу.

Мета цієї роботи – запропонувати інтеграцію в освітній процес таких сучасних технологій, як віртуальні симулятори та штучний інтелект для формування технічних умінь з комп'ютерної електроніки у бакалаврів комп'ютерних наук. Така інтеграція здатна підвищити ефективність, доступність та індивідуалізацію освітнього процесу.

Методи вирішення проблеми. Нові інформаційні технології, такі як віртуальні симулятори та штучний інтелект (ШІ), є інноваційними інструментами в подоланні обмежень у традиційних методів навчання. Віртуальні симулятори та лабораторії пропонують експериментувати в безпечному середовищі без ризику з боку фізичного обладнання, ШІ здатний виступати в якості порадника/помічника, який персоналізує завдання та надає миттєвий зворотний зв'язок. За дослідженнями про використання ігрового навчання (гейміфікація) у віртуальних середовищах для викладання електроніки, такі підходи позитивно впливають на залученість здобувачів освіти [1]. Актуальність теми також підтверджується систематичним оглядом ролі ШІ при навчанні за напрямком комп'ютерних наук, в якому підкреслюється зростання використання ШІ, зокрема для кодогенерації та персоналізованого навчання [2].

Пропонується наступна базова структура, яка здатна забезпечити інтеграцію вищезгаданих інноваційних технологій: теоретична підготовка, симуляція із використанням технологій для віртуальної симуляції та реальне застосування (практика). Перший етап полягає у вивченні теоретичних основ комп'ютерної електроніки через онлайн-лекції та використання ШІ (наприклад, ChatGPT) для генерації навчальних матеріалів, які будуть адаптовані під рівень знань здобувача освіти [3].

На другому етапі використовується віртуальна симуляція. Платформа Tinkercad для моделювання 3D-схем з електроніки, Multisim для симуляції електричних кіл - це одні з багатьох прикладів програмного забезпечення (ПЗ) для вивчення комп'ютерної електроніки та дотичних дисциплін. Завдяки такому ПЗ вирішується проблема доступності, адже необхідність в дорогому, фізичному обладнанні, практично відпадає. Також за інтеграції з Arduino можливе програмування мікроконтролерів, оскільки додається відповідний програмний компонент [4].

На третьому етапі відбувається застосування набутого досвіду на реальній практиці: здобувачі освіти переходять до формату роботи з фізичним обладнанням, для реалізації та тестування проєктів, які пройшли теоретичний і симуляційний етап. В залежності від специфіки задачі, ШІ також може бути залучений у процес, наприклад, аналіз даних із сенсорів, оптимізація коду, моніторинг роботи в реальному часі. [5]

Ефективність впровадження ШІ у освітні процеси доведена низкою досліджень. Наприклад, у 54% здобувачів освіти спостерігається покращення результатів у складанні тестів, якість виконання освітніх програм зростає на 70%, а викладачі, у середньому, економлять 44% часу завдяки автоматизації адміністративної діяльності [6]

Висновок. Запропонований підхід демонструє значний потенціал для модернізації освіти бакалаврів комп'ютерних наук, зокрема в напрямку комп'ютерної електроніки, адже сприяє підвищенню ефективності, доступності та індивідуалізації навчання [7]. Враховуючи очевидні переваги, впровадження віртуального моделювання та ШІ повинно бути принаймні розглянуто як опція для всіх сучасних освітніх програм.

Список використаної літератури:

1. M. J. Callaghan, K. McCusker, J. L. Losada, J. Harkin, and S. Wilson, "Using Game-Based Learning in Virtual Worlds to Teach Electronic and Electrical Engineering," *Ieee Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 575-584, Feb 2013.

2. A. Gaitantzi, I. Kazanidis The Role of Artificial Intelligence in Computer Science Education: A Systematic Review with a Focus on Database Instruction. *Applied Sciences*. 2025; 15(7):3960. https://doi.org/10.3390/app15073960

3. A. Tlili, Can artificial intelligence (AI) help in computer science education? A meta-analysis approach [¿Puede ayudar la inteligencia artificial (IA) en la educación en ciencias de la computación? Un enfoque metaanalítico]. Rev. Esp. Pedagog. 2024, 82, 469–490

4. N. Rodriguez, Teaching virtual reality with affordable technologies. In Human-Computer Interaction: Theory, Design, Development and Practice, Proceedings of the 18th International Conference, HCI

International 2016, Toronto, ON, Canada, 17–22 July 2016; Part I 18; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016; pp. 89–97.
5. Luo, J., Zheng, C., Yin, J. et al. Design and assessment of AI-based learning tools in higher education: a systematic review. Int J Educ Technol High Educ 22, 42 (2025). https://doi.org/10.1186/s41239-025-00540-2
6. L. Seril (2025). 20 Statistics on AI in Education to Guide Your Learning Strategy in 2025. [Online] / Available: https://www.engageli.com/blog/ai-in-education-statistics
7. A. Golrang, K. Sharma (2025) The role of AI in shaping educational experiences in computer science: A systematic review. Computers in Human Behavior: Artificial Humans. 6. 100199 10.1016/j.chbah.2025.100199.

ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ТА АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Огібовський С. В. (17fi.s.oghibovskyi@std.npu.edu.ua***)***
Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна)

Курс з «Комп’ютерної схемотехніки» є досить важливим для підготовки ІТ-фахівців, але часто може супроводжується значними труднощами для студентів, особливо через складність поєднання глибоких математичних обчислень, знань електроніки та логічного аналізу. Це створює потребу в індивідуальному підході, який традиційні освітні моделі не можуть повною мірою забезпечити.

У такому випадку, Штучний Інтелект (ШІ) у формі мовних моделей Gemini, який став на рік безкоштовним для студентів, розглядався не просто як допоміжний засіб, а як ключовий інструмент адаптивних та індивідуалізованих навчальних матеріалів, здатних трансформувати освітній процес, забезпечуючи цілеспрямовану підтримку та знижуючи навантаження на викладачів.

Метою данної роботи є застосування ШІ як інтелектуального помічника для індивідуалізації навчання у вивченні схемотехніки.

ШІ є найбільш ефективні у тих сценаріях де існують "прогалини" у попередніх знаннях студентів або нерозуміння деяких інженерних концепцій. Наведемо такі сценарії:

I. Діагностика індивідуальних труднощів: ШІ допоможе розв'язати типові проблеми, з якими студенти нерідко можуть зіштовхнутися при вивченні схемотехніки:
- Недостатній попередній досвід: ШІ надає роз'яснення базовим поняттям (наприклад, робота тригерів, мультиплексорів) у формі, яка підійде кожному студенту індивідуально, доки студент не розбереться у матеріалі.
- Складність візуального сприйняття: Хоча ШІ не може побачити схему, він все ще може аналізувати її текстовий опис (наприклад, код у Proteus) і пояснювати логічні зв'язки між компонентами.

II. Покрокова допомога в складних завданнях: ШІ надає допомогу, розбиваючи складне завдання на декілька етапів:
- Приклад (Астабільний мультивібратор NE555): ШІ допомагає студенту послідовно пройтися по всім етапам: Розуміння (пояснює ролі R1, R2, C), Застосовання надає формули та розрахунки номіналів для 1 Гц, Аналіз допомагає у пошуку причини неполадок викликаним коефіцієнтом заповнення.

III. Роз’яснення та виправлення помилок у реальному часі: Студент отримує миттєве і точне роз'яснення повідомлення про помилку яка з'являється у середовищі моделювання. Наприклад, запит "Error: Logic contention on net G1. Що це означає, та як це виправити?" дозволить отримати не лише пояснення проблеми по її суті, але й конкретно надасть різні рекомендації для її вирішення (використання буфера чи перевірка підключення).

Використання ШІ сприяє не тільки покращенню засвоєнню матеріалу, але й формуванню у майбутнього спеціаліста потрібних компетенцій.

I. Підвищення впевненості та доступності: Отримуючи швидке та точне пояснення у моментах коли виникають проблеми, студент знижує рівень тривожності та підвищить свій рівень впевненість у новій для нього сфері. Ця цілодобова доступність у будь-якому місці сприяє підвищенню рівня залученості у навчальний процес.

II. Формування навичок у роботі з ШІ: Навчитись студентами ефективно формулювати точні технічні запити до ШІ (наприклад, для конфігурації периферії мікроконтролера) готуючи їх до реальних інженерних викликів, де інтелектуальні помічники стануть стандартним інструментом для роботи над проєктами. Тим самим, ШІ перетворює навчальний процес, під час розуміння та виконання лабораторних робіт, перетворюючи його симуляцією справжнього професійного середовища.

Одним із протестованих прикладів, що ілюструє ефективність такого підходу, є сценарій оптимізації проєктування скінченних автоматів (FSM) на VHDL. В тій ситуації ШІ виступав в ролі технічного консультанта. Наприклад, на запит студента: "Мій FSM працює, але інструмент синтезу видає попередження про часові затримки. Як його можна оптимізувати?", ШІ своєю чергою пояснює переваги кодування станів 'one-hot' яка підвищує швидкості шляхом більшої площі. Це демонструє, як ШІ не лише допомагає виправити помилки (рівня "Аналіз"), але й сприяє розвитку навичок оцінювання та проєктного мислення (рівня "Створення").

ВИСНОВКИ

Використання ШІ-помічників є інновацією у вивченні предмета комп'ютерна схемотехніка. Вони забезпечують високий рівень індивідуального підходу та адаптивності, що дозволить студентам виконувати більш складні інженерні випробування через діалог, покроковий аналіз та швидку діагностику помилки.

Подальші дослідження мають бути зосереджені на розробці ШІ, які використовуватимуть технологію RAG (Generation Augmented Retrieval) для високоточних порад на основі технічної документації, а також на точній оцінці впливу такої інтеграції на розвиток критичного мислення студентів. Впровадження ШІ у навчанні відкриває величезний спектр можливостей для розвитку новітньої моделі технічної освіти, яка буде орієнтована на індивідуальні потреби та запити кожного студента.

Список використаних джерел:

1. Андрощук, А. Г., Малюга, О. С. Використання штучного інтелекту у вищій освіті: стан і тенденції. // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2023. – №2(2). – С. 64-70. [Електронний ресурс] – https://isg-journal.com/isjel/article/download/661/376
2. Григоренко, М. О., та ін. Посібник-моделювання в Proteus. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. [Електронний ресурс] – https://kpi.ua/wp-content/uploads/2019/02/ПОСІБНИК-МОДЕЛЮВАННЯ-В-PROTEUS.pdf
3. Advancing Transformative Education: Generative AI as a Catalyst for Equity and Innovation. [Електронний ресурс] – https://arxiv.org/html/2411.15971v1
4. Exploring the impact of integrating tools in higher education using the Zone of Proximal Development. [Електронний ресурс] – https://www.researchgate.net/publication/385138990_Exploring_the_impact_of_integrating__tools_in_higher_education_using_the_Zone_of_Proximal_Development
5. Intelligent Tutoring Systems with Conversational Dialogue. [Електронний ресурс] – https://www.researchgate.net/publication/220017573_Intelligent_Tutoring_Systems_with_Conversational_Dialogue
6. Огібовський С.В. Використання Штучного інтелекту у підготовці майбутніх ІТ фахівців при вивченні схемотехніки. || Науковий журнал “Наука і техніка” [Прийнято до друку]

HTFOHTV

УДК 372.8:551.5:656.7

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ АТМОСФЕРИ З АКЦЕНТОМ НА ФАКТОРИ РИЗИКУ ПОЛЬОТІВ ТА РОЗРОБКУ АЛГОРИТМІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІЛОТАМИ

Полторацька О.О. (poltoracka@keemail.me)
Харківський національний університет внутрішніх справ
Кременчуцький льотний коледж (Україна)

Дослідження присвячене розробці інтегрованої методики викладання фізики атмосфери у льотних коледжах, що безпосередньо пов'язує теоретичні знання про критичні метеорологічні явища з практичними алгоритмами прийняття пілотних рішень. Метою є формування в курсантів глибокого розуміння фізичної природи ризиків польотів та здатності науково обґрунтовувати свої дії в критичних метеорологічних умовах. Запропонований підхід підвищує компетентність курсантів у сфері авіаційної безпеки.

Постановка проблеми

Традиційні курси фізики у льотних коледжах часто зосереджуються на класичній теорії, залишаючи прогалину між абстрактними законами атмосферної фізики та їхнім критичним впливом на безпеку польотів. Існує гостра потреба в методиці, яка б трансформувала знання про такі явища, як обмерзання, зсув вітру чи сильна турбулентність, у чіткі, науково обґрунтовані алгоритми дій пілота з урахуванням авіаційних нормативів. Це необхідно для формування високої компетентності у сфері авіаційної безпеки та мінімізації помилок, спричинених метеофакторами, що є ключовим завданням сучасної льотної підготовки.

Перелік вирішених завдань

У ході дослідження було здійснено ґрунтовний аналіз навчальних програм та визначено ключові фізичні явища, які становлять найбільший ризик для польотів, згідно з міжнародними стандартами. На основі цього аналізу було розроблено та систематизовано прикладні навчальні модулі, що інтегрують фізичну теорію з авіаційними процедурами та факторами ризику. Кінцевим завданням стала розробка структури педагогічного експерименту для емпіричної перевірки ефективності застосування нової методики у підготовці майбутніх пілотів, акцентуючи увагу на швидкості та правильності прийняття рішень.

Виклад суті дослідження

Теоретичне обґрунтування методичних особливостей викладання фізики атмосфери у льотних коледжах вимагає глибокого аналізу фундаментальних наукових праць, які розкривають фізичну природу явищ, що становлять найбільшу небезпеку для авіації.

Ж. В. Волошина та О. В. Волошина створили навчальний посібник «Фізика атмосфери (задачі і вправи)», який є важливим методичним забезпеченням для вивчення наук про Землю, метеорології та кліматології. Видання призначене для студентів та курсантів, забезпечуючи їх практичними завданнями та вправами, необхідними для глибокого засвоєння фізичних закономірностей атмосферних процесів. Посібник слугує фундаментом для спеціалізованої підготовки у відповідних галузях 2.

Є. П. Школьний, І. А. Хоменко та інші вчені у своїх працях, що є фундаментальними для авіаційної підготовки, глибоко вивчають теорію гідродинамічної нестійкості атмосферних течій. Центральними для розуміння механізмів утворення атмосферних об’єктів, які суттєво впливають на погодні умови та безпеку польотів, є питання аналізу таких інваріантних величин, як абсолютний і потенційний вихор, та використання останнього в ізоентропічному аналізі. З точки зору теорії нестійкості в аспекті нашого дослідження розглядаються хвильові процеси в атмосфері та турбулентні рухи в граничному шарі, знання про які є критично важливими для розробки алгоритмів прийняття рішень пілотами під час проходження небезпечних метеорологічних зон 1, 3.

Суть дослідження полягає у створенні цілісного методичного забезпечення, де вивчення кожного атмосферного явища супроводжується розробкою конкретного алгоритму прийняття рішень (Decision-Making Tree), який курсант може застосувати в симуляторі або реальній польотній ситуації. Наприклад, вивчення фізики обмерзання включає не лише механізм сублімації та конденсації (фізика), але й аналіз впливу шару льоду на аеродинамічний профіль крила

(прикладне застосування), а також алгоритми активації протиобмерзальних систем відповідно до протоколів безпеки (рішення пілота). Конкретне застосування методики відбувається в симуляційних центрах льотного коледжу, де курсанти опрацьовують метеорологічні кейси з використанням реальних даних і бортових індикаторів. Також важливим елементом є використання комп'ютерного моделювання для візуалізації турбулентних потоків та їхнього впливу на індикатори перевантаження, що підвищує наочність і поглиблює розуміння фізичної природи ризиків.

Розггянеом конкретний приклад модуля "Фізика обмерзання та протоколи аварійного реагування". Розробка методичного забезпечення цього модуля вимагає інтеграції трьох основних компонентів: теоретичного фізичного аналізу, прикладного авіаційного моделювання та тренінгу з прийняття рішень. Вивчення починається з поглибленого розгляду термодинаміки та фізики фазових переходів, де курсанти вивчають процес утворення переохолоджених крапель води, механізм їхньої коалесценції та зіткнення з профілем крила, а також теплові процеси, що призводять до формування різних типів льоду (прозорий, матовий, паморозь). Основний акцент робиться на критичних фізичних параметрах — температурі, вологості та розмірі крапель, які визначають швидкість та інтенсивність обмерзання. На цьому етапі використовуються навчальні посібники з фізики атмосфери та задачі для точного чисельного розрахунку наростання льоду за заданих умов.

Наступним кроком є перехід до авіаційних наслідків. Курсанти вивчають, як саме наростання льоду змінює аеродинамічний профіль крила. Вони аналізують фізичні формули, що описують різке збільшення коефіцієнта лобового опору та катастрофічне зниження коефіцієнта підйомної сили, а також небезпечне зменшення критичного кута атаки, що веде до раннього звалювання. На цьому етапі застосовується комп'ютерне моделювання, яке візуалізує зміну обтікання повітря навколо крила після обмерзання. Це формує інженерне розуміння впливу фізики на конструкцію.

Кульмінацією методики є розробка та відпрацювання алгоритму прийняття рішень (АПР) для пілота в умовах обмерзання. АПР створюється на основі фізичних знань та чинних авіаційних протоколів (наприклад, ІСАО). Цей алгоритм є логічним деревом, де курсант послідовно оцінює ступінь обмерзання, виходячи з фізичних індикаторів (візуальний огляд, падіння швидкості), і приймає рішення: активація протиобмерзальних систем, запит дозволу на зміну ешелону (вище або нижче зони критичної температури), розрахунок зони виходу зі складних метеоумов та доповідь. Весь цей методичний модуль реалізується в авіаційному симуляційному центрі. Курсанти спочатку вивчають АПР, а потім відпрацьовують його під час імітаційного польоту, де інструктор раптово активує режим сильного обмерзання. Оцінювання відбувається за швидкістю, точністю та повнотою виконання розробленого АПР, що гарантує прямий зв'язок між засвоєною фізичною теорією та практичною компетентністю у сфері безпеки польотів.

Для емпіричної перевірки ефективності методики, що ґрунтується на інтеграції фізики та прийняття пілотних рішень, заплановано педагогічний експеримент, який включає такі етапи.

Констатувальний етап – діагностика початкового рівня знань з фізики атмосфери та навичок прийняття рішень у метеоумовах у контрольної (КГ) та експериментальної (ЕГ) груп курсантів.

Формувальний етап – навчання ЕГ за розробленою методикою з інтеграцією фізики та авіаційної безпеки, а КГ — за традиційною програмою.

Контрольний етап – проведення імітаційних польотів на тренажерах з імітацією критичних метеоумов та порівняльний аналіз швидкості, точності та правильності пілотних рішень в обох групах.

Висновки

Запропоноване методичне забезпечення дозволяє не лише поглибити знання курсантів з фізики атмосфери, але й головне — забезпечити прямий зв'язок між теоретичними знаннями та професійними компетенціями пілота. Це підвищує якість оцінки метеорологічних ризиків та ефективність прийняття рішень у польоті, що має критичне значення для підвищення безпеки авіації і повністю відповідає поставленій меті дослідження. Зазначений план роботи вже готовий, і вже зроблені успішні пілотні спроби застосування окремих модулів у симуляційному навчанні, що підтвердило доцільність повноцінного експерименту.

Список використаної літератури

1. Є. П. Школьний, Фізика атмосфери. Одеса: ОГМІ, 1997.
2. Ж. В. Волошина і О. В. Волошина, Фізика атмосфери (задачі і вправи): навчальний посібник. Київ: КНТ, 2005.
3. І. А. Хоменко, Динаміка атмосфери: навчальний посібник. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2022.

УДК 61:378.147:004

СУЧАСНА ОСВІТА У СВІТІ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Рисована З.Г.[1], Рисований О.М.[2] (rysov2211@gmail.com,rysov81524@gmail.com)
[1] Комунальний заклад "Харківський ліцей № 164 Харківської міської ради"
[2]Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»(Україна)

У даному дослідженні аналізуються вплив нових методів навчання завдяки використанню комп'ютерних технологій, виявлені переваги використання штучного інтелекту, віртуальної реальності. Проаналізовані нові комп'ютерні сервіси, які використовуються при навчанні та розроблені рекомендації їх використання.

Новітні цифрові інструменти, інтернет, штучний інтелект, віртуальна та доповнена реальність відкривають перед людством різні нові можливості для здобуття знань у різних сферах життя. Швидкий розвиток інформаційних технологій сприяв розвитку й удосконаленню освітнього процесу.

Сучасна освіта поступово переходить від традиційних методів навчання до цифрових форматів. Такому процесу сприяють онлайн-платформи, відеолекції, інтерактивні курси й електронні підручники. Навчатися стало можливо у будь-який час і в будь-якому місці.

Поява сервісів, таких як Coursera, EdX, Udemy, Prometheus та інших дозволяють отримувати знання від провідних університетів світу.

Завдяки штучному інтелекту (AI) з'явилася можливість створювати індивідуальні навчальні програми, які враховують здібності, темп і рівень підготовки кожного студента.

В роботі проаналізовано AI-алгоритми, які аналізують успішність учнів, рекомендують матеріали для самостійного вивчення й допомагають викладачам оцінювати результати навчання більш об'єктивно.

Віртуальна реальність дозволяє учням «зануритися» у навчальне середовище: наприклад, подорожувати до давніх цивілізацій, досліджувати людський організм або проводити експерименти у віртуальних лабораторіях.

Доповнена реальність поєднує цифрові елементи з реальним світом, створюючи ефект присутності й підвищуючи зацікавленість у навчанні.

Дистанційне навчання стало невід'ємною частиною освітнього процесу після пандемії COVID-19. Сучасні платформи, такі як Zoom, Google Meet, Microsoft Teams, забезпечують можливість навчання незалежно від місця проживання.

Це особливо важливо для учнів з віддалених регіонів, осіб з обмеженими можливостями чи тих, хто поєднує роботу з навчанням.

Використання цифрових інструментів, штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності сприяє формуванню нової моделі навчання — інтерактивної, інноваційної та глобальної.

НТБОНТУ

УДК 338.4

АНАЛІЗ ІТ-ГАЛУЗІ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ ТА ЗАТРЕБУВАНІСТЬ ВИПУСКНИКІВ АСПІРАНТУРИ

Романюк О.Н., Майданюк В.П., Решетнік О.О.
(rom8591@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет

Інформаційні технології у Вінницькій області є одним із найдинамічніших секторів регіональної економіки. У період 2021-2025 рр. галузь демонструє стійке зростання, високу гнучкість до кризових умов і стабільний попит на фахівців [1; 2]. За даними ІТ Асоціації Вінниці станом на 2025 рік в області нараховується близько 9 775 ФОПів і 644 юридичних осіб, що займаються ІТ діяльністю [3]. Це суттєво більше, ніж у 2021 році, коли таких було відповідно 5 880 і 475. Таке зростання свідчить про поступовий перехід бізнесу до більш формалізованих структур і розширення сфери.

Таблиця 1. Динаміка кількості ІТ суб'єктів господарювання у Вінницькій області [3]

Рік	Кількість ФОПів	Кількість юр. осіб	Зміна юр.осіб, %
2021	5 880	475	—
2023	9 120	589	+24 %
2025	9 775	644	+47 %

Також зросли податкові надходження: за звітами ДПС у Вінницькій області, сума сплачених податків від ІТ юросіб зросла на 105 % за останні три роки, а від ІТ ФОПів - на 62 % [4]. Це означає як розширення ринку, так і зростання економічної активності в межах однієї компанії чи підприємця.

Окрему увагу заслуговує зарплатна ситуація в ІТ секторі. У порівнянні з іншими регіонами, Вінниця демонструє конкурентні середні зарплати, що створює позитивне тло для утримання кадрів у місті [5].

Таблиця 2. Середні місячні зарплати розробників у Вінниці (2023-2025) [5]

Посада	2023 рік	2024 рік	2025 рік
Junior	$745	$810	$850
Middle	$2 630	$2 400	$2 475
Senior	$4 200	$4 400	$4 500

Інші позиції в ІТ галузі, такі як тестувальники, DevOps інженери, аналітики, спеціалісти з техпідтримки, мають менші, але все ж вищі за середні по регіону доходи. Зокрема, середня зарплата QA інженера у Вінниці складає $1 200-1 600, а DevOps інженера - до $3 500 [5].

Зарплатна конкуренція всередині регіону помірна, що сприяє стабільності ринку праці. Щодо ринкової структури: у Вінниці зареєстровано 187 активних ІТ компаній, 9 з яких входять у рейтинги провідних національних аутсорсерів [5]. При цьому лише 7-8 % з них спеціалізуються на продуктовій розробці або R&D напрямах, тоді як переважна більшість — це сервісні компанії.

Втім, галузь має низку викликів. Основними є: нерівномірність розвитку по області (висока концентрація в місті), дефіцит венчурного капіталу, незначна присутність глобальних компаній, регуляторна нестабільність, ризики воєнного стану [6]. Також на фоні релокації близько 400 підприємств (не лише ІТ) у Вінницьку область, зросло навантаження на офісні площі, канали зв'язку й інфраструктуру.

Вінниччина має потенціал спеціалізуватись у перспективних напрямах: автоматизація агропромисловості (AgriTech), Smart Logistics, розробка ІТ рішень для виробництва, медичних технологій, кібербезпеки [6]. Саме в цих нішах можна розвивати R&D, партнерства з місцевими підприємствами, вихід на іноземні ринки.

Випускники аспірантури у Вінницькій області є важливою ланкою наукового, освітнього, інноваційного та інженерного потенціалу регіону [8]. Їх знання, аналітичні здібності та вміння здійснювати наукові дослідження формують основу для якісного оновлення вищої освіти, наукових установ, державного управління, підприємств і цифрового сектору регіону. З урахуванням специфіки Вінницької області як регіону з потужним технічним, агропромисловим і IT компонентом, аспіранти з науковим ступенем доктора філософії (PhD) є затребуваними у декількох ключових напрямках.

Таблиця 3. Приблизна середня зарплата за ролями (2025) [5; 6]

Роль	Місячна зарплата (USD)
Front-End Developer	$2 000-2 400
Back-End Developer	$2 200-2 600
Full-Stack Developer	$2 300-2 800
QA Manual	$1 100-1 400
QA Automation	$1 600-2 200
DevOps	$3 000-3 500
Project Manager	$1 800-2 300
UI/UX Designer	$1 200-1 800
System Administrator	$1 200-1 700
Business Analyst	$1 500-2 000

Передусім, випускники аспірантури є необхідними для системи вищої освіти, зокрема для провідних університетів області: Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), Вінницького державного педагогічного університету імені М. Коцюбинського, Вінницького медичного фахового коледжу, Вінницького торговельно-економічного інституту та інших закладів. Потреба у PhD-фахівцях зростає у зв’язку із вимогами акредитації освітньо-наукових програм третього рівня, де до викладання повинні бути залучені особи зі ступенем доктора філософії [9]. Крім того, освітній процес вимагає оновлення змісту навчальних дисциплін на основі результатів сучасних досліджень.

У Вінниці працює низка структур, пов’язаних з дослідженнями в галузі енергетики, біомедицини, машинобудування, біотехнологій, хімічного аналізу та обчислювальної техніки. Випускники аспірантури можуть долучатись до виконання науково-дослідних тем, реалізації державних і міжнародних грантів, розробки наукових інновацій, створення патентів і публікацій у Scopus-виданнях [8].

В умовах цифровізації, надзвичайно актуальними є PhD-фахівці для IT-компаній, стартапів, кластерів і центрів технологічного розвитку Вінниці. Зокрема, випускників аспірантури з інженерії програмного забезпечення охоче залучають такі компанії, як EPAM, SoftServe, SkySoft, Spilna Sprava, Playtika [7].

Також аспіранти знаходять роботу в державних установах області - у департаментах обласної адміністрації, управліннях стратегічного розвитку, цифрової трансформації, освіти, екології, охорони здоров’я, а також у міських радах (наприклад, Вінницька міська рада активно впроваджує Smart City концепцію) [10].

Крім того, в регіоні розвивається низка грантових, інноваційних та освітньо-просвітницьких проєктів за підтримки міжнародних донорів: ПРООН, GIZ, House of Europe, USAID, Erasmus+, Horizon Europe [11].

Окремо варто згадати і про попит на PhD у медичних закладах області, особливо у контексті розвитку медичної інформатики, телемедицини, біостатистики, цифрових клінічних протоколів [8].

Поза традиційними сферами, аспіранти можуть реалізовуватись як незалежні консультанти, експерти аналітичних центрів, автори освітніх платформ, ініціатори стартапів, блогери та наукові

комунікатори. Публічні лекції, курси, конференції, воркшопи у Вінниці дедалі частіше включають молодих дослідників як доповідачів та фасилітаторів.

Список використаної літератури

1. IT Ukraine Association. *Ukrainian IT Industry Report 2024*. – Київ: IT Ukraine Association, 2024. – https://itukraine.org.ua
2. AIN.ua. *Ukrainian IT salaries fell to $3300 in H2 2023*. – 2024. – https://en.ain.ua/2024/01/23/ukrainian-it-salary-fell-to-3300-in-h2-2023
3. Вінницька IT-Асоціація. *Огляд розвитку IT галузі у Вінницькому регіоні*. – Вінниця, 2025. – https://vinnytsiaitassociation.org
4. Державна податкова служба України. *Офіційна статистика податкових надходжень від IT сектору (2021–2025)*. – https://tax.gov.ua
5. DOU.ua. Зарплати українських розробників. Літо 2025 https://dou.ua/lenta/articles/salary-report-devs-summer-2025/
6. Deloitte Ukraine. *AgriTech та цифровізація виробництва в Україні: перспективи 2025*. – Київ: Deloitte, 2024. – https://www2.deloitte.com
7. EPAM Systems. *Careers in Vinnytsia Office*. – https://careers.epam.ua
8. Vavilina I. *Підготовка наукових кадрів як основа формування інтелектуального капіталу країни*. – Наука та інновації, 2021. – https://nti.ukrintei.ua/wp-content/uploads/2021/01/Вавилина_4-19.pdf
9. Здобутки і виклики експерименту з присудження наукового ступеня доктора філософії : аналітичний звіт / Ю. Бреус, Л. Колісник, В. Меняйло, Є. Ніколаєв. Київ: Київський університет імені Бориса Грінченка, 2021. 84 с.
10. Вінницька міська рада. *Концепція Smart City Vinnytsia*. – 2023. – https://www.vmr.gov.ua
11. European Commission. *Horizon Europe Projects in Ukraine*. – https://ec.europa.eu/research/horizon-europe

УДК 004.588

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «МАТЕМАТИКА» У КОЛЕДЖАХ

Руденко О.В. (zima-or@ukr.net)
Сумський фаховий коледж економіки і торгівлі (Україна)

У тезах проаналізовано роль технологій штучного інтелекту (ШІ) у викладанні курсу «Математика» в коледжах України. Розглянуто сучасні наукові публікації, наведено приклади українських і міжнародних платформ, що використовують ШІ для адаптивного навчання, розпізнавання математичних виразів та інтерактивної візуалізації. Визначено потенційні переваги й недоліки застосування таких рішень у навчальному процесі та окреслено шляхи інтеграції ШІ у практику викладання математичних дисциплін.

Сучасний етап розвитку освіти характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), який стає важливим інструментом удосконалення навчального процесу. Викладання математики у коледжах вимагає нових підходів, орієнтованих на індивідуалізацію та підвищення ефективності засвоєння матеріалу. ШІ-технології дозволяють реалізовувати персоналізоване навчання, створювати інтерактивні навчальні середовища та автоматизувати перевірку завдань, що особливо актуально в умовах зростання обсягів освітніх програм і потреби у дистанційній та змішаній формах навчання.

Завдяки розвитку адаптивних платформ на основі машинного навчання студенти отримують можливість працювати із завданнями різного рівня складності, отримувати миттєвий зворотний зв’язок та рекомендації для подальшого вдосконалення знань. Такі зміни сприяють підвищенню мотивації, розвитку критичного мислення та самостійності студентів. У цьому контексті аналіз

НТБОНТУ

застосування ШІ у викладанні математики у коледжах є важливим кроком до оптимізації освітнього процесу та визначення перспектив інтеграції інноваційних рішень у практику навчання.

Наукова спільнота все активніше досліджує впровадження ШІ у навчання математики. У статті [1] показано, що великі мовні моделі (LLM), зокрема ChatGPT, можуть ефективно застосовуватися для пояснення математичних понять, створення завдань і тестів та надання миттєвого зворотного зв'язку, хоча існує ризик помилкових рішень та надмірної залежності студентів від ШІ. Дослідження Integrating Artificial Intelligence in Primary Mathematics Education висвітлює фактори, що впливають на успішне впровадження ШІ, зокрема технічну готовність педагогів та інституційну підтримку [2]. У роботі П.Ахадіан запропоновано алгоритми та спеціалізовані датасети для автоматичного розпізнавання дробових виразів, що відкриває нові перспективи для автоматизованого оцінювання письмових робіт [3].

Для вивчення математики застосовуються чисельні платформи штучного інтелекту, серед яких міжнародні і українські. Охарактеризуємо їх з позицій корисності у вивченні математики.

Найпоширенішою платформою на сьогодні є ChatGPT. Вона використовуються для інтерактивного пояснення матеріалу, створення варіативних завдань, пошуку помилок у розв'язках і генерації навчальних планів. ChatGPT сьогодні став невіддільною частиною навчання з будь-яких дисциплін, зокрема, і математики [4].

Системи адаптивного навчання Adaptive Learning Systems аналізують успішність студентів і автоматично пропонують вправи для повторення тем, що викликають труднощі.

Платформа Photomath дозволяє розпізнавати математичні вирази із зображень або рукописних записів та надавати покрокові пояснення, що робить їх корисними для самостійної роботи.

На окрему увагу заслуговує інтерактивне програмне забезпечення для візуалізації функцій, геометричних побудов і статистичних даних GeoGebra, що має зручний зрозумілий інтерфейс і чисельні математичні функції. Ця платформа активно застосовується під час лекцій і практичних занять для наочного демонстрування залежностей і динаміки функцій.

Пропонує відеоуроки, інтерактивні вправи й тести з базових і просунутих тем математики українська версія платформи Khan Academy. Вона дозволяє студентам навчатися у власному темпі та полегшує викладачеві моніторинг успішності.

Вітчизняна EdTech-платформа Mathema забезпечує онлайн-курси з математики, індивідуальні заняття, підготовку до НМТ і використовує автоматизовані алгоритми для рекомендацій і формування навчального контенту.

Штучний інтелект може бути інтегрований у різні етапи навчального процесу. Досвід викладання математики у коледжі дозволив структурувати етапи використання ШІ на уроках.

Попереднє засвоєння матеріалу. Студенти за допомогою Khan Academy чи Mathema можуть ознайомлюватися з теоретичними поняттями до початку занять.

Самостійна робота та домашні завдання. Використання Photomath або Microsoft Math Solver дозволяє отримати підказки й покрокові розв'язки, що особливо корисно для студентів із прогалинами у знаннях.

Інтерактивні практичні заняття, динамічну візуалізацію математичних функцій і побудов забезпечує GeoGebra. Вона дозволяє зробити абстрактні концепти більш зрозумілими.

Індивідуалізація навчання. Адаптивні системи підбирають персоналізовані завдання на основі результатів тестувань, що сприяє ефективнішому засвоєнню матеріалу.

Аналіз успішності. Викладачі отримують статистичні дані щодо роботи студентів, що дозволяє оперативно реагувати на прогалини у знаннях.

Можемо сформулювати очевидні переваги ШІ:

— Персоналізація навчання та індивідуальний підхід.

— Миттєвий зворотний зв'язок і покращення мотивації студентів.

— Оптимізація роботи викладачів у створенні матеріалів і перевірці завдань.

— Підвищення доступності якісних навчальних ресурсів.

Проте, арто зазначити недоліки, які перешкоджають розвитку математичних компетентностей студентів коледжів.

— Можливі неточності у відповідях і ризик формування помилкових уявлень.

— Технічні та фінансові обмеження у впровадженні.

— Ризик зниження навичок самостійного мислення через надмірну автоматизацію.

—Питання захисту персональних даних і академічної доброчесності.

Отже, використання технологій штучного інтелекту у викладанні курсу «Математика» відкриває нові можливості для підвищення якості освіти у коледжах України. Інтеграція таких рішень, як ChatGPT, Photomath, GeoGebra, Khan Academy та Mathema, дозволяє персоналізувати навчання, підвищити мотивацію студентів і забезпечити доступність сучасних навчальних ресурсів. Разом із тим, впровадження ШІ потребує належної технічної бази, підготовки викладачів і контролю якості наданої інформації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінку ефективності цих технологій у довгостроковій перспективі та на розробку методичних рекомендацій для викладачів.

Список використаних джерел

[1] A. “A Scoping Survey of ChatGPT in Mathematics Education,” Digital Experiences in Mathematics Education, vol. 11, 2025.

[2] “Integrating Artificial Intelligence in Primary Mathematics Education: Investigating Internal and External Influences on Teacher Adoption,” International Journal of Science and Mathematics Education, vol. 23, 2025.

[3] P. Ahadian, Y. Feng, K. Kosko, R. Ferdig, Q. Guan, “MNIST-Fraction: Enhancing Math Education with AI-Driven Fraction Detection and Analysis,” arXiv preprint, 2024.

[4] “Trends and Insights of AI in Mathematics Education: A Bibliometric Analysis,” International Electronic Journal of Mathematics Education, vol. 20, no. 3, 2025.

[5] “Building Bridges: AI Custom Chatbots as Mediators between Mathematics and Physics,” arXiv preprint, 2024..

УДК 372.8:004.774

ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ

Русанов Ю.О. (Rysanow2001@gmail.com)
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)

Сучасний профільний освітній процес вимагає ефективної міжпредметної інтеграції фізики та інформатики для формування в учнів ключових цифрових і дослідницьких компетентностей. Дослідження присвячено теоретичному обґрунтуванню та розробці методики використання Google Classroom і Google Colab як основних хмарних інструментів, що забезпечують персоналізоване та практично орієнтоване навчання у старшій школі. Запропонована методика передбачає створення адаптивного освітнього середовища, ефективність якого перевіряється в рамках педагогічного експерименту.

Постановка проблеми. В умовах стрімкої цифровізації та вимог компетентнісного підходу традиційні методики викладання фізики та інформатики часто не забезпечують належного рівня практичної підготовки учнів профільної школи до роботи з великими даними, моделювання та програмування. Існує нагальна потреба впровадження хмарних сервісів, які б не лише підтримували дистанційний формат, але й сприяли формуванню в учнів навичок співпраці, критичного мислення та застосування ІТ-інструментів для вирішення складних науково-прикладних завдань. Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки комплексної методики інтеграції хмарних платформ для досягнення цих освітніх цілей.

Перелік вирішених завдань. У процесі дослідження було здійснено теоретичне обґрунтування педагогічних можливостей хмарних сервісів Google у контексті формування ключових компетентностей учнів профільної школи, а також визначено їхню роль у міжпредметній інтеграції. На основі цього аналізу, який включав вивчення зарубіжних та вітчизняних практик, було запропоновано конкретні сценарії використання Google Classroom та Google Colab у навчанні фізики та інформатики. Крім того, розроблено структуру та етапи

педагогічного експерименту, необхідного для емпіричної перевірки ефективності запропонованої методики.

Виклад суті дослідження.

Тема використанням хмарних сервісів у навчанні фізики та інформатики є актуальною, оскільки вона забезпечує безперервність та гнучкість освітнього процесу, дозволяючи міжпредметну інтеграцію для обробки великих даних та формування ключових цифрових компетентностей учнів.

О. М. Трифонова та Г. Л. Курнат досліджують можливості платформи Google Classroom як ефективного засобу інтенсифікації освітнього процесу в умовах дистанційного навчання, зокрема під час викладання фізики. Автори обґрунтовують, що цей сервіс є вдалим інструментом для забезпечення неконтактної інформаційної взаємодії та активізації пізнавальної діяльності учнів. У статті наведено конкретний приклад створення та наповнення дидактичним матеріалом платформи для вивчення розділу "Електричне поле" у 10 класі, що демонструє потенціал Classroom у навчанні фізики 4.

Н. Остапчук та Н. Полюхович аналізують використання хмарних технологій, зокрема пакету G Suite for Education, для реалізації моделі змішаного навчання та інтенсифікації уроків інформатики. Авторами детально розроблено та графічно представлено структуру віртуального класу у сервісі Google Classroom, приділяючи особливу увагу організації окремого уроку інформатики. Дослідження демонструє практичні рішення для ефективного застосування цієї платформи в закладах середньої освіти 2.

О. І. Чуб та М. В. Новожилова досліджують і класифікують можливості хмарних сервісів для вивчення математичного інструментарію Data Science в умовах онлайн-навчання. Автори пропонують використовувати Google Colab як основний елемент хмарного середовища, демонструючи його потенціал у кооперації з науковими бібліотеками Python та солверами для спрощення процесу кодування. Застосування цього підходу дозволяє студентам зосередитися безпосередньо на етапі моделювання задач Data Science 3.

М. Ю. Жилін порівнює можливості двох потужних інтерактивних середовищ — Jupyter та Google Colab — для вирішення задач Машинного Навчання (МН) та Штучного Інтелекту (ШІ) в умовах зростаючих обсягів інформації. Автор зазначає, що Jupyter є повністю відкритим програмним забезпеченням під ліцензією BSD, що дозволяє вільне використання та зміну, тоді як Google Colab, хоча й базується на відкритому Jupyter Notebooks, регулюється умовами та політиками Google, пропонуючи безкоштовний сервіс з опціональною платною підпискою 1.

Хмарні сервіси Google пропонують унікальні можливості для трансформації освітнього процесу в старшій профільній школі. Google Classroom виступає як централізоване хмарне середовище, що формує в учнів організаційну компетентність та навичку саморегуляції через ефективне управління навчальним контентом, завданнями, термінами та зворотним зв'язком. Воно забезпечує змішану модель навчання та спрощує обмін дидактичними матеріалами, підвищуючи прозорість і доступність освітнього процесу.

Ключовим інструментом для розвитку наукової, дослідницької та цифрової компетентностей є Google Colab. Цей хмарний Jupyter-ноутбук дозволяє учням, не встановлюючи програмне забезпечення, виконувати складні обчислювальні завдання, які інтегрують знання обох предметів. Наприклад, у фізиці під час вивчення "Кінематики" або "Електричних кіл" учні можуть використовувати Google Colab для написання коду на Python, що моделює рух об'єктів або розраховує параметри кола, а також для візуалізації отриманих результатів у вигляді інтерактивних графіків. Уроки інформатики, своєю чергою, використовують Colab для освоєння Data Science та машинного навчання, застосовуючи ці навички для аналізу реальних фізичних даних. Такий підхід створює потужний простір для проєктної діяльності, де учні навчаються не лише кодувати, а й критично інтерпретувати результати, отримані з допомогою хмарних обчислень.

Конкретний приклад інтеграції фізики та інформатики у профільній школі можна реалізувати на міжпредметній темі «Проєктування та аналіз траєкторії руху тіла, кинутого під кутом до горизонту», використовуючи Google Colab. На початку роботи учні отримують фізичну задачу: змоделювати політ снаряда, враховуючи реалістичні умови, зокрема опір повітря, який залежить від швидкості тіла, що вимагає глибокого розуміння законів класичної механіки. Для реалізації цієї моделі учні використовують інтерактивний блокнот Google Colab. У цьому хмарному

середовищі вони пишуть або адаптують код на Python, залучаючи бібліотеки NumPy для чисельних обчислень та Matplotlib для графіки. Вони реалізують фізичну модель, що використовує метод чисельного інтегрування для динамічного розрахунку координат тіла в кожен момент часу, що формує їхню навичку програмування та алгоритмічне мислення (інформатика).

Завдяки хмарній природі Colab, учні можуть працювати над документом спільно, обговорюючи фізичні параметри та вносячи зміни до коду в режимі реального часу, що розвиває комунікативну компетентність. Після запуску коду Google Colab миттєво генерує інтерактивний графік траєкторії польоту. Учні можуть швидко змінювати початкові умови, такі як кут кидка чи коефіцієнт опору, і наочно порівняти ідеалізований політ із реалістичним. На основі отриманих графіків учні проводять критичний аналіз, пояснюючи вплив опору повітря на дальність і висоту польоту, що є ключовим для розвитку дослідницької компетентності та наукового розуміння. Таким чином, Google Colab слугує потужним мостом, який перетворює теоретичні фізичні знання на практичне програмування та аналіз даних.

Для емпіричної перевірки ефективності методики, що ґрунтується на активному використанні Google Classroom і Google Colab, заплановано педагогічний експеримент, який включає такі етапи.

Підготовчий етап – розробка навчально-методичного забезпечення, включаючи інтегровані завдання та лабораторні роботи в Google Colab, та формування контрольної (КГ) й експериментальної (ЕГ) груп учнів.

Констатувальний етап – діагностика початкового рівня сформованості ключових (цифрової, дослідницької, організаційної) компетентностей учнів обох груп.

Формувальний етап – навчання ЕГ за розробленою методикою з активним використанням хмарних сервісів, тоді як КГ навчається за традиційною методикою.

Контрольний етап – проведення підсумкової діагностики та порівняльний аналіз результатів у КГ та ЕГ для підтвердження або спростування гіпотези про ефективність запропонованого методу.

Висновки. Запропонована методика використання хмарних сервісів Google Classroom та Google Colab є доцільною та ефективною для організації навчального процесу в старшій профільній школі. Вона дозволяє на якісно новому рівні здійснити міжпредметну інтеграцію фізики та інформатики, забезпечуючи розвиток в учнів необхідних ключових компетентностей, зокрема навичок наукового моделювання, обробки даних та критичної роботи з хмарними обчислювальними ресурсами, що повністю відповідає поставленій меті.

Зазначені теоретичні положення та розроблена методика становлять основу для моєї магістерської роботи. На даний момент план магістерської роботи повністю готовий, і вже зроблені пілотні спроби використання інтегрованих завдань у Google Colab, що підтвердило доцільність повноцінного педагогічного експерименту.

Список використаної літератури

1. М. Ю. Жилін, «Порівняння можливостей jupyter і Google Colab для вирішення задач машинного навчання та штучного інтелекту,» у Матеріали XV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Free and Open Source Software», Харків, 13–14 лютого 2024 р., Харків: Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, 2024, с. 89..
2. Н. Остапчук, і Н. Полюхович, (2020). «Використання GOOGLE CLASSROOM для організації уроків інформатики: структура віртуального класу,» New pedagogical thought, 101(1), с. 27–32.
3. О. І. Чуб, і М. В. Новожилова, (2023). «Створення хмарного середовища вивчення математичного інструментарію Data Science,» Імідж сучасного педагога, (6 (213)), с. 18–24.
4. О. М. Трифонова, і Г. Л. Курнат, (2021). «Google Classroom як засіб інтенсифікації освітнього процесу в умовах дистанційної освіти,» Наукові записки. Серія: Педагогічні науки, (198), с. 65–69.

НТБОНТУ

УДК 372.8:004.896

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ ДЛЯ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ

Савченко Р.О. (savaroma40@gmail.com)
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)

Досліджено методичні особливості інтеграції робототехніки в освітній процес з фізики та інформатики для цілеспрямованого розвитку інженерного мислення учнів профільної школи. Робототехніка виступає як міжпредметний полігон, що дозволяє учням застосовувати теоретичні знання фізичних законів для вирішення прикладних конструкторських і програмістських завдань. Запропоновано структуру педагогічного експерименту для перевірки ефективності цього практично орієнтованого підходу.

Постановка проблеми.

Сучасна освітня парадигма вимагає переходу від теоретичного засвоєння знань до формування практичних навичок, зокрема інженерного мислення, що є критично важливим для технологічного розвитку суспільства. Традиційні уроки фізики та інформатики часто не забезпечують достатнього простору для застосування законів та алгоритмів у реальних конструкторських і проєктних задачах. Актуальність дослідження полягає в необхідності розробки та обґрунтування методики, яка використовує потенціал робототехніки як полігону для розвитку в учнів профільної школи здатності до системного проєктування, оптимізації та втілення фізичних моделей у цифровому середовищі.

Перелік вирішених завдань.

У процесі дослідження було теоретично обґрунтовано роль робототехніки як засобу міжпредметної інтеграції фізики та інформатики. Визначено та систематизовано ключові компоненти інженерного мислення, які розвиваються під час роботи з робототехнічними конструкторами. Розроблено та запропоновано конкретні практичні сценарії використання робототехнічних комплексів у старшій профільній школі. Також було розроблено структуру педагогічного експерименту, необхідного для емпіричної перевірки ефективності нової методики.

Виклад суті дослідження.

Методична особливість використання робототехніки полягає в її здатності органічно поєднувати абстрактні фізичні закони з прикладним програмуванням, що є ідеальною основою для розвитку інженерного мислення.

Означена тема активно досліджується у науково-педагогічній літературі. Д. Підгірний, Н. Серюженко, Я. Братейко та І. Чиж досліджують робототехніку як універсальний інструмент реалізації STEM-освіти в умовах Нової української школи, що створює передумови для соціалізації та безперервної технічної освіти. Автори обґрунтовують, що освітня робототехніка дозволяє на ранніх етапах виявляти та розвивати інженерне мислення, креативність і навички комунікації в учнів, проте наголошують на відсутності системного підходу до її впровадження в український освітній процес. Дослідження підкреслює високу результативність цієї форми навчальної діяльності у засвоєнні знань і формуванні позитивних особистісних якостей 2.

О. О. Гриб'юк розглядає варіативні моделі дослідницького навчання предметів природничо-математичного циклу з педагогічно виваженим використанням комп’ютерно орієнтованих методичних систем. Авторка здійснює ґрунтовний аналіз шляхів впровадження освітньої робототехніки та електронних лабораторних комплексів для організації пізнавальної діяльності учнів, наголошуючи на неперервності освіти та інтеграції освітньої, наукової і дослідницької діяльності. Дослідження має фундаментальний характер і присвячене розробленню нової концепції розвитку інтелекту учнів під час дослідницького навчання 3.

В. В. Сіпій аналізує потенціал робототехніки як ефективного інструменту впровадження STEM-освіти в школах, демонструючи, як знання з фізики, математики та інформатики можуть бути інтегровані в проєктну діяльність учнів 5–9 класів. Автор підкреслює профорієнтаційний потенціал курсу та важливість практичного навчання й інженерного підходу для розвитку ключових компетентностей 21 століття. У статті також представлено приклади застосування

робототехніки в курсах природничого циклу та окреслено перспективи подальшого розвитку STEM-освіти в Україні 3.

У старшій профільній школі робототехнічні комплекси виступають як навчальні моделі, що дозволяють учням не просто вивчати явище, а проєктувати пристрої, які керуються цим явищем. Наприклад, при вивченні розділу "Динаміка" та "Основи алгоритмізації" учні можуть реалізувати конкретне застосування: створення автономної системи вимірювання прискорення, що складається з мікроконтролера, акселерометра та колісної платформи. У цьому проєкті учні спочатку розраховують фізичні параметри руху, сили тертя та інерції (фізика), а потім пишуть код для мікроконтролера, який збирає дані, обробляє їх та керує двигунами для досягнення заданої траєкторії (інформатика). Такий підхід стимулює інженерне мислення, оскільки вимагає від учнів системного бачення, розбиття великої проблеми на модулі (конструкція, електроніка, код) та постійної оптимізації як фізичної конструкції, так і програмного забезпечення для досягнення бажаного результату. Робототехніка перетворює учня з пасивного спостерігача на активного конструктора та винахідника, що має ключове значення для їхньої подальшої професійної орієнтації.

Розглянемо конкретний приклад проєкту "Автономний регулятор швидкості на похилій площині". Цей міжпредметний проєкт ідеально підходить для старшої профільної школи і слугує потужним інструментом для розвитку інженерного мислення, оскільки вимагає від учнів комплексного застосування знань. Учні отримують завдання спроєктувати механізм, який буде рухатися по похилій площині з постійною або заданою змінною швидкістю, незважаючи на силу тяжіння та силу тертя. Це вимагає від них точного математичного моделювання — розрахунку всіх векторів сил, визначення кута нахилу та обчислення необхідної керуючої сили, яку має забезпечити електродвигун. Розрахунки включають застосування другого закону Ньютона і формул для рівноприскореного руху.

Учні беруть робототехнічний конструктор (наприклад, на базі Arduino або LEGO Mindstorms), проєктують та збирають мобільну платформу з колесами та двигуном. Далі вони використовують знання з інформатики, щоб написати керуючу програму. Ключовим моментом є реалізація алгоритму зворотного зв'язку (наприклад, простий ПІД-регулятор). Для цього платформа оснащується датчиком швидкості (енкодером), який постійно вимірює фактичну швидкість руху. Код, написаний учнями, порівнює фактичну швидкість із заданою вчителем і, у разі відхилення, автоматично коригує напругу, що подається на двигун. Це є прямим втіленням інженерного циклу: аналіз → проєктування → програмування → тестування → оптимізація.

Під час цього проєкту учні розвивають інженерне мислення у кількох ключових аспектах. По-перше, вони навчаються системного аналізу, розбиваючи складну задачу на окремі підсистеми (механічна конструкція, електричне живлення, програмний алгоритм). По-друге, вони освоюють навичку прототипування, швидко збираючи та перевіряючи різні механічні рішення. По-третє, вони формують навички оптимізації та налагодження, адже жоден початковий код чи конструкція не працює ідеально, і необхідно вносити ітераційні корективи. Таким чином, робототехніка виступає як практичний полігон, де абстрактна фізична теорія та алгоритміка перетворюються на реальний, функціонуючий пристрій, що вирішує конкретну технічну проблему.

Для емпіричної перевірки ефективності методики, що ґрунтується на активному використанні робототехніки, заплановано педагогічний експеримент, який включає такі етапи.

Підготовчий етап – розробка навчально-методичного забезпечення, що включає комплекс робототехнічних проєктів для обох предметів, та формування контрольної (КГ) й експериментальної (ЕГ) груп учнів.

Констатувальний етап – діагностика початкового рівня сформованості ключових інженерних навичок, включаючи системний аналіз та навички проєктування, в учнів обох груп.

Формувальний етап – навчання ЕГ за розробленою методикою з активним застосуванням робототехніки, тоді як КГ навчається за традиційною методикою без залучення робототехнічних комплексів.

Контрольний етап – проведення підсумкової діагностики та порівняльний аналіз результатів у КГ та ЕГ для підтвердження гіпотези про ефективність запропонованого методу у розвитку інженерного мислення.

Висновки.

Запропонована методика використання робототехніки є дієвим та інноваційним інструментом

для розвитку інженерного мислення учнів, ефективно поєднуючи теоретичні знання фізики та практичні навички програмування з інформатики, що повністю відповідає меті дослідження. Зазначені теоретичні положення та розроблена методика становлять основу для моєї магістерської роботи. На даний момент план магістерської роботи повністю готовий, і вже зроблені пілотні спроби застосування робототехнічних комплексів для моделювання фізичних процесів, що підтвердило доцільність повноцінного педагогічного експерименту.

Список використаної літератури

1. В. В. Сіпій, «Робототехніка як STEM-технологія в шкільній освіті,» у Цифрова трансформація в освіті: виклики та перспективи: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (15–16 квітня 2025 року, м. Київ), м. Київ: Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025, с. 230–233.

2. Д. Підгірний, Н. Серюженко, Я. Братейко, і І. Чиж, (2024). «Робототехніка як один з інструментів реалізації STEM-освіти,» Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, (30), с. 67–71.

3. О. О. Гриб'юк, (2020). «Інженерна освіта в школі: використання освітньої робототехніки у процесі дослідницького навчання предметів природничо-математичного циклу,» Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 2. Комп’ютерно-орієнтовані системи навчання, (22 (29)), с. 62–73.

УДК 004.94:37.018.43

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Сакалюк О.Ю., Корнієнко Ю.К., Попков Д.М.
(sakaliuk.olexiy@gmail.com, yurikkorn@gmail.com, popkovdn@ukr.net)
Одеський національний технологічний університет(Україна)

У роботі здійснено системний аналіз процесу онлайн-навчання, визначено його структурні елементи та послідовність робіт користувачів. Проаналізовано особливості дистанційного навчання в умовах обмеженого доступу до Інтернету та необхідність адаптації викладачів і студентів до нових ролей. Розглянуто підходи до моделювання процесу онлайн-освіти, включно з побудовою контекстних діаграм та їх декомпозицією, що дозволяє візуалізувати функціонування системи з точки зору користувачів. Використання діаграм IDEF3 забезпечує відображення технологічних і часових взаємозв’язків між робочими процесами. Дослідження підтверджує, що системне моделювання є ефективним інструментом оптимізації освітніх процесів, підвищення доступності та якості онлайн-навчання у сучасному цифровому середовищі.

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком цифрових технологій та переходом освітнього процесу в онлайн-середовище, що потребує системного аналізу ефективності, структури та динаміки таких форм навчання. Онлайн-освіта стала невід’ємною складовою сучасної освітньої екосистеми, однак її успішність значною мірою залежить від узгодженості технічних, організаційних і педагогічних компонентів. Системний підхід дає змогу комплексно оцінити взаємозв’язки між елементами процесу онлайн-навчання, виявити чинники, що впливають на результативність навчальної взаємодії, та розробити рекомендації щодо підвищення якості освітніх послуг у цифровому середовищі.

Метою даної роботи є здійснення системного аналізу процесу онлайн-навчання з метою виявлення його структурних елементів, взаємозв’язків та факторів, що визначають ефективність освітнього процесу в цифровому середовищі. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких основних завдань: дослідити теоретичні засади системного підходу до аналізу освітніх процесів; визначити ключові показники результативності цифрової освіти; а також розробити узагальнену модель системного представлення процесу онлайн-навчання, яка може бути використана для подальшої оптимізації освітніх систем.

Стрімкий прогрес інформаційних технологій зумовив необхідність модернізації сучасної системи освіти. Широке розповсюдження мережі Інтернет, яка охоплює значну частину населення, стало визначальним фактором розвитку дистанційного та онлайн-навчання [1].

Повномасштабна війна в Україні суттєво позначилася на всіх аспектах суспільного життя, зокрема й на освітньому процесі. На початковому етапі виникли значні труднощі з організацією дистанційного навчання через обмежений доступ до засобів комунікації, особливо в регіонах, де тривали бойові дії та була відсутня телефонна мережа й Інтернет-з'єднання. Динамічні зміни освітнього середовища свідчать про те, що суспільство, яке розвивається, постійно висуває нові вимоги до процесу навчання. В умовах дистанційної взаємодії як викладачі, так і студенти змушені адаптуватися до нових ролей і форматів освітньої діяльності [2].

Єдиного визначення поняття «онлайн-навчання» не існує. На думку О. Г. Рудницької, П. В. Кузика та В. Й. Дзямка, воно розглядається як форма дистанційного навчання, що здійснюється за допомогою Інтернету та комп'ютерних технологій, забезпечуючи ефективність і економічність освітнього процесу [2]. О. Ю. Кротова визначає онлайн-навчання як використання спеціалізованих освітніх програм, які реалізуються повністю або частково через Інтернет, надаючи студентам доступ до лекцій, матеріалів і завдань на платформах дистанційного навчання [3].

Побудова моделі процесу онлайн-навчання розпочинається з аналізу її функціональних характеристик. Необхідно чітко окреслити мету моделювання та визначити перспективу застосування моделі. Основна мета полягає в тому, щоб представити функціонування системи у зрозумілій формі для учасників освітнього процесу та здобувачів освіти без занурення в технічні деталі реалізації. Модель розробляється з урахуванням погляду основних користувачів – викладача, студента та адміністратора.

Для проведення онлайн-заняття користувачі – викладачі та студенти – повинні бути зареєстровані у веб-застосунку, який забезпечує доступ до бази даних і обробку їхніх запитів. Вхідними даними є «електронна адреса та пароль користувача», «початкова база даних» і «користувацький запит». У результаті виконання запиту система або надає запитувану інформацію, або оновлює дані в базі, що проявляється у вигляді «відображення інформації на екрані» чи «оновленої бази даних». Оброблення запитів здійснюється системним монітором під контролем адміністратора. Контекстну діаграму цього процесу наведено на рис.1.

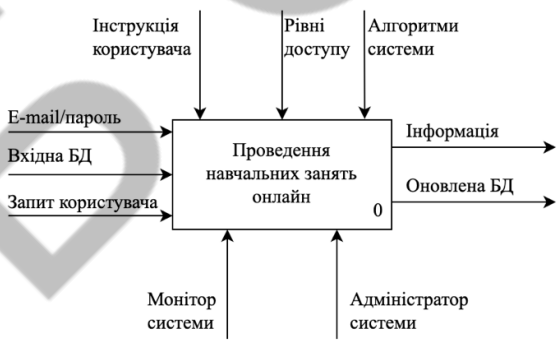


Рис.1. Контекстна діаграма системи онлайн-навчання

Зробимо декомпозицію контекстної діаграми процесу онлайн-навчання, детально описавши послідовність дій системи:

– визначення рівня доступу користувача у веб-застосунку;

– вибір відповідної підсистеми та звернення до неї;

– оброблення користувацького запиту;

– внесення змін до бази даних (у разі потреби).

Після завершення декомпозиції контекстної діаграми проводиться деталізація діаграми наступного рівня. У результаті формується діаграма підсистеми «Проведення навчальних занять онлайн», наведена на рис.2. У нотації IDEF0 блоки розташовуються за пріоритетом виконання – зліва направо.

НТБОНТУ

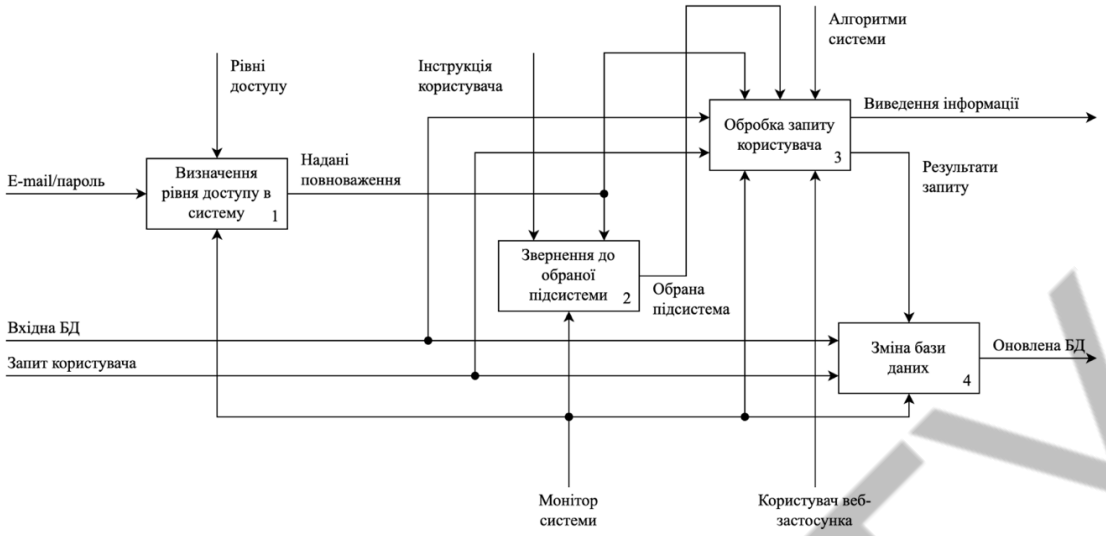


Рис.2. Декомпозиція роботи «Проведення навчальних занять онлайн»

Надалі для моделювання послідовностей робіт, що мають технологічні та часові взаємозв'язки, використаємо діаграми IDEF3. Такий підхід дозволить відобразити логіку та послідовність виконання процесів онлайн-навчання у розробленому веб-застосунку (див. рис.3).

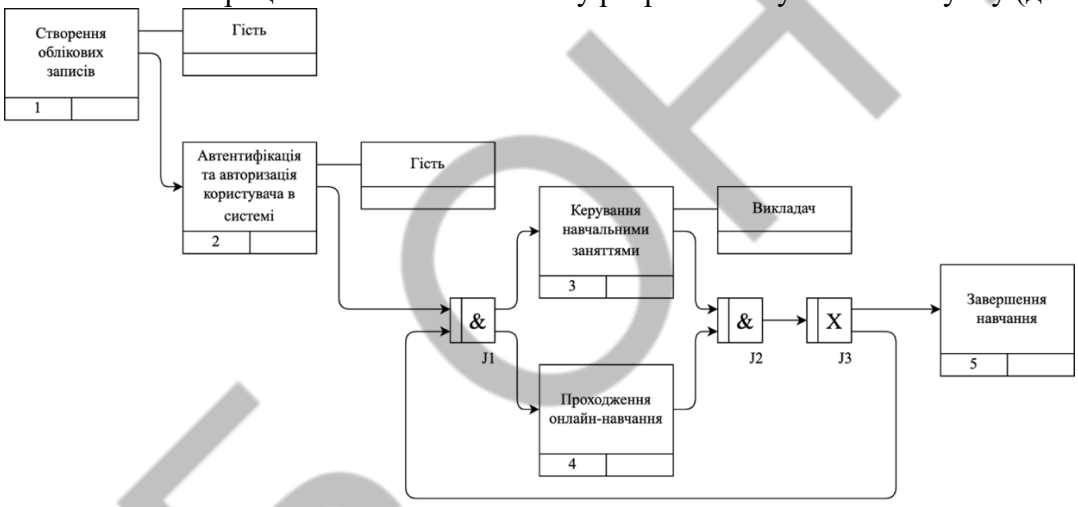


Рис.3. Діаграма процесу онлайн-навчання

Отже, у результаті проведеного аналізу та моделювання процесу онлайн-навчання встановлено, що системний підхід дозволяє комплексно оцінити функціональні можливості освітньої системи, її структурні елементи та взаємозв'язки між учасниками процесу. Дослідження показало, що ефективна організація дистанційного навчання передбачає чітке визначення ролей користувачів, належну реєстрацію у веб-застосунку та контроль за обробкою запитів, що забезпечується адміністративним моніторингом. Побудова моделі процесу онлайн-навчання, включно з декомпозицією контекстної діаграми та наступних рівнів, дозволяє візуалізувати послідовність операцій та взаємодію підсистем, а використання діаграм IDEF3 забезпечує відображення технологічних і часових зв'язків між робочими процесами. Такий підхід створює основу для удосконалення освітніх інструментів, оптимізації доступу студентів до навчальних ресурсів та підвищення ефективності дистанційного навчання в умовах сучасного цифрового середовища.

Список використаної літератури

[1] О. О. Дереза, Р. В. Скляр, С. В. Дереза, «Методи навчання онлайн», у *Збірник науково-методичних праць «Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти»*, ТДАУ ім. Дмитра Моторного, Мелітополь, 2020, с. 82–90. [Онлайн]. Доступно: http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/10549

[2] О. Г. Рудницька, П. В. Кузик, В. Й. Дзямко, «Перспективи онлайн-навчання в умовах війни», *Наука і техніка сьогодні*, № 7(7), с. 196–204, 2022, doi: 10.52058/2786-6025-2022-7(7)-196-204.

[3] О. Ю. Кротова, «Онлайн-курси у неформальній освіті», *Українські студії в європейському контексті*, № 7, с. 260–268, 2023. [Онлайн]. Доступно: http://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/zb_ukr.-studiyi_vo7_2023.pdf

УДК 004.5

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАННІ

Саміло А.(n_samilo@ukr.net)
Харківська ЗО онлайн-школа І-ІІІ ступенів «Альтернатива» (Україна)

Пропоную до вашої уваги аналіз принципів роботи засобів інформаційних технологій, що використовуються сьогодні у процесах освіти та надають можливості для здобувачів освіти отримати якісні знання.

Епідемія короновірусу, війна в країні стали справжнім іспитом на витривалість в сфері освіти. Багато хто опинився у ситуації, коли не розумієш, що робити далі, як продовжувати навчання. Лише завдяки новітнім інформаційним технологіям тисячі учтів та студентів отримали шанс на повноцінну освіту.

Першими засобами, з якими я познайомився під час введення дистанційного навчання стали: платформа Human та системи подібного плану, як то Classroom, Udemy та інші, що дають можливість отримувати знання у будь-який час доби та з будь-якої точки світу; додаток Zoom, що дозволяє не лише чути та бачити співрозмовника, а й ділитися інформацією у потоковому режимі, демонструвати екрану, пересилати дані та інше. Завдяки цим технологіям і під час пандемії, та в умовах воєнного стану моє навчання було майже безперервним.

Також значну роль відіграло застосування мобільних засобів зв’язку смартфонів і планшетів, що забезпечило зручний доступ до матеріалів, особливо в умовах повітряних тривог. Спеціальні програми, що роблять навчання простішим і цікавішим. Наприклад, Evernote та Quizlet допомагають створювати словники, картки й завдання для вивчення мов і спільної роботи з учителем.

Новим кроком у дистанційному навчанні стало використання штучного інтелекту вчителями та учнями. Завдяки здатності обробляти великі обсяги даних, ШІ підвищує ефективність освітнього процесу. Алгоритми дають можливість аналізувати успішність учнів, добирати завдання, формувати індивідуальні плани навчання, створювати тести й добирати літературу для поглиблення знань або опанування складних тем. Персональний репетитор у вас вдома у зручний час та за будь-яких умов.

Засоби віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) створюють інтерактивні симуляції, які допомагають краще зрозуміти складні теми. Віртуальні лабораторії з фізики, хімії та біології дозволяють спостерігати експерименти «на власні очі» без потреби в обладнанні. Зануритися з головою у світ науки без ризику для життя та здоров’я. Такі додатки охоплюють різні предмети: від географії до історії та біології, забезпечуючи наочне й безпечне навчання.

Мотивація — один із ключових чинників успішного навчання. Доведено, що діти краще засвоюють матеріал у формі гри. Сучасні ігрові технології, такі як Classcraft та Minecraft: Education Edition, заохочують учнів до навчання програмуванню через систему балів, рівнів і нагород. Яскравим прикладом гейміфікації є також платформа Kahoot!, що розроблена для створення вікторин, опитувань та ігор у реальному часі. Учні відповідають зі смартфонів чи комп’ютерів, змагаючись за найкращий результат. Такий формат робить заняття з повторення матеріалу захопливим, а миттєвий зворотний зв’язок допомагає знайти прогалини у знаннях. Kahoot можна використовувати на уроках, онлайн чи як домашнє завдання. Анонімні відповіді знімають страх помилитися, а результати дають учителю змогу коригувати подачу матеріалу та обговорювати складні теми разом з учнями.

До недоліків можна віднести: необхідність мобільного пристрою (не всі учні мають смартфон/надійний доступ до інтернету), обмеження часу (деяким дітям складно працювати з таймінгом), поверхневість (не підходить для завдань, що потребують глибокого розмірковування).

Новітні засоби не лише підвищили рівень мотивації учнів, а ще й значно спростили процеси обміну та збереження інформації. Хмарні технології непомітно увійшли в усі сфери нашого життя. Навчання не стало виключенням, так для перевірки виконаних завдань та обміну інформацією (підручники, відеоматеріали та ін.) все частіше використовуються сервіси, як то Google Workspace, Microsoft 365 та інші що дозволяють зберігати, редагувати та ділитися навчальними матеріалами в реальному часі, за будь-яких умов.

Завдяки сучасним технологіям, навчання перейшло на новий рівень: від загальноосвітнього до персоналізованого, здатного підлаштуватися під конкретну людину, з конкретними особливостями. Для цього використовуються Big Data та Learning Analytics. Big Data в освіті — це величезні обсяги різноманітної інформації, яку генерують студенти, викладачі, платформи та системи (веб-кліки, оцінки, перегляди відео, відповіді на тести, активність у форумах тощо). Learning Analytics (LA) — це процес збору, аналізу та інтерпретації цих даних з метою розуміння і покращення процесу навчання, застосування Big Data спеціально до освітнього процесу. Learning Analytics збирає дані, використовуючи системи дистанційного навчання (Moodle, Google Classroom), освітні платформи (Coursera, Khan Academy), соціальні мережі, чати, форуми, відеолекції, тести, поведінкові дані; виконує обробку та аналіз, отриманої інформації з використанням статистики, машинного навчання та візуалізації даних; будує моделі успішності, прогнозування ризиків відрахування студентів і т.п.; інтерпретує результати аналітичних дій (інтерфейси для викладачів, адміністрації, студентів) складає рекомендації, попередження, адаптивне навчання; налаштовується на індивідум. Система автоматично персоналізує навчання, формує рекомендації, за якими викладач змінює матеріали, тактику або підхід до викладання.

Як приклад, використання Big Data та Learning Analytics дозволяє: прогнозувати академічну успішність, аналізувати попередні оцінки, відвідуваність, активності на платформі, дозволяє передбачити, хто з учнів ризикує провалити предмет/курс та попереджає викладача або студента (IBM Watson Education, Microsoft Azure Machine Learning). Система визначає рівень знань здобувача освіти, і підбирає індивідуальний план: теми, вправи, ресурси. (приклади платформ: DreamBox (математика), Knewton (аналітика навчання)), аналізує поведінку студентів: відстежує коли студент заходить на платформу, які сторінки читає, скільки часу витрачає на відео, як відповідає на тести. Дає уявлення про мотивацію, залучення, стиль навчання. Оцінює ефективності викладання. Які теми найчастіше пропускають, які тести складні, де найбільше помилок. Це дозволяє оптимізувати заняття, зробити їх зрозумілішими. Окрім того, Big Data виявляє аномальні дії: наприклад, якщо один студент здає тести замість кількох інших. Об’єктивний аналіз сприяє прийняттю рішень на рівні школи/університету що до запуску нових курсів, відрахувань студентів та оптимізації системи нарахування стипендій, з опорою на реальні дані, а не на емоції.

Big Data та Learning Analytics — це потужні інструменти, які дають змогу: зробити освіту індивідуальною, вчасно виявити проблеми, приймати рішення на основі фактів, а не інтуїції.

До недоліків можна віднести: проблему забезпечення конфіденційності даних студентів, що мають бути захищені (GDPR, локальні закони), інтерпретацію даних (неправильна аналітика може призвести до хибних рішень), сприйняття викладачами (не всі викладачі готові змінювати звичну методику), етичність (чи можна оцінювати "мотивацію" студента за поведінкою онлайн?).

Українським прикладом ефективного використання аналітичних інструментів стали Національний університет біоресурсів і природокористування України та Київський університет імені Бориса Грінченка. Вони дослідили активність студентів у проходженні е-курсів шляхом аналізу статистики модулів Moodle — частоту входів, час роботи та відвідуваність курсів з метою з’ясувати причини низької залученості деяких студентів та її вплив на результати навчання. Аналіз показав, що наявності онлайн-курсу недостатньо: важливо відстежувати, як саме ним користуються студенти, й своєчасно коригувати недоліки. Успіх таких проєктів залежить не лише від технологій, а й від підготовки викладачів, зрозумілої інфраструктури, чіткої методології та дотримання етичних і приватних стандартів.

Підвищити безпеку, прозорість та ефективність управління освітніми даними покликана інноваційна система Блокчейн. Основні напрями її застосування:

1. **Зберігання дипломів і сертифікатів.** Блокчейн забезпечує незмінність записів про досягнення студентів. Наприклад, Massachusetts Institute of Technology видає цифрові дипломи з онлайн-перевіркою, а LinkedIn — інтегрує такі сертифікати у профілі користувачів.

2. **Управління власними досягненнями.** Студенти можуть зберігати курси, проєкти та сертифікати в одному цифровому портфоліо й самостійно керувати доступом до них.

3. **Верифікація навичок.** Платформи на кшталт Credly та Blockcerts офіційно підтверджують мікрокваліфікації, як-от знання Python чи Google Analytics.

4. **Смартконтракти.** Автоматизують оплату навчання, видачу сертифікатів, управління грантами та стипендіями.

5. **Захист авторських прав.** Унікальні записи гарантують право власності на навчальні матеріали та автоматичну виплату роялті.

6. **Репутаційні системи.** У платформах онлайн-навчання блокчейн формує надійні рейтинги викладачів, менторів і студентів.

До основних переваг використання блокчейну в освіті можна віднести: прозорість, безпеку від підробок, автоматизацію через смарт-контракти, глобальну сумісність (наприклад, визнання дипломів за кордоном), Контроль над персональними освітніми даними

Вивчаючи використання сучасних технологій в українському контексті зробив висновок, що хоча новітні системи використовуються переважно ще на рівні дослідженнь, а не масштабного впровадження у навчальних закладах, але це вектор за яким, скоріше за все буде модернізовуватися система освіти. Впевнений, що за інформаційними технологіями майбутнє.

Список використаної літератури

1. Al Sweigart,Coding with Minecraft: Build Taller, Farm Faster, Mine Deeper, and Automate the Boring Stuff) : No Starch Press, — 2018, 344c
2. Гороховатський В. О., Творошенко І. С. Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних : навч. посіб. / В. О. Гороховатський, І. С. Творошенко. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 92 с.

УДК 004.89

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE AUTOMATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Сікетін Д. С. (dmytro.siketin@student.karazin.ua)
Михайловська О. В. (yelenaker@gmail.com)
Ленська О.О.
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)

The theses examine modern approaches to the use of artificial intelligence (AI) systems in the automation of the educational process. The role of intelligent technologies in creating personalized learning environments, optimizing knowledge assessment, and improving the efficiency of interaction between students and teachers is analyzed. The main advantages, challenges, and prospects of implementing AI in the field of education under the conditions of digital transformation of society are identified. The development of information technologies determines the need for innovative approaches to organizing the educational process.[1]

The modern education system faces challenges of massification, the need for flexible responses to students' needs, and the growing volume of educational data.

Artificial intelligence technologies open new opportunities to overcome these issues by creating adaptive educational platforms capable of adjusting learning content to the individual needs of each user. [3]

One of the most promising directions is adaptive learning, which uses machine learning algorithms to analyze student progress, identify difficulties in mastering the material, and automatically adjust the learning trajectory. For example, systems such as Smart Learning Environment or AI Tutor are capable of independently selecting tasks of varying difficulty levels and generating recommendations for further learning. Another important aspect is the automation of knowledge assessment. [2]

The use of neural networks for checking open-ended responses or essays helps reduce the subjectivity of assessment and significantly shortens grading time.

In addition, Learning Analytics systems enable educational institutions to monitor the effectiveness of academic programs, identify weaknesses, and make informed administrative decisions. Artificial intelligence is also being actively implemented in virtual learning environments — chatbots, virtual assistants, and voice assistants based on large language models (LLMs) [1].

Such systems provide continuous support for students during the learning process, answer questions, explain complex topics, and can even create interactive learning scenarios. This significantly increases students' engagement and contributes to a deeper understanding of the material.

However, along with the advantages, certain challenges arise in implementing AI in education. These primarily concern ethics, data security, and privacy.

AI systems operate with large volumes of personal information; therefore, compliance with international data protection standards is crucial.Moreover, there are concerns about the potential dependence of students on technology, which may reduce the development of critical thinking and independence.

In Ukraine, the use of artificial intelligence in education is actively developing: adaptive learning platforms are being introduced, research is being conducted on the development of intelligent educational systems, and projects aimed at automating educational institution management are being implemented. This indicates the gradual formation of a digital educational ecosystem, centered on an individualized approach to learning. [4]

Conclusions.

The application of artificial intelligence in the educational process is one of the key drivers of the digital transformation of education. The use of adaptive systems, learning analytics, and virtual assistants makes it possible to create a more effective, equitable, and flexible learning system. Future research prospects lie in developing algorithms capable not only of analyzing academic performance but also of predicting educational outcomes and generating personalized recommendations for each student's self-development.

References

[1] UNESCO, "Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities," 2023. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381284

[2] В. Кухаренко, "Адаптивне навчання та аналітика освітніх даних," Освітня аналітика України, 2024. [Online]. Available: https://education-analytics.gov.ua

[3] A. Holmes, "AI in Higher Education: Benefits, Risks, and Ethical Challenges," Journal of Educational Technology, vol. 58, no. 3, 2024.

[4] Ministry of Digital Transformation of Ukraine, "Strategy for AI Integration in Education 2030," Kyiv, 2025.

УДК 004.9:331.5

ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ПРОФОРІЄНТАЦІЇ З АНАЛІЗОМ РИНКУ ПРАЦІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗАТРЕБУВАНОСТІ ПРОФЕСІЙ

Сіренко В.В., Грушко С.С., Тіменко А.В.
(vova967980@gmail.com, grushko_ss@i.ua, timenko@zp.edu.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі проаналізовано проблему невідповідності між підготовкою фахівців та потребами ринку праці в Україні, де лише 23% випускників працюють за спеціальністю. Досліджено обмеження традиційних методів профорієнтації та проведено порівняльний аналіз існуючих профорієнтаційних систем. Виявлено, що зарубіжні платформи (ONET - валідність 0.73) значно переважають українські рішення через застарілі методології та відсутність інтеграції з ринком праці. Проаналізовано підходи до побудови рекомендаційних систем: колаборативну фільтрацію, контент-орієнтовану фільтрацію та гібридні методи. Обґрунтовано вибір Content-Based підходу для професійної орієнтації через відсутність проблеми холодного старту та можливість пояснення рекомендацій. Запропоновано п'ятивимірну модель векторизації професій та визначено

вимоги до архітектури майбутньої платформи. Обґрунтовано вибір технологічного стеку для реалізації системи.

Професійна орієнтація в Україні базується на радянських методиках, розроблених десятиліття тому. Опитувальник Клімова, тест Голланда та карта інтересів Голомштока не враховують сучасні професії. За даними Державної служби статистики, попит на IT-спеціалістів зріс на 340% за 2018-2023 роки, проте традиційні методики містять менше 3% професій IT-сфери. Результат - лише 23% випускників працюють за фахом протягом перших п'яти років після закінчення навчання. Це свідчить про критичну необхідність створення сучасних систем профорієнтації.

Метою дослідження є аналіз методів професійної орієнтації та рекомендаційних систем для обґрунтування вибору оптимального підходу до створення інформаційної платформи профорієнтації з урахуванням специфіки українського ринку праці.

Було проведено систематичний аналіз існуючих профорієнтаційних платформ. O*NET Interest Profiler використовує теорію Холланда та містить дані про 900+ професій з валідністю 0.73, що підтверджено п'ятирічними дослідженнями. Система оновлюється щорічно та інтегрована з національною статистикою зайнятості США. 16Personalities базується на типології Майєрс-Бріггс та визначає один з 16 психологічних типів, але має нижчу валідність 0.48 через обмеження дихотомічного підходу. LinkedIn Career Advice використовує елементи машинного навчання для аналізу кар'єрних траєкторій користувачів з подібними профілями.

Українські системи значно поступаються зарубіжним. Work.ua використовує адаптацію опитувальника Клімова з 30 питаннями та базою лише 150 професій. Osvita.ua орієнтована на вибір спеціальності у ВНЗ з 60 питаннями, але має застарілі дані про працевлаштування. JobTest.ua пропонує 20+ різних тестів без єдиної методологічної основи. Важливі недоліки українських рішень: відсутність валідаційних досліджень, рідкісні оновлення даних, обмежене покриття IT-професій, слабка інтеграція з ринком праці.

В роботі було проаналізовано три основні підходи до побудови рекомендаційних систем. Колаборативна фільтрація базується на припущенні, що користувачі з подібними уподобаннями матимуть схожі оцінки. User-based підхід знаходить схожих користувачів та рекомендує їхні вподобання, item-based підхід аналізує подібність між об'єктами. Основні недоліки колаборативної фільтрації - це проблема холодного старту для нових користувачів, розрідженість даних, схильність до популярного зсуву. У професійній орієнтації колаборативна фільтрація малоефективна через обмежену кількість користувачів та специфічність професійного вибору.

Content-Based фільтрація аналізує характеристики об'єктів та порівнює з профілем користувача. Кожна професія подається вектором атрибутів, користувацький профіль формується через тестування. Подібність обчислюється через косинусну міру або евклідову відстань. Переваги для профорієнтації очевидні – це відсутність проблеми холодного старту, можливість рекомендувати нові професії одразу після додавання, пояснюваність результатів через аналіз співпадінь характеристик. До недоліків такого методу можна віднести схильність до надмірної спеціалізації, залежність від якості опису професій, труднощі з моделюванням нелінійних взаємодій.

Гібридні системи поєднують переваги різних підходів для подолання обмежень окремих методів. Існує кілька способів гібридизації. Зважене комбінування об'єднує оцінки від різних алгоритмів через формулу

$$H(u,p) = \alpha \times \mathrm{CBF}(u,p) + \beta \times \mathrm{CF}(u,p),$$

де α та β - вагові коефіцієнти, що в сумі дорівнюють одиниці; CBF(u,p) - оцінка відповідності користувача u до професії p за методом Content-Based; CF(u,p) - оцінка за методом Collaborative Filtering. Каскадний підхід послідовно застосовує різні алгоритми, використовуючи результати першого етапу як вхідні дані для наступного. Перемикальний метод вибирає найкращий алгоритм залежно від конкретної ситуації або характеристик користувача. Для професійної орієнтації гібридні системи є перспективним напрямком, оскільки можуть поєднати точність Content-Based підходу з можливістю виявлення неочевидних зв'язків через колаборативну фільтрацію. Однак реалізація гібридних алгоритмів потребує значних обсягів користувацьких даних для тренування та налаштування вагових коефіцієнтів, що ускладнює їх застосування на початкових етапах розробки платформи.

На основі аналізу обрано Content-Based підхід як оптимальний для професійної орієнтації. Так, новий користувач може отримати рекомендації одразу після тестування, нові професії можна додавати без накопичення оцінок, система може пояснити логіку рекомендацій, що важливо для прийняття кар'єрних рішень. Метод не потребує великих масивів даних про взаємодії користувачів.

Запропоновано п'ятивимірну модель векторизації професій. Кожна професія описується вектором

$$P=(p_1,p_2,p_3,p_4,p_5),$$

де компоненти відповідають технічним навичкам (програмування, інженерія, робота з інструментами), креативності (дизайн, інновації, оригінальність рішень), соціальним навичкам (комунікація, робота в команді, клієнтська взаємодія), аналітичним здібностям (аналіз даних, логіка, вирішення проблем), бізнес-орієнтованості (менеджмент, фінанси, підприємництво). Значення нормалізовані до [0,1].

Користувацький профіль формується через психометричний тест. Відповіді конвертуються у вектор через систему ваг, визначених експертно. Для кожного питання встановлені ваги впливу на п'ять характеристик. Після обробки відповідей вектор нормалізується. Подібність між користувачем U та професією P обчислюється через косинусну міру:

$$\text{sim}(U,P) = (U \cdot P)/(\|U\| \times \|P\|).$$

Професії ранжуються за спаданням подібності.

Визначено функціональні вимоги до системи. Підсистема тестування має включати 15-20 валідованих питань за п'ятьма категоріями характеристик. База знань має містити мінімум 20 професій з різних галузей з детальними описами, вимогами, середніми зарплатами. Алгоритм рекомендацій повинен генерувати мінімум 5 професій з поясненнями логіки вибору. Аналітичний модуль має візуалізувати результати тестування, статистику популярності професій, тренди використання платформи. Інтерфейс має бути адаптивним для різних пристроїв з підтримкою української мови.

Обґрунтовано вибір технологічного стеку. Для backend пропонується Python через багатий екосистем бібліотек для машинного навчання (NumPy для векторних обчислень, Pandas для обробки даних, Scikit-learn для метрик подібності) та зручність реалізації математичних алгоритмів. FastAPI фреймворк забезпечує високу продуктивність через асинхронну архітектуру, автоматичну генерацію документації та вбудовану валідацію даних.

Для frontend обрано React через компонентну архітектуру, велику спільноту розробників та відмінну підтримку сучасних веб-стандартів. TypeScript додає типобезпеку та покращує досвід розробки. Tailwind CSS забезпечує швидку розробку та консистентний дизайн. MongoDB обрана як база даних через гнучку схему документів, що добре підходить для зберігання різноманітних користувацьких профілів без складних міграцій схеми при розвитку системи.

Запропоновано архітектуру з чітким поділом відповідальностей. Frontend Client відповідає за інтерфейс користувача, API Gateway забезпечує маршрутизацію запитів та аутентифікацію, Recommendation Engine містить алгоритмічне ядро Content-Based фільтрації, Data Processing Layer обробляє та валідує дані, Database Layer зберігає профілі користувачів та професійні характеристики. Модульна архітектура дозволить розвивати компоненти незалежно та горизонтально масштабувати систему (рис. 1).

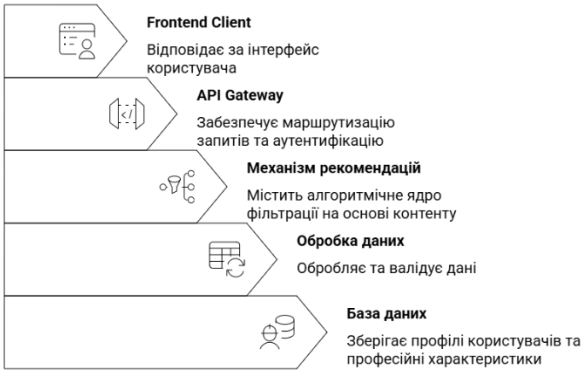


Рис. 1 – Модульна архітектура системи

Проведений аналіз виявив критичні недоліки існуючих українських систем профорієнтації та обґрунтував необхідність створення нової платформи на базі Content-Based алгоритмів. Запропонована модель векторизації професій та визначений технологічний стек створюють основу для розробки ефективної системи професійної орієнтації, адаптованої до потреб українського ринку праці та очікувань сучасної молоді.

Список використаної літератури

[1] S. O. Sysoieva and K. P. Osadcha, "Formation of the tutor ICT-competence in the process of future teachers' professional training," *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 80, no. 6, pp. [207 - 221], 2020.

[2] N. Mohamed, "Content-Based Instruction for MLEs: Practical Tips by Grade and Subject," TESOL International Association, May 13, 2025. [Online]. Available: https://www.tesol.org/blog/posts/content-based-instruction-for-mles-practical-tips-by-grade-and-subject/

[3] "Pedagogical approaches to career guidance," Innovative European Career Guidance, 2024. [Online]. Available: https://ieucg.eu/wp-content/uploads/2024/09/PR3-ENG-5_TrainingModules_PedagogicalApproachesToCG.pdf

УДК 376.2

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН: АДАПТАЦІЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ

Соменко О.О. (olenasmn@gmail.com)
Центральноукраїнський інститут розвитку людини Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» (Україна)
Соменко Д.В. (SomenkoD@gmail.com)
Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка (Україна)

У роботі розглядаються сучасні можливості використання інформаційних технологій дистанційного навчання з математичних дисциплін із урахуванням запитів студентів з особливими освітніми потребами. Особлива увага приділяється адаптації навчального контенту та форм подання матеріалу для студентів із різними когнітивними, сенсорними та моторними особливостями. Аналізуються цифрові інструменти, включно з платформами для дистанційного навчання, інтерактивними математичними середовищами та засобами відеозв'язку, а також методи індивідуальної підтримки та супроводу. Використання таких технологій сприяє підвищенню доступності, наочності та зрозумілості навчального матеріалу, формуванню стійких пізнавальних навичок, розвитку логічного мислення та зниженню навчальної тривожності. Також зазначається, що перспективним напрямом є інтеграція адаптивних систем та елементів штучного інтелекту для автоматичного підбору індивідуальних навчальних траєкторій.

Постановка проблеми. Цифровізація освіти та розвиток дистанційного навчання відкривають нові можливості для здобувачів вищої освіти, забезпечуючи доступ до навчального процесу незалежно від місця перебування та фізичних обмежень. Для студентів з особливими освітніми потребами дистанційне навчання може стати ефективним інструментом подолання бар'єрів, що пов'язані з обмеженою мобільністю, порушеннями слуху або зору, дислексією та іншими когнітивними або сенсорними особливостями. Водночас математичні дисципліни відзначаються високим рівнем абстрактності, складною символікою, необхідністю побудови графіків та розуміння алгоритмів, що створює додаткові труднощі для таких студентів. Традиційні методи навчання часто не забезпечують належної підтримки для ефективного засвоєння матеріалу,

що підкреслює важливість адаптації електронних освітніх ресурсів, інтерактивних платформ та цифрових інструментів для забезпечення інклюзивності та рівних можливостей у навчанні. Саме тому актуальним є комплексне дослідження методів і технологій, які дозволяють не лише передавати знання, але й стимулювати активну участь студентів, підвищувати їхню мотивацію та ефективність навчального процесу.

Метою нашої роботи є обґрунтування та опис використання інформаційних технологій, які забезпечують адаптацію дистанційного навчання математичних дисциплін для студентів з особливими освітніми потребами, а також визначення інструментів, що сприяють інклюзивності та підвищенню якості засвоєння матеріалу.

Результати дослідження. Організація дистанційного навчання математичних дисциплін для студентів з особливими освітніми потребами потребує комплексного підходу, який поєднує педагогічні стратегії та сучасні інформаційні технології. Одним із ключових аспектів є вибір та налаштування систем управління навчанням (LMS), таких як Moodle, Google Classroom та Canvas. Зазначені платформи дозволяють викладачеві створювати структуровані курси, поділяти навчальний матеріал на логічні модулі та інтегрувати мультимедійні ресурси [1]. Для студентів із порушеннями зору реалізовано масштабування тексту та зображень, зміну шрифту та контрастності, а також підтримку програм озвучування (screen reader), які автоматично відтворюють формули та текстові описи завдань. Студенти з порушеннями слуху отримують можливість переглядати лекції з субтитрами, текстовими конспектами та можливістю повторного відтворення у зручному темпі.

Особливу роль відіграють інтерактивні математичні середовища, такі як GeoGebra, Desmos та Wolfram Alpha, які дозволяють візуалізувати математичні об’єкти та алгоритми у реальному часі. Наприклад, у GeoGebra студенти можуть побудувати графік функції та спостерігати, як зміна коефіцієнтів впливає на його форму, або виконати покрокове розв’язання системи рівнянь із поясненням кожного етапу. Desmos дає можливість створювати інтерактивні завдання для дослідження закономірностей функцій, що особливо корисно для студентів із когнітивними порушеннями, оскільки вони бачать результат власних дій одразу. Wolfram Alpha дозволяє перевіряти розв’язки завдань, генерувати альтернативні способи обчислення та отримувати пояснення алгоритмів, що сприяє глибшому розумінню матеріалу.

Комунікаційні платформи, такі як Zoom, Microsoft Teams та Google Meet, дозволяють організувати синхронні та асинхронні заняття. Під час лекцій викладач може демонструвати інтерактивні завдання, пояснювати розв’язання прикладів у реальному часі та відповідати на запитання студентів через чат або аудіо. Зокрема, для студентів із порушеннями слуху використовуються закриті субтитри та переклад жестовою мовою. Асинхронне використання цих платформ дозволяє студентам повертатися до записів лекцій, повторно переглядати складні теми та виконувати завдання у зручний час.

Адаптація навчального контенту є важливим елементом, наприклад, формули, графіки та завдання мають дублюватися текстовими описами, що сумісні з програмами озвучення. Конспекти та навчальні матеріали оформлюються у форматах PDF та HTML із доступними навігаційними елементами, а складні алгоритми розв’язання задач розбиваються на покрокові інструкції.

Для ілюстрації, при розв’язуванні рівнянь другого ступеня студент спочатку отримує текстовий опис завдання, потім інтерактивну демонстрацію побудови графіка, а на завершення виконує контрольне завдання, отримуючи автоматичний зворотний зв’язок.

Індивідуалізація навчання має реалізовуватись через створення персональних траєкторій. Студенти можуть обирати темп засвоєння матеріалу, отримувати додаткові пояснення та консультації від тьютора, виконувати диференційовані завдання відповідно до рівня підготовки. Як зразок, для студента з труднощами концентрації можуть бути передбачені коротші модулі з частішими інтерактивними вправами, а для студента з порушеннями зору – більше озвученого матеріалу та текстових описів графіків.

Так, при вивченні похідних студент може в інтерактивному середовищі змінювати параметри функції і спостерігати, як змінюється нахил графіка. Завдання на знаходження інтегралів можуть супроводжуватися покроковими поясненнями, автоматичною перевіркою правильності та варіантами розв’язку, що дозволяє студенту самостійно навчатися, отримуючи миттєвий зворотний зв’язок. При роботі з геометричними задачами студенти можуть моделювати фігури у

GeoGebra, змінювати довжини сторін, кути та відстані, щоб візуально перевірити твердження теорем і побудувати власні висновки [2].

У комплексі використання LMS, інтерактивних середовищ та комунікаційних платформ, у поєднанні з адаптованим контентом і індивідуальним супроводом, формує інклюзивне навчальне середовище. Студенти з різними освітніми потребами мають змогу не лише освоювати математичні дисципліни, а й розвивати логічне мислення, критичні навички та самостійність у навчанні, що забезпечує високий рівень результативності та мотивації.

Висновки. Таким чином, використання інформаційних технологій у дистанційному навчанні математичних дисциплін створює дієві умови для забезпечення інклюзивності та академічної доступності. Адаптація навчального контенту, застосування інтерактивних цифрових ресурсів, можливість індивідуалізації та тьюторського супроводу сприяють подоланню бар'єрів у засвоєнні матеріалу студентами з особливими освітніми потребами. Впровадження таких технологій не лише підвищує результативність навчання, але й формує безпечне, комфортне та мотивуюче освітнє середовище, у якому кожен здобувач має змогу реалізувати свій навчальний потенціал. Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення адаптивних цифрових платформ, які автоматично підлаштовуються під індивідуальні можливості студентів та використовують інструменти штучного інтелекту для аналізу освітньої траєкторії та прогнозування навчальних результатів.

Список використаної літератури

[1] Соменко О.О., Соменко Д.В. Інтернет-обчислювальне середовище CoCalc як засіб організації інклюзивного навчання з фізико-математичних дисциплін. Сучасні засоби ІКТ підтримки інклюзивного навчання: навчальний посібник / [А.В. Гета, В.М. Заіка, В.В. Коваленко та ін.]. Полтава : ПУЕТ, 2018. С. 198-215.

[2] Соменко О.О. Шляхи реалізації інноваційних підходів у інклюзивній освіті. *Актуальні проблеми навчання та виховання людей в інтегрованому освітньому середовищі у світлі реалізації Конвенції ООН про права інвалідів: тези доповідей XIV міжнарод. наук-практ. конф. (м. Київ 19-20 листопада 2014 р.).* К.: Університет «Україна», 2014. С. 75-76.

УДК 159.952:612.821.2:004.383.4

ПСИХОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ТРЕНУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТА ДЕКОНЦЕНТРАЦІЇ УВАГИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ БІОЛОГІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Спаський І.Д. (ostrov7@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У тезах розглядаються психологічні аспекти тренування концентрації та деконцентрації уваги з використанням автоматизованих систем біологічного зворотного зв'язку. Обґрунтовано перспективність застосування БЗЗ-технологій для формування навичок довільної регуляції уваги та розкрито основні психофізіологічні механізми забезпечення ефективності тренування. На основі аналізу експериментальних даних визначено ключові фактори успішності формування навичок управління когнітивними процесами. Представлено методику психологічного тренінгу з використанням БЗЗ-систем, спрямовану на розвиток здатності до довільного управління процесами уваги в різних сферах діяльності.

Постановка проблеми. В умовах сучасного інформаційного суспільства спостерігається стрімке зростання когнітивного навантаження на людину, що призводить до підвищення вимог до здатності ефективно керувати процесами концентрації та деконцентрації уваги. Традиційні підходи до тренування уваги демонструють недостатню ефективність та обмежені можливості для індивідуалізації тренувального процесу.

Мета дослідження – теоретико-методологічне обґрунтування психологічних механізмів формування навичок довільної регуляції концентрації та деконцентрації уваги з використанням автоматизованих систем біологічного зворотного зв'язку.

Основні завдання дослідження:

6. Аналіз психологічних механізмів тренування концентрації та деконцентрації уваги
7. Дослідження ефективності БЗЗ-систем для формування навичок управління увагою
8. Визначення ключових факторів успішності тренувального процесу
9. Розробка методики психологічного тренінгу з використанням БЗЗ-технологій

Виклад основного матеріалу. Увага як психофізіологічний процес є складним механізмом селекції та підтримки психічної активності. Концентрація та деконцентрація уваги виступають як взаємодоповнюючі процеси, що забезпечують оптимальне функціонування когнітивної сфери в різних умовах діяльності [1]. Нейрофізіологічною основою процесів уваги є взаємодія різних мозкових структур та нейромедіаторних систем. Концентрація уваги пов'язана з активацією специфічних нейронних мереж та формуванням патернів біоелектричної активності мозку, зокрема змінами в альфа-, бета- та тета-ритмах ЕЕГ [2]. Системи з біологічним зворотним зв'язком надають унікальну можливість для об'єктивного контролю психофізіологічних параметрів в режимі реального часу. Це створює основу для усвідомленого впливу на власні психічні процеси через механізми операційного навчання та саморегуляції.

Експериментальні результати. На основі систематизації досліджень встановлено, що ефективність БЗЗ-тренування залежить від оптимального поєднання об'єктивного контролю психофізіологічних параметрів з механізмами усвідомленої саморегуляції. Систематичність занять, адекватність складності тренувальних завдань та якість зворотного зв'язку виступають як ключові фактори успішності формування навичок управління увагою [3].

Результати практичного застосування БЗЗ-систем демонструють статистично значуще покращення показників концентрації уваги та когнітивної гнучкості у досліджуваних. Особливо показовими є результати в галузі професійної підготовки спеціалістів, медичної реабілітації та освітніх програм [4].

Таблиця 1 . Ефективність БЗЗ-тренування уваги в різних сферах

Сфера застосування	Покращення концентрації (%)	Стійкість результатів (місяці)
Професійна підготовка	25-30	6-8
Медична реабілітація	20-35	4-6
Освітні програми	18-28	5-7

Висновки. Застосування автоматизованих систем з біологічним зворотним зв'язком створює унікальні можливості для об'єктивного контролю та цілеспрямованої регуляції психофізіологічних параметрів, пов'язаних з процесами уваги. Ефективність БЗЗ-тренування залежить від правильної організації тренувального процесу на принципах поетапності, індивідуалізації та систематичності. Оптимальним є поєднання технологій біологічного зворотного зв'язку з традиційними методами психологічного тренінгу, що забезпечує більш ефективне формування навичок довільної регуляції уваги. Практичне застосування БЗЗ-систем охоплює широкий спектр галузей та демонструє статистично значущі результати покращення когнітивних функцій.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням технологій біологічного зворотного зв'язку, розробкою методів індивідуалізації тренувальних програм та вивченням механізмів переносу сформованих навичок у реальну діяльність.

Список використаної літератури

1. Водолазська О. О., Спаський І. Д., "Психологічні аспекти тренування концентрації та деконцентрації уваги на основі автоматизованих систем з біологічним зворотним зв'язком," Наукові інновації та передові технології, vol. 2(42). 2025, с. 1891-1901

2. Мозгова Г.П., Руденко Л.М. Співак Л.М. Увага та її порушення в контексті нейропсихологічної та біосоціальних моделей: аналіз публікацій, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського, 34(73). 2023. с. 45-49

3.Saif M. Clinical efficacy of neurofeedback protocols in treatment of Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A systematic review, Psychiatry Research: Neuroimaging, 2023.. ol. 335, pp. 117-123,
4. Савченко Т. Системна організація уваги та загальні принципи її корекції як засіб оптимізації навчальної та професійної діяльності, Теоретико-методологічні засади соціалізації особистості, 2021 с. 126-136,
5. Ткач В. Нейропсихологічний підхід до розуміння синдрому дефіциту уваги з гіперактивністю: етіологія, діагностика, корекція, Актуальні проблеми психології, 2015. с. 293-303,

УДК 004.41

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПРОГРЕСУ У НАВЧАННІ

Старіков І. Р., Зіноватна С.Л.
(2696732@stud.op.edu.ua, zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі проведено аналіз проблем керування процесом навчання в сучасних умовах, розглянуті системи керування навчанням, які дозволяють організувати навчання й відслідковувати індивідуальні досягнення осіб, що навчаються, оцінювати динаміку їхнього прогресу й коректувати освітні траєкторії. Розглянуто платформи, які розрізняються по функціональному призначенню й рівню аналітичної підтримки, починаючи з планування навчальних завдань до моніторингу продуктивності. Предаставлена класифікація варіантів моніторингу, яка дає можливість адаптувати методи оцінювання до конкретних умов освітнього процесу. Надано опис процесу моніторингу у вигляді загальної схеми, яка відображає структурованість навчального процесу.

Навчання важливо для формування кращого майбутнього, воно має вирішальне значення як для особистісного росту, так і для кар'єрного росту або прогресу в суспільстві [1]. Навчатися можна різними способами. Це формальні умови (школи, університети), самостійне навчання, повсякденний досвід і взаємодія з іншими людьми.

У сфері освіти спостереження за успішністю у навчанні має важливе значення. Як вказується в [2], «багато хто у сфері освіти використовують показники прогресу і припущення, що прогрес учня можна виміряти яким-небудь значимим способом, часто віддають перевагу грубим показникам успішності». Моніторинг прогресу допомагає зрозуміти залученість учнів, виявити труднощі й поліпшити методи навчання. Він дозволяє застосовувати заснований на даних підхід до освіти для постійного вдосконалювання [3].

Таким чином, розробка інструментів для автоматизації відслідковування прогресу у вивченні дисципліни є актуальною задачею.

Метою роботи є зменшення часу на отримання оцінок щодо прогресу у вивченні дисципліни за рахунок автоматизованого обліку показників успішності навчання.

Методи відстеження прогресу в навчанні включають ручне відстеження, автоматизоване відстеження за допомогою систем керування навчанням і інтеграцію інструментів відстеження зі змістом курсу.

Система керування навчанням (Learning Management Systems, LMS) відноситься до програмного забезпечення й систем, які використовуються для керування, відстеження й надання навчальних матеріалів, а також для керування записами учнів. Впровадження технологій LMS революціонізує систему освіти, надаючи комплексне представлення про процеси навчання й продуктивність праці викладачів, учнів, адміністрації й академічної системи [4].

Відстеження успіхів учнів є складним завданням, оскільки кожний учень учиться по-своєму й у своєму темпі. Деякі швидко засвоюють матеріал, а іншим потрібно більше часу й підтримки. Викладач має переконатися. що ніхто не відстає, для чого потрібні прості й зрозумілі способи відстеження прогресу [5].

Відслідковувати успішність учнів вручну за допомогою Google Таблиць або Excel складно й забирає багато часу. Може виникнути ситуація, що викладач витрачаєте більше часу на уведення даних, чим на саме викладання.

Цифрові платформи надають дані й аналітику в режимі реального часу, дозволяючи точно відслідковувати успішність кожного учня. Ключові особливості таких платформ містять у собі [6]: автоматизований збір даних; набудовують панелі для керування; інструменти візуалізації прогресу; системи оповіщення для учнів із групи ризику.

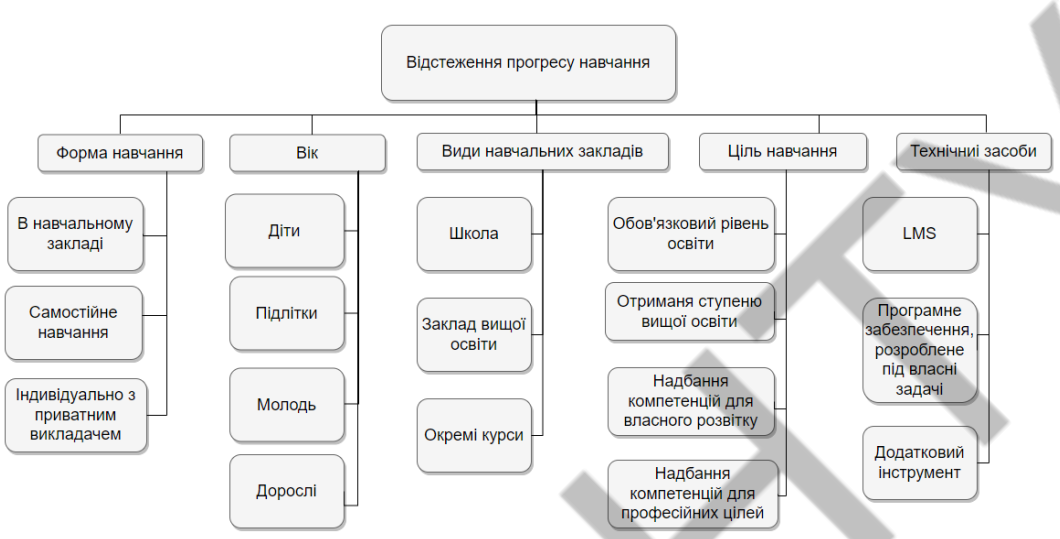


Рис. 1. Класифікація випадків відстеження прогресу у навчанні

Для порівняння обрано декілька цифрових платформ, які реалізують функції керування процесом навчання: Progress Learning [7], myHomework [8], Moodle [9]. Moodle – єдина система серед розглянутих, що забезпечує весь спектр показників: оцінки, прогрес, активність, аналітика, залученість, завершення курсу, зворотний зв'язок і прогнозування ризиків. Progress Learning близький до Moodle по функціональності, але обмежений в аналітиці й орієнтований більше на стандарт освіти конкретної країни для шкіл, а не на вищу школу.

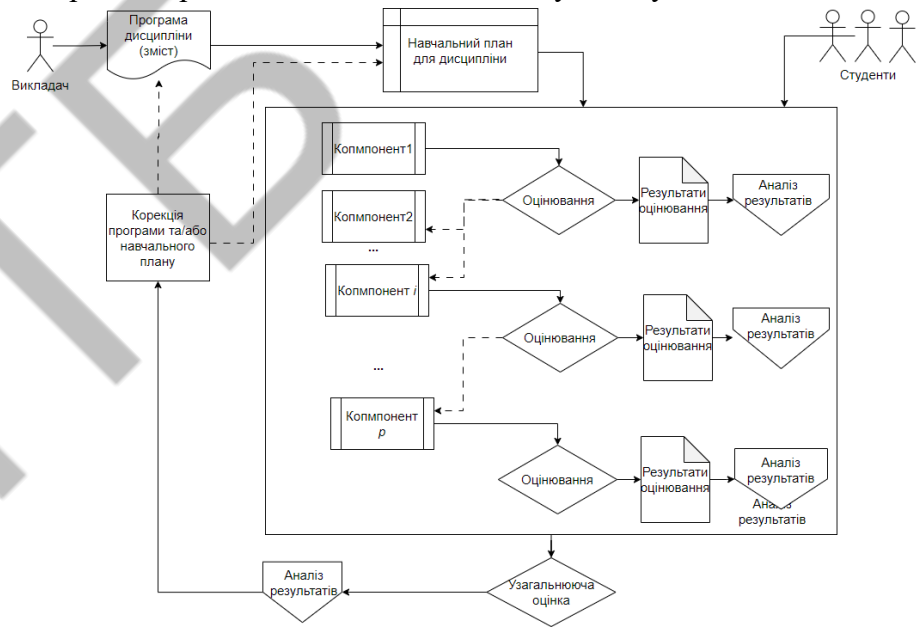


Рис. 2. Загальна схема навчання з включенням моніторингу прогресу

MyHomework – інструмент самоорганізації студентів, що добре показує дедлайни й виконані завдання, але не надає повноцінної навчальної аналітики, повного функціонала керування курсом з погляду викладача й аналізу того, як проходять курс всі студенти. Таким чином, для системного відстеження успішності студентів, найбільш придатним є Moodle. Однак використання Moodle потребує технічних знань і постійного адміністрування. Основні проблеми

стосуються складності інтерфейсу, недостатньої інтеграції сучасних аналітичних інструментів і високих вимог до управління.

Пропонується класифікація випадків відстеження прогресу у навчанні за декількома критеріями: за формою навчання; за віком студентів; за видом навчального закладу; за ціллю навчання; за технічними засобами. Детальніше класифікація відображена на рис. 1.

Загальна схема навчання з включенням моніторингу прогресу має кілька етапів (рис. 2).

В табл. 1 описані основні зацікавлені сторони та їх функціонал для програми відстеження прогресу

Таблиця 1. Актори системи

Актор	Опис	Основні функції
Студент	Користувач, що проходить курс	Перегляд свого прогресу, виконання завдань, одержання зворотного зв'язка
Викладач	Керівник курсу	Аналіз результатів студентів, додавання завдань, оцінювання
Адміністратор	Технічний менеджер	Керування користувачами, дисциплінами й доступами

Послідовне отримання оцінок та їх аналіз дозволяє контролювати індивідуальний прогрес студентів та оперативно виявляти проблеми у засвоєнні матеріалу, визначати групи ризику та своєчасно здійснювати корегування. Аналіз поточних результатів дає змогу скорегувати подальші компоненти дисципліни з урахуванням виявлених проблем. Підсумковий аналіз результатів після завершення навчання є основою для удосконалення навчальної програми та сприяє підвищенню якості освіти.

Список використаної літератури

[1] Importance of Learning: 7 Reasons Why It Fuels Growth. 2025. [Online]. Available: https://www.21kschool.com/in/blog/importance-of-learning/ [Accessed: September 11, 2025].

[2] Selfridge R. Measuring Progress in Education – The good, the bad and the future. [Online]. Available: https://www.cambridge.org/insight/blog/measuring-progress-in-education-the-good-the-bad-and-the-future [Accessed: September 11, 2025].

[3] Learner progress tracking system. [Online]. Available: https://www.coursensu.com/learning-technologies/learner-progress-tracking-system [Accessed: September 11, 2025].

[4] Rosário A., Dias, J. Learning Management Systems in Education: Research and Challenges. Digital Active Methodologies for Educative Learning Management. 2022. P. 47–77. DOI: 10.4018/978-1-6684-4706-2.ch003.

[5] The Ultimate Guide to Tracking Student Progress: Best Practices for Teachers. [Online]. Available: https://www.extramarks.com/blogs/schools/the-ultimate-guide-to-tracking-student-progress/ [Accessed: September 02, 2025].

[6] Connolly M. Student Progress Tracking: Efficient Tools for Educators. [Online]. Available: https://educationalvoice.co.uk/student-progress-tracking/ [Accessed: September 04, 2025].

[7] K-12 Standards-Aligned Practice for Your State. [Online]. Available: https://progresslearning.com/ (дата звернення: 02.09.2025).

[8] myHomework. [Online]. Available: https://myhomeworkapp.com/ [Accessed: September 05, 2025].

[9] Welcome to the Moodle community. [Online]. Available: https://moodle.org/?lang=en [Accessed: September 04, 2025].

НТБОНТУ

УДК 37.016:004.8

ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ФОРМУВАННІ КЛЮЧОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ

Тимченко Г.О. (ann.letosvami@gmail.com)
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (Україна)

Розвиток технологій Штучного Інтелекту (ШІ) створює необхідність перегляду традиційних методик викладання фізики та інформатики у профільній школі. У тезах обґрунтовано доцільність інтеграції інструментів ШІ для формування ключових компетентностей учнів, зокрема цифрової та дослідницької. Запропоновано конкретні механізми використання генеративних та адаптивних моделей ШІ в освітньому процесі та представлено структуру педагогічного експерименту для оцінки ефективності цього підходу.

Постановка проблеми та вирішені завдання

Сучасна освітня парадигма, орієнтована на компетентнісний підхід, вимагає формування в учнів старшої школи не лише предметних знань, але й готовності до життя в умовах технологічних змін. Інструменти ШІ стають невід'ємною частиною професійної діяльності, тому їхнє ігнорування в навчальному процесі призводить до відставання освітніх результатів від суспільних вимог. Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки методики міжпредметної інтеграції фізики та інформатики, що використовує ШІ для розвитку критичного мислення, навичок розв'язання проблем та цифрової компетентності учнів.

У процесі дослідження обґрунтовано педагогічну доцільність застосування ШІ для формування ключових компетентностей у старшій профільній школі, визначено спектр інструментів ШІ та їхні потенційні функції у вивченні фізики та інформатики. Також запропоновано конкретні сценарії інтеграції ШІ у лабораторні роботи та проєктну діяльність та розроблено структуру педагогічного експерименту для перевірки ефективності запропонованої методики.

Виклад суті дослідження.

Інструменти ШІ виступають як персональні освітні асистенти, що можуть адаптувати зміст, автоматизувати рутинні завдання та надавати миттєвий зворотний зв’язок. Як відомо з матеріалів, наприклад, звіту Google "100 способів застосування ШІ в освіті", технології ШІ можуть бути використані для автоматичного генерування тестів, персоналізації завдань та аналізу рівня засвоєння матеріалу. У контексті міжпредметної інтеграції фізики та інформатики, ШІ використовується як дослідницький інструмент, що дозволяє учням перейти від простого засвоєння фактів до практичної роботи з даними та алгоритмічного мислення 1.

У літературі за останні роки активно обговорюється означена проблематика. М. Сорока та В. Шамоня досліджують стратегічну роль вчителів фізики та інформатики у формуванні інформаційно-цифрової компетентності (ІЦК) учнів, здійснюючи порівняльний аналіз світових освітніх практик. Автори виявляють, що вчителі фізики забезпечують інтерактивний досвід для розвитку критичного мислення та застосування наукових методів через ІТ-інструменти, тоді як вчителі інформатики зосереджені на програмуванні, цифровій безпеці та аналізі даних. Дослідження підтверджує взаємодоповнюючу роль обох педагогів, виявляє значні прогалини в ІЦК та підкреслює трансформаційний потенціал ІТ в освіті .

М.Я. Хомяк досліджує та розробляє методику впровадження інструментів Штучного Інтелекту (ШІ) для персоналізації навчання інформатики у закладах загальної середньої освіти, обґрунтовуючи створення адаптивного й ефективного освітнього середовища. Запропонована методика базується на діагностиці індивідуальних потреб учнів через адаптивне тестування та освітню аналітику, що дозволяє формувати індивідуальні освітні траєкторії та генерацію персоналізованих завдань. Експериментальна перевірка підтвердила, що використання інтелектуальних навчальних систем та чат-ботів на основі ШІ підвищує навчальні результати, мотивацію учнів та оптимізує роботу вчителя інформатики 4.

Використання Штучного Інтелекту (ШІ) в освіті відкриває значні можливості, проте несе із собою низку важливих етичних аспектів, які потребують уваги. Ці питання стосуються

справедливості, прозорості та впливу технологій на суб'єктність учня й вчителя. Один із головних викликів – упередженість алгоритмів (algorithmic bias). Якщо дані, на яких навчаються системи ШІ (наприклад, для адаптивного тестування чи оцінювання), відображають історичну чи соціальну нерівність, то ШІ може ненавмисно закріплювати та посилювати дискримінацію, пропонуючи різні освітні траєкторії для різних соціальних чи гендерних груп. Це безпосередньо стосується справедливості та рівності доступу до якісної освіти. Наступний критичний аспект – конфіденційність та захист даних. Системи ШІ збирають величезні обсяги персональних даних про успішність, поведінку, емоційний стан та прогрес учнів. Неналежне зберігання, використання чи передача цих чутливих даних створює ризики для приватності та безпеки дітей. Існує також проблема прозорості (transparency): освітні рішення, прийняті на основі "чорного ящика" ШІ, можуть бути незрозумілими для учнів, батьків та викладачів, підриваючи довіру до системи. Крім того, необхідно враховувати вплив на автономію та розвиток навичок. Надмірне покладання на ШІ для відповідей чи виконання завдань (особливо генеративний ШІ) може знижувати мотивацію, гальмувати розвиток критичного мислення та навичок самостійного пошуку й обробки інформації. Етичне використання ШІ передбачає, що технологія має бути інструментом, який підсилює, а не заміщує людську взаємодію та когнітивний розвиток 2.

Нарешті, стоїть питання професійної ролі вчителя. Етична відповідальність вимагає, щоб ШІ використовувався для підтримки педагога та оптимізації його роботи, а не для його заміни. Вчителі повинні зберігати контроль над освітнім процесом і мати право ставити під сумнів чи коригувати рекомендації, надані системою ШІ, забезпечуючи людиноцентричний підхід до навчання.

Для формування цифрової компетентності пропонується використовувати генеративний ШІ (наприклад, текстові моделі). Учні можуть застосовувати ці моделі для створення гіпотез або первинних текстів наукових оглядів з фізики. Ключовим завданням учня стає критична оцінка, редагування та перевірка згенерованого контенту, що безпосередньо розвиває навичку роботи з цифровою інформацією та її верифікації.

Для формування дослідницької компетентності доцільно інтегрувати ШІ для візуалізації та аналізу даних у вивчення фізики. Наприклад, при вивченні термодинаміки або механіки учні, використовуючи знання інформатики, можуть застосовувати нейромережеві моделі для прогнозування змін параметрів системи або оптимізації фізичного експерименту, мінімізуючи похибки. ШІ може автоматично класифікувати та візуалізувати великі масиви даних про температуру, тиск та об'єм у реальному часі. Крім того, адаптивні системи на базі ШІ можуть персоналізувати навчальні маршрути у фізиці, автоматично пропонуючи додаткові задачі або пояснення з тем, у яких учень демонструє прогалини.

Конкретний приклад формування ключових компетентностей учнів через міжпредметну інтеграцію фізики та інформатики може бути реалізований у проєкті "Оптимізація моделі теплообміну за допомогою генеративного ШІ". Цей проєкт спрямований на розвиток цифрової компетентності, критичного мислення та навичок розв'язання проблем. На першому етапі, в рамках курсу фізики, учні отримують завдання змоделювати процес охолодження тіла, ґрунтуючись на законах термодинаміки, зокрема на законі Ньютона-Ріхмана. Це вимагає від них глибокого наукового розуміння. На другому етапі, використовуючи інструмент генеративного ШІ (що відповідає одному зі способів застосування ШІ, описаних, наприклад, у відомому документі Google для освіти), учні вводять технічне завдання і отримують базовий програмний код для моделювання. У цьому процесі ШІ виступає як помічник у кодуванні, автоматизуючи рутинні частини, що формує в учнів цифрову компетентність та вміння ефективно взаємодіяти з передовими технологіями. На третьому, ключовому етапі, учні повинні критично проаналізувати згенерований ШІ код: перевірити його на фізичну коректність і ефективність. Вони самостійно вносять корективи, додають функції для візуалізації результатів (графіки охолодження) та використовують ШІ для аналізу даних. Це розвиває критичне мислення та дослідницьку компетентність, оскільки учні не сліпо довіряють технології, а обґрунтовують її переваги та недоліки, завершуючи цикл наукової роботи. Таким чином, ШІ виступає інструментом, що підсилює навчання, допомагаючи учням зосередитися на складній фізичній суті, а не на механічному кодуванні.

Для перевірки ефективності запропонованої методики буде проведено педагогічний експеримент, що складається з таких етапів:

Підготовчий етап – розробка навчальних модулів, які інтегрують інструменти ШІ (доступні генератори коду, онлайн-платформи з ШІ-моделюванням). Формування контрольної (КГ) та експериментальної (ЕГ) груп учнів.

Констатувальний етап – проведення вхідного тестування для оцінки початкового рівня сформованості ключових (цифрової, дослідницької) компетентностей в обох групах.

Формувальний етап – КГ навчається за традиційною методикою, а ЕГ – з використанням лабораторних робіт та проєктів, інтегрованих з інструментами ШІ. Наголос робиться на критичній взаємодії з ШІ.

Контрольний етап – проведення вихідного тестування та виконання комплексних завдань, де оцінюється здатність учнів ефективно використовувати ШІ для розв'язання фізичних задач та аналізу даних.

Висновки та плани реалізації

Застосування інструментів Штучного Інтелекту в процесі вивчення фізики та інформатики у старшій профільній школі є дієвим механізмом для формування ключових компетентностей учнів, особливо цифрової та дослідницької. Інтеграція ШІ дозволяє персоналізувати навчання, підвищити мотивацію та навчити учнів критично працювати з новітніми технологіями, що повністю відповідає меті дослідження.

Зазначені теоретичні положення та запропонована методика становлять основу для моєї магістерської роботи. На даний момент план магістерської роботи повністю готовий, і вже зроблені пілотні спроби використання генеративних моделей для створення навчальних матеріалів та автоматичної перевірки їхньої коректності, що підтвердило доцільність повноцінного педагогічного експерименту.

Список використаної літератури

1. «Академія ШІ для освітян від Google,» 2025. [Online]. Available: https://rsvp.withgoogle.com/events/ai_academy_for_educators [Accessed: October 18, 2025].

2. «Штучний інтелект та його вплив на етичні аспекти наукових досліджень в українських закладах освіти,» Р. С. Бердо, В. Л. Расюн, В. А. Величко, Академічні візії : електронний журнал, Львів, Вип. 22, 10 с., 2023. [Online]. Available: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/469 [Accessed: October 11, 2025].

3. М. Сорока, і В. Шамоня, (2024). «Вплив учителів фізики та інформатики на розвиток інформаційно-цифрової компетентності учнів: світові практики,» Освіта. Інноватика. Практика, 12(10), с. 49–55.

4. М. Я. Хомяк, (2025). «Методика впровадження інструментів штучного інтелекту для персоналізації навчання інформатики в закладах загальної середньої освіти,» Педагогічна Академія: наукові записки, (21).

УДК 378.147:37.091.113:531/534:539.3

СТУДЕНТОЦЕНТРОВИЙ ПІДХІД У ВИКЛАДАННІ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ

Товт Б. М. (btovtua@gmail.com)

Дніпровський державний аграрно-економічний університет (Україна)

В тезах розглядається студентоцентровий підхід у викладанні теоретичної механіки та опору матеріалів у вищому навчальному закладі. Традиційна лекційна модель у інженерній освіті часто веде до пасивного засвоєння знань без глибокого розуміння їхнього практичного значення. Студентоцентровий підхід зміщує акцент із викладача на активну роль студента, сприяє розвитку критичного мислення та самостійності. Основні принципи: активне навчання, індивідуалізація, практична спрямованість та формування soft skills. У теоретичній механіці ефективними є проблемно-орієнтоване навчання, цифрові симуляції та мікропроєкти. В опорі матеріалів доцільно використовувати експериментальні роботи, кейсовий метод і сучасне комп'ютерне моделювання. Необхідна трансформація структури занять: інтерактивні лекції, змішане навчання та нові підходи до оцінювання. Студентоцентризм підвищує мотивацію

студентів, розвиває практичні та аналітичні навички. У підсумку формується нова культура навчання, де головною цінністю є активний і творчий студент, готовий до інноваційної діяльності.

У сучасній інженерній освіті традиційна лекційно-орієнтована модель, що довгий час залишалася домінуючою, часто призводить до пасивного засвоєння матеріалу. Студенти здебільшого сприймають навчання як процес запам'ятовування формул, алгоритмів та стандартних прикладів розв'язування задач, але при цьому не завжди усвідомлюють внутрішню логіку побудови моделей, причинно-наслідкові зв'язки між теоретичними положеннями та їхнім практичним застосуванням. У результаті виникає певний розрив між знанням і розумінням: студент володіє математичними прийомами, проте не здатний самостійно інтерпретувати результати розрахунків чи пов'язати їх із реальними конструктивними ситуаціями. Це є особливо критичним у таких фундаментальних дисциплінах, як теоретична механіка та опір матеріалів, які закладають основу для всіх подальших інженерних розрахунків, конструкторських рішень і забезпечення надійності технічних систем [1, 2].

Студентоцентризм як сучасна освітня парадигма передбачає зміщення акценту з викладача як основного джерела знань на активну й творчу роль студента у навчальному процесі. Такий підхід не зменшує ролі викладача, а трансформує її: викладач стає фасилітатором, модератором і наставником, який створює умови для самостійного пошуку, заохочує до критичного мислення, до постановки запитань і до аналізу можливих шляхів розв'язання проблем. Його завдання полягає не стільки у передачі готових знань, скільки у формуванні середовища, де студенти можуть розвивати власні компетентності, пробувати, помилятися та виправляти свої дії. Це стимулює розвиток глибокого розуміння, а не поверхневого заучування [3].

Серед основних принципів студентоцентрового підходу в інженерній освіті слід виокремити: активне навчання, що передбачає роботу в групах, дискусії, колективне розв'язування проблемних завдань і виконання дослідницьких проєктів; індивідуалізацію навчальної траєкторії, коли кожен студент може опановувати матеріал у власному темпі, використовуючи додаткові електронні ресурси чи завдання підвищеної складності; практичну спрямованість навчання, що полягає у безперервному зв'язку теоретичних знань з реальними інженерними ситуаціями та кейсами з практики; а також розвиток soft skills – умінь комунікації, ефективної співпраці в команді, публічної презентації результатів, що стають не менш важливими для сучасного інженера, ніж суто технічні компетентності [4].

У теоретичній механіці, де традиційно домінує абстрактний математичний апарат, особливо важливо використовувати методи, які роблять навчання більш наочним та орієнтованим на вирішення практичних проблем. Ефективним є застосування проблемно-орієнтованого навчання: студенти спочатку отримують практичну інженерну задачу (наприклад, «визначення умов рівноваги будівельного крана на вітровому навантаженні» або «оцінка стійкості конструкції підйомного механізму»), а вже потім знайомляться з теоретичними методами, необхідними для її розв'язання. Значний потенціал має і використання цифрових технологій – симуляцій у середовищах Excel, MATLAB чи спеціалізованих програмних пакетах, які дозволяють візуалізувати рух тіл, динаміку систем, побачити закономірності поведінки моделей. Корисним інструментом є також мікропроєкти – невеликі індивідуальні або групові дослідницькі завдання, які поєднують теоретичні знання з конкретними прикладними розрахунками та дають студентам можливість відчути реальну інженерну логіку.

Дисципліна «Опір матеріалів» відкриває ще ширші можливості для впровадження студентоцентрового підходу. Тут доцільним є використання експериментальних завдань, коли студенти безпосередньо працюють із реальними зразками, випробувальними машинами та лабораторним обладнанням, перевіряючи на практиці справедливість теоретичних формул. Важливим інструментом виступає кейсовий метод, що передбачає аналіз аварій, поломок і відмов конструкцій із точки зору напружено-деформованого стану матеріалу. Крім того, сучасне комп'ютерне моделювання у програмних комплексах Siemens NX, ANSYS, SolidWorks Simulation чи Abaqus дозволяє студентам отримати візуалізацію напружень, деформацій, власних форм коливань та зрозуміти складні фізичні процеси через наочні результати симуляцій. Це забезпечує глибоке засвоєння матеріалу та розвиває інженерне мислення.

Для ефективного впровадження студентоцентрового підходу потрібні структурні зміни в організації навчального процесу. Лекції мають перетворюватися на інтерактивні заняття, де

меншає «одностороннього монологу» викладача і більше уваги приділяється спільному аналізу задач, інтерактивним опитуванням, колективним обговоренням. Доцільним є застосування змішаного навчання – поєднання аудиторних занять із цифровими ресурсами: онлайн-курсами, відеолекціями, інтерактивними тестами, віртуальними лабораторіями. Оцінювання теж потребує трансформації: воно має враховувати не лише кінцевий результат розрахунку, а й процес мислення, обґрунтування рішень, креативність і здатність застосовувати знання в нових ситуаціях.

Запровадження студентоцентрового підходу в інженерній освіті має стратегічне значення. Воно дозволяє підвищити мотивацію студентів до опанування складних дисциплін, сформувати здатність застосовувати теоретичні знання у реальних умовах сучасного виробництва, розвивати критичне та системне мислення, навички командної роботи й адаптивності. У підсумку студенти отримують не лише академічні знання, але й готовність працювати в умовах високотехнологічного інноваційного середовища, що швидко змінюється.

Отже, студентоцентровий підхід у викладанні теоретичної механіки та опору матеріалів не обмежується лише зміною методики роботи викладача. Він формує нову освітню культуру, де головною цінністю є активний, відповідальний і творчий студент, здатний не просто відтворювати знання, а й самостійно їх конструювати, критично оцінювати й впроваджувати у практику. Саме така модель навчання забезпечує підготовку фахівців нового покоління, які відповідатимуть вимогам сучасного інженерного ринку та будуть конкурентоспроможними у глобальному освітньо-науковому просторі.

Список використаної літератури

[1] K. C. Chilukuri, “A Novel Framework for Active Learning in Engineering Education Mapped to Course Outcomes,” *Procedia Computer Science*, vol. 172, pp. 28–33, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.004.

[2] A. Dominguez, M. E. Truyol, M. Quezada-Espinoza, J. F. Calderon, and G. Zavala, “Active learning in engineering education: Insights from a faculty development program in higher education,” *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, vol. 21, no. 2, pp. em2585–em2585, Feb. 2025, doi: https://doi.org/10.29333/ejmste/15955.

[3] Kavita Behara, M. Sibanda, and T. K. Magenuka, “Adopting a Student-Centered Approach to Blended Learning in Engineering Education,” pp. 129–145, Jan. 2024, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-56953-1_8.

[4] A. AbdelSattar and W. Labib, “Active Learning in Engineering Education,” *Proceedings of the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology - ICEIT 2019*, 2019, doi: https://doi.org/10.1145/3318396.3318449.

УДК 378.1:681.3(477)

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ У ВИЩІЙ ОСВІТІ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Трач О.Р. (lointc@ukr.net)

Одеський національний технологічний університет (Україна)

В тезах проводиться аналіз ролі автоматизації в управлінні вищою освітою України в умовах воєнних викликів. Окреслено перспективи розвитку освітньої автоматизації через впровадження штучного інтелекту, хмарних обчислень та big data аналітики.

Тривала воєнна агресія, що спричинила масштабні соціально-політичні зміни та прискорила цифрову трансформацію, створила додатковий тиск на вищу освіту в Україні, з одного боку сприяючи зменшенню кількості вступників та здобувачів, з іншого – підвищуючи вимоги до якості освітніх послуг. До ключових систем, що забезпечують роботу закладів вищої освіти належать інформаційні системи управління освітою (EMIS), електронний документообіг (Megapolis.DocNet, АСКОД), системи дистанційного навчання (LMS) та цифрові платформи професійного розвитку, зокрема «Дія.Освіта» [1]. Однак, універсальні рішення відсутні. Для прикладу, системи електронного документообігу полегшують документообіг, але не повністю враховують потреби управління навчальним процесом. Схожий односторонній підхід характерний

і для інших програмних продуктів, представлених на ринку. Така ситуація ще гостріше піднімає проблему ефективного управління ресурсами та інтеграції технологій. Автоматизація процесу управління освітою стає ключовим інструментом не лише для підвищення ефективності, а й для забезпечення конкурентоспроможності та привабливості закладів вищої освіти. Це, в свою чергу, опосередковано допомагає долати проблему зменшення контингенту здобувачів. Використання інтегрованих рішень, що охоплюють документообіг, реєстрацію курсів, облік досягнень, комунікацію між здобувачами й викладачами стає стратегічним завданням закладів вищої освіти.

Особливе значення набуває індивідуалізація освітнього процесу. Закон України «Про освіту» [2] гарантує здобувачам право формувати власні освітні траєкторії, що вимагає гнучких цифрових інструментів для роботи з академічними даними. Інтегровані системи допомагають оптимізувати використання ресурсів (науково-педагогічні та педагогічні співробітники, аудиторний фонд) та адаптувати навчальні матеріали до потреб здобувачів. Вже зараз використання автоматизованих систем управління дозволяє спростити як адміністративні, так і освітні процеси. Зокрема, впровадження роботизованих процесів (RPA) уже продемонструвало суттєвий позитивний ефект: у деяких випадках час виконання завдань зменшується майже на 99,9%, а витрати – на 43–67% [3].

У перспективі розвиток освітньої автоматизації має спиратися на інтеграцію штучного інтелекту, хмарних обчислень, інтернету речей та аналізу big data. Такі технології забезпечують адаптивність, безпеку та аналітичну глибину управлінських рішень. Водночас, саме комплексні автоматизовані системи, що поєднують навчально-адміністративну діяльність, персоналізацію й захист інформації, здатні стати основою конкурентоспроможності українських ЗВО у глобальному освітньому просторі.

Системне впровадження автоматизації в управлінні вищою освітою дозволить українським закладам вищої освіти покращити якість освітніх послуг та зміцнити свої позиції в умовах демографічних викликів. Це, своєю чергою, сприятиме формуванню стійкої освітньої екосистеми, здатної ефективно реагувати на виклики сучасності та потреби ринку праці, що буде важливим кроком до інтеграції освітньої системи в європейський освітній простір.

Список використаної літератури

1. “Дія.Освіта — Про проєкт”. Дія.Освіта. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://osvita.diia.gov.ua/about

2. Україна, Верховна Рада України. (2017, 5 верес.). *Закон України № 2145-VIII, Про освіту*. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text

3. V. Bhardwaj та M. Kumar, “Transforming higher education with robotic process automation: enhancing efficiency, innovation, and student-centered learning”, *Discov. Sustain.*, т. 6, № 1, трав. 2025. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.1007/s43621-025-01198-6

УДК 004

КРОСПЛАТФОРМНІ ФРЕЙМВОРКИ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ РОЗРОБКИ: ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ОБМЕЖЕНЬ

Фуркало Д.Ю. (daniilf077@knu.ua)
Петрівський В. Я.(volodymyr.petrivskyi@knu.ua**)**
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

У контексті стрімкої цифровізації суспільства та розширення мобільного сектору інформаційних технологій мобільна розробка набуває стратегічного значення для забезпечення інтерактивності, доступності та гнучкості сучасних інформаційних систем. Проблематика вибору оптимальної технології для створення мобільних застосунків залишається відкритою, оскільки вона передбачає баланс між продуктивністю, масштабованістю, кросплатформністю та економічною ефективністю

Традиційна нативна розробка передбачає створення застосунків із використанням мов Swift або Objective-C для операційної системи iOS та Kotlin або Java для Android. Такий підхід

забезпечує прямий доступ до апаратних ресурсів пристрою, високу продуктивність і стабільність роботи графічних елементів. Нативні додатки демонструють мінімальні затримки при завантаженні, високу частоту кадрів під час рендерингу та повну підтримку останніх версій SDK. Проте ключовим недоліком цього підходу є відсутність кросплатформності, що зумовлює потребу у створенні двох незалежних кодових баз, підвищує складність підтримки та збільшує витрати часу на розробку й тестування. З наукової точки зору, нативна розробка залишається еталонною з погляду продуктивності, проте поступається в аспекті ефективності використання ресурсів під час масштабних проєктів із мультиплатформною архітектурою.

У відповідь на обмеження нативного підходу активно розвиваються кросплатформні фреймворки, серед яких особливу увагу привертають Flutter та React Native. Ці технології ґрунтуються на ідеї уніфікації логіки застосунку та часткового або повного абстрагування від нативного рівня, що забезпечує можливість одночасної розробки для кількох платформ із використанням єдиної кодової бази.

Фреймворк Flutter, створений компанією Google, базується на мові програмування Dart і власному графічному рушії Skia. Його архітектурна особливість полягає у безпосередньому рендерингу компонентів користувацького інтерфейсу без звернення до нативних елементів. Це забезпечує стабільну частоту кадрів і високу точність відтворення графіки, що підтверджується експериментальними дослідженнями, де середня частота кадрів Flutter-застосунків становила близько 61 кадр/с при стандарті 60 Гц. Завдяки механізму hot reload розробники отримують можливість оперативно вносити зміни в інтерфейс та логіку програми, що істотно підвищує швидкість розробки та спрощує процес тестування. Проте недоліками Flutter є збільшений розмір виконуваних файлів і вищі вимоги до оперативної пам’яті порівняно з нативними рішеннями.

Фреймворк React Native, розроблений компанією Meta, реалізує гібридний підхід, у якому бізнес-логіка виконується мовою JavaScript, а інтерфейс користувача формуються з нативних компонентів через спеціальний комунікаційний міст (bridge). Це дозволяє поєднати переваги вебтехнологій із можливостями нативних API. Архітектура React Native забезпечує ефективну розробку та гнучке використання сторонніх бібліотек, однак наявність мосту між JavaScript-движком і системним рівнем призводить до збільшення часу відгуку при складних обчисленнях або анімаціях. Дослідження, проведені на основі вимірювання часу запуску додатків, свідчать, що середній показник для React Native становить близько 1,4 секунди, що на 40 % повільніше за нативні аналоги та приблизно на 15 % повільніше за Flutter.

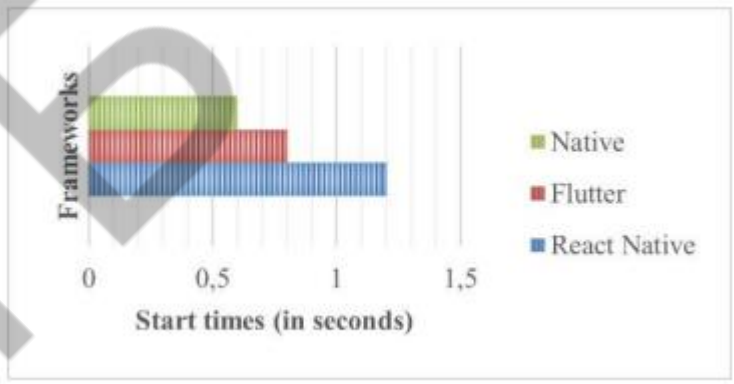


Рис 1 - Порівняння часу початку розробки додатків фреймворки

Порівняльний аналіз експериментальних даних свідчить про наявність вираженої кореляції між архітектурними особливостями фреймворків та їхньою продуктивністю. Нативна розробка забезпечує найнижчий середній час запуску (приблизно 0.6 с), що пояснюється відсутністю проміжних інтерпретаційних рівнів. Flutter демонструє показник 0.8 с завдяки використанню попередньої компіляції (AOT), яка дає змогу перетворювати код у машинні інструкції до моменту виконання. React Native, своєю чергою, застосовує динамічну інтерпретацію JavaScript-коду, що обумовлює більшу затримку при ініціалізації.

Додатковим показником ефективності є частота відтворення кадрів (Frames Per Second, FPS), яка визначає плавність інтерфейсу. За результатами моделювання, нативні додатки підтримують стабільну частоту 63 кадр/с, Flutter - близько 62 кадр/с, тоді як React Native варіюється в межах 59-60 кадрів/с. Такі значення свідчать, що Flutter досягає майже нативного

рівня графічної продуктивності, тоді як React Native демонструє незначне, але помітне відставання через архітектурну складність механізму мосту.

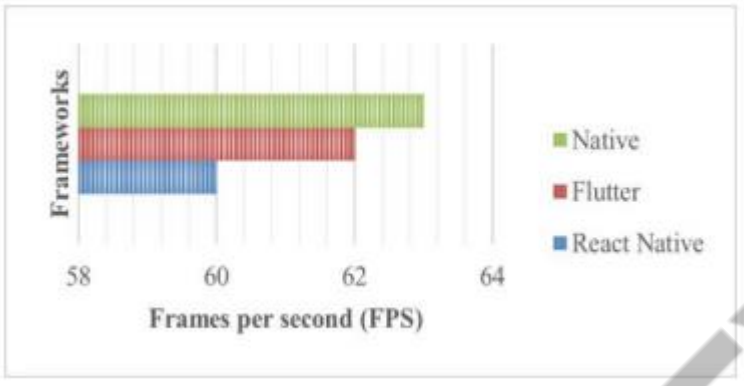


Рис 2 - Стаціонарна продуктивність фреймворків для розробки додатків

Науковий аналіз також підтверджує, що переваги кросплатформних технологій полягають не лише у скороченні часу розробки, а й у підвищенні узгодженості між платформами. Єдина кодова база сприяє зменшенню технічного боргу, а стандартизація інтерфейсних компонентів полегшує тестування та впровадження оновлень. Проте при цьому залишається актуальним питання енергоспоживання, використання оперативної пам'яті та стабільності під час інтенсивних обчислень, що є предметом подальших емпіричних досліджень.

Підсумовуючи результати аналізу, можна констатувати, що нативна розробка зберігає статус оптимального рішення для високопродуктивних мобільних систем, орієнтованих на складні графічні або апаратні обчислення. Водночас Flutter демонструє найвищий рівень збалансованості між швидкодією, гнучкістю та універсальністю, що робить його перспективним інструментом для кросплатформних корпоративних рішень. React Native залишається актуальним для швидкого прототипування та інтеграції з вебсередовищем, однак потребує подальшої оптимізації для зменшення затримок і підвищення стабільності.

Список використаної літератури

1. Gustavo Hartmann Geoff Stead Asi DeGani [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35627973/Cross-Platform_Mobile_Development-libre.pdf?1416335794=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThis_work_relates_to_a_Department_of_the.pdf&Expires=1760372882&Signature=WXl-A~UNH~MOHhU-QvriNrQRXItn6bJU6ZvINsznj8GWqZAACL5mO9wuJHli0tzYD5VYj0fonxL4M~fXsAzeUjy1IpU44PLUIfoBRfnTWfK84DE3FRf1wWCCSedyfHV8iiTaTbn~cRSozu9Di2K-Vxri9npCtGLZYB4x-n70dUe92lBFwFKjuUSIdp5GULqZevXY0rLqWOvhoXxEusaupH~mccdo3sA~lHj5HvQ4bWG23wN5msgVaXK--cbbb2Iq8b0AJf-GB1Xl9xSoc8x8TPWY9BjplpDSbqk1EUpSG0T2z5fSJORan7dJ7GKrhNzsfueI9upkb~3Yv5Idp-CeYg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

2. Suyesh Amatya and Arianit Kurti [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-01466-1_21

3. Henning Heitk¨otter, Sebastian Hanschke, and Tim A. Majchrzak [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36608-6_8

4. MuhammadShoaibFarooq,Shamyla Riaz,AtifAlvi, AsgharAli, IbtesamU Rehman [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://vfast.org/journals/index.php/VTSE/article/view/978

5. Raiymbek Jangassiyev, Zhanat Umarova, Aisaule Ussenova, Zlikha Makhanova, Nurlybek Zhumatayev , Manat Amirov , Gulzhan Koishibekova [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://telkomnika.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/26331/12009

УДК 372.8:004.85

ВПЛИВ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА LLM НА ЗМІСТ КУРСУ ІНФОРМАТИКИ У ШКОЛІ

Худан Т.Г., Худан М.Ю.
(tanyaxydan1608@gmail.com, maksglukhov1809@gmail.com)
Глухівська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів №6 Глухівської міської ради Сумської області (Україна)

Дослідження присвячене аналізу впливу стрімкого розвитку генеративного штучного інтелекту та великих мовних моделей (LLM) на формування змісту навчального курсу інформатики у старшій профільній школі. Зміст курсу інформатики традиційно формувався під впливом міжнародного досвіду та змін в апаратних засобах, проте поява ШІ-асистентів вимагає перегляду дидактичних акцентів від суто кодування до промпт-інжинірингу та критичного аналізу результатів. Запропоновано методичні рекомендації щодо інтеграції LLM для розвитку інженерної та аналітичної компетентності учнів..

Постановка проблеми. Історично зміст курсу інформатики (Computer Science) у школах різних країн формувався під впливом ключових технологічних парадигм і національних освітніх пріоритетів. Наприклад, у США та Великій Британії курс розвивався від акценту на мовах програмування та алгоритмах у 80-х роках до концепції обчислювального мислення та Data Science у 2000-х роках, значною мірою під впливом індустріальних вимог та доступності персональних комп'ютерів. В СРСР та пострадянських країнах початковий акцент був зроблений на теоретичних основах та апаратному забезпеченні, а пізніше – на прикладних програмах. Сьогодні ж світ зіткнувся з безпрецедентною швидкістю технологічних змін, викликаних генеративним штучним інтелектом. Традиційний навчальний контент, зосереджений на рутинних завданнях кодування, стрімко втрачає актуальність, що створює проблему розриву між застарілою методикою та потребами ринку праці, який вимагає від випускників навичок ефективної взаємодії з ШІ.

Перелік вирішених завдань. У процесі дослідження було здійснено історичний екскурс у становлення змісту курсу інформатики, виявлено ключові зовнішні та внутрішні фактори, що впливали на його формування у різних освітніх системах. На цій основі було проаналізовано сучасний вплив LLM на фундаментальні навички, які мають формуватися на уроках інформатики. Також було запропоновано методичні підходи до інтеграції генеративного ШІ як інструменту навчання та оцінювання, а також розроблено структуру педагогічного експерименту для перевірки ефективності оновленого змісту курсу.

Виклад суті дослідження.

A. Ørom у статті «Information Science, historical changes and social aspects: a Nordic outlook» досліджує історичні зміни та соціальні аспекти розвитку інформаційної науки. Ця робота є важливою для історичного екскурсу вашого дослідження, оскільки вона допомагає зрозуміти, як соціальні та культурні фактори, зокрема у північних країнах, впливали на формування дисципліни, яка згодом стала основою шкільного курсу інформатики [1].

G. Dodig-Crnkovic у праці «History of computer science» здійснює ґрунтовний огляд історії комп'ютерних наук. Це джерело надає необхідну фактологічну базу для аналізу еволюції змісту курсу інформатики у школі, показуючи, як перехід від ранніх обчислювальних моделей до сучасних парадигм впливав на дидактичні підходи та структуру навчальних програм у різних освітніх системах [2].

K. Kersting у статті «Rethinking computer science through AI» безпосередньо закликає до переосмислення комп'ютерних наук через призму штучного інтелекту. Це джерело є критично важливим для вашого дослідження, оскільки воно обґрунтовує необхідність суттєвої ревізії навчальних програм та підтверджує вашу тезу про те, що домінування ШІ (особливо генеративного) вимагає зміщення акцентів у навчанні від традиційного кодування до інженерно-аналітичного мислення [3].

Суть дослідження полягає в обґрунтуванні необхідності зміщення акцентів у навчанні інформатики з рутинного кодування на проєктну діяльність, промпт-інжиніринг та критичний аналіз ШІ-рішень. Історично на зміст курсу впливала поява нових апаратних платформ та

індустріальні запити на фахівців. Наприклад, інтеграція програмування мікроконтролерів вплинула на розділ алгоритмізації. Генеративний ШІ, як Large Language Models (LLM), пропонує ще більш радикальну зміну: він автоматизує написання значної частини коду. Таким чином, у старшій школі методичне забезпечення має включати використання ШІ-асистентів, таких як Google Gemini, для автоматичного генерування та відлагодження коду, дозволяючи учням зосередитися на високорівневих завданнях — архітектурі системи, перевірці гіпотез та оцінці етичних наслідків використання ШІ. Конкретні можливості застосування включають використання LLM на уроках для декомпозиції складних проблем на підзадачі, створення віртуальних симуляцій на основі текстового опису та, що найважливіше, навчання критично перевіряти та валідувати код, згенерований штучним інтелектом. Це виховує не просто кодерів, а інженерів-аналітиків.

Конкретний приклад застосування генеративних великих мовних моделей (LLM) у процесі вивчення мови програмування Python у старшій школі ідеально реалізується в контексті проєктної діяльності, що фокусується не на синтаксисі, а на розв'язанні прикладних завдань.

Традиційне вивчення Python часто сповільнюється через необхідність засвоєння великої кількості синтаксичних правил та рутинного налагодження помилок, що відволікає учнів від формування алгоритмічного мислення. Генеративний ШІ, такий як Google Gemini, перетворює цей процес, виступаючи в ролі інтелектуального ко-пілота, що дозволяє учням зосередитися на архітектурі рішення.

Розглянемо аналіз і візуалізація часових рядів із застосуванням бібліотек Pandas та Matplotlib. Замість того, щоб вручну писати boilerplate-код для імпорту даних, обробки пропущених значень або створення складних графіків, учень використовує LLM для генерації функціональних чорновиків. Наприклад, учень подає запит: "Створити функцію Python, яка завантажує файл CSV, використовує Pandas для розрахунку середнього ковзного вікна за 7 днів для стовпця 'Ціна' та відображає обидві серії на одному графіку за допомогою Matplotlib". LLM миттєво генерує потрібний код.

Ключовий методичний момент полягає в тому, що після отримання коду, учень не просто копіює його, а піддає критичному аналізу та валідації. Завдання вчителя зміщується з перевірки синтаксису на перевірку промпт-інжинірингу (чи правильно учень поставив задачу ШІ) та аналізу результату (чи працює код логічно і чи коректно він вирішує завдання). Учень має відповісти на питання: "Чому ШІ використав саме цю функцію Pandas, а не іншу? Який фізичний сенс має обраний розмір вікна ковзного середнього?" Це сприяє розвитку критичного мислення та глибокому розумінню функціональної логіки бібліотек.

Додатково LLM ефективно використовується як персоналізований дебагер. Коли учень отримує складне повідомлення про помилку (Traceback), він може вставити його в LLM із запитом: "Поясни цю помилку простими словами і запропонуй, у якому рядку та чому вона виникла, не виправляючи код повністю". ШІ надає діагностику, а учень самостійно вносить корективи, що значно прискорює процес навчання налагодженню, роблячи його менш фруструючим.

Таким чином, генеративний ШІ дозволяє учням швидко пройти етап рутинного кодування, звільняючи час для роботи над складнішими алгоритмічними конструкціями, вивченням структур даних та розробкою архітектури великих проєктів, що є основою інженерної компетентності.

Розглянемо конкретний приклад застосування генеративних великих мовних моделей (LLM) під час вивчення мови розмітки HTML у школі, акцентуючи увагу на переході від механічного запам'ятовування тегів до проєктування структури та доступності вебсторінок.

Традиційно, вивчення HTML часто зводиться до рутинного запам'ятовування тегів та їхніх атрибутів, що знижує мотивацію та не формує дизайнерсько-інженерне мислення. Застосування генеративного ШІ дозволяє автоматизувати цей низькорівневий процес.

Замість того, щоб вручну писати всю структуру сторінки, учень використовує LLM для швидкої генерації каркаса. Наприклад, учень подає запит: "Створити базову структуру HTML-файлу для адаптивного лендингу, яка містить семантичні теги: <header> з навігацією, <main> з трьома секціями, причому друга секція має бути відведена під форму зворотного зв'язку, і <hr> для розділення, а також футер". LLM негайно генерує правильно вкладену, семантично чисту структуру HTML.

Ключовий методичний фокус переміщується на семантику та доступність (Accessibility).

Після отримання коду учень не перевіряє його синтаксис (за це вже подбав ШІ), а аналізує: "Чи правильно ШІ використав теги <h1>, <h2>, <h3> для ієрархії контенту? Чи додані атрибути alt до зображень для доступності? Чому була обрана структура всередині <section>, а не навпаки?" Учень вчиться не писати теги, а критично оцінювати їхнє функціональне та семантичне призначення.

Додаткове застосування LLM використовується для вивчення складних атрибутів та валідації коду. Наприклад, коли учневі потрібно додати складний атрибут aria-label для скрінрідера, він може запитати ШІ: "Поясни, навіщо потрібен атрибут aria-label для кнопки та згенеруй приклад його використання". Таким чином, LLM виступає як персональний тьютор із вебстандартів, надаючи миттєві пояснення, які раніше вимагали тривалого пошуку в документації. Це дозволяє учням швидко пройти етап створення базового каркаса, звільняючи час для роботи над CSS-стилізацією, медіазапитами та принципами UI/UX, що є основою вебдизайну та інженерії.

Для емпіричної перевірки ефективності нової методики, що включає цілеспрямоване використання генеративного ШІ, заплановано педагогічний експеримент, який включає такі етапи. Підготовчий етап – розробка оновлених навчальних модулів, що містять завдання з промпт-інжинірингу та аналізу LLM-рішень, та формування контрольної (КГ) й експериментальної (ЕГ) груп учнів. Констатувальний етап – діагностика початкового рівня сформованості навичок алгоритмізації та критичного мислення учнів обох груп. Формувальний етап – навчання ЕГ за оновленою методикою з активним та структурованим використанням генеративного ШІ, тоді як КГ навчається за традиційною програмою. Контрольний етап – проведення підсумкового тестування, яке включає оцінювання якості проєктних рішень, швидкості налагодження коду та здатності критично оцінювати результати, отримані за допомогою ШІ.

Висновки

Запропонована інтеграція генеративного штучного інтелекту та LLM у навчальний процес з інформатики є необхідною та методично доцільною для забезпечення актуальності освітнього контенту в старшій профільній школі. Вона дозволяє змістити фокус навчання з механічних операцій на креативне розв'язання проблем та аналітичне мислення, що є ключовим для підготовки фахівців 21 століття і повністю відповідає поставленій задачі. Зазначений план роботи вже готовий, і вже зроблені успішні пілотні спроби використання LLM як інструменту для налагодження коду, що підтвердило доцільність повноцінного експерименту.

Список використаної літератури

[1]. A. Ørom, "Information Science, historical changes and social aspects: a Nordic outlook," Journal of Documentation, 56(1), 2000, с. 12–26.

[2]. G. Dodig-Crnkovic, History of computer science. Västerås: Mälardalen University, 2001.

[3]. K. Kersting, "Rethinking computer science through AI," KI-Künstliche Intelligenz, 34(4), с. 435–437, 2020.

УДК: 004.8

ВИКОРИСТАННЯ ОСВІТНІХ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ІЗ ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ДОПОМОГИ ШКОЛЯРАМ У ВИБОРІ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ

Чубикіна Вікторія Олександрівна (viktoriia.chubykina@knu.ua)
Петрівський Володимир Ярославович (volodymyr.petrivskyi@knu.ua)
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

У тезах розглядається використання освітніх онлайн-платформ із елементами штучного інтелекту як інструменту допомоги школярам у виборі майбутньої професії. Проаналізовано основні функції таких сервісів, способи персоналізації навчання та методи добору професій відповідно до інтересів і здібностей учнів.

Вибір майбутньої професії – один із ключових етапів у житті кожної людини, що формує її подальший шлях, кар’єру та особисте задоволення від життя. Ще з дитинства школярі проектують

на себе різні ролі і часто ці уявлення змінюються так само швидко, як змінюються їхні інтереси та вподобання. На формування професійних уявлень впливає багато факторів: професії батьків і близьких родичів, оточення та друзі, популярні тенденції у соціальних мережах, різноманітні історії та слухи, які дитина чує від людей навколо. Проте більшість цих уявлень залишаються лише словами або фантазіями. Коли школяр досягає старших класів, а особливо 11-го, перед ним постає реальна необхідність зробити серйозний вибір: обрати професію, за якою він буде навчатися, розвиватися та будувати кар'єру. Саме на цьому етапі багато випускників відчувають невпевненість і плутанину. Вони прагнуть не просто обрати будь-яку спеціальність, а знайти справді ту справу, яка буде надихати, приносити задоволення та давати можливості реалізувати свій потенціал.

У сучасних умовах допомогти школярам у складному виборі професії можуть освітні онлайн-платформи з елементами штучного інтелекту. Вони не лише аналізують інтереси, здібності та схильності дитини і пропонують відповідні професійні напрямки, а й надають можливість школярам безпосередньо «спробувати себе» в цих професіях. Завдяки інтерактивним завданням, симуляціям, практичним кейсам та відео-оглядам, де фахівці розповідають про основні аспекти своєї роботи і демонструють її на практиці, дитина може оцінити, наскільки їй цікава та чи інша професія, зрозуміти свої сильні сторони та прийняти більш усвідомлений вибір. Саме тому розвиток та використання таких платформ є надзвичайно актуальним: вони допомагають майбутнім спеціалістам знайти справжнє покликання, зменшують ризик помилкового вибору та сприяють ранньому розвитку професійних навичок [1-3].

Однією з найпоширеніших сучасних державних платформ для професійного самовизначення в Україні є «Дія.Освіта» [4] – сервіс із профорієнтаційним тестом, створеним за участю Міністерства цифрової трансформації України та української компанії Beetroom, що спеціалізується у сфері інформаційних технологій. Він складається з 94 питань, а його проходження займає приблизно 30 хвилин. Основна мета – допомогти користувачеві краще зрозуміти власні схильності, інтереси, тип мислення та способи взаємодії зі світом; з'ясувати як людина приймає рішення, що її мотивує і в яких типах діяльності вона може бути ефективною. Питання орієнтовані на виявлення таких характеристик, як аналітичність мислення, креативність, соціальна взаємодія, схильність до технічних чи гуманітарних сфер, рівень емоційної стабільності та особливості сприйняття інформації.

Після проходження користувач отримує індивідуальний результат, де зазначено тип його особистості та список професій, які найбільше відповідають його схильностям. Користувачеві також пропонується переглянути освітні серіали та навчальні відео, які відповідають рекомендованим професійним напрямкам, а також ознайомитися з актуальними вакансіями на українському ринку праці. Таким чином, тест виступає не лише як діагностичний інструмент, а і як навігаційний ресурс, що поєднує самопізнання з практичними кроками у напрямі вибору професії.

За офіційними даними, після оновлення сервісу тест вже пройшли десятки тисяч українців, і багато шкіл рекомендують його учням у межах кар'єрної орієнтації. Серед переваг цієї платформи варто відзначити її доступність (тест можна пройти безкоштовно і без реєстрації), сучасний цифровий інтерфейс, візуальну простоту і зрозумілу мову запитань. Це робить її привабливою для підлітків і молоді.

Загалом, профорієнтаційний тест на платформі «Дія.Освіта» є чудовим стартовим інструментом для самопізнання та допомагає школярам знайти напрямок розвитку. Однак, платформа менш орієнтована на практичні навички, а також бракує інтерактивних симуляцій.

Іншим важливим державним ресурсом є платформа «Моя професія: консультаційна мережа» [5], створена Державною службою зайнятості України. Її головна мета – забезпечити доступну дистанційну профорієнтацію для всіх громадян, незалежно від місця проживання. На платформі можна пройти низку тестів, які оцінюють професійні інтереси, когнітивні здібності, логічне мислення, комунікаційні навички, стресостійкість і схильність до підприємництва.

Комплекс тестів триває до 160 хвилин, а після завершення користувач отримує детальний індивідуальний звіт із переліком рекомендованих професій та порадами щодо розвитку сильних сторін. Цей сервіс орієнтований на глибший аналіз, ніж «Дія.Освіта», і дозволяє сформувати цілісну психологічну модель професійного профілю.

Серед сильних сторін платформи – наукова обґрунтованість методик, глибина оцінювання та державна підтримка. Однак дизайн і інтерфейс сайту залишаються доволі простими, що може знизити зацікавлення молоді, а час проходження тестів – надто тривалим. Було б корисно додати інтерактивні поради – наприклад, посилання на освітні курси чи відео з реальними фахівцями у відповідних сферах.

Попри певні недоліки, «Моя професія: консультаційна мережа» залишається надзвичайно важливим державним ресурсом для профорієнтації, який дає змогу не лише оцінити власні здібності, а й усвідомлено обрати напрям майбутнього розвитку.

Підсумовуючи можна сказати, що обидві платформи допомагають молоді в процесі самопізнання та вибору професії, а подальше їх удосконалення – шлях до створення платформ, де кожна дитина зможе не лише дізнатися, ким бути, а й спробувати себе у цій ролі.

Серед світових онлайн-платформ, які допомагають молоді визначитися з майбутньою професією, особливо виділяється Forage [6] – інноваційний освітній сервіс, що надає можливість спробувати себе у реальних професіях через віртуальні симуляції роботи. Платформа створена у співпраці з провідними компаніями світу – Google, KPMG, J.P. Morgan та іншими, що забезпечує високу якість і достовірність контенту.

Після безкоштовної реєстрації користувач обирає професію – наприклад, «маркетолог», «юрист» або «аналітик» - і проходить серію завдань, що відтворюють типовий робочий день у цій сфері. Завдання базується на реальних кейсах партнерських компаній, а після завершення учасник отримує сертифікат і може порівняти свої результати з професійними прикладами. Таким чином, Forage не просто тестує, а дозволяє «приміряти професію на себе», відчути її на практиці.

Великим плюсом платформи є інтерактивність і доступність: навчання повністю безкоштовне, дистанційне, а вибір напрямків охоплює фінанси, інформаційні технології, право, маркетинг, дизайн та інші галузі. Кожен курс супроводжується відео-розповідями фахівців, які пояснюють, у чому полягає суть їхньої роботи, її переваги та виклики. Це допомагає сформувати реалістичне уявлення про професію.

Разом із тим Forage орієнтована переважно на студентів і молодь, тому для школярів матеріали можуть бути складнішими через рівень англійської. Втім, ідея цієї платформи надзвичайно цінна – вона показує як сучасні онлайн інструменти можуть не лише аналізувати інтереси, а й надавати реальний досвід спроби професії.

Саме такі рішення – поєднання інтерактивності, штучного інтелекту, практичних завдань і коротких відео-оглядів – можуть стати орієнтиром для вдосконалення українських профорієнтаційних сервісів, щоб допомогти школярам робити усвідомлений і впевнений вибір свого майбутнього [2, 3].

Дослідження показало, що освітні онлайн-платформи з елементами штучного інтелекту можуть значно полегшити школярам вибір майбутньої професії. Вони не просто аналізують інтереси та здібності, а дозволяють спробувати себе у професії на практиці, оцінити свої сильні сторони та зрозуміти, що дійсно надихає. Українські сервіси, як-от «Дія.Освіта» та «Моя професія: консультаційна мережа», вже дають перші кроки у цьому напрямі, хоча їм ще бракує інтерактивності та практичних симуляцій.

Порівняння з міжнародною платформою Forage показує, що майбутнє профорієнтації – за інтерактивами, практично орієнтованими системами, де школяр може відчути професію на власному досвіді.

Отже, освітні онлайн-платформи з елементами штучного інтелекту це не просто технологічна інновація, а місток між мрією та реальністю, який допомагає кожній дитині знайти свою справу, відчути натхнення і впевнено зробити перший крок у професійне життя.

Список використаної літератури

[1] «Освітні платформи та штучний інтелект: аналіз сучасних методів,» Arxiv, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2509.11461?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]

[2] Majjate, H. «AI-Powered Academic Guidance and Counseling System,» MDPI Education Sciences, т. 7, №1, с. 6, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2571-5577/7/1/6?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]

[3] Westman, S. «Artificial Intelligence for Career Guidance,» IAFOR Journal of Education: Technology in Education, т. 9, №4, с. 44–59, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1318705.pdf?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]
[4] «Дія.Освіта. Профорієнтаційний тест,» Міністерство цифрової трансформації України, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://osvita.diia.gov.ua/prof-orientation-quiz?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]
[5] «Моя професія: консультаційна мережа,» Державна служба зайнятості, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://profi.dcz.gov.ua/?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]
[6] «Virtual experience programs,» Forage, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.theforage.com/?utm_source=chatgpt.com [Дата звернення: 20.10.2025]

ВЕБДОСТУПНІСТЬ ЯК КОМПОНЕНТ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ

Юрійчук А.О. (a.yuriychuk@chnu.edu.ua)
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича *(Україна)*

У тезах розглянуто проблему інтеграції принципів вебдоступності в контекст цифрової трансформації освіти. Обґрунтовано, що забезпечення рівного доступу до цифрових освітніх ресурсів є не технічною опцією, а стратегічним завданням сучасної освітньої політики. Визначено основні напрями дослідження: аналіз міжнародних стандартів доступності (WCAG 2.2, EN 301 549), вивчення ролі закладів освіти у впровадженні інклюзивних практик та формуванні компетентностей педагогів у сфері цифрової доступності. Показано, що вебдоступність є складовою гуманістично орієнтованої цифрової трансформації, спрямованої на створення безбар'єрного освітнього середовища.

У час, коли освіта швидко змінюється під впливом цифрових технологій, стає очевидним: модернізація освітнього процесу — це не лише впровадження нових платформ, технологічних засобів чи онлайн-курсів, а переосмислення середовища навчання таким чином, щоб кожен учасник мав рівний доступ до освітніх ресурсів і сервісів. У цьому контексті питання вебдоступності, тобто забезпечення рівного доступу кожного до цифрового освітнього простору, має стати не опцією, а складовою стратегії цифрової трансформації освіти.

Проблема полягає в тому, що процес цифровізації в освітній сфері часто зводиться лише до технічного оновлення інфраструктури, у той час як питання рівності доступу лишається на периферії. Внаслідок цього створюється парадоксальна ситуація: нові цифрові інструменти, які покликані розширити можливості, іноді лише відтворюють або навіть поглиблюють бар'єри. Саме тому цифрова трансформація освіти має ґрунтуватися на принципі інклюзивності, що передбачає врахування потреб усіх користувачів, незалежно від стану здоров'я, рівня цифрової грамотності, технічних можливостей чи мовного середовища.

Метою дослідження є обґрунтування ролі вебдоступності як системного компонента цифрової трансформації освіти та визначення педагогічних, технологічних і організаційних умов її ефективного впровадження. Для досягнення мети передбачалося вирішити такі завдання: проаналізувати поняття цифрової доступності у структурі цифрової трансформації, окреслити міжнародні стандарти, що регламентують доступність (WCAG 2.2, EN 301 549), визначити роль закладів освіти у формуванні інклюзивної цифрової культури та дослідити значення педагогічних компетентностей у забезпеченні доступного навчального середовища.

Визначаючи цифрову трансформацію як глибинну зміну освітньої системи, що охоплює технологічну, організаційну, педагогічну та культурну складові, можна стверджувати: коли заклад освіти модернізує свої сервіси, але не долучає до цього процесу категорію «доступність для всіх», вона фактично створює новий цифровий бар'єр. У цьому сенсі вебдоступність — це не лише технічне питання (наприклад, субтитри до відео, альтернативні тексти, достатній колірний контраст чи клавіатурна навігація), а ключовий компонент освітньої екосистеми, який гарантує, що цифрова трансформація залишається інклюзивною та людиноцентричною.

Міжнародні стандарти, такі як **WCAG 2.2** та **EN 301 549,** виступають орієнтирами для побудови доступних цифрових продуктів і сервісів. Вони базуються на чотирьох принципах **POUR**: Perceivable (сприйнятливість), Operable (керованість), Understandable (зрозумілість), Robust (надійність), що дозволяють системно проєктувати освітній контент і сервіси. Освітня установа, яка інтегрує ці стандарти у свої цифрові сервіси, формує нову культуру роботи з інформацією: не лише технічно вдосконалену, а соціально відповідальну, зорієнтовану на потреби учасників освітнього процесу.

Роль закладів освіти цьому процесі є визначальною, адже вони мають бути не лише користувачами цифрових технологій, а й архітекторами освітнього середовища. Це означає розроблення внутрішньої політики доступності, включення вимог до доступності у всі етапи створення контенту, підготовку викладачів і технічних працівників, проведення регулярного аудиту ресурсів. Саме університети задають стандарти, формують практики, демонструють, що цифрова трансформація — це не модернізація «ай-ті», а побудова безбар'єрного освітнього простору.

Ключовою умовою цього процесу є **формування компетентностей викладачів у сфері цифрової доступності.** Викладачі мають не лише користуватися готовими інструментами, а й усвідомлювати логіку інклюзивного дизайну: як створювати матеріали, що зручні для всіх; як адаптувати завдання для здобувачів із різними потребами; як забезпечити взаємодію без дискримінаційних обмежень. Цифрова грамотність нового покоління педагогів має включати знання стандартів доступності, навички роботи з програмами перевірки контрастності, субтитрування, створення зрозумілої навігації тощо.

Водночас важливо, щоб вебдоступність перестала бути «додатковою опцією». Це має бути елемент стратегічного бачення цифрової політики кожного закладу освіти. Вона повинна інтегруватися у всі документи з цифровізації, індикатори якості освітнього процесу, механізми акредитації та моніторингу. Національна академія педагогічних наук України у своїх рекомендаціях наголошує, що формування людиноцентричного цифрового середовища є базовою умовою розвитку освітньої системи нового покоління.

Підсумовуючи результати, можна зробити висновок, що вебдоступність є стратегічним чинником цифрової трансформації освіти, адже вона забезпечує не лише технічну сумісність, а й соціальну справедливість. По-перше, доступність є критерієм якості освітнього середовища, що гарантує реальний, а не формальний доступ до знань. По-друге, впровадження принципів вебдоступності в навчальну діяльність потребує цілеспрямованої підготовки педагогів та інтеграції цих компетентностей у зміст освіти. По-третє, заклади освіти повинні виступати осередками інституційних змін, демонструючи приклад гуманістично зорієнтованої цифрової трансформації.

Отже, вебдоступність у цифровій освіті — це не питання технічного вдосконалення, а питання цінностей. Це про освіту, яка створює можливості, а не обмеження, і яка усвідомлює, що кожен користувач — це не виняток, а частина цілісної освітньої екосистеми. Інвестування в доступність — це інвестування у якість, інклюзивність і справедливість, без яких цифрова трансформація не може бути повноцінною.

Список використаної літератури

[1] В. Биков, О. Спірін та О. Пінчук, "Сучасні завдання цифрової трансформації освіти", ВІСН. КАФ. ЮНЕСКО «НЕПЕРЕРВНА ПРОФ. ОСВІТА XXI СТОЛІТТЯ», № 1, с. 27–36, трав. 2020. DOI: https://doi.org/10.35387/ucj.1(1).2020.27-36.

[2] С. Сисоєва, "Цифровізація освіти: Педагогічні пріоритети", Освіта і сусп-во, № 10/11, с. 8–9, 2021.

[3] А. Юрійчук, "Вебдоступність та її роль в освіті", у Математика та інформаційні технології. Матеріали міжнар. наук. конференції, присвяч. 55-річчю ф-ту математики та інформатики. Чернівці: Чернів. нац. ун-т, 2023, с. 369.

[4] N. Bobro, "Digitalization of education: Challenges and opportunities in the xxi century", Молодий вчен., № 5 (129), с. 46–50, серп. 2024. DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2024-5-129-8.

УДК 378.4:004

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЗАХИСТУ ЦИФРОВИХ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ ОСВІТЯН

Яланецький В. А. (v.yalanetskyi@gmail.com)
КПІ ім. Ігоря Сікорського» (Україна)

Наведено стислий аналіз поняття персональних даних працівників та технології блокчейн. Розглянуто можливості застосування технологій блокчейн для захисту персональних даних здобувачів та надавачів освітніх послуг. Крім того, аналізуються поточні проблеми конфіденційності даних у освітніх процесах. Пропонується таке інноваційне блокчейн-рішенні як токени SBT для забезпечення безпеки інформації й цифрових персональних даних освітян. У висновках окреслені перспективи впровадження та використання технології блокчейн для захисту цифрових персональних даних освітян в закладах вищої освіти Україні.

На сьогоднішній день виникає безліч питань, пов'язаних з недоторканністю приватного життя. Неможливо не чути про захист персональних даних в епоху всебічної діджиталізації й цифровізації. Захист персональних даних є одним із невід'ємних прав людини. Це необхідно для того, щоб захистити фізичні особи від несанкціонованої обробки їх персональних даних. Сучасна технологія блокчейн пропонує інноваційний цифровий підхід до захисту персональних даних освітян, забезпечуючи високий рівень безпеки, прозорості, незмінності та контролю власниками за особистими (від батьків та природи) даними.

Персональні дані освітянина – це інформація, яка відноситься до конкретного надавача та отримувача освітніх послуг і дозволяє ідентифікувати його. Наприклад, це особиста інформація та інформація про професійну діяльність вступника, студента, викладача, їх репутаційний портфель. На законодавчому рівні захист персональних даних унормовано та врегульовано. Проте на практиці не відбувається належне їхнє забезпечення. Наприклад, не рідко одержувана закладом освіти інформація стає відомою зацікавленим третім особам і відбувається витік персональних даних.

В роботі [1] розглянуто проблему визначення пріоритетних та перспективних напрямів застосування блокчейну в Україні. Вказано на необхідність повністю переосмислити інфраструктуру функціонування державних реєстрів в Україні. Пропозицію авторів можна також перенести і в площину наявного зоопарку освітніх баз даних й реєстрів, задля переходу менеджменту в освіті до єдиного децентралізованого реєстру типу блокчейн.

Основними принципами блокчейну є: децентралізація, надійність та безпека, прозорість та неможливість зміни, які застосовуються для захисту конфіденційності персональних даних освітян. Технологія блокчейн дозволить працівникам освіти мати повний доступ та контроль за своїми персональними даними. Блокчейн може спростити процеси аудиту та перевірки особи працівників освіти. Завдяки непідробленості даних та високому рівню прозорості, заклади освіти можуть легко перевіряти особистість освітян та підтверджувати їх репутацію, кваліфікацію, досвід навчання та роботи.

Дослідження технології блокчейн та механізмів досягнення надійності в блокчейні для захисту та безпеки персональних даних наведено у роботі [2]. Блокчейн-системи надають користувачам контроль над тим, якою, коли та якою кількістю їх персональної інформації можна ділитися та з ким саме. Ці системи також можуть зменшити загрози у кібербезпеці. За допомогою спеціалізованих механізмів консенсусу рішення конфіденційності на основі блокчейну, дозволяють користувачам надійно зберігати та поширювати свою персональну інформацію мережею інтернет.

Потужним кроком в розвитку технології блокчейн є поява смарт-контрактних блокчейнів, які дозволяють повноцінно програмувати бізнес процес, який оперує як активами та персональними даними. Зокрема, на відміну від класичних платіжних блокчейнів (суто з монетарною політикою), смарт-контракті блокчейни дозволяють випускати цифрові токени, що по суті аналогічні сертифікатам із можливістю зберігати в них різноманітні цифрові (персональні також) дані. Автори дослідження [3] наводять приклад посилення захисту персональних даних шляхом впровадження нової архітектури децентралізованої автентифікації із застосуванням нового типу не взаємозамінних токенів (Non-Fungible Token, NFT), так званий «прив'язаний до особи токен»

(Soulbound Token, SBT), що полегшує автентифікацію та значно підвищує безпеку користувачів за допомогою його персональних цифрових даних, записаних в SBT.

Впровадження застосування технології блокчейн для задач захисту персональних даних освітян вимагає, їх регулярного навчання та підготовку локальних фахівців у галузі технології блокчейн. Зокрема в межах інституту підвищення кваліфікації при КПІ ім. Ігоря Сікорського пропонується розгортання низки освітніх навчальних курсів з тематики блокчейну в контексті захисту персональних даних. Для студентського контингенту пропонується розробка нових освітніх компонентів та інтеграція лекцій щодо безпеки персональних даних в існуючі навчальні дисципліни. Зокрема дистанційний курс [4] розроблено з метою ліквідації дефіциту компетентностей у сфері блокчейн-технологій в КПІ ім. Ігоря Сікорського. Протягом створення пілотного курсу було вперше розроблено силабус дисципліни, наповнений її контент та запропоновано методику викладання дисципліни. Навчально-методичний матеріал розміщено з використанням хмаро орієнтованих технологій у кабінеті викладача GoogleClassroom, що інтегровано з платформою дистанційного навчання «Сікорський». Подальший розвиток цього напрямку передбачає розробку та впровадження в освітні програми інноваційної навчальної дисципліни з програмування смарт-контрактів.

Поява нових навчальних курсів, лекцій та освітніх компонентів зі сфери технологій блокчейн значно підвищать обізнаність викладацького персоналу й студентів щодо важливості володіння і керування доступом до своїх цифрових персональних даними.

Список використаної літератури

[1] Є. Бєляєва, «Технологія blockchain як засіб захисту персональних даних», *Протидія кіберзлочинності та торгівлі людьми: матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, Харків, Україна: ХНУВС, 2020, с. 132–134. [Online]. Available: https://dspace.univd.edu.ua/items/b912be0e-342e-45a9-a0c4-ba0bc32088c3 [Accessed: September 29, 2025].

[2] В. Балацька і І. Опірський, «Забезпечення конфіденційності персональних даних і підтримки кібербезпеки за допомогою блокчейну», *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, вип. 4, № 20, с. 6–19, черв. 2023. doi: https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.20.619.

[3] B. Boi, F. Cirillo, M. De Santis, and C. Esposito, «Soulbound Tokens: Enabler for Privacy-Aware and Decentralized Authentication Mechanism in Medical Data Storage», *Blockchain in Healthcare Today* (BHTY), vol. 7, no. 2, Aug. 2024. doi: https://doi.org/10.30953/bhty.v7.334.

[4] В. Яланецький, «Дистанційний курс “Технологія блокчейн” для інженерних спеціальностей», *Інформаційні технології і засоби навчання*, т. 94, № 2, с. 150–163, 2023. doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v94i2.5129.

НТБОНТУ

Розділ 5.

Проектування інформаційних систем та програмних комплексів

UDC 004.931

BENCHMARKING VISION TRANSFORMERS FOR WEBSITE AESTHETIC PREDICTION

Glib Briia, Lina Volobuieva (glib.briia@khai.edu, l.volobuieva@khai.edu)
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute" (Ukraine)

The research investigates the use of visual transformers for assessing the aesthetics of websites. In this study, nine vision transformer models are selected and systematically benchmarked to assess their effectiveness for website aesthetic prediction tasks. The comparison was performed on a dataset of website screenshots covering multiple categories to minimize category bias.

The aesthetics of a website have a great influence on the positive perception of the site by users and its further use [1]. Studies devoted to the application of deep learning tools for related tasks have shown the success of the approach, obvious advantages and prospects of work in this direction. Visual transformers are promising for solving a wide range of problems in computer vision in general, and in particular the tasks of analyzing the aesthetics of images, both natural phenomena and artificially created content [2]. Aesthetic evaluation of website design combines the assessment of design elements (both visual and placement) for their compliance with the purpose of the site; research into the possibilities of using different approaches to pre-learning for better representation of the aesthetics of websites is important for further development of the subject.

This study conducted a systematic comparative analysis of nine models spanning three learning strategies: supervised (ImageNet), self-supervised (contrastive learning and distillation), and multi-modal (vision-language) on website aesthetic prediction. The fundamental differences in strategies of visual representation learning allows to conduct a comprehensive analysis of transformer use in aesthetic prediction. Within each of the strategies we selected models that differ in number of parameters and input resolution, as summarized in Table 1.

Table 1. Summary of models used in benchmark

Model	Parameters	Resolution	Pre-training paradigm
ViT-Small-224	22M	224px	Supervised (ImageNet-21k)
ViT-Base-224	86M	224px	Supervised (ImageNet-21k)
ViT-Base-384	86M	384px	Supervised (ImageNet-21k)
ViT-Large-384	304M	384px	Supervised (ImageNet-21k)
DeiT-Base	86M	224px	Self-supervised (Distillation)
DINOv2-Base	86M	518px	Self-supervised (Contrastive)
DINOv2-Large	304M	518px	Self-supervised (Contrastive)
CLIP-Base	86M	224px	Multi-modal (Vision-Language)
CLIP-Large	304M	224px	Multi-modal (Vision-Language)

The models are evaluated on the WebDesign Prototypicality Dataset [3] containing 3156 screenshots of websites homepages across four categories (banks, fashion, homeware, universities), each rated by 3319 participants on a 7-point aesthetic scale.

Three-phase progressive fine tuning was used during training: freeze encoder and train head (5 epochs), unfreeze last 4 blocks with layer-wise learning rate decay (5 epochs), then full fine-tuning (5

epochs). All models use MSE loss, AdamW optimizer, and early stopping on validation RMSE. The performance is evaluated using Pearson correlation (r), Spearman correlation (ρ), and RMSE.

The main research finding is illustrated on Figure 1: CLIP-Base achieves r=0.688, representing a 24% improvement over supervised ViT-Base-384 (r=0.624) and a 38% improvement over self-supervised DINOv2-Base (r=0.499). Multi-modal pre-training decisively outperforms alternatives. CLIP-Large achieves r=0.675, while supervised models range from r=0.582-0.647 and self-supervised models achieve r=0.499-0.601. Remarkably, DINOv2 despite state-of-the-art performance on natural images performs worst in our benchmark.

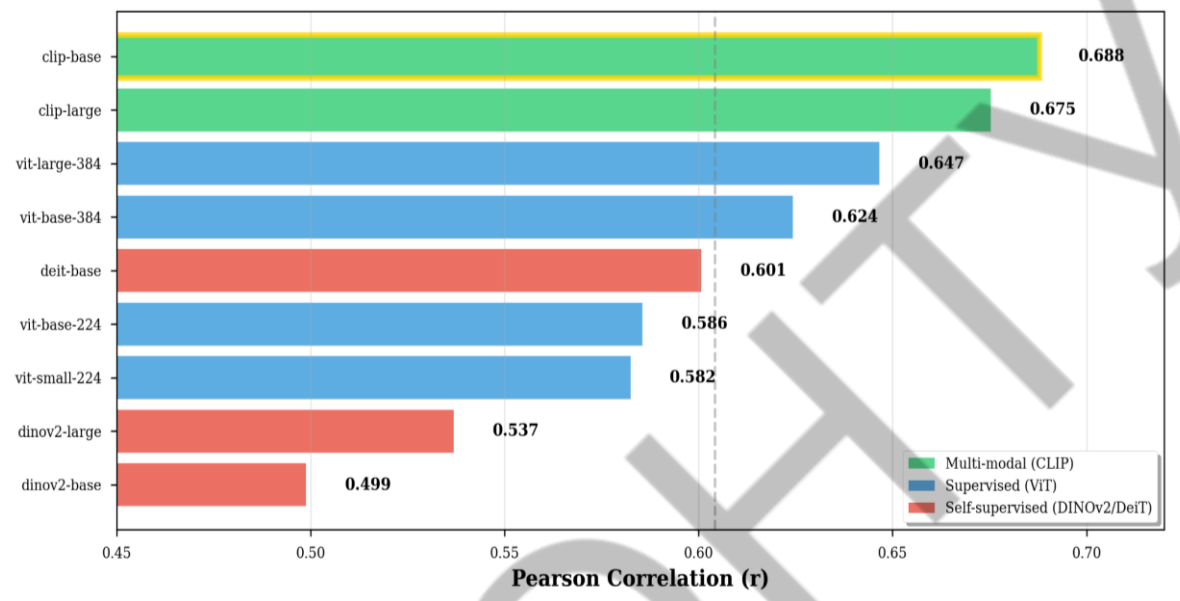


Figure 1. Overall performance on website aesthetic prediction

CLIP showed consistent performance on all website types (banks: 0.682, fashion: 0.651, homeware: 0.704, universities: 0.715, std = 0.026), unlike other models which produced variable results per category. All models performed better on screenshots from universities category, likely because academic sites share similar patterns in layout structure and design. Conversely, websites from the fashion category showed the lowest prediction performance due to diverse layout structure, colour schemes and image-rich content.

Presented evidence-based findings can be used as a guidance for selecting a model for website aesthetics prediction. CLIP-Base models can be an optimal choice, as multi-modal learning aligns visual features with natural language, which can potentially capture aspects relevant for aesthetic judgement. Future work should further explore the influence of model characteristics on prediction accuracy, such as scale (number of parameters) and input image resolution. Another promising areas of exploration are: web-specific pre-training on UI datasets, multi-task learning combining aesthetics with usability prediction, and cross-dataset generalization to diverse website types.

References

[1] S. Eisbach, F. Daugs, M. T. Thielsch, M. Böhmer, and G. Hertel, “Predicting rating distributions of website aesthetics with deep learning for AI-based research,” *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 30, no. 3, Art. 37, pp. 1–28, Jun. 2023, doi: 10.1145/3569889.

[2] M. D. Chounchenani, A. Shahbahrami, R. Hassanpour, and G. Gaydadjiev, “Deep learning based image aesthetic quality assessment: A review,” *ACM Computing Surveys*, vol. 57, no. 7, Art. 183, pp. 1–36, Jul. 2025, doi: 10.1145/3716820.

[3] A. Miniukovich and K. Figl, “Dataset of user evaluations of prototypicality, aesthetics, usability and trustworthiness of homepages of banking, e-commerce and university websites,” *Data in Brief*, vol. 52, p. 109976, 2024, doi: 10.1016/j.dib.2023.109976.

UDC 681.5.015

USING OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE CONTROL OF ENTERPRISES

Dyadun S.V. (s.v.dyadun@karazin.ua)
V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)

The report analyzes the current state and means of using information technologies in enterprise control, assessing their impact on the effectiveness of the enterprise. The characteristics of the automatization systems of enterprise control have been made, the system of control of business processes of an industrial enterprise has been considered, the criteria for the choice of the system have been formulated, the requirements for the information system have been considered, the methods for improving the use of information technologies at enterprises have been determined.

The rapid development of information computer technologies, the improvement of the technical platform and the emergence of fundamentally new classes of software products have led to a change in approaches to automation of production control. In today's environment, effective control is a valuable resource of the organization and becomes one of the areas of improvement of the enterprise. The most obvious way to increase the efficiency of the workflow is to automatize it. The rapid development of information computer technologies, the improvement of the technical platform and the emergence of fundamentally new classes of software products have led to a change in approaches to automation of production control.

The main direction of the restructuring of control and its radical improvement, adaptation to modern conditions was the widespread use of the latest computer and telecommunications equipment, the formation of high-performance information and control technologies on its basis. Applied informatics tools and methods are used in control and marketing. New technologies based on computer technology require radical changes in the organizational structures of control, its regulations, human resources, documentation system, recording and transmission of information. Of particular importance is the introduction of information control, a greatly expanding opportunity for companies to use information resources. The development of information control is associated with the organization of data processing and knowledge systems, its consistent development to the level of integrated automatized control systems, covering vertically and horizontally all levels and units of production and marketing.

The most important problems associated with the use of modern technologies in the information environment of the enterprise, include the lack of the necessary theoretical and methodological substantiation and practical recommendations provided by the latest computer tools in the field of human resources control.

The use of information technologies aims to offset the organizational complexity of the enterprise. Previously, this was achieved through the compilation of complex calculations and the processing of documentation in very large volumes. Nowadays, horizontal and vertical models of interconnections, whose structures in turn are constantly changing, are constantly complicated. Previously, enterprises have installed powerful processing systems, which have prepared a large number of digital reports, on the basis of which the control of economic activity was subsequently carried out. Currently, enterprise information is processed within a variety of systems. Making them widely available to all employees (as well as external partners) and thus facilitating creative decision-making can be an important success factor for many businesses. Setting this goal is what senior management needs to manage change. Virtual, super industry business integration groups can become an organizational lever in its achievement. The goal in this case could be an integrated approach to interconnected technological, social, functional and economic processes.

It is necessary to develop and implement technologies that can be used to keep up-to-date with the events of managers and their decision-makers in a context of decentralization. New information technology systems should provide not specific abstract economic system, but specific partners involved in the economic process. The need to consider information technology as a means of processing data and compressing internal and external information has long since disappeared. With this technology, information is extracted from the data for the needs of the user. The issue of commercially viable interfaces and the transfer of shared knowledge between organizational units and cooperative partners are important. Rapid development of networks of local systems with regional and international structure leads to widespread attraction of telecommunication facilities. Organizationally, this leads to the elimination of

the boundaries of the enterprise. The creation and operation of an appropriate communication structure for such "virtual enterprises" relate to information control tasks based on information technologies. The point is not only the processing of information, but also the rational distribution of knowledge.

World experience in the use of information technology shows that the "backbone" of a single information control system of an enterprise is a system of managing business processes of the enterprise. Necessary elements are the systems of automatization of design activity and technological preparation of production, providing reduction of time of a production cycle and improvement of quality of production, and also a system of control of technological process of production. Binding software must ensure the interoperability of all these solutions within a single information and analytical enterprise control system.

The report analyzes the current state and means of using information technologies in enterprise control, assessing their impact on the effectiveness of the enterprise. The characteristics of the automatization systems of enterprise control have been made, the system of control of business processes of an industrial enterprise has been considered, the criteria for the choice of the system have been formulated, the requirements for the information system have been considered, the methods for the improvement of information technologies at the enterprises have been determined.

UDC 681.5.015

INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE CONTROL OF TOURISM ORGANIZATIONS AND HOTELS

Dyadun S.V., Oleshko O.I. (s.v.dyadun@karazin.ua, oleg.oleshko@karazin.ua)
V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)

In this report examines the possibilities of using automatized computer systems in the work of tourism organizations and hotels, their use in organizing information flows, and optimizing document control. Automatization and widespread use of computer technology have become one of the most pressing issues in the tourism and hotel industries. The report focuses on ways and opportunities to improve existing automatized computer systems in tourism organizations and hotels.

The creation of powerful computer systems for booking accommodation and transport, excursion and cultural and health services, the introduction of the latest technology in the tourism sector, information on the availability and accessibility of certain types of trips, routes, tourism potential of countries and regions - the whole range of these issues, taking into account the development of integration processes, is the main one in the current and future activities of the World Tourism Organization.

Information is the main link in the tourism industry. Providers of tourism services use a number of communication technologies that can provide direct satellite coverage of international events, doing business through teleconferences from mobile communications. To obtain information about the place of stay, its attractive features, various video tools are also needed. As a result of the use of information technologies, the safety and quality of tourism services increase.

Information technologies support the activities of airlines. In the process of organizing, controling and monitoring air operations, electronic systems play a huge role, helping with route and schedule planning, flight control and analysis, personnel control, accounting and long-term planning. They include a message transmission and forwarding system, a satellite system for collecting and transmitting information for air transport, inertial navigation systems, an air transportation control system, an airline ticket sales system, etc.

It is impossible to ensure a high level of service in a hotel in modern conditions without the use of new technologies. New technologies provide for the automatization of many hotel processes, electronic reservations, the introduction of technologies that help improve the quality of service while reducing personnel. Automatized systems are aimed at increasing labor productivity, raising the level of knowledge of senior control. Computers are widely used in central information and computing centers of hotels. With their help, reservations are controled, visitors are recorded, hotel rooms are allocated, inventory is recorded, food supplies are monitored, etc.

International and domestic tourism is a powerful industry for the trade in services. The basis of the tourism industry is made up of tour operators and travel agents engaged in tourist trips, selling them in the form of vouchers and tours; providing services for the accommodation and meals of tourists (hotels, campsites, etc.), their movement around the country, as well as control, information, advertising bodies for the study of tourism and the training of personnel for it, enterprises for the production and sale of goods in tourist demand.

Tourism is an information-intensive activity. There are few other industries in which the collection, processing, use and transmission of information are as important to daily functioning as in the tourism industry. A service in tourism cannot be displayed and viewed at the point of sale, like consumer or producer goods. It is usually bought in advance and far from the place of consumption. Thus, tourism in the marketplace depends almost entirely on images, descriptions, means of communication and transmission of information.

However, one feature stands out - the connecting center that holds the various producers within the tourism industry is information. It is information flows, not goods, that provide the links between producers of tourism services; they come not only in the form of data flows, but also in the form of services and payments.

Services (for example, overnight stays in hotels, car rentals, package tours and seats on airplanes) are not sent to travel agents, who, in turn, do not store them until they are sold to consumers. Information about the availability, cost and quality of these services is transmitted and used. In the same way, real payments are not transferred from travel agents to tour suppliers, and commissions are not transferred from tour suppliers to travel agents.

Three characteristic features of tourism can be distinguished. Firstly, it is a diverse and integrated trade in services. Secondly, it is a complex service, both from the point of view of the producer and the consumer. Finally, it is an information-rich service. Therefore, tourism - both international and domestic - is an area of growing application of information technologies.

Travel agents and tour operators actively use information technologies - without their computer reservation systems, video systems, and systems of interacting video texts - it is impossible to imagine daily planning and management of operations. Computer reservation systems have a huge impact on the entire tourism industry.

The creation of automatized computer reservation and booking systems greatly accelerates and simplifies for the end user (travel company or individual tourist) the process of creating routes, choosing a carrier company based on price or other criteria. The telephone and fax have given way to computer equipment that helps to make hotel room, plane or car reservations quickly and efficiently. The information technology system used in tourism consists of a computer reservation system, a teleconferencing system, video systems, computers, control information systems, airline electronic information systems, electronic money transfer, telephone networks, mobile communications, etc. It should be noted that this technology system is not deployed by travel agents, hotels or airlines individually, but by all of them. Moreover, the use of the information technology system by each segment of tourism is important for all other parts. For example, hotel internal control systems can be linked to computer global networks, which in turn provide the basis for communication with hotel reservation systems, which, in the opposite direction, can be accessed by travel agents through their computers. Consequently, we are dealing with an integrated information technology system that is spreading in tourism. Thus, it is not computers, telephones, or video terminals that are distributed in the tourism industry by themselves - a system of interconnected computer and communication technologies operates here. In addition, individual components of the tourism industry are closely interconnected with each other - after all, many tour producers are involved in each other's activities. All this allows us to consider tourism as a highly integrated service, which makes it even more accessible for the use of information technologies in organization and control.

This report examines ways and opportunities to improve existing automatized computer systems in tourism organizations and hotels.

UDC 614.2+574/578+004.38

THE IMPACT OF QUALITY ATTRIBUTE SELECTION ON COMPARING CQRS WITH EVENT SOURCING ARCHITECTURAL VARIATIONS

Hruzin D.L., Lytvynov O.A. (hruzin_d@365.dnu.edu.ua, lytvynov_o@365.dnu.edu.ua)
Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)

The study addresses the problem of selecting an optimal set of quality attributes for evaluating and comparing Command Query Responsibility Segregation (CQRS) with Event Sourcing (ES) architectural variations. It distinguishes functional and non-functional classes of quality attributes and formalizes a description schema for each class. The work identifies the possible functional attributes and the most suitable non-functional attributes for assessing CQRS with ES architectural variations. It reports the results of an experiment comparing two baseline variations using different sets of quality attributes. The conclusions provide quantitative guidance for selecting an attribute set that minimizes the time required to apply the assessment method without sacrificing accuracy.

As software systems grow in complexity, so do the costs of their development and maintenance. Various architectural approaches are used to build such systems. Among the leading options for building such systems is the combination of CQRS with ES. Given the uniqueness of each system, organizations with high process maturity, for example, those at Capability Maturity Model Integration (CMMI) Level 4 (Quantitatively Managed), which focuses on predictable quantitative performance improvement, accumulate multiple CQRS with ES architectural variations [1] in their knowledge bases as a result of successfully completed projects. These variations are structurally and operationally similar, since they are all forms of the same architecture, yet they significantly affect development costs and the resulting system quality (i.e., how well the system meets its requirements). Consequently, choosing among architectural variations [1] is a critical part of the design phase in the context of cost optimization [2].

One of the cornerstone tasks in comparing architectural variants is selecting the quality attributes (QAs) [3] on which evaluation and comparison are based. A suboptimal choice can undermine accuracy, either by omitting critical attributes or by including too many low-value ones, which, during trade-off analysis, may decrease the influence of the important attributes and negatively affect the assessment results.

Thus, the goal of this work is to improve accuracy and reduce the time required to evaluate and compare CQRS with ES architectural variants by choosing an optimal set of QAs.

To achieve this aim, the following objectives are accomplished: (1) select an optimal subset of QAs for evaluating CQRS with ES variations; (2) decompose the QAs into components; (3) formalize the description schema for each component type; (4) conduct an experiment comparing both the results and the time required to apply the evaluation method under different sets of QA components.

A wide range of software QAs exists (e.g., Reliability, Performance Efficiency, etc.), which typically correspond to non-functional requirements. These quality attributes are organized across various models [4][5], such as McCall's, Boehm's, and Dromey's. The most comprehensive coverage is provided by ISO/IEC 25010:2023 + ISO/IEC 25019:2023 [4].

Some software architecture evaluation methods consider a single criterion (e.g. modifiability in software architecture analysis method or performance in a method for the performance assessment of software architectures). Other methods, such as Architecture tradeoff analysis method (ATAM) [6], operate over multiple QAs. In such approaches, the set of QAs is typically chosen by the evaluation team, and priorities are established through expert judgment. While effective in practice, this procedure is not optimal given the influence of human factors.

The key QAs relevant to CQRS with ES can be derived analytically as follows.

Firstly, despite the importance of the full spectrum of QAs, specialized sources on CQRS with ES emphasize that its main benefits are improved performance and scalability [7][8], whereas its principal drawbacks arise from adding risky complexity into the system [9]. Likewise, architectural variants are primarily devised to pursue two goals: reducing complexity and increasing performance – i.e., making the system cheaper to develop and maintain, and faster in operation. Complexity translates directly into the team's skill requirements and design and implementation costs, whereas performance often imposes hard constraints: when observed metrics fail to meet requirements, the architecture must be substantially modified or migrated to alternative variation.

Secondly, approaches like ATAM explicitly call for prioritizing only the highest-risk QAs, using a utility tree and trade-off analysis, instead of exhaustively evaluating every attribute enumerated by standard quality frameworks [10].

Thirdly, according to [11], QAs are best suited to architectural evaluation when they possess strong *explainability* and *reproducibility*. In the context of CQRS with ES, where variations represent implementations of the same paradigm, many factors (e.g., testability, coupling, deployability, etc.) tend to be almost identical and are enforced as mandatory infrastructure requirements. Consequently, these attributes score low on explainability in this context.

Thus, the study confines the evaluation to two QA (performance and complexity) given their superior ability to discriminate among variations and their direct linkage to project costs and risks. The remaining qualities are enforced as hard constraints and do not materially influence the selection.

QAs, such as "performance" or "modification complexity", should be refined into measurable indicators tied to classes of system use cases (Operational QA components, OQACs). This concretization resembles the decomposition of Usability into components (e.g., Learnability, Attractiveness, etc.) [12], but it offers a more granular treatment: it examines each attribute from multiple perspectives, across different stages of the system lifecycle, and with an explicit linkage to the relevant use case class. Such refinement reduces evaluator ambiguity and makes results comparable and transparent.

Another type of QA components can be derived from the architecture's problem space [1] – the problem-space-derived QA components (PSQACs). By analogy with the Taguchi method, they correspond to the noise factors in a P-diagram [13], while the control factor in this analogy is the choice of architectural variation. Examples include "expected frequency of changes to event types" or "expected frequency of user data deletion due to GDPR requirements". These parameters, in turn, modulate OQACs values. It is not accurate to claim that one architectural variation is always simpler or more performant than another. There are cases where implementation complexity or performance depends on parameters, such as the read/write intensity ratio or the number of dependent events. As shown in [14], when the number of causal events is small, one variation exhibits lower complexity, whereas with many causal events the advantage shifts to another.

Thus, each QA consists of a collection of components, and each component is represented as a frame instance [15] of a certain type. In the context of the CQRS with ES architecture, two principal frame types are defined:

- For OQACs: *{⟨QA_{term}, value (e.g., performance, complexity), required⟩, ⟨lifecycle-stage refinements, value (e.g., development and modification complexity), optional⟩, ⟨$QA_{category}$, value (e.g., design, implementation, and testing complexity), optional⟩, ⟨process / class of processes, value required⟩, ⟨metric and measurement units, value, required⟩}*. E.g.,: «realization complexity of modifying a process in the commands for typical entity creation class – person-hours per change».

- For PSQACs: *{⟨Phenomenon, value (probability/presence of the phenomenon in the target system), required⟩, ⟨metric and measurement units, value, required⟩}*. Example: "probability of a cascade of dependent events – a value in the interval [0, 1], estimated from statistics."

To demonstrate the benefit of QA refinement, the experiment on a representative test project that reflects a class of projects for which the mCQRS variation is more appropriate was conducted. Measurements covered (i) the time needed to apply DSAV-CQRSES [1] and (ii) the extent to which the results point to mCQRS variation. Each evaluated across alternative QA sets (Table 1).

Table 1 – Applicability of the architectural variation to the Representative Test Project.

Variation	Performance / Complexity	OQACs	OQACs + PSQACs
mCQRS	50	52.5	54.7
Classical CQRS	50	47.5	45.3
Application time	20 hours	8 more hours (28)	3 more hours (31)

In this work: (1) the optimal quality attributes for evaluating and comparing CQRS with ES architectural variations are defined; (2) the quality attributes are decomposed into components; (3) components are represented as frames, and their structure is formalized using defined frame types; (4) the experiment shows that relying only on high-level quality attributes fails to reveal differences between variations, whereas decomposing into individual components (that increases application time by a factor of 1.4) does reveal distinctions that enable recommending a specific variation. An even more accurate

result is obtained by using components, elicited from architectural issues. In addition, the decomposition not only refines the evaluation outcome but also indicates which specific component exerts a critical influence on the applicability of a given variation.

References

[1] O. Lytvynov and D. Hruzin, "Decision-making on Command Query Responsibility Segregation with Event Sourcing architectural variations," Technology audit and production reserves, vol. 4, no. 2, Aug. 2025, doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.337168.

[2] A. Bant. "Cost Optimization Done Right – Even in a Volatile Economy" www.gartner.com. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online.] Available: https://www.gartner.com/en/insights/cost-optimization

[3] M. Barbacci, M. H. Klein, T. Longstaff, C. B. Weinstock, "Quality Attributes," Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, Rep. CMU/SEI-95-TR-021, ESC-TR-95-021, Dec. 1995.

[4] D. Gobov, O. Zuieva, "Software Quality Attributes in Requirements Engineering," International Journal of Information Technology and Computer Science, vol. 17, no. 4, Aug 2025, doi: https://doi.org/10.5815/ijitcs.2025.04.04.

[5] S. Aljarallah R. Lock, "A Comparison of Software Quality Characteristics and Software Sustainability Characteristics," presented at the ISCSIC 2019: 2019 3rd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control, Amsterdam, Netherlands, Sep. 25 - 27, 2019, pp. 1-11, doi: 10.1145/3386164.3389078.

[6] D. Sobhy, R. Bahsoon, L. Minku, R. Kazman, "Evaluation of Software Architectures under Uncertainty: A Systematic Literature Review," ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, vol. 30, no. 4, Jul. 2021, doi: https://doi.org/10.1145/3464305.

[7] Microsoft documentation "CQRS pattern" learn.microsoft.com. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online.] Available: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/cqrs

[8] Microsoft documentation "Event Sourcing pattern" learn.microsoft.com. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online.] Available: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/event-sourcing

[9] M. Fowler "CQRS" martinfowler.com. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online.] Available: https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html

[10] R. Kazman, M. Klein and P. Clements, "ATAM: Method for Architecture Evaluation," Product Line Systems, Pittsburgh, PA, USA, Rep. CMU/SEI-2000-TR-004, ESC-TR-2000-004, Aug. 2000.

[11] D. D. Pompeo, M. Tucci, "Quality Attributes Optimization of Software Architecture: Research Challenges and Directions," presented at the 3rd International Workshop on Model-Driven Engineering for Software Architecture (MDE4SA 2023), Jan. 8 2023, doi: https://doi.org/10.1109/ICSA-C57050.2023.00061.

[12] J. Nielsen, "What Is Usability?", in *User Experience Re-Mastered*, 1st ed., Elsevier, 2009, pp. 3-22.

[13] S.K. Karna and Dr. R. Sahai, "An Overview on Taguchi Method", International Journal of Engineering and Mathematical Sciences, vol. 1, Jun. 2012, pp. 11-18.

[14] O. Lytvynov and D. Hruzin, "Critical causal events in systems based on CQRS with Event sourcing architecture," Radio Electronics Computer Science Control, no. 3, Nov. 2024, doi: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-11.

[15] M. Minsky, "A Framework for Representing Knowledge," MIT Research Lab, Cambridge: MIT-AI Laboratory Memo 306, Jun 1974.

UDC 004.94:621.43.016

INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING WEAR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDERS

Keyda A.A., Cherevko S.L., Lymar O.O., Marchenko D.D.
(limaroo@mnau.edu.ua, marchenkodd@mnau.edu.ua)
Mykolayiv National Agrarian University (Ukraine)

In the course of the scientific work, the methodology for calculating the wear characteristics of internal combustion engine cylinders was investigated. The factors that have the greatest impact on the

wear of friction surfaces in the cylinder -piston group of an internal combustion engine were analyzed. Based on the conditions that affect the intensity of cylinder wear, it was found that a number of factors can be neglected and their values can be taken as fixed, increasing or decreasing wear depending on the type of fuel and lubricants used.

Determining cylinder wear by calculation methods and predicting engine durability is of great practical importance. In addition, determining the wear diagram of designed engines is necessary for developing the optimal technology for manufacturing cylinders that ensure maximum engine life during operation. Obtaining an operational diagram of cylinder wear of created engines requires a lot of time (several years) and large material costs [1]. For reliability, this must be data on many engines and for a long period of time. Creating a mathematical model for calculating cylinder wear significantly speeds up and significantly reduces the cost of obtaining the necessary results. But so far, a comprehensive and reliable method for calculating cylinder wear has not been created. This is due, first of all, to the huge number of factors that affect the wear of internal combustion engine cylinders and their different effects in different engines and different operating conditions.

All factors affecting the intensity of cylinder wear can be divided into two groups: internal and external. Internal factors include, first of all, factors that cannot be changed during operation, these are: design features of the engine and physical and mechanical properties of materials of rubbing parts (bushings, rings, pistons) [2 - 4]. External factors include a lot of conditions that can change during operation. These are: used oils, cleanliness of air, fuel and oil operating modes (load, speed, thermal mode); indicator parameters of engine operation (compression ratio, boost ratio, maximum combustion pressure, gas temperature, etc.).

But the main difficulty lies in the fact that external factors affecting the friction of the rings against the cylinder vary depending on the position of the piston along the height of the cylinder and are different at each point. Even with all the known internal and external factors of influence, the cylinder wears out from the friction of the piston rings (and there are from 3 to 8 of them on the piston) and the piston [5]. Moreover, each ring works in different conditions and friction zones, so we can conclude that cylinder wear is the result of the integral influence of all factors.

When building a mathematical model of cylinder wear, the main difficulty is to determine and isolate the main factors, the influence of which on cylinder wear is decisive. To reduce the number of variables, it is necessary to make reasonable assumptions and isolate the main ones. In modern engines with a reliable air and fuel cleaning system and when using high-quality oils, the influence of these factors can be ignored and accepted as constants that shift the wear curve proportionally towards increasing or decreasing wear depending on the type of fuel or oil used.

The physical and mechanical properties of the materials of the rubbing parts do not affect the nature of the wear diagram, but affect the absolute values of the wear value and therefore they can also be ignored.

Factors that cannot be ignored include friction, which objectively exists and varies along the height of the pressure cylinder, piston speed and cylinder surface temperature, i.e. according to the authors, the main factors affecting cylinder wear are:

- gas pressure in the cylinder;
- instantaneous piston speed;
- cylinder wall surface temperature.

As for other internal and external factors, they can be considered secondary, and in the first approximation they can be ignored, since the influence of these factors on the wear diagram is not manifested in a change in its qualitative nature, but is reduced only to a change in the wear diagram as a whole by a constant value in the direction of decrease or increase. Such, for example, is the influence on the wear diagram of fuel or lubricant: in modern engines that have a reliable air and fuel purification system, when using high-quality lubricants, it can be assumed that the constant change in the wear diagram is determined by the type of fuel or lubricant used [6]. Similarly, the change in the diagram is influenced by the physical and mechanical properties of the materials of the rubbing parts - rings, piston and cylinder.

Regarding the accounting of certain factors or the calculation of the wear diagram, it is necessary to emphasize the following: the developed methodology for calculating wear characteristics is constructed in

such a way that, if necessary, it allows its expansion in the direction of accounting for both the main and all secondary factors that in one way or another affect the wear diagram [7].

Thus, the following conclusions can be drawn:

- Changing engine operating modes significantly affects the nature and amount of wear on diesel engine cylinder liners.
- For each diesel engine, there is an optimal crankshaft speed at which bushing wear is minimal.
- An increase in the compression ratio and maximum combustion pressure leads to further differentiation of the bushing wear intensities in the upper zone and in the rest of its part.
- Increasing the degree of inflation has a positive effect on the nature of the bushing wear pattern, leveling it.
- Increasing the temperature of the bushing surface reduces the intensity of wear and has a positive effect on the service life of the parts of the cylinder -piston group.

The most desirable way to increase engine power is to increase the boost ratio when the engine is operating at optimal speeds and to ensure the maximum possible and permissible temperature level of the cylinder - piston group parts internal combustion engine cylinders was investigated. The factors that have the greatest impact on the wear of friction surfaces in the cylinder - piston group of an internal combustion engine were analyzed. Based on the conditions that affect the intensity of cylinder wear, it was found that a number of factors can be neglected and their values can be taken as fixed, increasing or decreasing wear depending on the type of fuel and lubricants used.

References

[1] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

[2] R. Isermann, *Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines*, 2nd ed. Cham: Springer, 2017.

[3] P. D. Walker, N. Zhang, and R. G. Longoria, "A model-based condition monitoring system for internal combustion engine wear using dynamic performance indicators," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 110, pp. 267–281, 2018. doi: 10.1016/j.ymssp.2018.03.014.

[4] S. Singh, A. Rehman, and D. Kumar, "Condition monitoring of IC engine using machine learning techniques: A review," *Engineering Failure Analysis*, vol. 142, p. 107714, 2023. doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.107714.

[5] M. Zhang, H. Wang, and Q. Li, "Intelligent fault diagnosis of diesel engines based on vibration and acoustic signals using deep learning," *Applied Acoustics*, vol. 189, p. 108609, 2022. doi: 10.1016/j.apacoust.2022.108609.

[6] D. Marchenko and K. Matvyeyeva, "Study of wear resistance of cylindrical parts by electromechanical surface hardening," *Problems of Tribology*, vol. 29, no. 1(111), pp. 25–31, 2024. doi: 10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.

[7] O. Lymar and D. Marchenko, "Prospects for the application of restoring electric arc coatings in the repair of machines and mechanisms," in *Proc. 2022 IEEE 4th Int. Conf. Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2022. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005709.

UDC 004

CONCEPTUAL DESIGN OF A BUS TICKET SALES SERVICE MODULE

Anastasiia Kylynnyk (Anastasiia.Kylynnyk@hneu.net)
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (Ukraine)

The development of the digital economy requires process automation. The research focuses on the development of a bus ticket sales module, which includes database modelling, user interface and order/payment processing logic to improve the efficiency of transport companies.

The activities of modern Ukrainian society in a market economy are closely linked to the use of information systems and technologies. The development of the digital economy, particularly in the field of e-commerce, requires specialists to have knowledge of algorithmisation, programming, modelling and

designing information systems, organising databases, as well as skills in the effective management of large amounts of information.

One promising area in the transport industry is the incorporation of information technologies, particularly in automating passenger ticket sales processes. Modern information systems can enhance customer service quality, provide convenience and speed in ticket issuance, and optimize the management of flights, seats, payments, and routes.

The development of a bus ticket sales module is an urgent task that requires modern design approaches. This includes building effective database structures, creating a user-friendly interface, and implementing the logic for order processing and payment. Integrating this module into a unified information system for a transport enterprise can significantly enhance its efficiency.

Table 1.The data dictionary

Element name	Identifier	Type and length	Element purpose
Ticket	Tickets_ID	INTEGER	Stores a unique ticket identifier.
Users	Users_ID	INTEGER	Stores a unique user identifier.
Trips	Trips_ID	INTEGER	Stores the flight ID for which the ticket was purchased.
Routes	Routes_ID	INTEGER	Stores the route ID on which the ticket was purchased.
Seat	SeatNumber	INTEGER	Retains seat number on flight.
Ticket Price	TicketPrice	REAL	Retains the original ticket price.
Discount	Discount	TEXT	Retains the discount applied to the ticket.
Date of ticket purchase	PurchaseDate	TEXT	Stores the date of ticket purchase.
Flight date	FlightDate	TEXT	Saves the flight date.
Passenger	PassengerName	TEXT	Stores the name of the passenger who purchased the ticket.
Payment	Payments_ID	INTEGER	Stores a unique payment identifier.
Payment amount	PaymentAmount	REAL	Stores the amount paid for the ticket.
Payment date	PaymentDate	TEXT	Stores the date of payment.
Payment type	PaymentType	TEXT	Stores the payment type.
Payment status	PaymentStatus	TEXT	Stores the ticket payment status.
Route	Routes_ID	INTEGER	Stores the route ID that is part of the journey.
Departure time	DepartureTime	TEXT	Stores the departure time from the current route stop.
Arrival time	ArrivalTime	TEXT	Stores the arrival time at the current route stop.
Distance from the start of the route	DistanceFromStart	REAL	Stores the distance from the initial stop of the route to the current one.
Cost from the initial stop	PriceFromStart	REAL	Stores the fare from the initial stop to the current one.
Date of operation in the schedule	OperatingDay	TEXT	Stores the day of the week when the flight takes place.
Departure time	DepartureTime	TEXT	Stores the departure time of the flight in the schedule.
Arrival time	ArrivalTime	TEXT	Stores the flight arrival time in the schedule.
Employee ID (Manager)	Manager_ID	INTEGER	Stores the manager's unique identifier.
Employee position	Position	TEXT	Stores the manager's position in the organisation.

ITBOHTY

The provision of bus ticket sales services is closely connected to the collection, processing, and storage of large amounts of diverse information. In today's environment, this process is increasingly facilitated by e-commerce, which enables efficient organization for transport companies, particularly bus operators. This is achieved through the automation of sales, reservations, payment processing, and data analysis.

The sale of bus tickets in electronic format is a process in which the customer can view available flights, book a seat, make a payment, and receive an electronic ticket without having to visit the bus station in person. To implement this process, it is necessary to develop a comprehensive information system that includes a flight database, a user registration and accounting system, an interface for route selection, a payment subsystem, and a module for storing electronic tickets.

The data dictionary is detailed in Table 1, and the physical model of the project is illustrated in Figure 1.

A company that provides bus ticket sales services performs the following main functions:

registration of managers with the storage of personal data such as name, surname, contact information;

systematisation and storage of flight information, including route, departure and arrival times, number of available seats, fare;

processing orders – customer route selection, seat reservation, booking confirmation;

payment processing through integration with electronic payment systems (bank cards, e-wallets);

providing an electronic ticket after successful payment – in the form of a PDF document.

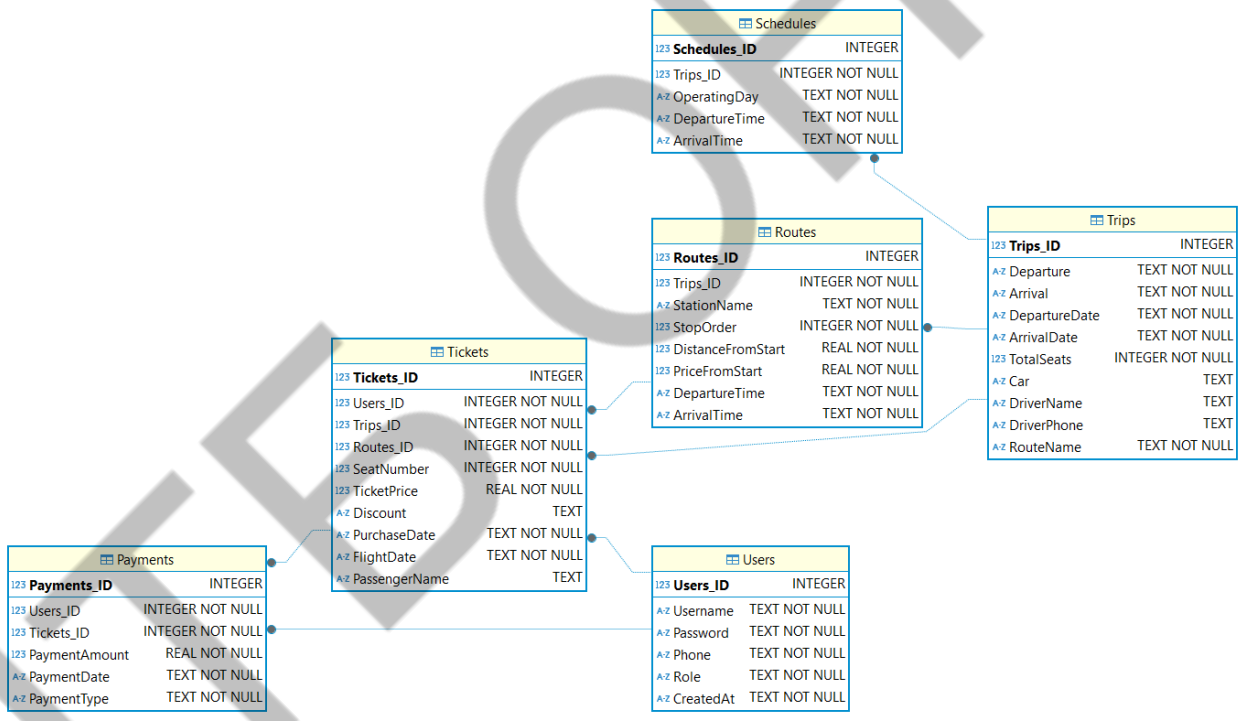


Figure 1. Physical model «Bus ticket sales service»

References

7. Проєктування інформаційних систем : Бази даних: [Електронний ресурс] :навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. І. Жученко,Л. Д. Ярощук. – 2-ге вид., допов. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,8Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 166 с.

8. Анісімов А.В., Кулябко П.П. Інформаційні системи та бази даних:Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук такібернетики. - Київ. – 2017. – 110 с.

9. Методологія інформаційних систем та баз даних: теоретичний і практичний підходи : навч. посібник / уклад. Ю.О. Ушенко,М.Л. Ковальчук, М.С. Гавриляк, А.Л. Негрич. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 240 с.

UDC 004.6.056.55(043.2)

DATA ENCRYPTION METHODS IN RELATIONAL DATABASES

Lavreniuk A.O., Romaniuk O.V., Maidaniuk V.P.
(arsenlavreniuk@gmail.com, romaniukoksanav@gmail.com, maidaniuk2000@gmail.com)
Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

The theses provides a critical analysis of data encryption methodologies applied to Relational Database Management Systems (RDBMS). Driven by stringent regulatory mandates, such as GDPR and HIPAA, encryption is an architectural imperative for protecting sensitive data at rest and in transit. The report details three core strategies: Transparent Data Encryption (TDE), Column-Level Encryption (CLE), and Application-Level Encryption (ALE), assessing their security guarantees against evolving threat models, particularly insider risk. The analysis indicates that high-assurance security depends critically on secure key management facilitated by specialized systems, such as Hardware Security Modules (HSM) and Extensible Key Management (EKM) systems, which enforce the crucial principle of separation of duties. Furthermore, the report explores the significant functional challenges posed by encrypted data, including indexing and lookup complexities, introducing specialized cryptographic solutions like Order-Preserving Encryption (OPE) and analyzing the inherent security trade-offs these techniques present.

Introduction: The Imperative of Relational Database Encryption

Relational Database Management Systems (RDBMS) serve as the indispensable backbone for nearly all enterprise data operations, handling massive volumes of sensitive information. Historically, cybersecurity efforts focused heavily on network perimeter defense; however, modern threat modeling recognizes that perimeter defenses are often circumvented. If a system environment is successfully penetrated, the focus must shift to protecting data at rest, making cryptographic protection an architectural necessity [1-2].

The necessity of RDBMS encryption is significantly amplified by stringent global data privacy regulations. Both the EU's GDPR and the US's HIPAA mandate the encryption of sensitive personal data and Personal Health Information (PHI) both at rest and in transit. Encryption is explicitly required as a foundational security measure, and failure to adequately encrypt sensitive data can lead to severe penalties and heightened legal consequences during a post-breach investigation [3-4].

RDBMS encryption techniques are categorized based on their cryptographic boundary – the point in the data lifecycle where encryption and decryption occur. This report focuses on three primary architectural methods, moving progressively closer to the application layer and offering increasingly stronger protection against internal threats: Transparent Data Encryption (TDE), Column-Level Encryption (CLE), and Application-Level Encryption (ALE). The selection among these methods requires careful consideration of security guarantees, performance overheads, and implementation complexity.

Transparent Data Encryption (TDE)

Transparent Data Encryption (TDE) is a database feature designed to protect data at rest by encrypting the entire database storage, including database files, associated transaction logs, and all automated backups. The process is inherently "transparent" to applications and users, which retrieve plaintext data without needing to manage encryption keys. TDE operates at the I/O layer, intercepting and encrypting data pages as they are written to disk [5-6].

The primary advantages of TDE are its high degree of application transparency and its comprehensive coverage for stored files and backups, making it the simplest option for retrofitting encryption onto legacy systems. This makes TDE an attractive option for achieving an essential regulatory baseline for data protection against passive threats such as media theft [6-7].

However, TDE provides limited protection against active insider threats, such as malicious or compromised database administrators (DBAs). Since the decryption keys must be loaded into the database engine’s memory while the system is operational, a privileged adversary with access to the running server can often compromise the data. Performance overhead is typically moderate, manifested as increased CPU consumption. This impact can be mitigated by leveraging hardware acceleration [6; 8].

TDE is the optimal choice for organizations requiring a broad, easily deployable cryptographic measure to satisfy compliance mandates concerning data at rest, logs, and backups. In modern enterprise

environments, TDE's efficacy against high-privilege threats is enhanced by integrating an external Key Management System (EKM) or Hardware Security Module (HSM) to secure the cryptographic control plane [7; 9].

Column-Level Encryption (CLE)

Column-Level Encryption (CLE), also known as cell-level encryption, shifts the cryptographic focus to specific, highly sensitive data fields within a table, such as credit card numbers or medical identifiers. This method requires utilizing RDBMS-specific functions and capabilities (e.g., the pgcrypto module in PostgreSQL) . The application or client typically supplies the decryption key, and the RDBMS server executes the encryption/decryption function as part of the SQL query processing [2].

The strength of CLE lies in its granularity, allowing organizations to apply cryptographic controls precisely where they are needed, minimizing the overall performance overhead compared to full database encryption. This targeted approach can also offer potentially improved protection relative to TDE, as keys are often managed at a more granular level by the client application [2].

However, CLE introduces substantial architectural and security vulnerabilities. It necessitates significant application dependency, forcing modifications to SQL code and application logic to handle explicit encryption and decryption functions. More critically, CLE exposes a security vulnerability during runtime known as transient data exposure. The decryption key and the plaintext data must be momentarily present in the RDBMS server's memory while the data is processed, indexed, and transmitted, allowing a system administrator with complete access to the server to intercept the decrypted data or the key. Furthermore, encrypting columns renders traditional B-tree indexes ineffective, severely impairing indexing and querying functionality [10].

CLE is best suited for niche applications where extreme granularity is necessary, and where the risk of the system administrator intercepting the transient data or keys from server memory is considered negligible or is managed through strict procedural controls.

Application-Level Encryption (ALE)

Application-Level Encryption (ALE) executes the encryption and decryption processes entirely within the application layer, outside the RDBMS environment. The database is configured to act strictly as a persistent storage layer that receives and stores only ciphertext. The database never processes plaintext data or holds the primary key material required for decryption, making this architectural pattern fundamental to modern Zero Trust infrastructures [11-12].

ALE provides the highest level of security assurance against sophisticated threats. By ensuring that the database never handles plaintext or the required keys, ALE effectively neuters threats originating from malicious DBAs, adversarial OS administrators, and SQL injection attacks. A successful attack on the database results only in the compromise of useless, encrypted data. This capability is critical for compliance and risk reduction, particularly in industries governed by strict regulations [12-13].

The significant security benefits of ALE come with substantial complexity. Implementation requires major development effort to embed encryption logic, manage cryptographic libraries, and handle complex key rotation processes within the application code itself. Performance overhead is shifted entirely to the application servers. Furthermore, ALE imposes severe restrictions on query functionality. Standard RDBMS functions – sorting, indexing, searching, and applying foreign key constraints – are broken. To enable searching, specialized solutions, such as blind indexes or custom hash-based indexing, are required [6; 12].

ALE is the superior choice for organizations operating in environments with high insider threat profiles or subject to the strictest regulatory compliance requirements, such as financial institutions or healthcare providers . It is best utilized when the organization must minimize its data risk footprint and prove that cryptographic control over the keys remains external to the persistence layer [13].

Secure Key Management Architecture (EKM/HSM)

The process of key management is frequently cited as the most challenging and complex component of any robust encryption deployment. Secure encryption requires the reliable, auditable, and secure handling of the encryption keys throughout their entire lifecycle (generation, storage, rotation, and destruction). Without a controlled key management strategy, even the strongest encryption mechanism is rendered useless if the key is compromised [14].

Specialized hardware or software devices known as Hardware Security Modules (HSMs) are designed specifically to store encryption keys in a secure, tamper-resistant environment, isolated from the servers that host the actual data. This physical separation is a core security principle [9].

RDBMS platforms utilize features like Extensible Key Management (EKM) to securely interface with third-party HSM/KMS modules. The architectural necessity of EKM and HSMs lies primarily in enforcing the principle of separation of duties. By integrating EKM, the keys that protect database files (such as the TDE Master Key) can be stored entirely outside the database server's jurisdiction. This ensures that no single individual or system component possesses both control over the data and control over the mechanism required to decrypt that data, thus protecting data from unauthorized access by DBAs [7; 9].

Functionality Challenges and Specialized Cryptographic Solutions

Encryption fundamentally breaks the ability of a relational database to process data efficiently. Traditional indexing mechanisms, which rely on the deterministic order and content of data values, are rendered "ineffective" when data is obfuscated into ciphertext. Since RDBMS indexes are essential for rapid data retrieval, this breakdown leads to severe performance degradation. Lookup operations require the computationally expensive process of decrypting large segments of data just to find the target record [10].

Addressing this requires a paradigm shift in data access management. Mitigation techniques include the use of realm-based models, where related records are logically grouped into self-contained units, each managed by its own key, or explicit indexing built at the application level using techniques like hash-based indexing. Hash-based indexing allows queries to match encrypted hash values rather than plaintext data, enabling efficient lookups.

To alleviate the severe functional constraints imposed by standard encryption, specialized cryptographic primitives have been developed, such as Order-Preserving Encryption (OPE). OPE is a scheme where the relative numerical order of the plaintext values is maintained after encryption, meaning comparison operations (e.g., greater than, less than) can be directly applied to the ciphertext. This enables efficient operations such as range queries and supports native B-tree index traversal.

While OPE solves a critical functionality problem, it introduces a significant security compromise. OPE fundamentally sacrifices the randomization property of robust encryption to preserve data order. Consequently, existing OPE schemes are known to be vulnerable to known plaintext attacks and statistical attacks, as an attacker who observes the relationship between encrypted values can infer properties about the distribution of the underlying plaintext. OPE should therefore be restricted to data where efficiency gains decisively outweigh the reduction in confidentiality [13].

Table 1 – Comparative Analysis of Core RDBMS Encryption Strategies

Feature	Transparent Data Encryption (TDE)	Column-Level Encryption (CLE)	Application-Level Encryption (ALE)
Security Layer	Storage (Database Files)	Database Runtime (Specific Fields)	Application Logic/Code
Protection Scope	Full database, logs, backups	Highly granular (selected columns)	Highest granularity (specific fields, E2E)
Protection from DBA	Limited (Requires EKM/HSM)	Moderate (Transient exposure risk)	Excellent (Attacks on DB are futile)
Indexing Support	Full, native RDBMS indexing	Requires specialized/custom indexing	Requires blind indexes, complex application queries
Performance Overhead	Moderate (I/O, CPU initialization)	High (Decryption load during query)	High (Centralized in application layer)
Key Management Location	Internal RDBMS or External EKM/HSM	Internal RDBMS or External KMS	Must be External KMS/HSM
Best Use Case	Baseline compliance, protection against media theft	Protecting small, critical subsets of data (PII)	Zero-trust, high insider threat environments

Conclusion: Developing a Comprehensive Protection Strategy

The decision regarding the optimal database encryption strategy must be driven by a nuanced understanding of the organization's specific threat model, regulatory requirements, and functional trade-offs. The ideal approach often involves a layered application of these methods. The synthesis of core attributes is presented in the table 1 below.

The strategic recommendation for modern data security requires aligning the cryptographic protection layer precisely with the highest potential threat vector. If the primary concern is compliance regarding data exposure through stolen hardware, TDE – ideally integrated with EKM – provides a sufficient, easily implemented solution. If a zero-trust mandate or insider risk is the paramount concern, ALE is the required architectural choice, demanding significant development resources but providing maximum cryptographic assurance. The success of any enterprise-level encryption strategy is architecturally inseparable from the implementation of secure, externally managed key systems (EKM/HSM), which enforce the crucial separation of duties.

References

[1] Relational Database Management Systems Compared. [Online]. URL: https://www.emergentsoftware.net/blog/relational-database-management-systems-compared/ [Accessed: October 18, 2025].

[2] Encryption Options. URL: https://www.postgresql.org/docs/current/encryption-options.html [Accessed: October 18, 2025].

[3] GDPR vs. HIPAA: Similarities, Differences, and Tips for Achieving Compliance. [Online]. URL: https://www.exabeam.com/explainers/gdpr-compliance/gdpr-vs-hipaa-similarities-differences-and-tips-for-achieving-compliance/ [Accessed: October 18, 2025].

[4] Selecting the Right Encryption Approach for your Organization. [Online]. URL: https://cpl.thalesgroup.com/encryption/selecting-right-encryption-approach [Accessed: October 18, 2025].

[5] Transparent data encryption (TDE). [Online]. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/security/encryption/transparent-data-encryption?view=sql-server-ver17 [Accessed: October 18, 2025].

[6] What is Application Level Encryption? Benefits & Implementation. [Online]. URL: https://www.piiano.com/blog/application-level-encryption [Accessed: October 18, 2025].

[7] Oracle transparent data encryption and PostgreSQL encryption. [Online]. URL: https://docs.aws.amazon.com/dms/latest/oracle-to-aurora-postgresql-migration-playbook/chap-oracle-aurora-pg.security.encryption.html [Accessed: October 18, 2025].

[8] PostgreSQL performance: Encrypted vs. unencrypted. [Online]. URL: https://www.cybertec-postgresql.com/en/postgresql-tde-performance/ [Accessed: October 18, 2025].

[9] Extensible Key Management (EKM). [Online]. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/security/encryption/extensible-key-management-ekm?view=sql-server-ver17 [Accessed: October 18, 2025].

[10] Advanced Data Security: Challenges of Encrypted Database Indexing and Secure Retrieval with Datasafe. [Online]. URL: https://adorsys.com/blog/advanced-data-security/ [Accessed: October 18, 2025].

[11] Application level encryption solutions. [Online]. URL: https://www.cossacklabs.com/solutions/application-level-encryption/ [Accessed: October 18, 2025].

[12] Application level encryption solutions. [Online]. URL: https://www.infoq.com/articles/ale-software-architects/ [Accessed: October 18, 2025].

[13] Order-Preserving Encryption (OPE). [Online]. URL: https://medium.com/asecuritysite-when-bob-met-alice/order-preserving-encryption-ope-5695504cfda3 [Accessed: October 18, 2025].

[14] Key rotation. [Online]. URL: https://cloud.google.com/kms/docs/key-rotation [Accessed: October 18, 2025].

UDC 004.415

MONOREPOSITORY-DRIVEN DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS AND SOFTWARE COMPLEXES

Maidaniuk V, Khoshaba O (pzmag2022@gmail.com)
Vinnitsia National Technical University (Ukraine)

Abstract. Large-scale information systems (IS) and software complexes increasingly integrate heterogeneous services, interfaces and data pipelines, yet fragmented repositories and brittle cross-team processes often constrain their evolution. This paper presents a monorepository-driven approach to the design of IS and software complexes, treating the repository, the build system, and the release process as a unified socio-technical architecture. We formulate the design problem, derive a set of architectural and organisational constraints from first principles and prior art, and synthesise a method that aligns dependency governance, hermetic builds and continuous delivery with cross-team change management. The contribution is a design framework with actionable rules for repository topology, dependency semantics and CI orchestration, accompanied by an evaluation protocol and quality indicators suitable for pilots in institutional environments. While our focus is architectural, we outline how the approach yields measurable improvements in build determinism, change-coupling visibility and time-to-integration, and we discuss threats to validity and portability to polyglot toolchains.

Keywords: monorepository, information systems design, software complexes, build systems, dependency management, CI/CD, change management, socio-technical architecture

Problem statement. Contemporary IS and software complexes are assembled from many services and libraries that evolve asynchronously. Multi-repository layouts amplify coordination overheads, encourage version skew and impede systematic refactoring. Empirically, teams face three recurrent failure modes: hidden change coupling across repositories, non-deterministic builds due to environment drift, and elongated integration cycles in CI/CD pipelines. The design challenge is to provide a repository-centred architecture that exposes coupling early, enforces reproducibility end-to-end, and enables consistent, organisation-wide refactoring without sacrificing the autonomy of product teams. Existing accounts from industry illustrate feasibility at a considerable scale but offer limited prescriptive guidance for medium-sized institutions operating polyglot stacks and mixed workloads [1], [2].

Objectives. The work pursues four objectives: first, to formalise repository topology and dependency semantics that minimise accidental complexity; second, to specify a build and test substrate that guarantees hermeticity and cacheable execution across languages; third, to align continuous integration with change impact analysis so that cross-project changes are safe by construction; and fourth, to define operational governance for branching, code ownership and review that scales across teams while preserving accountability [1]-[6].

Essence of the method. The proposed method views the monorepository as an architectural artefact rather than a mere storage choice. At the structural level, we model all buildable artefacts - applications, libraries, configuration and documentation - as first-class graph nodes with explicit, acyclic dependencies. Interfaces across bounded contexts are stabilised via versioned API contracts stored in-repo; transitive exposure of internal symbols is disallowed to reduce ripple effects. At the tooling level, we favour a hermetic build substrate with remote execution and content-addressable caching to ensure determinism and parallelism across a heterogeneous estate [2], [3]. Build targets declare all inputs, including toolchains; external dependencies are vendored or pinned via lockfiles to eliminate network variability. At the process level, we replace default trunk-based development with a “change set” protocol: multi-project changes are expressed as atomic, reviewable units that traverse a single CI pipeline capable of selective builds, affected-graph detection, and test partitioning [4]-[6]. Code ownership is expressed as fine-grained metadata attached to paths; reviewers are assigned automatically on the dependency cut. Release engineering adopts “release-as-a-set” for tightly coupled components and “contract-first” publishing for decoupled ones; both modes share provenance and SBOM generation to support compliance. Finally, we integrate telemetry from the build substrate into the design loop: cache hit ratios, flake rates and critical path lengths function as design feedback rather than pure operational metrics [1]-[6], [8].

Research contribution. The contribution is threefold. First, we articulate design rules that make cross-team refactoring tractable: explicit interfaces, prohibition of transitive leaks, and enforcement of no-

cycle policies at the repository root, with automated checks that block violations at review time. Second, we provide an implementation-agnostic evaluation protocol comprising quality indicators for reproducibility, integration latency and change-coupling visibility that can be adopted in pilots without prescribing a specific vendor tool [2]-[6]. Third, we report a portability discussion that maps the rules to polyglot stacks typical of institutional IS: JVM/TypeScript/Python ecosystems with both frontend and data workflows, highlighting where tool-specific affordances differ (e.g., remote execution vs task graph scheduling) while preserving the invariants of the design [3]-[6], [8].

Evaluation protocol (pilot-ready). To enable evidence-based adoption, we define an evaluation protocol suitable for a three-month pilot in an institutional setting. The protocol specifies three primary indicators: time-to-integration (the median wall-clock time from change submission to mainline acceptance), build determinism (the proportion of bit-identical rebuilds under controlled cache conditions), and change-coupling visibility (the share of merged change sets that span more than one bounded context with all owners participating in review). Secondary indicators include cache hit ratio on CI, test flakiness rate and the size of the critical path in the build graph. Measurement occurs continuously via CI telemetry and weekly snapshots. Statistical treatment relies on non-parametric tests due to skew typical of CI timings; practical significance is assessed through relative effect sizes and bootstrap confidence intervals [1]-[6], [8]. This protocol is presented to make replication straightforward, even when institutional constraints preclude the sharing of raw pipelines.

Results and practical observations. Although the present paper centres on design rather than exhaustive experimentation, the method has been trial-planned with explicit acceptance thresholds that are realistic for medium-sized engineering groups. For adoption to be considered successful, we propose targets of a marked reduction in median time-to-integration relative to a multi-repository baseline, sustained high determinism in controlled rebuilds, and demonstrable improvement in cross-team review coverage on change sets affecting shared libraries. These thresholds and their operationalisation are aligned with the prior art on monorepositories at scale and the documented capabilities of modern build and scheduling substrates [1]-[6]. We emphasise that numerical outcomes are environment-dependent; therefore, organisations should publish both central tendencies and dispersion to avoid over-generalisation.

Discussion and threats to validity. The method assumes institutional willingness to standardise toolchains and to invest in a robust CI substrate; under-provisioned remote execution, intermittent artefact storage or unmanaged third-party dependencies will limit benefits. Polyglot systems without mature rulesets may experience uneven performance until per-language build rules reach parity. Socio-technical resistance is non-trivial: code ownership and review discipline must be enforced consistently, or change-set atomicity degrades in practice. Differences in regulatory and security contexts constrain external validity; however, the evaluation protocol is designed to expose such constraints early and to support incremental adoption [1], [2], [7], [8].

Conclusions. A monorepository-driven approach can be framed as a coherent design for information systems and software complexes when repository topology, dependency semantics, build determinism and change governance are treated as interlocking parts of a single architecture. The method presented here contributes explicit rules, an implementation-agnostic tool mapping and a pilot-ready evaluation protocol. Future work includes a controlled study across multiple institutions and an extension to data-intensive workflows where lineage and privacy constraints interact with build determinism. The broader implication is that repository design is not merely an operational choice but a primary architectural decision that shapes the evolvability of institutional information systems [1]-[8].

References

[1] R. Potvin and J. Levenberg, “Why Google Stores Billions of Lines of Code in a Single Repository,” Communications of the ACM, vol. 59, no. 7, pp. 78–87, 2016. [Online]. Available: https://cacm.acm.org/magazines/2016/7/204032-why-google-stores-billions-of-lines-of-code-in-a-single-repository [Accessed: 19 Oct. 2025].

[2] Bazel, “Bazel — Fast, scalable, multi-language and extensible build system,” Documentation, 2025. [Online]. Available: https://bazel.build [Accessed: 19 Oct. 2025].

[3] Nx (Nrwl), “Nx: Next generation build system with first-class monorepo support,” Documentation, 2025. [Online]. Available: https://nx.dev [Accessed: 19 Oct. 2025].

[4] Pantsbuild, “Pants — A fast, scalable Python-friendly build system,” Documentation, 2025. [Online]. Available: https://www.pantsbuild.org [Accessed: 19 Oct. 2025].
[5] Vercel, “Turborepo — High-performance build system for JavaScript and TypeScript codebases,” Documentation, 2025. [Online]. Available: https://turbo.build [Accessed: 19 Oct. 2025].
[6] M. Gligoric, L. Eloussi, and D. Marinov, “Practical Regression Test Selection with Dynamic File Dependencies,” in Proceedings of the 2015 International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA ’15), 2015, pp. 211–222. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/2771783.2771784 [Accessed: 19 Oct. 2025].
[7] J. Kerzic and J. Yuen, “Hermetic Builds for Reproducible Systems: Principles and Practice,” IEEE Software, vol. 39, no. 4, pp. 33–40, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/MS.2021.3139057 [Accessed: 19 Oct. 2025].
[8] ThoughtWorks, “Monorepo,” Technology Radar, 2024. [Online]. Available: https://www.thoughtworks.com/radar/techniques/monorepo [Accessed: 19 Oct. 2025].

UDC 004.49+681.518

INCIDENT DATABASE FORMATION FOR SIMULATING PRODUCTION ENVIRONMENT RESPONSES WITHIN THE DIGITAL TWIN

Tetyana Neroda (tetyana.v.neroda@lpnu.ua)
Educational and Scientific Institute of Printing Art and Media Technologies in Lviv Polytechnic National University (Ukraine)

Approaches for ensuring the integrity and reliability of operational processes are investigated, and the development of a specialized incident database is justified, enabling the simulation of production environment responses and supporting the lifecycle management of order execution in operational printing.

During the processing of printing orders, enterprises handle technologically sensitive information, which includes the status of orders at various stages of their lifecycle, equipment operating parameters, events and deviations occurring during operations, as well as internal procedures for order handling and correction. Unauthorized access to such data or its loss may lead to disruption of production continuity, the occurrence of downtime, and errors in order fulfillment. Considering the multi-stage structure of the production cycle, in which various subsystems and operators are simultaneously involved, event control, action verification, and deviation tracking at each stage are necessary to ensure process stability and enable the analysis of production environment responses. Adequate security mechanisms, encompassing active event monitoring, access management, user action auditing, and anomaly detection, are capable of timely responding to deviations, reducing data leakage risks, and maintaining the integrity and reliability of operational processes.

A review of open-access scientific and technical publications in the field of comprehensive assurance of operational process integrity and reliability has highlighted several common trends that define current approaches to managing stability and tracking deviations. First and foremost, there is a noticeable tendency toward continuous evaluation of operational status through systemic characteristics of equipment and organizational structures, forming the basis for comprehensive monitoring and structured control [1]. Another prominent trend is the integration of reliability and integrity management programs directly into production cycles, enabling continuous tracking of process states. However, such integration is typically designed for environments with sufficient resource support [2]. Research on production processes with critical safety and reliability parameters emphasizes the development of approaches to managing deviations and risks, which involve complex monitoring and analytics infrastructure [3]. The deployment of active monitoring systems for business processes contributes to systematic reliability assessments and failure detection, demonstrating effectiveness in large and medium operational environments, while partially limiting their applicability in simpler production contexts [4]. Furthermore, analysis of the relationship between process stability and efficiency highlights the importance of a systemic approach to evaluating the consequences of deviations and disruptions in

production cycles [5]. Thus, the majority of existing scientific works demonstrate a trend towards high formalization and complexity of approaches that perform well in large and critical systems, requiring intricate infrastructure that cannot be transferred to small-scale or localized production practices without significant costs. These engineering solutions fail to account for the constraints and specifics of small and medium-sized operational printing enterprises with localized automation and variable operational scenarios, where resources are limited, and neglecting unforeseen events, which may not be classified as critical in large systems, significantly impacts order fulfillment and process stability in small and medium businesses. The identified features justify the relevance of developing a specialized incident database that allows modeling production environment responses and systematically analyzing deviations, thereby ensuring the stability and continuity of operational processes in the context of small and medium-sized operational printing businesses, where traditional approaches to reliability and integrity management are generally inadequate.

For the formation of an incident database when simulating production environment responses in operational printing, the use of the digital twin concept is appropriate as a tool that combines process observation with the ability to reproduce their dynamics in a virtual environment [6]. This approach not only allows for the recording of events occurring in the production cycle but also facilitates the analysis of their causal relationships in real-time. The digital twin enables the reconstruction of typical situations leading to deviations, and based on this, it allows the creation of a structured incident database, which can serve as the foundation for modeling the system's responses to changes in conditions or behavioral parameters of equipment.

A distinctive feature of operational printing is the constant variation of orders, equipment configurations, and technological process parameters, which makes it impossible to establish a fixed control system without an adaptive monitoring environment. The digital twin overcomes this limitation by providing a flexible toolset for recording and classifying events that cannot always be anticipated or reproduced in the real environment. During simulation, the digital model reproduces the behavior of equipment, technological units, and operator interactions, capturing even minor deviations that often go unnoticed in actual production or are inadequately documented in reporting (Fig. 1).

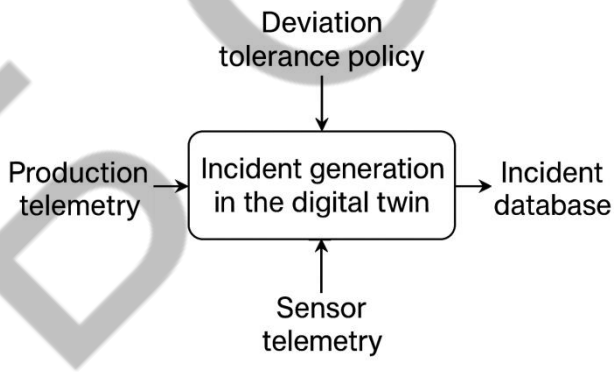


Figure 1 – Logic of incident reproduction in the simulation of production environment responses

The aggregated level of production telemetry is formed after the initial collection of sensor data, when environmental indicators, order parameters, equipment status, and energy consumption acquire the context of the production process. At this level, data streams are synchronized with consideration of equipment identifiers, order execution stages, and timestamps. Primary parameters are combined into structured records that describe not individual measurements but technological situations. In this way, a telemetric representation of a production event is created, which can be associated with a specific phase of the lifecycle of a printing order.

The obtained telemetry aggregates are fed into the analytical processing subsystem, where comparison algorithms, correlation analysis, and deviation detection from normative modes are applied. When signs of anomalies or changes in parameters affecting process stability are detected, the telemetric record is transformed into a structured incident. It maintains links to the primary measurements but acquires an analytical status, as it includes an assessment of causality, the time of occurrence, localization within the technological zone, and potential impact on order quality. Serving as a logical level of production state representation, production telemetry follows a path from sensor measurement to an

analytical object suitable for further use in the incident database. In this database, not only physical parameter values are recorded, but also events that are significant for print process management, maintenance planning, and evaluation of equipment performance.

The physical data directly acquired from sensors provides both simulation and response capabilities, positioning the digital twin subsystem as a production environment simulator. Systematic accumulation of these data establishes the foundation for an incident database oriented toward analyzing the context of deviations rather than merely recording their outcomes. This approach enables retrospective reconstruction of events and comparison of production system responses under varying conditions, which is particularly important for small and medium-sized printing enterprises, where process stability depends heavily on the interplay of technical and human factors. Thus, the digital twin serves not only as an analytical tool but also as a platform for building a knowledge base essential for predicting and preventing incidents related to workload fluctuations, equipment malfunctions, or operator errors.

The process of incident formation is governed by a deviation allowance policy, which defines the boundaries of variability for production process parameters and the criteria for anomaly identification, according to which the system interprets a state change as permissible, marginal, or critical. These boundaries are established based on historical data, equipment technical specifications, and technological requirements for specific types of printed products. Within the digital twin, such policies are implemented as a set of rules specifying threshold values for temperature, humidity, pressure, material feed rate, cycle duration, and color reproduction deviations. The system not only records when a parameter exceeds its normative limits but also considers the dynamics of its changes over time, allowing for differentiation between transient fluctuations and persistent process violations. The application of these policies ensures that incidents are formed with consideration of the process context and its impact on order quality, thereby enhancing the reliability of analytical decisions within the digital twin simulation environment.

At the business process output, an incident database is formed, accumulating information on all recorded events and serving as the foundation for subsequent analysis, optimization of production processes, and training of the digital twin. The concept of output within the digital twin simulation environment is understood as the transformation of the collection of analytical events recorded in the incident database into structured results that reflect changes in the state of the production system or its individual subsystems. The output is not limited to a signal indicating the completion of an operation or an assessment of quality; rather, it represents a generalized depiction of the consequences of interactions among technological, temporal, and behavioral process parameters. For a print production management system, this may involve updating order status, adjusting the print schedule, modifying climate parameter configurations, or initiating maintenance procedures. In terms of the IDEF0 model, the output is not a final result but an input for the next level of the operational cycle, forming a sequential chain of causal dependencies between order execution stages. Thus, the output acquires analytical significance: it captures not only the fact of change but also the direction of system adaptation, reflecting its ability to adjust its actions according to the context of the current situation. This ensures the integrity of the simulation model and enhances the accuracy of its representation of the real dynamics of the production environment.

Thus, the formalization of incident reproduction in the simulation of production environment responses has enabled the description of the upper loop of the business process for fulfilling a printing order as an interaction among production flows, analytical tools, and the digital twin. Subsequent loops within the structured hierarchy will detail subprocesses for anomaly detection in telemetry streams, the characteristics of generating typical incident categories, protocols for recording and logging incidents into the database, and, more generally, the updating of parameters within the simulation environment.

References

[1] Y. He. Structural Operational Integrity - The Comprehensive Quality Characteristic of Structure. *Research Square*, 2022.

[2] Ch. Ellarby Asset Integrity Management: Strategies for Reliable Operations. URL: itemit.com/asset-integrity-management-strategies-for-reliable-operations

[3] P. O. Odili, et al. The impact of technical safety and integrity verification on project delivery and asset performance. *Engineering Science & Technology Journal*, 5 (2), 2024.

[4] How Digital Twin Simulation Software Improves Decision-Making. URL: www.simio.com/how-digital-twin-simulation-software-improves-decision-making

[5] G.D.K. Kuruppu Appuhamilage, et al. A health digital twin framework for discrete event simulation based optimised critical care workflows. *Digital Medicine*, 8 (376), 2025

[6] T. Neroda Production scenarios modeling in operational printing based on digital twins. *Information Technologies*, 33 (1), 2025.

UDC 004.9

HEADLESS ARCHITECTURE - INNOVATIVE DIRECTION IN CREATING WEB RESOURCES AND CONTENT SYSTEMS

Romanyuk [1] O. N., Maidanyuk [1] V. P., Kotlyk [2] S. V., Kovalova [3] Y. O. Kutsyn S. O.

(rom8591@gmail.com**)**

[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

[2] Odessa National Technological University (Ukraine)

[3]Smart Alpaca LLC (USA)

The Headless architecture, which is a new approach to the development of websites and digital content management systems, is analyzed. The principles of its construction, the features of the interaction of front-end and back-end components through software interfaces, the advantages and disadvantages of use are considered. It is shown that the Headless architecture provides high performance, flexibility, scalability and security of web resources.

Headless architecture is an innovative direction in the creation of web resources and content systems. It arose as a response to the limitations of traditional content management systems, in which the external presentation (interface) and the internal logic (data storage) were tightly coupled. In such cases, changing the design or transferring content to another platform required a significant redesign of the entire project. The headless approach solves this problem by completely separating the functions of displaying and storing information [1].

In traditional CMS systems such as WordPress or Drupal, content is created, stored, and immediately displayed on the user's page. This is convenient for small sites, but limits scalability and performance. Headless architecture assumes that the backend acts only as a data repository and provides access to them through application programming interfaces (APIs). Thanks to this, the frontend can be implemented in any way - using JavaScript frameworks, mobile applications, or even interfaces for "Internet of Things" devices [2].

The fundamental difference of this approach is that the content becomes a universal resource, not tied to a specific way of its display. The data is transmitted in the form of structured responses (for example, JSON), which allows different clients to use them in their formats. This makes it possible to create so-called "omnichannel" systems, in which one set of information is simultaneously used on the website, in the mobile application, in the e-commerce panel, as well as in external partner systems. Thus, the Headless architecture contributes to the unification of all information flows of the organization into a single digital space [3].

Among the advantages of the Headless approach, it is worth noting high performance. In most cases, pages built on the basis of such an architecture are generated in advance and stored as static files, which significantly reduces loading time. At the same time, data can be updated dynamically through asynchronous requests. In addition, thanks to the use of CDNs (content delivery networks), content is delivered closer to the user, which reduces delays even under heavy load. Security is also increased, because the administrative panel of a headless CMS is usually isolated from the public part of the site, so attackers do not have direct access to the content management system [4].

Special attention deserves scalability. Since the frontend and backend are developed independently, it is possible to update the interface in parallel without interfering with the data storage system. This is especially important for large companies that have dozens of subsystems and constantly update their own content. In such cases, changing the design or display technology does not affect the functioning of the entire system. This approach is actively used by international brands in the field of e-commerce, news

resources and educational platforms, where it is important to quickly update information on different channels [5].

Despite the numerous advantages, the implementation of Headless systems requires a high level of technical competence. To build an effective data structure, it is necessary to design the API, think through the request routes, caching and authorization mechanisms. This increases the complexity of the development, but in return allows you to create stable, reliable and flexible solutions. In addition, the lack of preview in some CMSs can complicate the work of content editors, which requires the implementation of auxiliary tools or plugins for visualization [6].

From a technical perspective, Headless architecture is closely related to the Jamstack concept, which combines three principles: JavaScript, API, and pre-generated markup. This combination allows you to create websites that are fast, secure, and easy to maintain. For example, the system can use Strapi as a backend, and the interface can be implemented using the Next.js or Vue framework. This ensures complete independence of the system parts, simplifies scaling, and opens up possibilities for integration with artificial intelligence services, for example, for automatic content generation or page display personalization [7].

In the Ukrainian context, headless solutions are gaining popularity in the fields of agribusiness, education, and e-commerce. For example, an agricultural company can create a headless portal where information about goods, equipment, and fertilizers is stored centrally in a CMS, and users interact via a mobile application and a web interface. In a university environment, headless architecture allows for the development of a single database of educational materials that is available simultaneously on the institution's website, in internal distance learning platforms, and in mobile applications for students. In industrial companies, headless systems provide synchronization of technical documentation between departments, reducing data duplication and update errors [4], [5].

From an architectural point of view, a headless system consists of five main layers: a backend content management system (CMS), an API layer for interacting with customers, a caching system or CDN, a client interface (web, mobile or hybrid), and an analytics and monitoring layer. Each of these elements can be deployed separately, which increases the flexibility of the system. Such modularity contributes to the use of the principles of microservice architecture, where each component is responsible for only one function. This allows the system to be scaled horizontally, adding new services without changing the structure of the entire platform [6].

Current trends indicate that the headless approach is gradually becoming the basis for building integrated digital ecosystems. It is used not only for websites, but also for media content management systems, mobile platforms and even smart devices. In combination with cloud technologies and distributed databases, headless solutions form a new standard for real-time information exchange. Additionally, this approach supports the principle of inclusivity and accessibility, as it allows you to adapt the interface for different users and devices without duplicating content [7].

In the future, headless architecture will develop in the direction of automated content creation, the use of artificial intelligence algorithms to manage data flows, and combination with Web3 technologies. It is expected that such systems will provide not only fast operation, but also increased security, autonomy, and self-learning. Already now, large international companies are experimenting with so-called composable approaches, where headless components are combined with other independent services - payment, marketing, analytical. This creates the basis for building flexible information infrastructures of a new generation.

Therefore, headless architecture is not just a technical solution, but a strategic direction for the development of digital systems. It opens up opportunities for universal content management, adaptation to various communication channels, reduction of support costs and improvement of user experience. For Ukrainian enterprises and educational institutions, this approach can become an important tool for digital transformation, as it combines efficiency, scalability and flexibility with ease of integration into existing IT environments.

References

[1] W. Lim, "Headless CMS: Everything You Need To Know," *Strapi Blog* , 2024. [Online]. Available: https://strapi.io/blog

[2] A. Lakhani, "Headless Architecture in Modern Web Development," *Netguru Blog* , 2025. [Online]. Available: https://www.netguru.com/blog

[3] J. Erickson, “The Rise of Composable and Headless Web Systems,” *Smashing Magazine* , 2023. [Online]. Available: https://www.smashingmagazine.com

[4] M. Krawczyk, “From Traditional CMS to Headless: A Technical Comparison,” *Web.dev* , Google, 2024. [Online]. Available: https://web.dev

[5] D. Kline, “Jamstack and Headless CMS: The Future of Fast Websites,” *Netlify Research Report* , 2024. [Online]. Available: https://www.netlify.com

[6] S. Mehta, “Why Headless CMS Is the Future of Content Delivery,” *Contentful Docs* , 2025. [Online]. Available: https://www.contentful.com

[7] P. Schneider, “Composable Architecture and API-Driven Design,” *IEEE Internet Computing* , vol. 28, no. 2, pp. 64–72, 2024. DOI: 10.1109/MIC.2024.1234567

NEW MONITOR MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Romanyuk [1] O.N., Maidanyuk [1] V.P., Romanyuk [1] O. V. , Kostenko[1] A.V., Kotlyk [2] S.V.
(rom8591@gmail.com)
[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
[2] Odessa National Technological University(Ukraine)

The latest monitor manufacturing technologies are considered, including micro-LED and organic displays, improved backlighting methods, and innovations in production automation. Particular attention is paid to micro -LED, miniLED, and tandem OLED panels as promising areas of industry development.

Over the past decade, monitor [1-9] manufacturing technologies have evolved from traditional liquid crystal displays to sophisticated systems with self-illuminating pixels, adaptive backlighting, and intelligent image quality control. This has been made possible by a combination of advances in solid-state physics, nanotechnology, optics, robotics, and computing. Modern monitors must not only provide high-quality images, but also be thin, light, energy-efficient, flexible, and durable. In this context, several key technological trends can be identified.

The greatest hopes today are placed on micro-LED arrays. In such displays, each pixel consists of three extremely small LEDs (red, green and blue) that glow independently, without the need for an external backlight. This provides almost perfect black depth, very high contrast, instant response to image changes and a very long service life that exceeds traditional OLED and LCD screens. However, the main problem here is the mass transfer of micro-elements to the substrate, since millions of pixels must be precisely placed with submillimeter accuracy. Mass transfer technologies are still expensive and complex, but research is actively underway [1].

On the other hand, the transition stage was the technology of mini -LEDs. This is an improved backlight for liquid crystal panels, which instead of several large diodes uses hundreds or even thousands of small ones, which allows you to locally adjust the brightness of individual areas of the screen. Thanks to this, light "leakage" is significantly reduced, and the image acquires greater depth. Such displays are actively used in TVs, professional monitors and even high-end laptops. Apple, ASUS, Samsung and MSI are already massively using miniLED in their products as an intermediate alternative between traditional LCD and OLED [3], [5].

Organic light-emitting diode (OLED) technology is also improving. Modern panels are manufactured using a multi-layered principle - "tandem" - where several LED layers are combined to increase brightness, reduce heat and improve color reproduction. For example, LG has introduced a panel capable of operating at a refresh rate of 540 frames per second at a resolution of 1440p, making it one of the fastest in the world. Its peak brightness reaches 1500 nits, allowing it to be used even in bright outdoor conditions [4].

Another important direction is the development of **flexible displays** [8]., which can be bent or twisted without loss of quality. They are made on the basis of polymer films instead of glass. Modern EPLaR technology (electronics on plastic with laser separation) allows you to create full-fledged displays on a flexible basis. They are used in smartphones with flexible screens, in portable devices and the automotive industry.

HTBOHTY

No less interesting is the technology **of quantum dots** . They are nanoparticles that emit light of a certain wavelength when exposed to radiation. In displays, they are used as filters that convert white light into saturated red, green and blue colors. This significantly increases the saturation of the image, makes the color reproduction more accurate and brighter. QLED technologies are an example of integrating quantum dots with backlighting. In parallel, -new generation quantum dot displays are being developed, where the dots themselves act as emitters, but these technologies are still experimental [9].

At the manufacturing level, an important innovation is the use of micro -transfer printing technology. The dynamic transfer system allows millions of light-emitting elements to be placed on a substrate with high precision. This is achieved by controlling electrostatic forces, temperature and vibrations. Researchers from the USA and Korea have already demonstrated the ability to create prototypes of microLED panels using such methods, opening the way to mass production of displays [6].

Real-time automated quality control allows you to reduce the number of defective screens, optimize resource use, and reduce the percentage of defects [4], [7].

All this indicates that modern monitor production is increasingly based on a deep integration of physical, chemical and digital technologies. In the near future, we can expect further expansion of flexible, self-luminous and high-quality displays, adapted to virtual reality, mobile platforms and energy-saving solutions.

In modern display manufacturing, there is growing interest in using hexagonal pixels as an alternative to the traditional rectangular grid. This approach involves arranging pixels in the shape of regular hexagons, similar to the structure of honeycombs. Unlike square pixels, which have four or eight neighbors at different distances, a hexagonal pixel is surrounded by six equally spaced neighbors, which creates a symmetrical and denser grid. This allows for more uniform coverage of the plane, reduces the amount of distortion and the “step” effect on diagonal lines, and improves the quality of the transmission of contours and curves. Due to the denser packing, the hexagonal structure provides up to 15% higher resolution for the same area, compared to the rectangular version. This shape of the pixels also contributes to more effective image smoothing and gives better results in algorithms that operate on neighboring pixels, since the neighborhood has the same geometry in all directions. In the field of visualization, this is especially relevant for high-precision image processing tasks, such as medical imaging, satellite imaging, or military surveillance systems. However, the widespread implementation of hexagonal pixels faces a number of technical and organizational difficulties. First, most software, graphical interfaces, and GPU architectures are designed for a rectangular pixel grid, so the use of a hexagonal structure requires changes in display standards and image storage formats. Second, addressing pixels in such a grid is more complex, which complicates the design of drivers and control chips. Third, the production of display matrices with hexagonal elements requires new phototemplates and more precise equipment. Despite this, hexagonal pixels are actively studied in laboratories at leading universities and companies. For example, scientists offer hybrid approaches that use simulation of the hexagonal structure using coordinate transformation during image output, which allows maintaining compatibility with existing hardware. There are also experimental implementations of hexagonal TFT displays for biomedical scanners, where accurate transmission of small details is especially important. In the future, such displays may find application in flexible panels, augmented reality, as well as in the visualization of spherical surfaces, where traditional rectangular pixels create significant geometric distortions. Thus, hexagonal pixels are a promising direction in the development of visual technologies, which combines high accuracy, natural symmetry and the potential for improvement

Hexagonal pixel display technologies are currently under active research and experimental development, although they have not yet become a standard in mass production. The main idea is to replace the traditional rectangular or square pixel arrangement with a hexagonal one - that is, the pixels have the shape of a regular hexagon, arranged in a grid similar to honeycombs. This structure provides a denser and more symmetrical coverage of the plane, which allows more pixels to be placed on the same area, improve the transmission of curves and diagonals, reduce "stepping" artifacts, and achieve higher accuracy in image reproduction. To implement hexagonal displays, it is necessary to apply new technologies at the microelectronics and optoelectronics levels. In the case of liquid crystal displays (TFT-LCD), special photolithography is used, which allows forming thin-film transistors in a hexagonal arrangement, although this requires new templates, more complex addressing and reworking of the pixel control circuit. In the case of OLED displays or micro-LED screens, this implementation is more flexible, since pixels are formed by depositing material or micro-transferring to hexagonal positions. The

technology of mass transfer of LEDs onto a polymer or glass substrate with a hexagonal grid is particularly promising, which allows for the precise placement of millions of microelements in one cycle. Technologies for laser selection and activation of hexagonal zones in OLED matrices are also being developed. In addition, hexagonal sensor arrays are already used in high-precision sensor devices and displays for medical or defense systems. In them, photodetectors or sensors are placed behind a hexagonal grid, which provides more uniform coverage and increased sensitivity. Despite the availability of ready-made prototypes, the main difficulties in mass implementation are related to the fact that modern graphics controllers, video processors and image formats are designed for a rectangular pixel grid. The transition to a hexagonal structure requires deep adaptation of software, new raster representation formats and specific equipment for production. However, some companies, in particular in the field of medical imaging, augmented reality and AR displays, are already demonstrating prototypes of such solutions. They are based on OLED or microLED technologies with flexible substrates, where the hexagonal structure allows the screen to better adapt to curved surfaces. In the future, hexagonal displays may become the basis for new generations of flexible, spherical and highly interactive screens, where the standard rectangular grid loses its effectiveness.

References

[1] TS Kim, “Future trends of display technology: micro-LEDs toward full integration,” *Light: Science & Applications* , vol. 14, no. 25, Mar. 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41377-025-02027-1

[2] Dexerials Corporation, “Micro-LED displays, the technology of tomorrow,” *TechTimes* , 2024. [Online]. Available: https://techtimes.dexerials.jp/en/bonding/micro-led-future-technology

[3] “Mini-LED vs Micro-LED vs OLED: Present Status and Future Perspectives,” *MiniMicroLED.com* , 2025. [Online]. Available: https://www.minimicroled.com/mini-led-micro-led-and-oled-displays-present-status-and-future-perspectives

[4] T. Parsons, “LG demonstrates ultra-fast, ultra-bright OLED display prototype: 540 Hz refresh rate and 1500 nits brightness,” *Tom's Hardware* , Jan. 2025. [Online]. Available: https://www.tomshardware.com/monitors/gaming-monitors/lg-demonstrates-ultra-fast-ultra-bright-oled-display-prototype-new-panel-can-refresh-at-540-hz-at-1440p-or-720-hz-at-720p-hits-1500-nits-peak-brightness

[5] Corning Incorporated, “Emerging Display Technologies and the Role of Precision Glass,” *Corning.com* , 2024. [Online]. Available: https://www.corning.com/emea/en/products/display-glass/resources/thought-leadership/emerging-display-technologies-and-the-role-of-precision-glass.html

[6] Q. Guo, T. Wang, Z. Deng, and J. Rogers, “Dynamically programmable micro-transfer printing system for large-scale heterogeneous integration,” *arXiv preprint* , arXiv:2503.11109, Mar. 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2503.11109

[7] AGDisplays, “Industrial Display Manufacturing: From Factory to Consumer,” *AGDisplays Blog* , Feb. 2024. [Online]. Available: https://blog.agdisplays.com/index.php/2024/02/14/industrial-display-manufacturing-from-factory-to-consumer

[8] “EPLaR,” *Wikipedia* , 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/EPLaR

[9] “Quantum dot display,” *Wikipedia*, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_dot_display

UDC: 004.056

STUDYING THE PROCESS OF CODE INJECTION INTO THE HEADERS OF THE WINDOWS 11 EXECUTIVE FILE RE-FORMAT

Rysovanyi O. (rysov81524@gmail.com)
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

This study examines issues of injecting malware into PE files. The DOS header, DOS stub, and PE header are analyzed. All results are validated using programs executed in the masm64 environment. Recommendations are provided.

The aim of the study is to examine the architecture of the PE file and the process of adding (embedding) executable code into existing files running Windows 11. From a practical point of view, this mechanism allows hiding sensitive information even from antivirus software [1].

The tasks addressed in this work included:

- studying the structure of the PE file and its headers;
- identifying areas suitable for code injection;
- researching methods for adding new sections and modifying existing ones;
- practical implementation of injection programs on MASM64;
- analyzing the operation of the modified file and the impact of changes on loading and execution.

The work [2-3] found that in Windows 11, the code from the DOS header is not executed, since the DOS stub runs only in a real DOS environment or an emulator (DOSBox). However, these memory locations can be used to store hidden information. In the DOS stub, the message in the executable file for the x64 architecture is located starting at address 0x4E.

The algorithm for injecting into the stub (DOS Stub Message) to change the system message to another message can be as follows:

1Open the file for writing (GENERIC_READ or GENERIC_WRITE).

2. Create a mapping with PAGE_READWRITE permissions.

3. Map the file as FILE_MAP_WRITE.

4. Find the address of the stub text (it comes after 0x4E in the standard MS stub).

5. Overwrite it with a new message.

If the stub is shorter, add NOPs or zeros.

Experiments revealed that changes can be made to the DOS header and DOS stub. Only two cells cannot be modified: the MZ signature and the cell with the 3Ch address. All other cells up to the PE signature location can be modified. Windows 11 does not react to these changes and does not generate an error.

Windows 11 has a set of measures to protect the PE header, which ensures that PE file headers in memory are executed only when read. Writing and storing "data" in a PE header and expecting a program to then execute it in loaded memory is not possible. Writing to a PE header is possible, but executing such a file is not possible. The operating system blocks the launch of such programs.

PE file protection is achieved through comprehensive measures, such as encryption of executable code to prevent antivirus scanning and analysis, and the use of a checksum to confirm the integrity and authenticity of the file.

The study found that it is possible to use the system contents of cells in the PE header. These values can be used as keys to sensitive information. However, modifying the PE header in an executable file and executing this program is prohibited.

Therefore, in Windows 11, injection into the DOS header and all sections is permitted. The simplest method is injection into the code section.

References

1. Методичні вказівки щодо виконання практичних та лабораторних робіт з курсу «Реверсне програмування. Антиналагоджувальні прийоми захисту від реверсу. Середовище програмування masm64: для студентів спеціальності 123 - «Комп'ютерна інженерія» всіх форм навчання [електронне видання] / укладач О.М.Рисований – Х.: НТУ «ХПІ», 2024 — 132 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/75508.

2. Реверсне програмування. Захист коду. Середовище програмування masm64: навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" всіх форм навчання [електронне видання] / О.М. Рисований. – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – 214 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/79627.

3. Реверсне програмування. Впровадження коду. Середовище програмування masm64: навчальний посібник для студентів спеціальностей 123 "Комп'ютерна інженерія", 125 "Кібербезпека" / О.М. Рисований. – Харків: «Слово», 2021. – 250 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/70274.

УДК 004.652

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ «ОДИН ДО БАГАТЬОХ» У РЕЛЯЦІЙНИХ ТА ДОКУМЕНТО-ОРІЄНТОВАНИХ БАЗАХ ДАНИХ

Бабенко С. П. (sofia.kudran@gmail.com),
Романюк о. В. (romaniukoksanav@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Ukraine)

У даному дослідженні проведено порівняльний аналіз двох принципово різних підходів до моделювання зв'язку «один до багатьох» (1:N) у реляційних базах даних та документо орієнтованих базах даних, наприклад: MongoDB. Висвітлено ключову роль зовнішніх ключів та операцій JOIN в реляційних базах даних для забезпечення референтної цілісності та способи вбудовування у DocDB для оптимізації швидкості читання. Проаналізовано компроміси, пов'язані з продуктивністю читання/запису, гарантіями цілісності даних (ACID проти атомарності на рівні документа) та гнучкістю схеми. У висновку підкреслюється, що вибір оптимальної стратегії, такої як нормалізація, вбудовування або посилання, залежить від співвідношення читання/запису та вимог до цілісності даних у конкретному застосунку.

Вступ

У проєктуванні баз даних (БД) важливу роль відіграє правильне моделювання зв’язків між сутностями. Існують такі три основні типи зв’язків: «один до одного» (1:1), «один до багатьох» (1:N) та «багато до багатьох» (M:N) [1]. Кожен тип описує характер взаємозв’язку між сутностями та визначає, як дані зберігаються, змінюються та обробляються.

Зв’язок «один до багатьох» (1:N) є найпоширенішим у реальних інформаційних системах. Він описує ситуації, коли один об’єкт (наприклад, клієнт) може бути пов’язаний із кількома об’єктами іншої сутності (замовленнями, транзакціями, повідомленнями тощо).

У різних типах баз даних – реляційних і документо-орієнтованих (NoSQL) цей зв’язок реалізується по-різному. У реляційній моделі використовуються таблиці, первинні та зовнішні ключі, що забезпечують строгі правила цілісності даних [2]. У NoSQL-системах зв’язки відображаються у гнучких структурах документів, де можливі як вкладення, так і посилання між об’єктами [3].

Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу стратегій моделювання зв’язку «один до багатьох» у реляційних і документо-орієнтованих базах даних з урахуванням схем зберігання, продуктивності та масштабованості систем.

Основна частина

Для кращого розуміння теми, варто зазначити визначення, які пояснюють різницю між реляційними та документо-орієнтованими БД. Тож залежно від способу організації даних, бази даних поділяються на реляційні та нереляційні (NoSQL).

Реляційні бази даних (RDBMS) – це системи, у яких інформація зберігається у вигляді таблиць, що мають суворо визначену структуру. Кожна таблиця містить рядки (записи) і стовпці (поля), а зв’язки між таблицями реалізуються через первинні та зовнішні ключі [1; 2]. Прикладами таких систем є MySQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server [4]. Вони підтримують мову SQL (Structured Query Language), транзакційність і гарантують цілісність даних відповідно до принципів ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) [4, 5].

Документо-орієнтовані бази даних належать до класу NoSQL-систем і зберігають дані у вигляді структурованих документів (зазвичай JSON або BSON). Кожен документ може містити вкладені об’єкти, масиви та різнорівневі поля, що забезпечує гнучкість у проєктуванні схеми [6]. Такі бази, як MongoDB, CouchDB, Firebase Firestore, не потребують фіксованої структури таблиць і легко масштабуються [7]. Вони краще підходять для систем, де структура даних часто змінюється або має ієрархічний характер.

Основна різниця між цими двома підходами полягає у моделі даних та механізмах забезпечення цілісності. Реляційні бази орієнтовані на строгі зв’язки та узгодженість, тоді як документо орієнтовані – на швидкість доступу, гнучкість структури та горизонтальне масштабування [5; 6].

Спочатку буде розглянуто **схеми зберігання даних** в цих двох видах БД.

У реляційних базах даних усі дані зберігаються в таблицях із чітко визначеними атрибутами. Зв'язок «один до багатьох» реалізується через зовнішній ключ – поле, яке посилається на первинний ключ іншої таблиці. Такий підхід забезпечує строгий контроль узгодженості та дозволяє уникати дублювання даних [1; 2]. Наприклад, таблиця Customers може мати поле CustomerID, а таблиця Orders – зовнішній ключ CustomerID, що вказує на клієнта, який зробив замовлення.

Цей спосіб гарантує цілісність, проте для отримання пов'язаних даних необхідно використовувати операції JOIN, які з'єднують таблиці під час виконання запиту. JOIN-запити можуть бути ресурсомісткими при великій кількості рядків, особливо у складних схемах [3].

У документо орієнтованих базах даних зв'язки реалізуються інакше. Оскільки структура документів не обмежується жорсткою схемою, існують два основні підходи, такі як вбудовування та посилання [6; 7].

У підході вбудовування дочірні дані розміщуються безпосередньо у батьківському документі. Наприклад, у документі «Клієнт» може міститися масив замовлень, які належать цьому клієнту. Це спрощує читання даних, адже усі пов'язані елементи зберігаються разом. Однак при великій кількості вкладених об'єктів такий підхід ускладнює оновлення й може призвести до перевищення ліміту розміру документа [7]. А у підході посилання замість безпосереднього зберігання дочірніх даних у документі зберігаються лише ідентифікатори пов'язаних документів. Таким чином, зв'язок зберігається логічно, але не фізично. Це підвищує гнучкість і дозволяє зменшити розмір документів, хоча читання даних потребує додаткових запитів [6; 8].

У реляційних базах даних **продуктивність** залежить від складності запитів, кількості зв'язків та обсягу даних. Виконання JOIN-операцій може бути повільним у великих системах, проте правильна індексація зовнішніх ключів значно покращує швидкість запитів [2; 4].

Реляційні СУБД добре оптимізовані для операцій оновлення – завдяки нормалізованій структурі зміни вносяться лише в одну таблицю, а цілісність забезпечується автоматично. Також транзакційний механізм гарантує, що навіть у разі помилки або збою база залишиться в узгодженому стані [1; 2].

У документо-орієнтованих системах продуктивність визначається типом моделі. При вбудовуванні дані зчитуються значно швидше, оскільки всі потрібні елементи вже містяться в одному документі. При посиланнях запити стають складнішими, бо потрібно робити кілька звернень до бази, щоб зібрати всі пов'язані документи [6; 7].

Таким чином, реляційні бази демонструють стабільну продуктивність при складних транзакціях і великій кількості оновлень, тоді як документо-орієнтовані мають перевагу в системах, де домінує читання й потрібна швидка агрегація даних без складних JOIN-операцій [3; 4].

Розглянемо **масштабованість** у реляційних та документо-орієнтованих БД.

Реляційні бази даних зазвичай масштабуються вертикально – шляхом збільшення потужності одного сервера. Такий підхід добре підходить для централізованих систем, проте має обмеження в продуктивності й вартості [4]. Горизонтальне масштабування, тобто розподіл таблиць між кількома вузлами, ускладнюється через жорстку прив'язку зовнішніх ключів і транзакційні обмеження [2; 8].

Документо-орієнтовані бази даних спочатку створювалися з урахуванням горизонтального масштабування. Вони підтримують розподіл колекцій документів між різними серверами. Це дозволяє системі обробляти великі обсяги даних і витримувати значне навантаження на читання або запис [6; 9].

У випадку зв'язку «один до багатьох» вбудовування спрощує масштабування, бо всі дані зберігаються в одному документі. Якщо ж кількість дочірніх об'єктів зростає, застосовують посилання, щоб розподілити навантаження між вузлами [7; 9].

Висновок

У підсумку, у реляційних базах зв'язок «один до багатьох» реалізується через зовнішні ключі з гарантією цілісності, тоді як у документо орієнтованих – через вбудовування або посилання, що забезпечує більшу гнучкість і швидкість, але потребує більшої уваги до цілісності даних з боку розробника.

Реляційні бази даних є основою для систем, де потрібна чітка структура, транзакційність і повна узгодженість даних. Вони забезпечують стабільну роботу, але мають обмеження у масштабуванні та продуктивності при обробці великих, динамічних структур. Документо-орієнтовані бази даних надають більшу гнучкість, швидкість читання та зручність горизонтального масштабування, проте вимагають ретельного контролю з боку розробника, оскільки не мають вбудованих механізмів перевірки зв'язків.

Отже, **вибір моделі зберігання даних залежить від цілей системи**. **Реляційна модель** – для транзакційних, фінансових і критичних систем, **документо-орієнтована модель** – для високонавантажених, розподілених або аналітичних рішень.

Список використаної літератури

1. Codd, E. F. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM, 1970, Vol. 13, No. 6, p. 377–387.

2. Date, C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Boston: Pearson Education, 2003. 1024 p.

3. Stonebraker, M., & Hellerstein, J. M. What Goes Around Comes Around. Readings in Database Systems. MIT Press, 2005.

4. Романюк О. В., Денисюк А. В., Марущак А. В., Шмалюх В. А. Порівняльний аналіз баз даних SQL та NOSQL. Тези доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2021 (ІКТ-2021)», м. Житомир, 01 - 03 квітня 2021 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 3-4.

5. Fowler, M., & Sadalage, P. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence. Boston: Addison-Wesley, 2012. 192 p.

6. MongoDB Inc. Data Modeling Introduction. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mongodb.com/docs/manual/core/data-modeling-introduction/ (дата звернення: 20.10.2025).

7. Microsoft Learn. Relational vs. Non-Relational Data. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://learn.microsoft.com/ (дата звернення: 20.10.2025).

8. AWS Architecture Blog. Modeling One-to-Many Relationships in NoSQL Databases. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://aws.amazon.com/blogs/architecture/ (дата звернення: 20.10.2025).

9. Redmond, T., & Wilson, M. Practical MongoDB. New York: Apress, 2015. 368 p.

УДК 004.056.53:004.75

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ І ВТОРГНЕНЬ У СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ

Бакаєв О.О.
(oleg.bakaiev@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У статті розглянуто сучасні підходи до побудови систем виявлення аномалій і вторгнень у процесах обробки персональних даних. Показано, що класичні сигнатурні методи не забезпечують своєчасного реагування на нові та низькоінтенсивні атаки, оскільки орієнтовані лише на відомі шаблони загроз. Запропоновано багаторівневу архітектуру, яка поєднує статистичні, ізоляційні, послідовні та графові алгоритми в єдиний ансамбль. Описано структуру потоків телеметрії, механізми формування ознак, обчислення інтегрального індексу ризику та схеми реагування з урахуванням контексту користувача і чутливості даних. Результати експериментального моделювання підтвердили, що використання ансамблевих методів знижує частоту хибних спрацьовувань на 20–30 % і скорочує середній час виявлення інцидентів (MTTA) приблизно на третину порівняно з традиційними системами моніторингу. Запропонована модель може бути інтегрована у середовища типу SIEM/SOAR та відповідає принципам privacy-by-design.

Постановка проблеми. Сучасні системи обробки персональних даних характеризуються високою динамікою подій і різноманіттям джерел телеметрії: логи доступу, мережеві флоу, події управління ідентичностями, тригери DLP. Ефективний захист таких систем вимагає не лише

точних сигнатурних правил, але й гнучкої, контекстно-обґрунтованої платформи для виявлення аномалій і кореляції інцидентів. У цьому дослідженні пропонується модульна архітектура, що поєднує легкі потокові детектори для миттєвих сигналів з потужними ML- та графовими алгоритмами для підтвердження й локалізації загроз. Такий підхід дозволяє зберегти швидкість реакції та одночасно знизити кількість хибних спрацьовувань, зважаючи на чутливість об'єктів даних і роль користувача.

Мета дослідження — розроблення комплексної моделі та алгоритмів виявлення аномалій і вторгнень у системах обробки персональних даних, що поєднують статистичні, машинні та графові методи аналізу потокової інформації для підвищення точності, швидкодії та стійкості моніторингу безпеки.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні методи виявлення аномалій у середовищах з обробкою персональних даних та визначити їхні обмеження в умовах динамічних потоків і розподілених архітектур.
2. Розробити узагальнену архітектуру системи багаторівневого моніторингу, що інтегрує сенсорний рівень збору телеметрії, механізми формування ознак і ансамблевий детектор.
3. Обґрунтувати алгоритми об'єднання статистичних, ізоляційних і послідовних моделей у єдину систему оцінювання ризику та побудувати функцію інтегрального скорингу.
4. Реалізувати експериментальне середовище для оцінювання ефективності моделі на основі реальних і синтетичних потоків подій.
5. Провести порівняльний аналіз із традиційними підходами (сигнатурними та rule-based IDS) за метриками точності, повноти, середнього часу оповіщення (MTTA) та кількості хибних спрацьовувань.

Суть дослідження. Архітектура системи складається з п'яти логічних шарів: сенсори даних (data sources), модуль прийому і попередньої обробки (ingestion & preprocessing), механізм формування ознак (feature engine), ансамбль детекторів (detector ensemble) та модуль агрегації ризику і реакції (risk aggregator & response). Сенсори забезпечують широкий спектр телеметрії: журналювання доступу, аудити операцій, файлові операції, мережеві сесії, події IAM. На етапі інгестування дані нормалізуються й за потреби псевдонімізуються, після чого агрегуються в тимчасові вікна або сесійні контейнери для подальшого аналізу. Формування ознак спрямоване на отримання стійких характеристик поведінки: частоти запитів, ентропії шаблонів, часових профілів, fingerprint-параметрів запитів і агрегатних показників по об'єктах даних.

Ключовою складовою системи є ансамбль детекторів, що поєднує кілька класів алгоритмів. Комбінація дозволяє скористатися перевагами кожного методу: швидкі статистичні тести дають раннє попередження, ізоляційні та щільнісні методи відфільтровують шум, послідовні моделі фіксують аномальні шаблони дій, а графовий аналіз виявляє координацію між обліковими записами або нетривіальні шляхи витоку інформації. Для чіткості наведено стислий огляд ролей основних методів у таблиці 1.

Таблиця 1. Роль методів у ансамблі детекторів

Клас методів	Основна роль	Переваги
Потокові статистичні (EWMA, CUSUM, z-score)	Раннє виявлення швидких змін у метриках	Мала затримка, низькі обчислювальні витрати
Щільнісні / ізоляційні (Isolation Forest, LOF)	Виявлення відокремлених аномалій у табличних ознаках	Робота без міток, стійкість до шуму
Послідовні моделі (LSTM-AE, Transformer-AE)	Фіксація нетипових послідовностей дій у сесії	Вловлюють temporal patterns, підходять для сценаріїв exfiltration
Графові методи (GNN, change detection)	Виявлення координацій та латерального руху в інфраструктурі	Виявляють складні схеми між сутностями
Rule / Policy Engine	Оперативні політики (гео-блоки, DLP)	Проста інкапсуляція бізнес-правил, невисока похибка

Після формування локальних оцінок кожен детектор передає нормалізований бал до модуля агрегації, де контекстні множники (чутливість об'єкта, роль користувача, історія поведінки) коригують ваги сигналів. Інтегральний RiskScore слугує тригером для оркестрації реакцій: від м'яких заходів (підвищена аутентифікація, throttling) до жорстких втручань (інвалідизація сесії, quarantine експортів). Важливо, що система підтримує human-in-the-loop: для критичних рішень потрібне підтвердження аналітика, а результати автоматичних втручань документуються для аудиту й подальшого навчання моделей.

Оцінювання ефективності платформи проводиться за класичними для IDS метриками — Precision, Recall, AUC-PR — та операційними показниками: MTTA - mean time to alert, MTTR − mean time to respond і навантаження на SOC − кількість інцидентів/день, частка хибних спрацьовувань (табл. 2). Для практичної валідації рекомендується використовувати суміш анонімізованих виробничих логів і синтетичних ін'єкцій атак, що відтворюють різні сценарії витоку, повільного ексфільтра або зловмисного вертикального підвищення привілеїв.

При проектуванні слід дотримуватись принципів «privacy-by-design»: тренувальні набори мають містити псевдонімізовані PII, мінімальні ознаки зберігаються довше за потребу, а для прийняття рішень зберігається прозора логіка (explainability), що дозволяє аудиту та відповідності регуляторним вимогам. Орієнтовна стратегія впровадження починається з інтеграції легких потокових детекторів і правил, після чого поетапно додаються складніші модулі — autoencoder для послідовностей, ізоляційні методи та графові аналізатори. Така еволюція дозволяє нівелювати ризики і поступово підвищувати глибину аналізу без надмірного навантаження на інфраструктуру.

Таблиця 2. Ключові метрики оцінювання системи виявлення

Метрика	**Опис**	**Призначення**
Precision / Recall	Точність і повнота виявлення інцидентів	Баланс між хибними сигналами та пропущеними атаками
MTTA	Середній час від події до оповіщення	Оцінка швидкості раннього виявлення
MTTR	Середній час від оповіщення до реакції	Вимір ефективності операцій SOC
FPR при фіксованому TPR	Частка хибних спрацьовувань	Вплив на робоче навантаження аналітиків

Підсумовуючи, запропонована модель поєднує швидке, контекстно-чутливе виявлення з глибинною аналітикою, що особливо важливо для систем обробки персональних даних. Поєднання потокових методів, методів безконтрольного навчання і графових підходів забезпечує збалансований компроміс між чутливістю та стійкістю до хибних спрацьовувань, а оркестрація відповідей з урахуванням бізнес-контексту — мінімізує негативний вплив на користувачів і операційну діяльність. Запропоновані принципи та структурні рішення придатні для інтеграції в існуючі SIEM/SOAR-стеки і можуть стати основою для подальшої роботі над адаптивними засобами захисту персональних даних.

Висновки. Розроблена система демонструє ефективність поєднання легких потокових детекторів із глибинними ML-та графовими моделями, що дозволяє одночасно підвищити чутливість до нових атак і зменшити кількість хибних сповіщень. Запровадження контекстного ризикового скорингу забезпечує адаптивність системи до різних сценаріїв загроз і мінімізує вплив на нормальну діяльність користувачів. Результати дослідження можуть бути використані для побудови інтегрованих платформ аналітичного моніторингу персональних даних у державних і корпоративних середовищах.

Список використаної літератури

[1] Pang, G., Shen, C., Cao, L., van den Hengel, A. Deep Learning for Anomaly Detection: A Review // *ACM Computing Surveys*. – 2021. – Vol. 54, No. 2. – P. 1–38. – DOI: 10.1145/3439950.

[2] Hariri, S., Kind, M. C., Brunner, R. J. Extended Isolation Forest // *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. – 2021. – Vol. 33, No. 4. – P. 1479–1491. – DOI: 10.1109/TNNLS.2020.3019809.

[3] Guo, H., Li, W., He, S. LogBERT: Log Anomaly Detection via BERT // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. – 2022. – Vol. 19, No. 1. – P. 436–451. – DOI: 10.1109/TNSM.2021.3129784.

[4] Поперешняк С. В., Панченко С. В., Федорченко О. Д., Ільїн С. А. Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи // *Проблеми програмування*. – 2024. – № 2–3. – С. 334–342. – DOI: 10.15407/pp2024.02-03.334.

УДК 004.9

ПРОЄКТУВАННЯ МОДУЛЮ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІТИКИ РЕКЛАМНОЇ АКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Бандоріна Л.М. (bandorina7@gmail.com)
Климкович Т.О.(tak10757@gmail.com)
Безпалий Л.Є. (pizapapironi@gmail.com)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

Здійснено проєктування модулю інформаційної системи, що підтримує управління процесами рекламної діяльності і дає можливість покращити аналітику та підвищити загальну ефективність бізнесу.

Актуальність проблеми. Рекламна діяльність компанії базується на комплексі маркетингових заходів, метою яких є донесення до цільової аудиторії інформації стосовно продукту, формування інтересу до нього та стимулювання до придбання. Всебічне розуміння потреб, очікувань і поведінки споживачів є основою цього процесу. Не останню роль відіграє аналіз ефективності комунікації з потенційними споживачами, зворотний зв'язок і тестування різних форматів рекламної діяльності.

Методи для вирішення проблеми. Модуль «Маркетинговий калькулятор» інформаційної системи просування продукції проєктується для аналітики рекламної активності підприємства з використанням сучасних економічних підходів, таких як ABC/XYZ-аналіз та Goal-Based Budgeting (GBB). Метою системи є автоматизоване групування оголошень за рівнем ефективності, стабільністю результатів і відповідністю маркетинговим цілям, а також проведення обґрунтованих розрахунків рекламного бюджету відповідно до поставлених цілей, що дозволяє підприємству ефективно планувати та оптимізувати витрати на рекламу.

Загальна архітектура модуля інформаційної системи складається з трьох логічних блоків: блоку взаємодії користувача із системою, блоку зберігання даних та блоку обробки інформації.

Блок взаємодії користувача із системою є ключовим елементом модуля «Маркетинговий калькулятор» інформаційної системи, який забезпечує ефективну комунікацію між користувачем та внутрішніми процесами системи. Користувач може вводити первинні дані стосовно рекламних кампаній, включаючи назви оголошень, періоди дії, , маркетингові цілі, бюджети, а також ключові показники ефективності (наприклад, кількість показів, кліків або коефіцієнт конверсії). Застосовуючи зручний інтерфейс користувач має змогу ініціювати виконання аналітичних розрахунків таких як запуск ABC/XYZ-аналізу або бюджетування за цілями (Goal-Based Budgeting) і отримувати результати аналізу. Передбачається, що користувач отримує класифікацію оголошень за групами ефективності (A, B, C) та стабільності (X, Y, Z), а також структурований розподіл рекламного бюджету згідно з визначеними цілями компанії. Таким чином, блок взаємодії з користувачем забезпечує повний цикл роботи з даними – від введення інформації до перегляду готових аналітичних висновків – і є невіддільною складовою архітектури інформаційної системи.

Блок збереження даних в проєктованій інформаційній системі виконує функцію тимчасового збереження вхідної інформації та результатів аналітичної обробки в межах одного сеансу роботи користувача. Система не використовує традиційні засоби довготривалого зберігання, такі як реляційні бази даних (наприклад, MS SQL Server), а натомість реалізує зберігання винятково в оперативній пам'яті комп'ютера або сервера.

Такий підхід забезпечує мінімізацію технічних залежностей, високу швидкість доступу до даних і гнучкість у роботі з інформацією. В оперативну пам'ять завантажуються вхідні дані рекламних кампаній, включаючи інформацію про оголошення, показники ефективності, витрати на рекламу та інші ключові параметри. Потім в пам'яті зберігаються результати виконання аналітичних розрахунків за методиками ABC/XYZ і розрахунки рекламного бюджету згідно з підходом Goal-Based Budgeting.

У зв'язку з відсутністю довготривалого сховища, всі дані є сеансовими – вони існують лише протягом активної роботи користувача із системою. При завершенні сеансу або вимкненні системи дані не зберігаються, що передбачає повторне введення або завантаження інформації при кожному новому сеансі. Незважаючи на це, такий підхід виправданий у випадках, коли аналіз виконується одноразово або з акцентом на швидкість обробки, а не на накопичення історичних даних.

Загалом, блок зберігання в оперативній пам'яті забезпечує мінімально необхідну функціональність для підтримки обчислювального процесу в системі, дозволяючи ефективно здійснювати аналітичні розрахунки без надмірного ускладнення архітектури програмного забезпечення

Блок виконання обчислень виконує центральну роль у функціонуванні даного модуля, оскільки забезпечує реалізацію математичних і економічних процедур для аналітичної обробки вхідних даних, пов'язаних із рекламною діяльністю підприємства. Саме в межах цього блоку відбувається перетворення «сирих» маркетингових показників у структуровану інформацію, необхідну для ухвалення управлінських рішень.

Таким чином, блок формують два незалежних аналітичних напрями.

Перший – це застосування методів ABC і XYZ-аналізу, що дозволяють класифікувати рекламні кампанії або окремі оголошення за критеріями. ABC-аналіз забезпечує ранжування аналізованих об'єктів за рівнем їх ефективності, а саме: категорія A (високоефективні), B (середньої ефективності) та C (низької ефективності /пріоритетності). XYZ-аналіз дозволяє аналітику оцінити стабільність результатів проведених рекламних кампаній через визначення статистичної варіативності показників, а саме: група X – стабільні; група Y – середньої стабільності; група Z – нестабільні. Ці методики функціонують незалежно від бюджетного модулю.

Другий аналітичний напрям відповідає за реалізацію концепції Goal-Based Budgeting (GBB) і здійснює розрахунки, спрямовані на розподіл рекламного бюджету відповідно до наперед визначених маркетингових цілей. Враховуються цілі підприємства (наприклад, зростання охоплення потенційної клієнтської аудиторії, зменшення витрат на одного клієнта, підвищення конверсій) і формуються бюджетні рекомендації, на підставі даних /результатів минулої рекламної активності.

Таким чином, блок виконання обчислень складають два взаємодоповнюючих компонента (модуль класифікаційного аналізу (ABC/XYZ) та модуль цільового бюджетування (GBB)), кожен з яких функціонує як незалежний механізм прийняття рішень з питань управління рекламною діяльністю підприємства, інтегрований у загальну архітектуру інформаційної системи просування продукції.

Такий чіткий розподіл на блоки забезпечує узгоджену роботу, надійність і масштабованість системи. Це дозволяє використовувати її як результативний інструмент оптимізації процесів просування продукції і прийняття своєчасних маркетингових рішень.

Функціональна модель проєктованого модуля «Маркетинговий калькулятор» інформаційної системи відображає його основні функції, об'єкти та взаємозв'язки між ними. Для побудови моделі використано структурний підхід, що дозволяє систематично описати діяльність модуля через розподіл його функцій. В якості основного інструменту моделювання використано контекстну діаграму за методикою IDEF0 (рисунок 1). Контекстна діаграма є верхнім рівнем функціональної моделі модуля «Маркетинговий калькулятор», побудованої відповідно до методології IDEF0 [1]. Ця діаграма описує модуль як єдиний узагальнений процес, що взаємодіє з зовнішніми об'єктами через чітко визначені входи, виходи, керуючі впливи та механізми.

У центрі діаграми розміщено функціональний блок «Marketing calculator», який виконує обробку маркетингової інформації з метою подальшого формування результатів аналізу рекламної діяльності. Цей блок уособлює основну функцію системи на контекстному рівні.

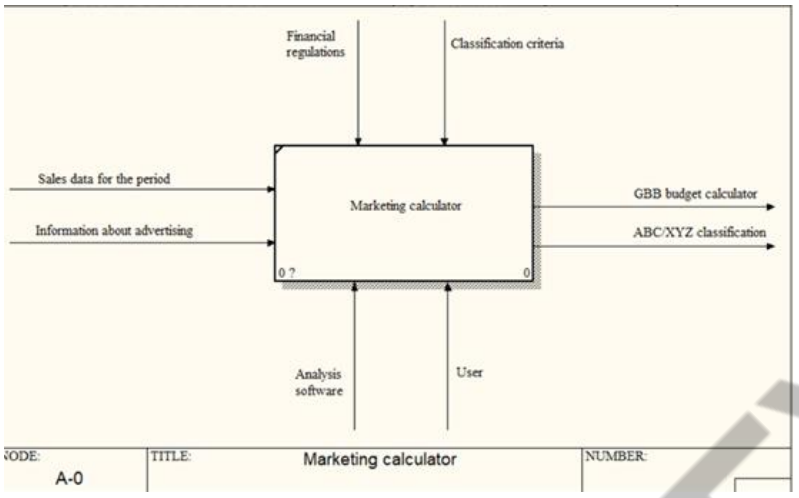


Рисунок 1 – Контекстна діаграма IDEF0 модуля «Маркетинговий калькулятор» інформаційної системи

Вхідними даними до модуля є статистичні дані про продажі за обраний період (Sales data for the period) та інформація про проведені або заплановані рекламні кампанії (Information about advertising). Ці дані є базою для проведення аналітичних розрахунків. Результатами функціонування модуля є розрахунок бюджету за моделлю GBB (GBB-budget calculator) та класифікація за методами ABC і XYZ (ABC/XYZ classification), котрі, як було зазначено вище, використовуються для ухвалення управлінських рішень у сфері маркетингу. На функціонування модуля впливають керуючі дії у вигляді фінансових регламентів (Financial regulations), які визначають обмеження та правила бюджетного планування, а також критерії класифікації (Classification criteria), що використовуються в аналітичних моделях.

Реалізація функціонального блоку забезпечується ресурсами: користувачем (User), який вводить дані, налаштовує параметри аналізу та інтерпретує результати, і програмним забезпеченням для аналізу (Analysis software), що виконує обчислення та обробку інформації.

Висновок. У результаті побудови функціональної моделі було визначено загальну структуру модуля інформаційної системи та її взаємодію з зовнішнім середовищем. Контекстна діаграма, створена за методологією IDEF0, дозволила описати модуль як єдину функцію, що забезпечує виконання розрахунків на основі вхідних маркетингових даних. Модель чітко ілюструє, які ресурси та регламентуючі документи впливають на процес обробки даних, а також які результати очікуються на виході. Такий підхід забезпечує наочність і логічну послідовність у поданні функціональних зв’язків усередині проєктованого модуля.

Наступним важливим етапом проєктування модуля інформаційної системи є проектування організації даних, оскільки правильна структура даних забезпечує ефективну обробку інформації та продуктивну реалізацію необхідних функцій. На основі проведеної декомпозиції функціональної моделі було виділено чотири основні блоки, кожен із яких відповідає за певний етап роботи з даними в модулі інформаційної системі просування продукції. Результатом проєктування стало створення логічної структури даних, що забезпечує ефективну взаємодію між підсистемами, підтримує цілісність даних, дозволяє зменшити надлишковість інформації та спрощує процеси її оновлення і обробки.

Список використаної літератури

[1]. Створення схем IDEF0. URL: https://support.microsoft.com/uk-ua/topic/створення-схем-idef0-ea7a9289-96e0-4df8-bb26-a62ea86417fc (дата звернення: 16.10.2025).

УДК 004.932

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ І ФОРМУВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗВИЧОК

Бевз С. В.[1], Монастирський О. М.[2]
(bevz.svitlana.v@gmail.com, juststudying121@gmail.com)
[1]Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
[2]Вінницький національний технічний університет (Україна)

Проведено порівняльний аналіз аналогів інтелектуальної підтримки і формування користувацьких звичок. Визначено функціонал власної розробки. Розроблено алгоритм роботи системи.

У сучасному світі за умов постійного інформаційного перевантаження та високого темпу життя проблема формування і підтримки корисних звичок є актуальною. Тренд на самопокращення спонукає людей отримувати нові корисні звички для власного самовдосконалення. Для того, щоб бути впевненим, що людина набуває та підтримує ту чи іншу звичку, користуються різними засобами для відслідковування прогресу: особистий щоденник з нотатками, відмітки в календарі, звичайні блокноти тощо.

Для того, щоб об'єднати переваги зазначених засобів та спростити користувачеві можливість набути і відслідковувати прогрес вдосконалення тієї чи іншої навички зручно використовувати програмний застосунок.

Розробка десктопної програми з розширеною аналітикою, системою нагадувань і візуалізацією даних дозволить покращити процес самоменеджменту, підвищити мотивацію та ефективність самовдосконалення користувачів.

До можливостей розробленого застосунку входить реалізований функціонал:

1) додавання, видалення, відмітка виконаних звичок, які хоче набути користувач;
2) можливість додавати нотатки і вести щоденник для відслідковування думок та дій протягом періоду набуття тієї чи іншої звички;
3) зручні нагадування та сповіщення про невиконані звички, щоб користувач не забував виконати ту чи іншу звичку сьогодні;
4) розгорнутий сервіс аналітики з наочною інформацією для відслідковування прогресу удосконалення звичок користувачем.

Розробники програмних систем та застосунків спрощують можливість набуття нових звичок людям, створивши спеціалізовані програми для контролю та відслідковування прогресу з покращення бажаних навичок. Розглянемо такі застосунки, зокрема, Habitica, Habitify, Loop, Way of Life.

Таблиця 1 — Порівняння характеристик застосунків для відслідковування виконання звичок

Критерій	Habitica	Habitify	Loop	Way of Life	Власна розробка
Відслідковування процесу набуття звичок	1	1	1	1	1
Можливість вказувати дні виконання для звички	1	1	1	0	1
Можливість додавати нотатки	0	1	1	1	1
Нагадування про невиконані звички	1	0	1	1	1
Системні сповіщення	0	0	0	0	1
Розширена аналітика	0	0	0	0	1
Загальна оцінка	3	3	4	3	6

Habitica [1] — це застосунок, що зосереджений на геймифікованому відслідковуванні звичок, що робить його чудовим вибором для людей, мотивованих ігровими викликами та винагородами. В якості завдань тут розглядають прогрес покращення звичок, а в якості нагород користувач

отримує систему програмно реалізованих стимулів. Проте програма Habitica більше схожа на гру, де відслідковування звичок є другорядним завданням. Велика кількість квестів, предметів та випробувань може відволікти користувачів від основної мети програми – відстеження звичок та забезпечення послідовності їх вдосконалення.

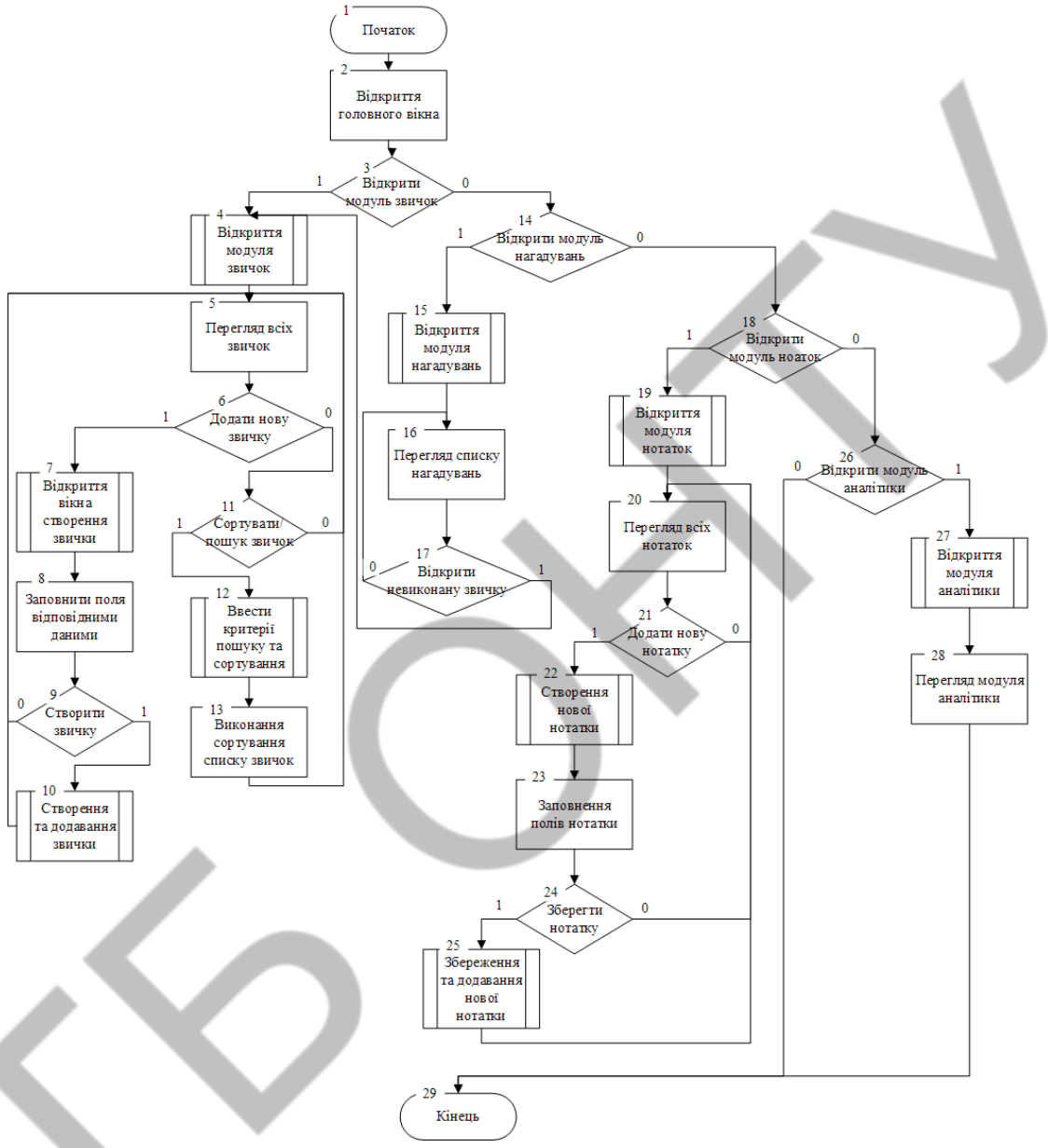


Рисунок 1 — Блок-схема загального алгоритму роботи програми

Habitify [2] — це платформа, що чудово підходить для впорядкування звичок за сферами, такими як фітнес, навчання чи догляд за собою. Користувач може легко створювати звички та групувати їх за категоріями та кольорами. Також користувач може ділитися своїм прогресом з іншими користувачами, що корисно, якщо потрібна певна звітність. Недоліком програми є складний інтерфейс користувача.

Loop [3] — це мобільний застосунок, розроблений для користувачів Android. Він підходить для відстеження звичок, котрі мають одиниці виміру. Наприклад, при створенні звички «Біг зранку» користувач може вказати відстань, яку потрібно пробігти для виконання звички. На жаль, Loop не пропонує автоматичних можливостей відстеження прогресу, який користувач може записувати лише вручну.

Way of Life [4] — це мобільний застосунок для Android системи, який дозволяє відстеження прогресу вдосконалення звичок на тижневій основі, оскільки пропонує чітке уявлення про тиждень. З функціоналу програма пропонує можливості відмітити звичку як виконану чи невиконану, пропустити виконання сьогодні або додатки нотатку. Також застосунок надає

НТБОНТУ

функціонал візуалізації діаграм прогресу, що підсумовують результати вдосконалення окремої звички чи кількох звичок одночасно, допомагаючи користувачам проаналізувати свою успішність.

Для наочної демонстрації відмінностей описаних застосунків наведемо таблицю порівняння характеристик систем інтелектуальної підтримки і формування користувацьких звичок (табл.1).

За розглянутими критеріями власна розробка є актуальною та має деякі переваги перед існуючими аналогами.

У результаті дослідження аналогів системи інтелектуальної підтримки і формування користувацьких звичок визначено функціонал власного застосунку. Алгоритм роботи розробленої системи для відслідковування процесу виконання звичок наведений на рис.1.

Система володіє визначеним функціоналом:

- надає можливість вказати ім’я, опис, час нагадування, дні виконання та кількість днів відслідковування обраної звички;
- надає можливість додавати нотатки користувача;
- забезпечує функціонал перегляду, сортування, пошуку, видалення та відмітки виконаних звичок;
- формує сповіщення та нагадування про невиконані сьогодні звички;
- має можливість працювати у фоновому режимі;
- надає розширену аналітику, а саме: загальну інформацію про звички, графік виконання звичок, календар виконання, детальну таблицю звичок та підсумок про виконання конкретної звички за обраний період часу.

Висновок

Розроблена система інтелектуальної підтримки і формування користувацьких звичок має на меті спростити процес відслідковування прогресу у вдосконаленні потрібних користувачеві звичок.

Список використаної літератури

[1] **Habitica**. [Online] URL: **https://habitica.com/static/home** [Accessed: October, 05, 2025].
[2] **Habitify**. [Online]. URL: **https://habitify.me/** [Accessed: October, 06, 2025].
[3] **Loop**. [Online]URL: **https://loophabits.org/** [Accessed: October, 07, 2025].
[4] **Way of Life**. [Online] URL: **https://wayoflifeapp.com/** [Accessed: October, 08, 2025].

УДК 004.8

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВІРИ ДО МЕТЕОПРОГНОЗІВ ШЛЯХОМ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ШІ

Бережний Т. В., Бойченко В.І , Почуєв Д.С., Зіноватна С. Л.
(berezhnoy.tim@gmail.com, dmytro.pochuiev@gmail.com, 7465122@stud.op.edu.ua, zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі розглядається проблема розбіжностей у прогнозах погоди від різних провайдерів та пропонується метод підвищення їх надійності. Описано підхід, що базується на агрегації даних з кількох незалежних API та розрахунку усереднених показників. Обґрунтовано використання стандартного відхилення як міри узгодженості прогнозу. Представлено концепцію використання мовного асистента на базі ШІ для інтерпретації результатів та інформування користувача про ступінь невизначеності.

При використанні погодних сервісів користувачі часто стикаються з ситуацією, коли різні джерела надають суттєво відмінні прогнози для однієї й тієї ж локації та часу. Це знижує довіру до метеорологічної інформації в цілому та ускладнює прийняття рішень [1]. Причиною таких розбіжностей є використання різних прогностичних моделей (наприклад, GFS, ECMWF), кожна з яких має власні припущення та джерела похибок [2]. Модель прогнозування погоди GFS

НТБОНТУ

(Глобальна система прогнозування) розроблена Національними центрами прогнозування навколишнього середовища, які генерують дані по десятках атмосферних і ґрунтово-сухих змінних. Система поєднує чотири окремі моделі (атмосферу, океан, сушу/ґрунт і морський лід), які працюють разом для точного опису погодних умов [3]. Модель Європейського центра середньострокових прогнозів погоди ECMWF служить основною базою для прогнозів у європейських країнах, вона здатна надавати прогнози на строк до 10 днів з горизонтальною роздільною здатністю 9 км. Така роздільна здатність у два рази гірше, ніж у чисельних моделей обмеженої області [4].

Однак в [5] зазначено, що якість прогнозів у деяких випадках усе ще низьке, хоча вона значно покращилася за останні десятиліття за рахунок підвищення продуктивності комп'ютерів і доступності нових даних.

Тому актуальною задачею є розробка програмного засобу, за допомогою якого можна отримати найбільш достовірний прогноз.

Метою роботи є збільшення ймовірності отримання достовірного прогнозу показників погоди за рахунок автоматизованої інтеграції результатів різних джерел.

Для вирішення проблеми пропонується система, що працює за принципом ансамблевого прогнозування на рівні кінцевих даних. Ансамблеве прогнозування - це підхід до моделювання, що поєднує джерела даних, моделі різних типів з альтернативними припущеннями, використовуючи різні методи розпізнавання образів [6]. Наприклад, в [7] описано використання ансамблевих прогнозів індексів зрошення, отримані шляхом об'єднання прогнозів чисельного прогнозування погоди з моделлю біофізичних процесів.

Замість того, щоб покладатися на одну модель, система одночасно надсилає запити до п'яти незалежних метеорологічних API. Такий підхід дозволяє нівелювати випадкові та систематичні помилки окремих джерел.

Нехай X_i – значення певного метеорологічного параметра (наприклад, температури), отримане від i-го джерела, де $i = 1, ..., n$ (у нашому випадку n=5). Ключовим агрегованим показником є середнє арифметичне:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

Цей усереднений результат є більш стійким та менш схильним до екстремальних викидів, характерних для одного джерела [8].

Перед розрахунком усереднених значень система виконує етап нормалізації даних, на якому всі показники приводяться до єдиної системи вимірювань (наприклад, градуси Цельсія, метри за секунду). Вибір середнього арифметичного як основного агрегатора обґрунтований його простотою та ефективністю у зменшенні дисперсії помилки.

Однак, саме по собі середнє значення не відображає ступінь узгодженості між джерелами. Для кількісної оцінки цієї узгодженості пропонується розраховувати стандартне відхилення вибірки:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}$$

Величина σ_x є індикатором невизначеності прогнозу: низьке значення свідчить про високий консенсус між моделями, тоді як високе – про значні розбіжності в їхніх показаннях.

Інформація про невизначеність є критично важливою для користувача, але складною для інтерпретації у вигляді числа. Тому в системі реалізовано модуль штучного інтелекту (мовний асистент), який перетворює числові дані в текстовий коментар. На вхід ШІ-модуля подаються як усереднене значення $\bar{X}$, так і показник відхилення σ_x.

На основі цих даних ШІ генерує текстовий висновок, який відображає рівень впевненості у прогнозі. Для цього можна ввести коефіцієнт впевненості K_e, що є функцією від стандартного

відхилення. Наприклад, для температури, де відхилення у 3°C можна вважати суттєвим, коефіцієнт можна визначити як:

$$K_e = max(0{,}1 - \frac{\sigma_T}{3})$$

де σ_T – стандартне відхилення для температури. Тоді логіка роботи ШІ може бути наступною:

– якщо $K_e \geq 0.8$ (низьке відхилення), генерується впевнений коментар: «Прогноз надійний, більшість джерел сходяться на думці...»;

– якщо $0.5 \leq K_e < 0.8$ (середнє відхилення), коментар буде обережнішим: «Загалом очікується..., хоча прогнози від різних сервісів дещо відрізняються»;

– якщо $K_e < 0.5$ (високе відхилення), користувач буде попереджений: «Джерела надають суперечливі дані, тому прогноз є орієнтовним...»;

Такий підхід створює прозору систему, що пояснює рівень надійності наданої інформації. Це підвищує довіру до системи та дає користувачеві змогу приймати більш обґрунтовані рішення [9].

Мовний асистент перекладає абстрактні статистичні показники на мову практичних висновків, що дозволяє користувачам, які не мають спеціалізованих знань, адекватно оцінювати надійність прогнозу.

Архітектурно система реалізована за мікросервісним підходом. Один сервіс відповідає за взаємодію із зовнішніми API (виконує паралельні асинхронні запити для мінімізації часу очікування), другий сервіс – за обробку та агрегацію даних (нормалізація, обчислення середнього та відхилення), а третій сервіс інкапсулює логіку мовного асистента ШІ. Такий розподіл дозволяє забезпечити високу відмовостійкість (збій одного джерела даних не призведе до зупинки всієї системи) та масштабованість, дозволяючи в майбутньому легко додавати нові джерела даних або замінювати модель ШІ без впливу на інші компоненти.

До числа основних результатів, отриманих в ході проєктування системи, можна віднести наступне:

– розроблено метод підвищення якості метеопрогнозів шляхом агрегації даних з кількох джерел, що дозволяє згладити похибки окремих прогностичних моделей;

– запропоновано використання стандартного відхилення як кількісної міри консенсусу між джерелами, що слугує індикатором надійності прогнозу;

– обґрунтовано застосування мовного ШІ для інтерпретації статистичних даних та перетворення їх у зрозумілі для кінцевого користувача текстові коментарі, що підвищує прозорість та довіру до системи.

У майбутньому планується розвиток системи шляхом впровадження алгоритмів машинного навчання для динамічного зважування джерел, надаючи більший пріоритет тим API, які історично демонструють вищу точність для конкретного регіону.

Список використаної літератури

[1] Burgeno J. N., Joslyn S. L. The impact of weather forecast inconsistency on user trust. Weather, Climate, and Society. 2020. Vol. 12, no. 4. P. 879–890. DOI: 10.1175/WCAS-D-20-0019.1.

[2] Bauer P., Thorpe A., Brunet G. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*. 2015. Vol. 525, no. 7567. P. 47–55. DOI: 10.1038/nature14956.

[3] Global Forecast System (GFS). URL: https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast (дата звернення 10.09.2025).

[4] Frnda J., Durica M., Nedoma J., Zabka S., Martinek R., Kostelansky M. A Weather Forecast Model Accuracy Analysis and ECMWF Enhancement Proposal by Neural Network. Sensors. 2019. Vol. 19, no. 23. P.5144. DOI: 10.3390/s19235144.

[5] The limits of weather forecasting: How far into the future can we look? URL: https://press.uni-mainz.de/the-limits-of-weather-forecasting-how-far-into-the-future-can-we-look/ (дата звернення 15.09.2025).

[6] Wu H., Levinson D. The ensemble approach to forecasting: A review and synthesis. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 132. P. 103357. DOI: 10.1016/j.trc.2021.103357.

[7] Schepen A., Sexton J., Philippa B., Attard S., Robertson D. E., Everingham Y. Downscaled numerical weather predictions can improve forecasts of sugarcane irrigation indices. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 221. P. 109009. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109009.

[8] Buizza R., Houtekamer P. L., Toth Z., Pellerin G., Wei M., Zhu Y. Ensemble forecasting at ECMWF and the calibration of the raw forecast. Monthly Weather Review. 2005. Vol. 133, no. 5. P. 1281–1309. DOI: 10.1175/MWR2914.1.

[9] Gigerenzer G., Edwards A. Simple tools for understanding risks: from innumeracy to insight. *BMJ*. 2003. Vol. 327, no. 7417. P. 741–744. DOI: 10.1136/bmj.327.7417.741.

УДК 004.8

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СОЦІАЛЬНА МЕРЕЖА ДЛЯ ОБМІНУ ФОТОГРАФІЯМИ З АВТОМАТИЧНИМ ШІ-ТЕГУВАННЯМ

Бережний Т. В., Тройніна А.С., Рувінська В. М.
(berezhnoy.tim@gmail.com, anastasiyatroinina@gmail.com, iolnlen@te.net.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У тезах розглядається концепція розробки соціальної мережі, яка поєднує традиційний обмін фотографіями з технологіями штучного інтелекту. Основною метою системи є створення розумної платформи, що дозволяє користувачам завантажувати зображення, отримувати автоматично згенеровані теги та персоналізований контент.

Розроблена система покликана вирішити проблему неефективної організації контенту в існуючих соціальних мережах, де пошук та категоризація фотографій здебільшого залежать від ручного введення тегів користувачем. Це знижує релевантність результатів пошуку, ускладнює навігацію та не забезпечує персоналізованого досвіду [1]. Запропоноване рішення передбачає впровадження модуля ШІ, що використовує методи глибокого навчання та комп'ютерного зору для автоматичного розпізнавання об'єктів, сцен і контексту зображень.

Система розроблена за багаторівневою архітектурою та складається з таких підсистем:

– Користувацький інтерфейс (Frontend) - забезпечує взаємодію користувача із системою: реєстрацію, авторизацію, створення постів, редагування, перегляд, пошук і збереження зображень. Реалізовано за допомогою React та TypeScript.

– Серверна логіка (Backend) - обробляє запити користувачів, керує даними, обліковими записами, постами та викликами AI-сервісів. Для реалізації використано Appwrite як бекенд-сервіс і REST API для зв'язку з клієнтом.

– AI-модуль - підсистема на базі нейронних мереж, яка виконує автоматичне розпізнавання зображень і генерацію тегів. Результати тегування зберігаються в базі даних та використовуються для швидкого пошуку.

– База даних - сховище даних користувачів, постів, тегів і зображень. Передбачено оптимізацію запитів, індексацію за тегами та механізми кешування.

– Підсистема безпеки - забезпечує шифрування даних користувачів, токен-автентифікацію, виявлення потенційних атак і контроль прав доступу.

– Аналітичний модуль - відповідає за збір статистики щодо активності користувачів, популярних тегів і динаміки використання, що дозволяє формувати персоналізовані рекомендації.

Підсистема керування користувачами відповідає за створення, автентифікацію та адміністрування облікових записів. Вона забезпечує безпечну авторизацію, збереження профільних даних і взаємодію між користувачами через сучасний веб-інтерфейс та REST API.

Підсистема керування контентом забезпечує завантаження, збереження, редагування, перегляд і видалення фотографій користувачів. Вона використовує хмарне сховище, що гарантує високу швидкість доступу до зображень і стабільність публікацій у стрічці.

Підсистема штучного інтелекту виконує аналіз зображень для автоматичного створення тегів за допомогою нейронних мереж типу CNN. Її інтеграція дозволяє отримувати релевантні ключові слова й категорії, що значно підвищує ефективність пошуку контенту.

Підсистема безпеки та автентифікації реалізує захист даних користувачів через шифрування, токен-автентифікацію та протоколи SSL/TLS. Вона запобігає несанкціонованому доступу й відповідає вимогам OWASP Top 10 щодо безпеки.

Підсистема аналітики та статистики забезпечує збір і обробку даних про активність користувачів, ефективність тегів і загальну динаміку використання системи. На основі цих даних формуються звіти та рекомендації, що оптимізують користувацький досвід і покращують роботу ШІ-модулів.

Інтелектуальну соціальну мережу можна подати у вигляді моделі «чорної скриньки» на рис.1, що описує систему як цілісний об’єкт взаємодії із зовнішнім середовищем.

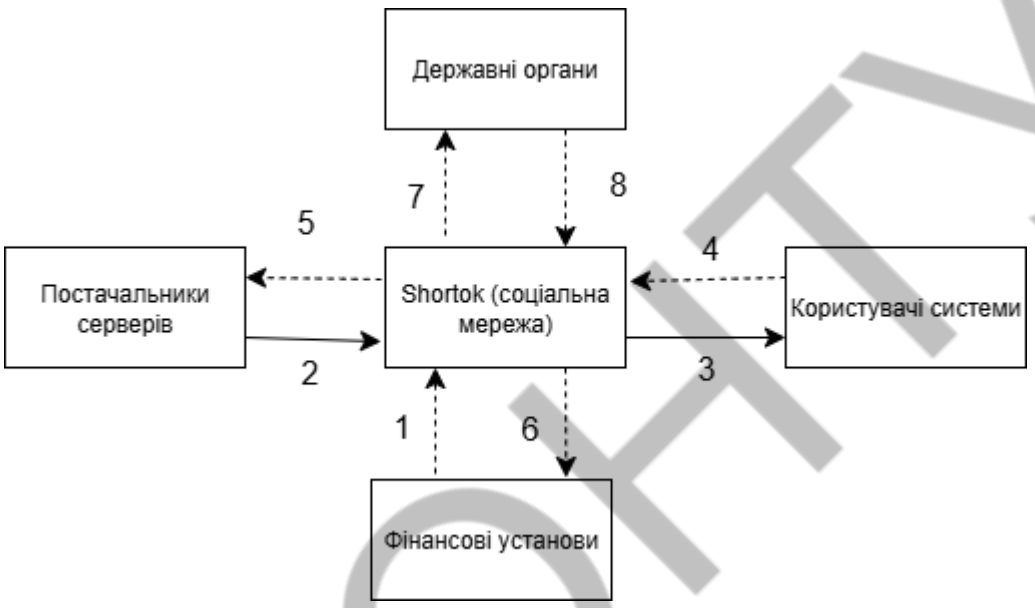


Рисунок 1 – Модель «чорної скриньки»

Модель «чорної скриньки» відображає соціальну мережу як цілісну систему, що взаємодіє із зовнішнім середовищем - користувачами, інвесторами, державою та ринком. Вона описує ключові потоки ресурсів, інформації та фінансів, які забезпечують функціонування платформи.

Для реалізації діяльності системи необхідне залучення капіталу у вигляді акцій або позикових коштів. Отримані інвестиції забезпечують наявність ліквідних ресурсів, потрібних для оренди серверів, хмарних сховищ та обчислювальних потужностей, що становлять технічну основу функціонування платформи.

Користувачі системи здійснюють реєстрацію, завантаження контенту, перегляд постів і взаємодію з рекламними матеріалами. Це формує потік доходів від реклами та преміум-функцій, який надходить у систему. Отримані кошти використовуються для оплати праці персоналу, розвитку інфраструктури, підтримки безпеки та покриття експлуатаційних витрат.

Частина доходів спрямовується на виплату відсотків за позиковим капіталом і дивідендів інвесторам. Паралельно здійснюються податкові відрахування та обов’язкові збори державі. Водночас держава може підтримувати проєкт у формі дотацій або грантів на розвиток цифрових технологій та інновацій.

Проведено детальний аналіз ризиків за категоріями: технічні, операційні, ринкові та користувацькі. Серед основних технічних ризиків - складність інтеграції AI, забезпечення масштабованості системи та відповідність вимогам щодо захисту даних. Для частини з них побудовано діаграму Ішікави, що відображає причинно-наслідкові зв’язки факторів, які можуть призвести до невдалого впровадження технології AI.

Реалізація системи дозволить:

– автоматизувати процес додавання тегів до фотографій за допомогою ШІ;

– спростити пошук контенту та зробити рекомендації більш персоналізованими;

– підвищити рівень безпеки та довіри користувачів до зберігання їхніх даних;

– забезпечити масштабованість архітектури для подальшого розширення функціональності (розпізнавання облич, геомітки, контент-фільтрація тощо);

НТБОНТУ

– створити платформу, що поєднує елементи класичної соціальної мережі з інноваційними AI-підходами.

Таким чином, розроблений проєкт не лише вирішує актуальні проблеми впорядкування контенту в соціальних мережах, а й демонструє приклад ефективної інтеграції штучного інтелекту в сучасні інформаційні системи. Його реалізація має потенціал комерційного впровадження та подальшого масштабування на інші мультимедійні сервіси.

Висновки**.** Проведене проєктування дозволило визначити архітектуру інтелектуальної соціальної мережі, побудувати моделі процесів, оцінити ризики та визначити економічну доцільність реалізації. Запропонована система є перспективною для подальшої розробки як приклад гібридного застосування ШІ в соціальних платформах, орієнтованих на зручність, безпеку та автоматизацію користувацького досвіду.

Список використаної літератури

[1] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM, 60(6), 84–90, 2017.

[2] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

[3] Boehm, B. W. Software Engineering Economics. Prentice-Hall, 1981.

[4] Pressman, R. S. Software Engineering: A Practitioner’s Approach. McGraw-Hill, 2020.

UDC 004.75:519.872:004.056.55

A HEALTH-DRIVEN ADAPTIVE CONSENSUS PROTOCOL FOR STABLE FINALITY TIME

Bystryk M. (max.bystryk@gmail.com**)**

Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

Annotation. Byzantine-fault-tolerant (BFT) consensus protocols underpin most permissioned blockchains, yet their performance hinges on static parameters like timeouts and fixed leader-rotation schemes. These are often tuned for worst-case network assumptions, leading to suboptimal finality times under normal conditions and instability during periods of network strain or node degradation. I design, formally model, and evaluate an adaptive BFT consensus protocol where validator selection and round timeouts are dynamically adjusted based on real-time node health metrics (latency, throughput, stability). My formal model, based on timed automata, proves that these adaptations preserve core safety and liveness properties. The protocol uses a lightweight health score to bias leader selection towards performant validators and calibrates timeouts to observed network latencies. On a simulated 7-node BFT network under non-uniform load and injected faults, my adaptive protocol reduces p99 finality time from 4.5 s to 2.2 s (-51%) and cuts consensus view changes from 45 to 8 per 10,000 blocks (-82%). Sustainable throughput under a 2.5 s p99 finality SLO increases from 400 to 460 TPS (+15%). These results showcase a practical path toward self-tuning, high-performance BFT consensus that is resilient to dynamic operating conditions.

Keywords: adaptive consensus; BFT; finality time; node health; formal verification; liveness; safety; dynamic timeouts.

Introduction and Formal Foundations. Finality latency in BFT systems is critically dependent on the protocol’s ability to proceed through consensus rounds without triggering view changes. Standard BFT protocols (e.g., PBFT [1], IBFT) employ static timeouts and round-robin leader schedules. This rigid design creates a fundamental trade-off: short timeouts improve performance in ideal conditions but cause spurious view changes under transient network delays, while long timeouts accommodate instability at the cost of consistently higher latency, a well-known problem in large-scale systems [3]. To address this, I propose an adaptive approach where the protocol adjusts its core parameters in response to observed system state. My modelling stance is grounded in formal methods and performance modeling theory [4]. I

represent the protocol as a network of timed automata [2], which allows us to formally reason about safety (e.g., no two validators commit different blocks at the same height) and liveness (a submitted transaction is eventually committed) under a set of verifiable assumptions about network and node behaviour. The goal is not just empirical improvement but a provably correct protocol whose adaptive mechanisms are constrained by safety invariants.

Protocol Architecture and Safeguards. The protocol's adaptivity is driven by two core mechanisms governed by a node health score, a weighted moving average of locally measured metrics: inter-validator message latency (p95 RTT), block processing throughput, and uptime/participation history. This approach builds upon prior research into making BFT systems more adaptable [6].

- Health-Aware Leader Selection: Instead of a strict round-robin schedule, my protocol employs a weighted selection scheme where a validator's probability of being chosen as the leader is proportional to its health score. This naturally prioritises nodes that are currently responsive and well-connected, minimising the chance of a slow or disconnected leader stalling a round. To prevent centralisation, a floor is applied to selection probabilities, ensuring all validators participate over time.
- Dynamic Timeout Governor: Round timeouts are not fixed constants. Instead, the timeout for each consensus step is dynamically calculated as a function of the network's recently observed message-passing latency, e.g., $T_{round} = \alpha \cdot p95(RTT) + C$, where $\alpha > 1$ is a safety multiplier and C is a constant for processing overhead.

Safety guards are paramount. All adaptations operate within protocol-defined bounds: timeouts have a minimum floor to prevent premature decisions, and the leader selection mechanism guarantees that the BFT assumption ($n \geq 3f + 1$) is never violated [1]. In case of telemetry failure, the protocol gracefully degrades to a safe, conservative set of static parameters.

Evaluation Methodology. I evaluate my protocol, termed Adaptive-BFT, against a baseline static BFT implementation within a discrete-event network simulator and on a small-scale Docker-based testbed. The network consists of seven validator nodes. The workload combines a steady background of transactions with periodic, high-intensity bursts. I simulate real-world instability by injecting artificial latency spikes into inter-node communication channels and by temporarily degrading the CPU performance of specific validators to model transient overload. I measure end-to-end finality time (from client submission to commit), the rate of view changes, and sustainable throughput under a strict p99 finality SLO [3]. All results are compared directly against a baseline BFT protocol with optimally tuned (but static) parameters for the average case.

Performance Analysis and Findings. The adaptive protocol significantly outperforms its static counterpart, especially under dynamic conditions.

10. Latency Reduction: Under bursty traffic, p99 finality time is reduced from 4.5 s to 2.2 s (-51%), and p95 finality drops from 3.1 s to 1.8 s (-42%).
11. Stability Improvement: The frequency of consensus view changes plummets from 45 to 8 per 10,000 blocks (-82%), indicating that the protocol successfully avoids spurious timeouts by adapting to network conditions.
12. Resilience: During a simulated event where one validator's network latency is increased by 300ms for 60 seconds, the baseline protocol's finality time spikes to over 12s due to repeated view changes. In contrast, Adaptive-BFT detects the degradation, biases leadership away from the slow node, and maintains a p99 finality of ~2.9 s.
13. Throughput Gains: The improved stability and lower latency allow the network to sustain a higher transaction rate. At a target p99 finality SLO of 2.5 s, sustainable throughput increases from 400 TPS to 460 TPS (+15%).
14. Overhead: The health score computation and dissemination add negligible overhead, consuming less than 1% of CPU and accounting for less than 0.5% of consensus-related network traffic.

Analysis, Limitations, and Impact. These findings are most relevant for permissioned or consortium blockchains where validator performance can be heterogeneous, a common scenario in real-world deployments like those using Tendermint [5]. A primary threat to validity is the potential for strategic manipulation of health metrics. In my model, metrics are locally generated and cross-verified, making overt manipulation difficult, but more subtle attacks remain an area for future research. My simulations, while designed to be realistic, may not capture all complex network failure modes. The core implication is that consensus protocols need not be static [6]. By embedding telemetry-driven feedback

loops directly into the protocol logic, I can achieve systems that are both robust and high-performing. This shifts the operational burden from manual, worst-case parameter tuning to automated, real-time optimisation. The formal modelling provides a blueprint for developing such adaptive protocols without compromising on the fundamental safety guarantees required for distributed ledgers.

Conclusion and Future Work. I designed, formally modelled, and evaluated a health-driven adaptive BFT consensus protocol. By dynamically adjusting leader selection and timeouts based on real-time node metrics, my protocol simultaneously preserves provable safety and achieves significant performance gains. It halves p99 finality latency, reduces disruptive view changes by over 80%, and increases sustainable throughput. The protocol's resilience to transient node failures demonstrates a clear advantage over static BFT designs. These results validate the thesis that integrating real-time system state into core consensus logic offers a powerful and safe pathway to building next-generation, high-performance blockchain networks. Future work will focus on game-theoretic analysis of health score incentives and extending the adaptive model to other consensus components like batching strategies.

References

[1] M. Castro and B. Liskov, “Practical Byzantine Fault Tolerance,” in *Proc. 3rd USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '99)*, New Orleans, LA, USA, Feb. 1999, pp. 173–186.

[2] R. Alur and D. L. Dill, “A theory of timed automata,” *Theoretical Computer Science*, vol. 126, no. 2, pp. 183–235, Apr. 1994.

[3] J. Dean and L. A. Barroso, “The Tail at Scale,” *Communications of the ACM*, vol. 56, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2013.

[4] M. Harchol-Balter, *Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.

[5] E. Buchman, J. Kwon, and Z. Milosevic, “The latest gossip on BFT consensus,” *arXiv preprint arXiv:1807.04938*, Jul. 2018.

[6] A. Clement, E. P. Wobber, M. F. Kaashoek, and B. Liskov, “Making Byzantine Fault Tolerance Adaptable,” in *Proc. 2009 USENIX Annual Technical Conference*, San Diego, CA, USA, Jun. 2009, pp. 25–38.

УДК 004.588

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ АГРОБІЗНЕСУ

Биченко Є.В. (yango641@ukr.net)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

У тезах розглянуто сучасні інформаційні системи та рішення для агробізнесу, зокрема ERP, CRM, GIS та IoT. Визначено сутність інформаційної системи, підходи до її функціоналу. Показано їх роль у підвищенні ефективності управління ресурсами, моніторингу виробничих процесів та взаємодії з клієнтами. Проаналізовано переваги й виклики впровадження цифрових технологій у сільському господарстві. Відзначено перспективи інтеграції систем у комплексні платформи з використанням штучного інтелекту та цифрових двійників. Зроблено висновок про ключове значення інформаційних технологій для сталого розвитку аграрного сектору.

Сучасний аграрний сектор переживає стрімку цифрову трансформацію, що зумовлена потребою підвищення ефективності виробничих процесів, зниження витрат, поліпшення моніторингу ресурсів та забезпечення сталого розвитку в умовах кліматичних викликів і глобальної конкуренції. Значна роль у цій трансформації належить інформаційним системам, які інтегрують різні напрями діяльності сільськогосподарських підприємств у єдине цифрове середовище. Інформаційні системи (ІС) забезпечують прозорість процесів та оперативність ухвалення управлінських рішень, що сьогодні є обов’язковою вимого успішної діяльності. Незважаючи на роль ІС, різняться підходи до розуміння її сутності і функцій. Так, О. Гавриленко визначає інформаційну систему як «сукупність технічних, програмних, інформаційних та організаційних засобів, призначених для збирання, передавання, оброблення, зберігання та

подання даних користувачам для прийняття управлінських рішень» [1]. Автор акцентує увагу на функціональному призначенні ІС як інструменту для забезпечення управлінської діяльності. У свою чергу, К. Лаудон та Дж. Лаудон трактують інформаційну систему як «сукупність взаємопов'язаних компонентів, які збирають, обробляють, зберігають і поширюють інформацію для підтримки процесів прийняття рішень, координації та контролю в організації» [2]. Цей підхід підкреслює організаційну роль ІС у підтримці основних бізнес-процесів і комунікацій.

Виходячи з того, що автори наголошують на техніко-функціональному складі та на організаційно-процесуальному аспекті різняться рішення для агробізнесу.

Одними з ключових інструментів цифровізації агробізнесу є системи класу ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management), GIS (Geographic Information System) та технології IoT (Internet of Things).

На думку А. Моралес та співавторів [3], ERP-системи дають змогу інтегрувати основні бізнес-процеси підприємства – облік ресурсів, фінанси, закупівлі, логістику, кадрове управління , тобто у межах єдиної інформаційної платформи вирішуються обидва підходи. У сільському господарстві це означає можливість координувати виробничі цикли (посів, догляд, збір урожаю), оптимізувати використання матеріальних ресурсів і формувати звіти для ухвалення стратегічних рішень. Проте, як зазначають дослідники, поширенню ERP у агросекторі перешкоджають висока вартість впровадження, відсутність достатньої IT-інфраструктури та недостатній рівень цифрових компетентностей персоналу [4] .

CRM-системи є іншим важливим компонентом цифрової екосистеми агропідприємств. Вони спрямовані на управління взаємодією з клієнтами та партнерами, збирання й аналітику даних про замовників, автоматизацію продажів та маркетингових кампаній. Інтеграція CRM із ERP дозволяє агропідприємствам не лише відстежувати ланцюг постачання, а й прогнозувати попит, підвищувати якість обслуговування й зміцнювати довіру до бренду.

GIS-технології відіграють особливу роль у точному землеробстві, забезпечуючи збір, зберігання та просторово-часовий аналіз географічних даних. А.Райхан підкреслює, що використання GIS у сільському господарстві сприяє моніторингу стану ґрунтів, оцінці врожайності, зонуванню земель та управлінню агротехнічними заходами з урахуванням особливостей рельєфу й клімату [5]. Такі технології підвищують точність прийняття рішень і дозволяють скоротити витрати на добрива та засоби захисту рослин.

Не менш значущими для аграрної сфери є технології IoT, що забезпечують збір даних у режимі реального часу за допомогою сенсорів і датчиків для контролю параметрів довкілля, ґрунту, стану культур і тварин. Дж. Ху зі співавторами вказують, що поєднання IoT із хмарними платформами й аналітичними сервісами надає змогу автоматизувати процеси зрошення, керувати мікрокліматом теплиць і відстежувати ланцюги постачання продукції від поля до споживача [6]. За спостереженнями дослідників [2], використання IoT є основою концепції «смарт-фермерства», хоча воно пов'язане з викликами щодо вартості обладнання, забезпечення стабільного зв'язку у віддалених регіонах і безпеки даних

Аналізуючи підходи до сутності ІС, функцій, що виконують найпоширеніші з них, можемо зазначити, що інтеграція розглянутих систем у комплексні цифрові рішення стикається із трьома групами проблем: організаційними (опір змінам з боку персоналу, відсутність стратегії цифровізації), технологічними (несумісність платформ, потреба у високошвидкісному інтернеті) та питаннями управління даними (захист і конфіденційність інформації, стандартизація протоколів обміну). Вирішення цих проблем вимагає державної підтримки, розвитку інфраструктури та підвищення рівня цифрової грамотності кадрів.

Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем для агробізнесу свідчать про перехід від використання окремих програмних продуктів до створення інтегрованих платформ, які об'єднують ERP, CRM, GIS та IoT у єдину екосистему. Подальше вдосконалення таких рішень передбачає застосування штучного інтелекту для прогнозування врожайності та оптимізації агротехнологій, розвиток цифрових двійників і використання edge-computing для швидшої обробки даних безпосередньо на місцях виробництва.

Отже, сучасні інформаційні системи формують фундамент цифрової трансформації аграрного сектору. Їх ефективне впровадження дає змогу підвищити продуктивність, знизити витрати й мінімізувати ризики, пов'язані з невизначеністю природних умов і ринкових коливань. Разом з тим успішна інтеграція потребує комплексного підходу, що включає технічну модернізацію

підприємств, навчання персоналу та забезпечення сумісності між різними компонентами цифрових екосистем.

Список використаної літератури

[1] Гавриленко О. М. Інформаційні системи і технології в управлінні. — Київ: КНЕУ, 2021

[2] Laudon K. C., Laudon J. P. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. — Pearson, 2023

[3] D. Aguilar Morales et al., “Designing of an Enterprise Resource Planning for the agricultural management platform,” MDPI, 2020.

[4] E. Ahoa et al., “Challenges and Solution Directions for the Integration of Digital Technologies in Agriculture,” PMC, 2025.

[5] A. Raihan, “A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability,” 2024.

[6] J. Xu et al., “Review of agricultural IoT technology,” Elsevier, 2022.

[7] V. Kumar et al., “A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies,” Elsevier, 2024.

УДК 004.77

РОЗРОБКА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗШИРЕНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ BLUETOOTH-З'ЄДНАНЬ

Більорін-Еррера О.М., Главчев М.І., Ігнатьєв К.І.
(Oleksandra.Bilorin-Ererera@khpi.edu.ua, Maksym.Glavchev@khpi.edu.ua, Kyryl.Ihnatiev@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

В умовах стрімкого розвитку бездротових технологій та їх інтеграції в критичні сфери, забезпечення надійного захисту даних у мережах Bluetooth стає надзвичайно актуальним. Дана робота присвячена розробці та програмній реалізації системи розширеної автентифікації, яка посилює стандартні механізми безпеки Bluetooth, нівелюючи виявлені вразливості. Запропонована система використовує криптографічне хешування SHA-256 та принципи диференційованого контролю доступу. Експериментальне тестування підтвердило її високу ефективність у протидії несанкціонованому доступу, що робить її цінним інструментом для підвищення загального рівня безпеки бездротових комунікацій..

Технологія Bluetooth є однією з найпоширеніших бездротових комунікаційних платформ, яка використовується у широкому спектрі пристроїв – від побутової електроніки до промислових систем та медичного обладнання. Її зручність та енергоефективність сприяли стрімкому зростанню її застосування, проте це також привернуло увагу потенційних зловмисників. Стандартні механізми безпеки Bluetooth, зокрема використання PIN-кодів для створення зв'язку та симетричне шифрування, мають відомі архітектурні недоліки. До них належать залежність від довжини та випадковості PIN-коду (часто короткого або статичного), а також можливість атак на ключі шифрування. Ці вразливості створюють значні ризики несанкціонованого доступу до конфіденційних даних та ресурсів, що вимагає розробки додаткових, програмно-реалізованих шарів захисту. Метою даної роботи є розробка та практична реалізація такої системи

Детальний аналіз протоколів Bluetooth (LM, L2CAP, RFCOMM) та їхніх механізмів безпеки, включаючи процеси pairing та аутентифікації, виявив ключові проблемні зони. Зокрема, вразливості можуть виникати через недостатню надійність PIN-кодів, їх передачу або генерацію. Прикладом є атака на відновлення PIN-коду, яка може дозволити зловмиснику отримати доступ до захищеної мережі. Для подолання цих недоліків пропонується впровадження додаткового рівня автентифікації на прикладному рівні. Цей рівень не замінює, а доповнює стандартні механізми,

діючи після встановлення базового Bluetooth-з'єднання. Ключовою ідеєю є використання стійких криптографічних примітивів для перевірки ідентичності користувача або пристрою, а не лише залежність від вбудованих Bluetooth-протоколів.

Розроблена система є двокомпонентним програмним комплексом, що складається з серверного модуля та клієнтських застосунків, реалізованих на мові програмування C#. Серверний модуль відповідає за:

- Багатопотоковий моніторинг віртуальних COM-портів для обробки запитів від клієнтів.
- Зберігання та верифікацію облікових даних користувачів (логінів та хеш-кодів паролів).
- Контроль доступу до ресурсів: надання диференційованого доступу до інформації на основі прав користувача.
- Адміністрування: керування користувачами, портами, та ведення детального аудиту всіх подій. Клієнтський застосунок відповідає за:
- Ініціацію Bluetooth-з'єднання та встановлення зв'язку із сервером.
- Безпечну передачу облікових даних: локальне хешування введеного пароля за допомогою алгоритму SHA-256 та відправлення хешу серверу.
- Відображення інформації, отриманої від сервера, відповідно до прав доступу.

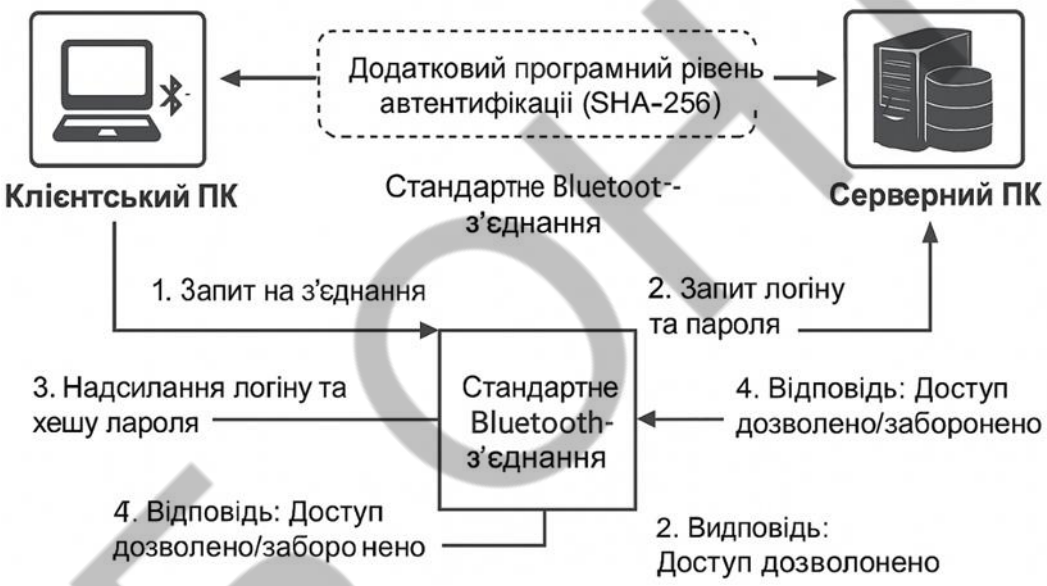


Рисунок 1 – Загальна архітектура системи розширеної автентифікації Bluetooth

Ключовим аспектом безпеки є використання алгоритму SHA-256 для хешування паролів. Це гарантує, що паролі ніколи не передаються у відкритому вигляді та не зберігаються на сервері, що значно знижує ризики у випадку компрометації даних. Для шифрування даних, що передаються після успішної автентифікації (хоча цей аспект був заявлений у вхідних даних, в дипломі зосереджено на автентифікації), в архітектурі передбачено використання AES-128, що забезпечує високий рівень конфіденційності.

Основний алгоритм процесу автентифікації за допомогою хеш-кодів відбувається за наступними кроками:

1. Ініціація з'єднання (Клієнт): Клієнтський застосунок ініціює стандартне Bluetooth-з'єднання з сервером. Після успішного встановлення каналу, клієнт пропонує користувачу ввести облікові дані (логін та пароль) у спеціальних полях інтерфейсу.

2. Локальне хешування (Клієнт): Введений користувачем пароль не передається безпосередньо. Замість цього, клієнтський модуль виконує його локальне криптографічне хешування за допомогою алгоритму SHA-256. Це генерує унікальний, фіксованої довжини хеш-код, який є незворотнім.

3. Передача облікових даних (Клієнт -> Сервер): Клієнтський застосунок надсилає на сервер поєднання логіну користувача та обчисленого хеш-коду пароля.

4. Отримання та попередня перевірка (Сервер): Серверний модуль отримує логін та хеш. Насамперед, сервер перевіряє наявність такого логіну у своїй базі даних зареєстрованих користувачів.

- Якщо логін не знайдено: Сервер негайно відхиляє запит, надсилає клієнту повідомлення про відмову у доступі та розриває з'єднання.

5. Порівняння хешів (Сервер):

- Якщо логін знайдено: Сервер отримує з бази даних збережений хеш-код для цього логіну.
- Далі сервер порівнює отриманий від клієнта хеш-код з тим, що зберігається у його базі даних.

6. Прийняття рішення та надання доступу (Сервер):

- Якщо хеш-коди не співпадають: Сервер відхиляє запит, надсилає клієнту повідомлення про відмову у доступі та розриває з'єднання.
- Якщо хеш-коди співпадають: Автентифікація вважається успішною. Сервер надає клієнту доступ до відповідних інформаційних ресурсів згідно з правами, призначеними для цього логіну, та надсилає необхідні дані.

Цей деталізований алгоритм гарантує, що конфіденційний пароль ніколи не передається мережею у відкритому вигляді та не зберігається безпосередньо на сервері, що значно підвищує стійкість системи до атак перехоплення та компрометації даних.

Ефективність розробленої системи була підтверджена серією експериментальних тестів. Тестування проводилося на двох персональних комп'ютерах, об'єднаних у Bluetooth-мережу. Були змодельовані наступні сценарії:

- Успішна автентифікація: Перевірка коректного надання доступу легітимним користувачам з різними рівнями прав. Система успішно надавала доступ, відображаючи диференційовану інформацію.
- Спроби несанкціонованого доступу: Введення невірних логінів або паролів. Система чітко інформувала про помилку, відмовляла в доступі та розривала з'єднання, що підтверджує її стійкість до атак грубої сили або перебору.

Результати тестування продемонстрували, що запропонована система ефективно посилює безпеку Bluetooth-з'єднань, забезпечуючи надійну автентифікацію та контроль доступу до конфіденційних даних. Вона є стабільною та відмовостійкою до типових атак.

Розроблена система розширеної автентифікації являє собою цінний інструмент для підвищення безпеки Bluetooth-комунікацій. Вона компенсує відомі вразливості базових протоколів, надаючи додатковий рівень захисту на прикладному рівні. Застосування криптографічного хешування SHA-256 для паролів та можливість інтеграції AES-128 для шифрування даних забезпечує високий рівень конфіденційності та цілісності. Практична реалізація та успішне тестування підтверджують ефективність та доцільність її впровадження в реальні системи для захисту критично важливої інформації.

Список використаної літератури

[1] Ali, K., Khan, F., & Ur Rehman, A. (2021). An efficient and secure mutual authentication scheme for wireless body area networks using elliptic curve cryptography. Wireless Personal Communications, 121(1), 119–137. DOI: https://doi.org/10.1007/s11277-021-08709-3

[2] Sarkar, D., Islam, R., Roy, A., & Das, M. L. (2020). Efficient and lightweight authentication and key agreement protocol for IoT environments using elliptic curve cryptography and SHA-256. Computer Networks, 180, 107371. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107371

[3] Padayachee, T., & van der Merwe, J. (2021). A Systematic Review of Bluetooth Low Energy (BLE) Security Vulnerabilities and Attack Mitigation Techniques. IEEE Access, 9, 59666–59681. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3073040.

[5] Бречко В.О., Главчев М.І., Філоненко А.М., Конегко С.М Формування підходу створення NFS-ідентифікації користувача. Інформатика, управління та штучний інтелект. Тези одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2024. – с.14 https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/78106

УДК 004.9

ПРОЕКТУВАННЯ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ КОМПАНІЇ-ПОСТАЧАЛЬНИКА ІТ-РІШЕНЬ

Бойченко В.І., Тройніна А.С., Рувінська В.М.
(7465122@stud.op.edu.ua, anastasiyatroinina@gmail.com, iolnlen@te.net.ua)
Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)

У тезах розглядається процес проектування еталонної моделі компанії постачальника ІТ-рішень та демонструється приклад визначення проблем невідповідності зовнішніх та внутрішніх вимог до системи на етапі проектування. Для виконання мети було побудовано діаграму «чорної скриньки», проведено аналіз зовнішніх систем та проведено порівняльний аналіз, що показав невідповідність у вимогах.

Головною проблематикою сучасних організаційних систем є системна невідповідність вимог [1]. Мета дослідження полягає в тому, щоб на прикладі уявної, еталонної моделі ІТ-компанії, завдяки проектуванню, продемонструвати виникнення ключової проблеми, характерної для багатьох організаційних систем, що ведуть операційну діяльність: системної невідповідності між встановленими вимогами (зовнішніми та внутрішніми) та фактичними результатами діяльності.

Модель дозволяє наочно показати, як ця невідповідність призводить до зниження ефективності, фінансової нестабільності та втрати конкурентоспроможності. Моделювання такої комплексної проблеми дає змогу зрозуміти, як недоліки на "вході" системи (якість ресурсів, вхідної інформації) безпосередньо спричиняють негативні явища на її "виході" (якість продукту, репутація на ринку).

Перелік вирішених завдань:

- проведено аналіз досліджуваної системи з використанням моделі «чорної скриньки» для визначення її меж, входів, виходів та ключових властивостей [2];
- визначено та класифіковано основні елементи зовнішнього середовища, що впливають на функціонування системи [3];
- проведено декомпозицію та формалізацію вимог до функціонування системи, що висуваються як зовнішніми агентами, так і самою системою;
- здійснено порівняльний аналіз між формалізованими вимогами та фактичними параметрами функціонування досліджуваної системи;
- ідентифіковано та структуровано ключові проблемні ситуації, що виникають внаслідок розбіжностей між очікуваним та реальним станом системи.

Проведене дослідження було поділено на декілька етапів, зокрема, етап проектування моделі системи у вигляді «чорної скриньки» [2], шляхом виділення окремих споживачів, постачальників, регуляторів, та інших зовнішніх елементів та етап виділення вимог до системи, на якому було порівняно ідеальні вимоги системи з реальними показниками.

У якості еталонної компанії обрано ТОВ «ТехноСофт», що є сучасною ІТ-компанією, основне призначення якої полягає у створенні програмних продуктів та наданні послуг у сфері інформаційних технологій для бізнесу та державних установ. Її виходами є програмні рішення у вигляді корпоративних систем управління, веб- та мобільних застосунків, індивідуальних замовних продуктів, а також послуги з технічної підтримки, консалтингу та супроводу цифровізації бізнес-процесів. У якості входів компанія використовує різноманітні ресурси: людський капітал у вигляді висококваліфікованих програмістів, аналітиків та менеджерів, інформаційні ресурси у формі новітніх технологій, методик та стандартів розробки, фінансові ресурси у вигляді власних інвестицій та надходжень від клієнтів, а також матеріально-технічну базу, що включає сервери, офісне обладнання та програмні інструменти.

Серед систем довкілля для ТОВ «ТехноСофт» можна виділити конкретні компанії та організації, з якими воно перебуває у взаємодії.

У ролі державного регулятора виступає Державна податкова служба України, яка контролює податкові надходження та забезпечує правове поле діяльності, та Міністерство Фінансів України, яке контролює дотації компаніям. Серед ключових постачальників інфраструктури є Amazon Web Services (AWS) та Google Cloud, які забезпечують хмарні обчислювальні ресурси та серверні потужності, а також компанія DELL Technologies, що постачає комп’ютерну техніку й серверне

обладнання. Споживачами продукції виступають українські та міжнародні організації, наприклад, ПриватБанк, який замовляє інноваційні фінтех-рішення, або логістична компанія Нова Пошта, що використовує цифрові системи для оптимізації бізнес-процесів. Одночасно фінансовим ринком може служити також як ПриватБанк, так й МоноБанк або приватні інвестори. На основі цих даних було побудовано модель «чорної скриньки» [2] на рис.1.

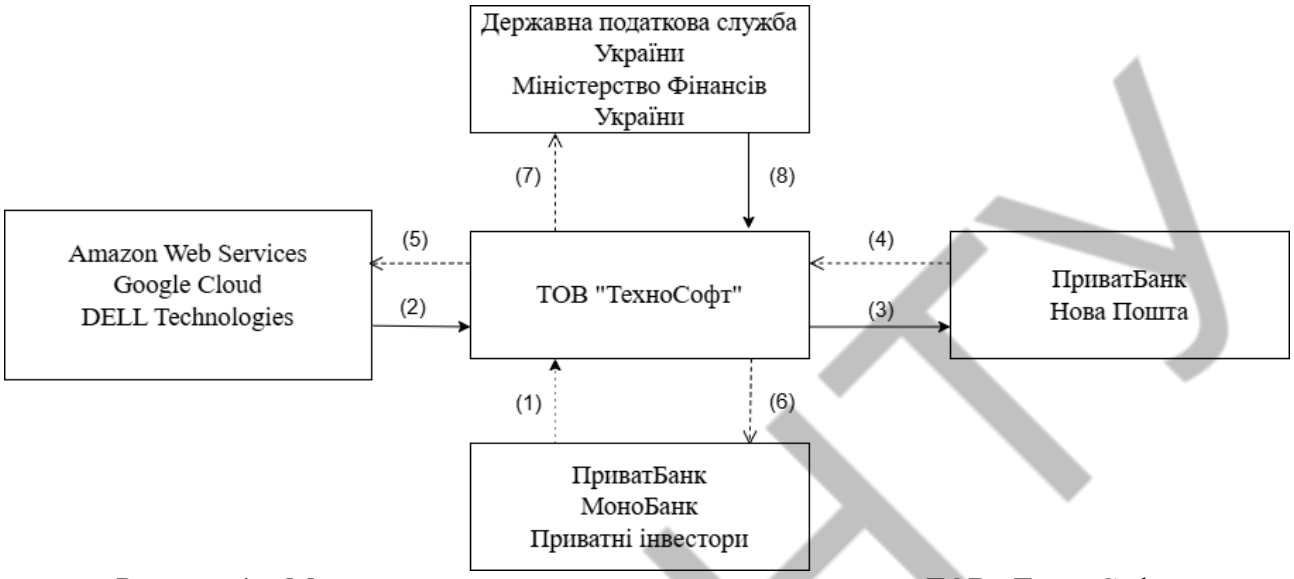


Рисунок 1 – Модель «чорної скриньки» еталонної системи ТОВ «ТехноСофт»

Кожен зв’язок на моделі відповідає хронологічній взаємодії з системою навколишнього середовища. Хронологічно спочатку товариство отримує фінансові кошти у вигляді кредиту або оплати частини акцій компанії від ПриватБанку, МоноБанку та приватних інвесторів. Надалі компанія отримує цифрові ресурсі від співпраці з постачальниками такими як Amazon Web Services, Google Cloud і DELL Technologies компанія отримує доступ до хмарних інфраструктур, серверних потужностей і апаратного забезпечення, необхідних для своєї діяльності. Після забезпечення можливості функціонування товариства споживачі у вигляді «ПриватБанку» та «Нової Пошти» формують попит на програмні рішення та отримають готові результати від «ТехноСофт». Після підтвердження виконання споживачі у вигляді «ПриватБанку» та «Нової Пошти» надають оплату за послуги й забезпечують основні джерела фінансування. Надалі компанія оплачує надані послуги компаній Amazon Web Services, Google Cloud і DELL Technologies. При отриманні прибутку товариство повертає фінансові кошти з відсотками за кредитом ПриватБанку, МоноБанку та надає частину прибутку приватним інвесторам. Після розрахунку з інвесторами ТОВ «ТехноСофт» взаємодіє з державними органами, насамперед із Державною податковою службою України, через виконання законодавчих вимог та сплату податків. Наостанок компанія заохочується Міністерством Фінансів України на сплату податків, виконання податкового плану й підтримання хороших стосунків з державними органами шляхом виділення дотацій та інших фінансових стимулів. Усі ці зв’язки формують цілісну екосистему, у якій компанія функціонує та розвивається, адаптуючись до змін ринку та зберігаючи конкурентоспроможність.

З цієї моделі було визначено основні вимоги з різних зовнішніх систем. З боку споживачів ключові очікування зосереджені навколо якості продукції [3], термінів її постачання, вартості та подальшої підтримки. Клієнти вимагають, щоб програмні рішення були не лише стабільними та з мінімальною кількістю помилок (наприклад, не більше однієї критичної помилки на 10,000 рядків коду), але й мали інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Важливим є суворе дотримання термінів реалізації проектів, яке має становити не менше 95% [4], причому процес роботи має бути прозорим завдяки регулярним звітам. Ціноутворення повинно бути конкурентним, не перевищуючи середньоринкові показники більш ніж на 10-15%, а якість технічної підтримки має вимірюватися швидкістю реакції, що не перевищує однієї години для критичних проблем.

Проблемні ситуації виникають тоді, коли фактичний стан справ у компанії не відповідає висунутим до неї вимогам. Порівняльний аналіз цих двох аспектів чітко "діагностував" слабкі місця системи. Можливим прикладом таких вимог визначено очікування клієнтів на 95 відсотків

вчасності здачі усіх проектів (виконання поставлених вимог у сплановані строки) та результат гіпотетичного аналізу, а саме те, що "ТехноСофт" досягає цієї мети лише у 70% випадків. Подібна розбіжність спостерігається і в сервісній підтримці, де реальний час реакції на критичну проблему становить 3,5 години замість очікуваної однієї. Фінансові зобов'язання перед постачальниками також порушуються, адже середній термін оплати рахунків сягає 35 днів замість нормативних 15.

Загальні висновки. Можна зробити висновок, що модель демонструє, що проблеми у складних системах є взаємопов'язаними та системними. Низька якість ресурсів та вхідної інформації (проблеми на вході) неминуче призводить до погіршення якості кінцевого продукту та послуг (проблеми на виході). Модель підтверджує прямий зв'язок між операційною неефективністю та погіршенням узагальнених властивостей системи. Нездатність виконувати вимоги замовників та ринку веде до зниження рентабельності, підриває стійкість бізнесу та погіршує його конкурентоспроможність. Аналіз еталонної моделі показує, що ключ до вирішення зовнішніх проблем лежить у площині внутрішньої оптимізації. Для будь-якої подібної системи критично важливим є вдосконалення внутрішніх бізнес-процесів: управління проектами [4], підвищення кваліфікації персоналу та формалізація збору вимог.

Список використаної літератури

[1] А. А. Петренко та В. М. Коваленко, *Загальна теорія систем: Навчальний посібник.* Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 256 с.

[2] Т. О. Таран та О. С. Вінокурова, *Моделювання систем: Підручник*. Харків: ХНУРЕ, 2020, 310 с.

[3] K. Wiegers and J. Beatty, *Software Requirements*, 3rd ed. Redmond, WA: Microsoft Press, 2013, 672 p.

[4] Л. Ларрімор, *Управління проектами в IT: практичний посібник*, пер. з англ. Львів: Видавництво «Львівської політехніки», 2021, 320 с.

УДК 004.042

«ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ФІНАНСАМИ ДЛЯ ФІЗИЧНОЇ ОСОБИ-ПІДПРИЄМЦЯ»

Бородкіна І.Л. (borir@ukr/net), **Бородкін Г.О.**
Український державний університет імені Михайла Драгоманова (Україна),
Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)

Розглядаються питання побудови спеціалізованого програмного продукту з метою покращення управління фінансами для фізичної особи-підприємця. На сьогодні вирішення подібних задач є критично важливим, оскільки дозволяє автоматизувати управління фінансами, підвищити точність обліку, зменшити вплив людського фактору та заощадити час. Крім того, спроектована система забезпечує зручний інтерфейс для роботи як з комп'ютера, так і з телефона або іншого мобільного пристрою.

Актуальність розробки. У сучасних економічних умовах фізичні особи-підприємці (ФОП) займають важливе місце в структурі національної економіки. Вони забезпечують гнучкість ринку, сприяють створенню нових робочих місць та активізують локальну ділову активність. Однак із розвитком підприємницької діяльності зростає й обсяг рутинних завдань, пов'язаних з обліком доходів і витрат, веденням фінансової документації, контролем податкових зобов'язань та формуванням звітності.

Традиційне ведення фінансів у вигляді паперових записів або електронних таблиць не завжди є ефективним, особливо за умови постійних змін у законодавстві та високої динаміки бізнес-процесів. Сучасні фізичні особи-підприємці стикаються з необхідністю ведення точного і своєчасного обліку великої кількості фінансових операцій. Це включає прийом платежів, сплату податків, контроль за доходами і витратами, а також обробку різноманітних фінансових документів. Відсутність єдиного інструменту змушує більшість користувачів застосовувати

НТБОНТУ

паперові документи або фрагментарні електронні таблиці, що часто призводить до помилок, дублювання інформації та ускладнює процес аналізу даних.

У зв'язку з цим актуальною стає розробка інформаційної системи, що дозволяє фізичним особам-підприємцям автоматизувати управління фінансами, підвищити точність обліку, зменшити вплив людського фактору та заощадити час. Всі ці потреби може забезпечити спеціалізована інформаційна система, яка дозволить фізичній особі-підприємцю ефективно керувати фінансовими потоками, вести облік операцій, формувати звіти, контролювати податкові зобов'язання та забезпечувати зручний інтерфейс для роботи як з комп'ютера, так і з телефона або іншого мобільного пристрою.

Аналіз існуючих рішень. На сьогодні на ринку програмних продуктів представлено декілька сервісів, які забезпечують часткову або повну автоматизацію фінансового обліку для ФОП. Основна увага приділяється веб-рішенням, які користуються популярністю серед малих підприємців в Україні. Нами були проаналізовані (табл.1) наступні вже існуючі програмні рішення:

- MOBI Finance – онлайн-сервіс для обліку доходів, витрат і податкових платежів. Підтримує автоматичне заповнення звітності (ЄСВ, декларації ФОП), надсилає нагадування, дозволяє формувати графіки платежів.
- Fairo – мобільний додаток для ФОП, орієнтований на банківську інтеграцію. Має функції автоматичного обліку надходжень на рахунок, генерації рахунків-фактур, обчислення податків. Спрощений інтерфейс, проте обмежений функціонал для аналітики.
- Oblik.Online – веб-платформа з широким функціоналом: планування бюджету, ведення книги обліку доходів, категоризація витрат, візуалізація даних у вигляді діаграм. Підтримка мультивалютності та інтеграція з банківськими сервісами.
- Money Lover – популярний фінансовий трекер, орієнтований на персональне використання. Підтримує імпорт/експорт даних, нагадування, звіти. Не спеціалізується на податкових звітах для ФОП.

Таблиця 1. Порівняння існуючих аналогів інформаційної системи

Критерій / Система	**MOBI Finance**	**Fairo**	**Oblik.Online**	**Money Lover**
Ведення обліку доходів	Так	Так	Так	Так
Ведення обліку витрат	Так	Обмежено	Так	Так
Формування звітності ФОП	Так	Так	Обмежено	Ні
Підтримка кількох ролей	Ні	Ні	Ні	Ні
Інтеграція з банком	Частково	Так	Так	Ні
Планування бюджету	Обмежено	Ні	Так	Так
Графічна аналітика	Так	Ні	Так	Так
Мобільна версія	Так	Так	Так	Так
Локалізація українською	Так	Так	Так	Частково
Безкоштовна версія	Так (обмежено)	Так	Так (обмежено)	Так

Реалізація проекту. Інформаційна система управління фінансами фізичної особи-підприємця (ФОП) призначена для автоматизації обліку доходів, витрат та інших фінансових операцій, що здійснюються підприємцем у рамках його господарської діяльності. Така система повинна допомогти користувачу ефективно контролювати фінансовий стан, планувати бюджет, формувати звітність та аналізувати основні фінансові показники.

Система покликана автоматизувати основні процеси фінансового обліку ФОП, що значно підвищить якість та оперативність ведення бізнесу.

Вирішення цієї задачі можна розподілити на наступні етапи:

1. Провести аналіз існуючих інформаційних систем для управління фінансами ФОП.
2. Визначити функціональні та нефункціональні вимоги до майбутньої системи.
3. Обґрунтувати вибір технологій та архітектурних рішень.
4. Розробити структуру і логіку інформаційної системи.
5. Реалізувати веб-інтерфейс для зручної взаємодії користувача з системою.
6. Забезпечити зберігання та обробку даних.

7. Провести тестування розробленого продукту та оцінити його відповідність поставленим вимогам.

В результаті передбачається отримати повнофункціональний програмний продукт, здатний полегшити управління фінансами для фізичних осіб-підприємців і підвищити ефективність їх діяльності.

Основними користувачами системи є:

- фізична особа-підприємець – основний користувач, що веде облік власних фінансів, контролює виконання бюджету і приймає управлінські рішення на основі звітності;
- бухгалтер або консультант – допомагає у веденні фінансової документації, перевіряє звіти і здійснює податкові розрахунки;
- адміністратор системи – відповідає за підтримку працездатності системи, адміністрування користувачів та забезпечення безпеки даних.
- Серед головних проблем, які існують у веденні фінансового обліку ФОП, можна виділити:
- відсутність єдиної централізованої системи обліку фінансових операцій;
- використання розрізнених інструментів, таких як паперові документи і електронні таблиці, що спричиняє помилки та втрати даних;
- ускладнення формування аналітичних звітів і прогнозування фінансового стану;
- недостатній рівень автоматизації, що потребує значних часових затрат на обробку інформації.

Проаналізувавши предметну область розроблюваної інформаційної системи управління фінансами фізичної особи-підприємця, було визначено основні вимоги до програмного забезпечення, які можна розподілити на 2 групи: функціональні (Табл 2.) та нефункціональні (Табл 3.).

Таблиця 2. Функціональні вимоги

№	Назва функції	Опис функціоналу
1	Авторизація користувачів	Доступ до системи за логіном і паролем. Ролі: підприємець, бухгалтер.
2	Облік доходів	Внесення доходів із зазначенням дати, суми, категорії, джерела.
3	Облік витрат	Фіксація витрат з деталізацією (категорія, опис, дата, сума).
4	Фінансове планування	Можливість задавати очікувані доходи/витрати, бюджети на періоди.
5	Автоматична генерація звітів	Побудова звітів за періодами, категоріями, податковими групами тощо.
6	Графічна аналітика	Відображення фінансової статистики у вигляді графіків і діаграм.
7	Експорт/імпорт даних	Можливість експортувати дані у CSV/XLSX, а також імпортувати з інших систем.
8	Керування категоріями	Створення, редагування, видалення категорій доходів/витрат.
9	Користувацькі ролі	Розмежування прав доступу (перегляд, редагування, лише перегляд звітів тощо).

Таблиця 3. Нефункціональні вимоги

№	Вимога	Опис
1	Зручність інтерфейсу	Сучасний інтерфейс з адаптивною верстkою, зрозуміле розміщення елементів керування.
2	Продуктивність	Система повинна реагувати на запити у межах 1-2 секунд при середньому обсязі даних.
3	Безпека	Авторизація, контроль доступу, захист від SQL-ін’єкцій, шифрування паролів.
4	Розширюваність	Можливість додавати нові модулі (наприклад, інтеграцію з банком або API ДПС).
5	Сумісність	Працює в актуальних версіях браузерів: Chrome, Firefox, Safari, Edge.
6	Надійність	Обробка помилок, резервне копіювання бази даних.
7	Мова інтерфейсу	Повна підтримка української мови.

Сформовані вимоги визначають базову функціональність, якість роботи, безпеку та технологічну основу інформаційної системи управління фінансами фізичної особи-підприємця. Їх реалізація забезпечить створення надійного, зручного та ефективного інструменту для ведення фінансової діяльності та прийняття управлінських рішень.

Таким чином, запропонована нами система має низку ключових переваг:

- спеціалізація під українських ФОП – врахування локального податкового законодавства;
- гнучка структура доходів/витрат з категоризацією та автоматичними розрахунками;
- графічна аналітика для візуального контролю фінансового стану;
- підтримка ролей користувачів – можливість ведення обліку самим підприємцем або делегування бухгалтеру;
- захищене зберігання даних – локально або в хмарі з бекапами;
- можливість розширення – за рахунок модульної архітектури Laravel.

Запропоноване рішення заповнює нішу між особистими фінансовими трекерами та складними бухгалтерськими системами, пропонуючи оптимальний баланс функціональності, простоти та адаптованості до українських реалій.

Висновки. У результаті проведеного системного аналізу предметної області було встановлено актуальність створення автоматизованої інформаційної системи управління фінансами для фізичних осіб-підприємців (ФОП). Проаналізовано характерні особливості фінансової діяльності ФОП, визначено основні функціональні завдання, які мають бути реалізовані в програмному забезпеченні: облік доходів і витрат, формування звітності, податкові розрахунки, бюджетування та ведення клієнтської бази.

Виявлено ключові проблеми, з якими стикаються підприємці в процесі фінансового обліку, а саме: відсутність централізованого інструменту, фрагментованість даних, складність ведення звітності та високі часові витрати. З огляду на це, впровадження автоматизованої системи є ефективним рішенням, що дозволить оптимізувати процеси, мінімізувати помилки та забезпечити зручний доступ до аналітичної інформації.

На основі аналізу сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги до програмного продукту. Вони охоплюють як базову функціональність (реєстрація користувачів, облік операцій, звітність), так і важливі аспекти якості (продуктивність, безпека, масштабованість).

Для формалізації уявлення про систему було виконано моделювання предметної області із застосуванням UML-діаграм: діаграми прецедентів, діаграми послідовності та діаграми активності. Це дозволило наочно представити сценарії взаємодії користувачів із системою, структуру бізнес-процесів та логіку виконання функцій.

Окрему увагу було приділено огляду вже існуючих рішень, що допомогло врахувати сучасні технологічні підходи та найкращі практики у сфері розробки веб-застосунків для фінансового менеджменту.

Список використаної літератури

[1] Закон України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні». [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14 ([Accessed: 01.02.2025].

[2] Податковий кодекс України. URL: [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17 [Accessed: 03.02.2025].

[3] ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models.

[4] Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. – Pearson, 2015. – 792 p.

[5] Pressman R. S. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 8th ed. – New York : McGraw-Hill, 2014. – 928 p.

[6] Брайан Х. Laravel: From Apprentice To Artisan. – Leanpub, 2018.

[7] Бородкіна І.Л., Бородкін Г.О. Інженерія програмного забезпечення: Навчальний посібник. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. - 204 с.

УДК 004.05

ВІДПОВІДНІСТЬ СТАНДАРТАМ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СЕРВЕРНОЇ ЧАСТИНИ ВЕБЗАСТОСУНКІВ

Браташ С.П.(solomiia.p.bratash@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У дослідженні розглянуто проблему забезпечення якості серверної частини вебзастосунків через дотримання стандартів REST, GraphQL та OpenAPI. Проаналізовано особливості цих стандартів щодо структурованості запитів і відповідей, інтеграційної сумісності та зручності обслуговування. REST визначено як оптимальний для простих сервісів із передбачуваними даними, GraphQL — для систем із динамічними запитами та великими обсягами даних, а OpenAPI — як засіб формалізації документації та автоматизації тестування. Запропонована методологія перевірки відповідності серверних рішень стандартам передбачає етапи формалізації специфікацій, автоматизованого тестування, порівняльного аналізу продуктивності та інтеграційного тестування.

Постановка проблеми. У сучасних інформаційних системах серверна частина вебзастосунків відіграє критично важливу роль, що визначає продуктивність, масштабованість та стабільність сервісів. Недотримання загальноприйнятих стандартів API призводить до ускладнень інтеграції, підвищення часу розробки, появи технічного боргу та ризиків виникнення помилок у процесі експлуатації. Особливо актуальною є потреба забезпечення відповідності серверних компонентів стандартам REST, GraphQL та OpenAPI, які визначають правила побудови запитів і відповідей, організації документації та взаємодії компонентів системи.

Перелік вирішених завдань. У ході дослідження були виконані такі ключові завдання:

1. Проведено детальний аналіз існуючих стандартів серверних API — REST, GraphQL та OpenAPI, з метою визначення їхніх особливостей щодо організації запитів і відповідей, документації та інтеграційної сумісності. Це дозволило виділити ключові критерії якості проєктування та обслуговування бекенд-сервісів.
2. Розроблено комплексну методологію перевірки відповідності серверних рішень стандартам API. Методологія включає формалізацію специфікацій сервісів, автоматизоване тестування з використанням інструментів Postman, Newman, GraphQL Playground, Apollo Studio, Swagger Validator та Redocly, а також порівняльний аналіз продуктивності, масштабованості та зручності обслуговування.
3. Проведено системний порівняльний аналіз REST, GraphQL та OpenAPI, що дозволяє оцінити вплив стандартів на структурованість запитів і відповідей, гнучкість запитів, оптимізацію обсягу передаваних даних, прозорість документації та ефективність інтеграції серверних компонентів.
4. Виконано інтеграційне тестування та оцінку сумісності компонентів системи після впровадження стандартів, що дозволило визначити практичну користь методології, підтвердити підвищення продуктивності та підтримуваності серверної частини, а також зменшення ризиків технічних помилок під час подальшої експлуатації системи.

Суть дослідження. Аналіз існуючих стандартів серверних API, зокрема REST, GraphQL та OpenAPI, дозволяє виділити їх ключові характеристики з позицій якості проєктування та подальшого обслуговування вебзастосунків.

REST забезпечує чітку структурованість запитів і відповідей через визначені ресурси та стандартні HTTP-методи [1], що спрощує інтеграцію між сервісами та робить API передбачуваним для розробників. Основними перевагами REST є простота реалізації, широке поширення та висока сумісність із існуючими вебтехнологіями. Однак REST може створювати надмірне навантаження на сервер [2] при передачі великих обсягів даних через фіксовані структури запитів і відповідей.

GraphQL, у свою чергу, дозволяє клієнтам запитувати лише ті дані, які їм необхідні, що оптимізує обсяг передаваних даних і підвищує ефективність взаємодії [2]. Гнучкість запитів та можливість агрегування даних з різних джерел одночасно [3] забезпечують економію ресурсів та зменшення часу відповіді при складних запитах. Проте така гнучкість потребує суворого контролю версій і підтримки актуальної документації, оскільки неправильна реалізація запитів може призвести до помилок на клієнтській стороні та ускладнити масштабування системи.

OpenAPI не є окремим типом API, а слугує стандартом для формалізації опису REST- та GraphQL-сервісів [4]. Він забезпечує автоматизовану генерацію документації, тестових сценаріїв і клієнтських SDK, що зменшує трудозатрати на обслуговування та інтеграцію серверних компонентів. Використання OpenAPI дозволяє забезпечити узгодженість реалізації API з проєктною специфікацією та підвищує прозорість для команд розробників і інтеграторів.

Порівняльний аналіз цих стандартів показує, що REST є оптимальним для простих та широко поширених сервісів із передбачуваними даними, GraphQL доцільний для складних систем із динамічними запитами та великими обсягами агрегованих даних, а OpenAPI виступає інструментом забезпечення якості та автоматизації, підвищуючи підтримку та масштабованість серверної частини вебзастосунків. Таке порівняння дозволяє сформувати критерії оцінювання серверних компонентів за показниками структурованості, гнучкості, масштабованості та відповідності сучасним вимогам інформаційних систем.

Методологія перевірки відповідності серверних рішень стандартам API базується на комплексному підході, який включає кілька взаємопов’язаних етапів.

Перший етап передбачає формалізацію специфікацій API на основі обраних стандартів — REST, GraphQL та OpenAPI. Для REST і GraphQL. При цьому визначаються ключові ресурси, методи доступу, структури запитів і відповідей, а для OpenAPI створюється повна документована специфікація сервісу у форматі YAML або JSON.

Другий етап полягає у застосуванні автоматизованих інструментів тестування для оцінки відповідності реалізації специфікації. Використовуються засоби типу Postman та Newman для виконання функціональних тестів REST API, GraphQL Playground та Apollo Studio для перевірки коректності запитів і відповідей у GraphQL, а також Swagger Validator та Redocly для перевірки OpenAPI-документації. Цей етап дозволяє виявляти невідповідності, помилки структури даних та некоректну реалізацію запитів ще на ранніх стадіях розробки, зменшуючи ризики інтеграційних проблем у майбутньому.

Третій етап передбачає порівняльний аналіз впливу дотримання стандартів на критичні характеристики бекенд-сервісів. Оцінюються продуктивність запитів (час відповіді та швидкість обробки), масштабованість системи (ефективність горизонтального та вертикального розширення сервісів) та зручність обслуговування (легкість підтримки, зрозумілість коду та документації). Для цього застосовуються інструменти моніторингу продуктивності, такі як Grafana та Prometheus, а також автоматизовані системи аналізу коду і тестування, що дозволяють об’єктивно оцінювати вплив стандартизації API на стабільність і ефективність серверної частини.

Четвертий етап включає інтеграційне тестування та оцінку сумісності компонентів системи після впровадження стандартів. Виконуються сценарії взаємодії сервісів, імітуються запити реальних користувачів і клієнтських додатків. Результати порівнюються з показниками до стандартизації для визначення практичної користі від впровадження методології та оптимізації бекенд-сервісів.

Застосування такої методології дозволяє забезпечити системний контроль правильності реалізації API, узгодженість структури запитів і відповідей, а також зменшення ризиків помилок під час інтеграції та подальшого обслуговування системи. Порівняльний аналіз підтверджує, що дотримання стандартів значно підвищує продуктивність, масштабованість та підтримуваність серверних компонентів, що робить запропоновану методологію ефективним інструментом забезпечення якості проєктування вебзастосунків.

Висновки. Дотримання стандартів REST, GraphQL та OpenAPI при проєктуванні серверної частини вебзастосунків забезпечує високий рівень структурованості запитів і відповідей, що сприяє передбачуваності поведінки системи та полегшує інтеграцію з іншими сервісами. Використання OpenAPI дозволяє формалізувати документацію API, автоматизувати тестування та генерацію клієнтських SDK, що значно зменшує трудозатрати на обслуговування та підвищує ефективність підтримки бекенд-сервісів. GraphQL забезпечує гнучкість запитів і оптимізацію обсягу передаваних даних, що підвищує продуктивність системи у випадках складних агрегованих запитів, проте вимагає суворого контролю версій та актуальної документації.

Впровадження запропонованої методології перевірки відповідності серверних компонентів стандартам API дозволяє системно контролювати правильність реалізації, узгодженість структури запитів і відповідей, зменшувати ризики помилок під час інтеграції та подальшого обслуговування. Порівняльний аналіз показав, що дотримання стандартів сприяє підвищенню

продуктивності, масштабованості та підтримуваності бекенд-сервісів, що робить їх більш надійними та зручними для подальшого розвитку.

Загалом, стандартизація серверної частини вебзастосунків підвищує якість проєктування, забезпечує сумісність та узгодженість компонентів, зменшує ризики технічних помилок і спрощує підтримку системи. Результати дослідження можуть бути використані як методичні рекомендації для розробників та архітекторів при побудові високоякісних, надійних і масштабованих бекенд-сервісів сучасних вебзастосунків.

Список використаної літератури

[1] S. Kumari and D. Deepak, "REST based API," *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, vol. 1, no. 4, pp. 571, May–Jun 2017. [Online]. Available: http://www.ijtsrd.com

[2] B. Lama, "Implementing Graphql in Existing REST API," Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, Spain, Oct. 24, 2019.

[3] J. Doolittle, "APIs With GraphQL," *IEEE Software*, 2023. doi: 10.1109/MS.2022.3227254. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/MS.2022.3227254

[4] D. Sferruzza, J. Rocheteau, C. Attiogbé, and A. Lanoix, "Extending OpenAPI 3.0 to Build Web Services from their Specification," in *Proc. 14th International Conference on Web Information Systems and Technologies*, 2018, pp. 412–419. doi: 10.5220/0006923604120419. [Online]. Available: https://doi.org/10.5220/0006923604120419

[5] M. Muhamad, S. Z. A. Bakar, and N. M. Noor, "Semantic-enhanced Web Services: Improving Interoperability with Ontologies and Annotations," *Journal of Big Data*, vol. 9, no. 55, 2022. [Online]. Available: https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-022-00612-1

УДК 004.42:519.8

ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕБСИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО БІЗНЕС-ПЛАНУВАННЯ БРЕНДУ ОДЯГУ

Брежнєв О.С., Жульковська І.І., Жульковський О.О. (olalzh@ukr.net)
Дніпровський державний технічний університет (Україна)

Малі та середні підприємства у сфері виробництва одягу стикаються з численними викликами, пов'язаними з оптимізацією витрат, управлінням ресурсами, контролем фінансових показників та плануванням виробничих процесів у реальному часі. Обмежені фінансові та кадрові ресурси, а також відсутність доступу до сучасних аналітичних інструментів ускладнюють прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Незважаючи на наявність загальнодоступних засобів бізнес-планування, таких як електронні таблиці або готові шаблони, вони не забезпечують інтеграцію даних із різних джерел, автоматизацію обчислень та системний підхід до оцінки ключових показників ефективності. Це призводить до збільшення часу на підготовку планів, підвищеної ймовірності помилок та низької гнучкості при коригуванні параметрів бізнесу. Актуальним є створення вебзастосунку, який дозволяє власникам малого бренду одягу швидко і зручно формувати бізнес-план, проводити економіко-математичні розрахунки, отримувати структуровану візуалізацію фінансових і виробничих показників та експортувати результати у форматах PDF чи Excel без залучення програмістів або аналітиків.

Сучасні тенденції цифровізації бізнес-процесів вимагають від малих підприємств переходу до інтегрованих інформаційних систем, здатних поєднати аналітичні методи з вебтехнологіями для підвищення ефективності управління. Автоматизація бізнес-планування особливо актуальна у сфері легкої промисловості, де швидкість реагування на зміни ринку та ефективне використання ресурсів визначають конкурентоспроможність підприємства.

Впровадження вебзастосунків дозволяє значно скоротити час на підготовку фінансових звітів, зменшити кількість помилок у розрахунках та покращити обґрунтованість управлінських

рішень. Попри наявність складних ERP-систем, для малого бізнесу все ще відчувається нестача простих, доступних і водночас науково обґрунтованих рішень, які не потребують значних фінансових чи технічних ресурсів для впровадження.

Аналіз попередніх досліджень [1–3] підтверджує ефективність використання веборієнтованих систем у сфері бізнес-планування. Роботи, присвячені питанням інтеграції вебтехнологій із аналітичними моделями, доводять доцільність автоматизації обробки фінансових і виробничих даних, що дозволяє підвищити точність прогнозування, оптимізувати витрати та зменшити вплив людського чинника. Значна увага у наукових публікаціях приділяється також аспектам зручності користування, адаптивності інтерфейсу та мінімізації кроків взаємодії користувача із системою, що є критично важливим для власників малого бізнесу. Таким чином, актуальним напрямом є створення вебзастосунків із балансом між функціональністю, простотою використання та науковою обґрунтованістю реалізованих аналітичних методів.

Метою дослідження є розроблення вебзастосунку для автоматизації бізнес-планування бренду одягу, що поєднує сучасні вебтехнології з економіко-математичними моделями. Основні завдання полягають у:

– створенні архітектури програмного рішення за модульним принципом із чітким розділенням функцій введення, обчислення, візуалізації та експорту даних;

– реалізації аналітичних функцій для розрахунку собівартості одиниці продукції, точки беззбитковості, рівня рентабельності та структури витрат;

– забезпеченні простоти введення даних, адаптивності інтерфейсу та автоматизації ключових розрахунків.

Розроблення системи базується на системному підході, аналізі вимог користувача, методах модульного проєктування та застосуванні економіко-математичних алгоритмів. Архітектура побудована за клієнт-серверною моделлю: фронтенд реалізовано з використанням React, що забезпечує адаптивний інтерфейс, бекенд – на Python із фреймворком FastAPI для обробки запитів і бізнес-логіки, а база даних – SQLite. Для інтерактивної візуалізації застосовано бібліотеки Matplotlib та D3.js, що дозволяють будувати графіки та діаграми у реальному часі. В економічному модулі реалізовано класичні алгоритми фінансового аналізу – обчислення точки беззбитковості, калькуляцію собівартості, визначення рентабельності, а також моделі оптимізації витрат із використанням елементів лінійного програмування.

Розроблене програмне забезпечення складається з чотирьох основних модулів: введення даних, обробки, візуалізації та генерації звітів. Система дозволяє користувачу вводити інформацію про матеріали, заробітну плату, логістику, податки та інші витрати, після чого автоматично формує бізнес-план із ключовими фінансовими показниками. Тестування проводилося як на синтетичних наборах даних, так і на реальних анонімізованих прикладах невеликих брендів одягу.

Отримані результати показали скорочення часу підготовки бізнес-плану на 40–50 %, високу стабільність системи та зручність інтерфейсу. Вебзастосунок також забезпечує масштабованість. Передбачено можливість інтеграції з CRM-системами, імпорту даних із CSV-файлів і розширення аналітичного функціоналу без зміни базової архітектури.

Розроблений вебзастосунок є ефективним інструментом для автоматизації бізнес-планування малого підприємства у сфері легкої промисловості. Система поєднує простоту використання з науково обґрунтованими аналітичними методами, забезпечуючи швидке отримання фінансових показників та їх наочну візуалізацію. Використання запропонованого підходу дозволяє зменшити кількість арифметичних і логічних помилок, підвищити продуктивність управлінських процесів і покращити якість прийняття рішень.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію модулів прогнозування фінансових результатів із застосуванням методів машинного навчання, розширення можливостей роботи з великими обсягами даних, а також реалізацію API-інтерфейсів для обміну даними з бухгалтерськими системами та платформами електронної комерції. Окремим напрямом досліджень є впровадження рекомендаційних механізмів для оптимізації витрат і формування стратегії розвитку бренду на основі аналізу динаміки фінансових показників.

Список використаної літератури

[1] L. Zhao, J. Deng, Y. Ma, and Y. Zhu, "Design of digital business center of enterprise project management system based on information technology," *Journal of Physics: Conference Series,* vol.

1744, paper 022010, 2021, 2020 International Conference on Mechanical Automation and Computer Engineering (MACE 2020), Xi'an, China, Oct. 28–30, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1744/2/022010

[2] S. Shirkhani, H. Mokayed, R. Saini, and H.Y. Chai, "Study of AI-driven fashion recommender systems, " *SN Computer Science*, vol. 4, art. 514, 2023, doi: 10.1007/s42979-023-01932-9

[3] C. Giri, S. Jain, X. Zeng and P. Bruniaux, "A Detailed Review of Artificial Intelligence Applied in the Fashion and Apparel Industry," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 95376-95396, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928979

УДК 681.518:622.248

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРІВ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ

Бубенщиков Д.Є. (danbuben2000@gmail.com)**, Шаповалов С.П.**
Сумський державний університет (Україна)

У тезах представлено технологію підтримки прийняття рішень для диспетчерів екстрених служб на основі цифрових двійників, що дозволяє мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій. На її основі будується модель управління з використанням цифрового двійника «розумного міста». Сформульовано висновок про можливість виконання управління в режимі реального часу.

Злагоджена та ефективна робота екстрених служб будь-якого міста дозволяє мешканцям почувати себе у безпеці та знати, що у разі виникнення непередбачуваних ситуацій, які можуть загрожувати їх життю, спеціалісти вчасно прийдуть на допомогу й приборкують проблему. Повномасштабне вторгнення, постійні обстріли українських міст, теракти проти громадян змінили сталу реальність. Так, з початку 2025 року в Україні виникло понад 21 тисячу пожеж, а українська система екстреної медичної допомоги отримала приблизно 2,5 мільйони викликів. Якщо говорити про роботу поліції, то лише у Києві з початку року сталося понад 16 тисяч дорожньо-транспортних пригод. І це дані тільки за перші п'ять місяців відповідно. З початку широкомасштабного вторгнення ДСНС здійснила близько 220 тисяч виїздів на ліквідацію наслідків обстрілів та інших бойових дій [1]. Інтенсивність надзвичайних ситуацій значно зросла й екстреним службам потрібно реагувати на нові виклики. Впровадження інтелектуальної технології підтримки прийняття рішень на основі цифрових двійників надають нові можливості для тренування диспетчерів екстрених служб шляхом моделювання надзвичайних ситуацій, що виникли, та їх вирішення відповідно.

Інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень є еволюцією традиційних систем, які покладаються переважно на статичні дані та статистичні моделі. Інтелектуальні ж системи можуть навчатися на основі інформації в режимі реального часу, адаптуватися до мінливих умов та управляти невизначеністю або неповними даними. Їх основу складають експертні системи, що кодують людський досвід у правила, методи машинного навчання та аналізу даних, які виявляють закономірності та прогнозують результати [2]. Ці технології знаходять застосування у різних сферах сучасного життя людини. У сфері охорони здоров'я вони надають діагностичну підтримку, рекомендують методи лікування та управляють ресурсами. Виробництво та логістика отримують переваги від прогнозного технічного обслуговування та оптимізації ланцюга поставок, а системи управління надзвичайними ситуаціями використовують інтелектуальну підтримку прийняття рішень для планування реагування на кризи та оцінки ризиків [3]. «Розумні міста» використовують їх для оптимізації дорожнього руху, контролю безпеки та зміцнення стійкості інфраструктури відповідно.

Технологія використання цифрових двійників дозволяє реалізувати певну взаємодію між реальним та віртуальним просторами. Завдяки цьому, можна моделювати, оптимізувати та відповідно покращувати реальні фізичні простори, змінюючи саме віртуальне середовище [4]. Так, в останні роки значно зросла популярність концепції цифрових міст-близнюків, яка могла б посприяти підвищенню ефективності міського управління відповідно.

Рисунок 1 демонструє інформаційні потоки в моделі управління з використанням цифрових двійників. При виникненні надзвичайної ситуації, що впливає на поточний стан громади, першочергово проводимо збір даних, необхідний для подальшого прийняття рішень. Надалі «включаємо» цифрове місто-близнюк що моделює дії, мета яких вирішити наявну проблему у цифровому просторі, не завдаючи шкоди місцевому населенню, інфраструктурі, навколишньому середовищі у разі невдачі. Отримаємо базу знань й прогнозуємо стани громади, переходимо до прийняття рішення, мінімізувавши ризики відповідно.

Рисунок 1. Інформаційні потоки в моделі управління з використанням цифрових двійників

Загалом, цифрові двійники слугують динамічним мостом між фізичним та цифровим світами, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення [5].

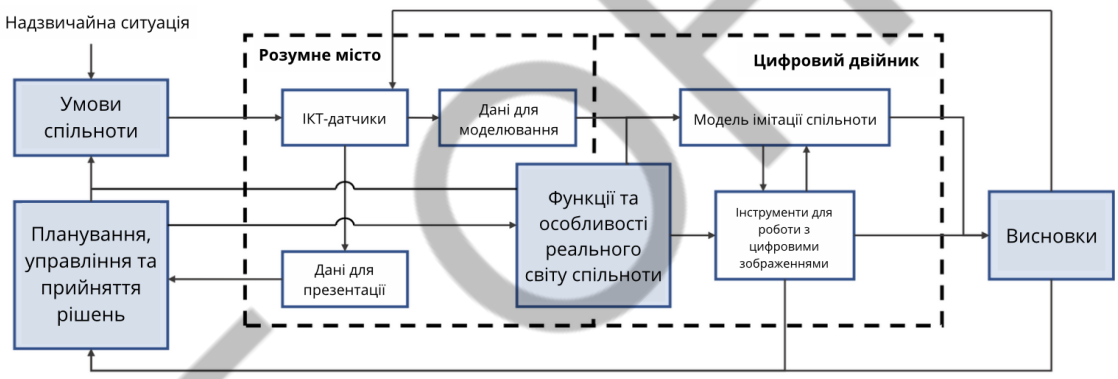


Рисунок 2. Модель управління надзвичайними ситуаціями

Запропоновану модель інтелектуальної технології підтримки прийняття рішень на основі цифрових двійників для екстрених служб надано на рис. 2. Цифровий двійник «приймає на себе» особливості функціонування реального міста. При виникненні надзвичайної ситуації моделюємо її вирішення на «двійникові» а потім, на основі отриманих висновків, покращуємо чи адаптуємо отримані рішення і набуті знання у реальному світі відповідно

Таким чином, використання інтелектуальної технології підтримки прийняття рішень на основі цифрових двійників дозволить проводити ефективні тренування диспетчерів екстрених служб та приймати найбільш вірні рішення шляхом моделювання надзвичайних ситуацій і їх вирішення, використовуючи при цьому цифрові міста-близнюки відповідно. Подальші дослідження в даній сфері можуть надати можливість контролю за надзвичайною ситуацією та реакцією на неї у режимі реального часу, що буде позитивно впливати на час і спосіб реагування, а відповідно і на порятунок людей.

Список використаних джерел

[1] Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Статистика ДСНС на 2025 рік. [Електронний ресурс]. Доступно: https://dsns.gov.ua.

[2] H. W. Gottinger and P. Weimann, "Intelligent decision support systems," Decision Support Systems, vol. 8, no. 4, pp. 317–332, 1992.

НТБОНТУ

[3] H. Lin et al., "Digital-twin-based multi-scale simulation supports urban emergency management: a case study of urban epidemic transmission," International Journal of Digital Earth, vol. 17, no. 1, p. 2421950, 2024.
[4] H. Lehner and L. Dorffner, "Digital geoTwin Vienna: Towards a digital twin city as geodata hub," in Proc. 2020, pp. 63–75.
[5] S. Mihai et al., "Digital twins: A survey on enabling technologies, challenges, trends and future prospects," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 4, pp. 2255–2291, 2022.

УДК 004.89 : 004.738.5 : 658.8

ТЕЛЕГРАМ-БОТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗІ СЛУЖБОЮ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ

Бур'ян С. С., Погорєловська І. Д. (buriansereja@gmail.com, i.d.pohorielovska@dpu.edu.ua)
Державний податковий університет (Україна)

Обгрунтовано необхідність та запропоновано рішення щодо створення інтегрованої системи технічної підтримки, яка поєднує зручність месенджерів з потужністю професійних сервісів обробки звернень.

Оперативне вирішення питань організації та технічної підтримки безперебійного функціонування, мінімізації ризиків від збоїв у роботі корпоративних інфраструктурних та інформаційних систем набувають все більшої актуальності в умовах інтенстивної цифровізації бізнес-процесів.

Сучасні користувачі очікують миттєвого реагування служби технічної підтримки на запити, пов'язані з проблемами функціонування програмно- апаратного забезпечення, оскільки знайомі з інстантністю месенджерів та соціальних мереж. Однак традиційні системи технічної підтримки часто не відповідають цим очікуванням через складність інтерфейсів, повільність обробки звернень та фрагментацію каналів комунікації, про що зазначено також у роботах [1, 2, 3]. Крім того, більшість Help Desk систем вимагають від користувача реєстрації на спеціальному порталі, запам'ятовування логін-пароля, заповнення складних форм з безліччю обов'язкових полів [3]. Це створює психологічний бар'єр – простіше підійти до колеги з IT-відділу або навіть змиритися з проблемою. Електронна пошта, як засіб комунікації, є катастрофічно повільною для критичних ситуацій, а телефонна підтримка не залишає документованого сліду [2, 4]. Корпоративні чати є зручним, але в них відсутні формалізація процесів, контроль SLA та аналітика [5].

Тому актуальною є задача створення інтегрованої системи технічної підтримки, яка поєднує зручність месенджерів з потужністю професійних сервісів обробки звернень. Мета роботи полягає у розробці рішення, що забезпечує оперативне створення заявки користувача, можливість відстеження її статусу та спілкування зі спеціалістом у реальному часі безпосередньо через Telegram, й автоматичне фіксування такої взаємодії у Jira Service Desk. Об'єктом дослідження є процеси організації технічної підтримки користувачів в умовах цифрової трансформації, а предметом виступають методи та інструменти інтеграції месенджерів з корпоративними системами управління заявками через REST API для забезпечення оперативної взаємодії.

За результатами роботи, для покращення рівня технічного обслуговування користувачів, було створено гібридне рішення, яке усуває головний недолік тікет-систем – незручність для користувачів – зберігаючи при цьому всі переваги формалізованих процесів. Ключовою ідеєю стала розробка Telegram-бота як фронтенду для Jira Service Desk, де користувач працює виключно в звичному месенджері, а вся бізнес-логіка та збереження даних відбуваються у професійній системі. Було реалізовано прототип клієнт-серверної системи з чіткою триступеневою архітектурою безпеки: зона Інтернет → DMZ (демілітаризована зона) → внутрішня корпоративна мережа.

Для розробки системи було обрано Telegram, оскільки він є популярним, стабільним, має зручний, простий інтерфейс та широкі можливості кастомізації [6, 7]. Jira Service Management

забезпечує гнучку логіку обробки заявок, підтримку автоматизації, кастомні поля, SLA та потужні інтеграційні можливості [8, 9]. Серверна частина реалізована з використанням Python та фреймворку FastAPI, що забезпечує ефективну побудову REST-сервісів [10]. База даних PostgreSQL містить історію звернень, зв'язки між ідентифікаторами користувачів, логи для аналізу помилок.

Схема взаємодії наступна: користувач надсилає запит через Telegram-бота, повідомлення передається серверу, який формує JSON-запит до Jira Service Desk через REST API. У відповідь надходить підтвердження створення тікета, і користувач отримує номер заявки для відстеження.

Особлива увага була звернена на реалізацію онлайн-підтримки – функції, якої не вистачало у класичних асинхронних системах. У разі, коли користувач натискає "Зв'язатися зі спеціалістом онлайн", система автоматично розраховує оптимального спеціаліста з урахуванням поточного навантаження та доступності. Обраний спеціаліст отримує push-сповіщення і може прийняти запит для консультації в реальному часі безпосередньо в Telegram.

Вся переписка автоматично синхронізується з Jira як коментарі до заявки, забезпечуючи повну документацію процесу. Така онлайн-взаємодія принципово змінює підхід до технічної підтримки, перетворюючи Jira з асинхронної системи в інструмент для оперативної комунікації. Це критично важливо в умовах воєнного стану, коли спеціалісти можуть працювати віддалено з безпечних місць.

Розроблений алгоритм авторизації базується на перевірці номера телефону через HR-систему та Active Directory. При першому запуску користувач надає свій номер, система верифікує його належність до організації, отримує роль користувача та створює захищену сесію з автоматичним завершенням через 30 хвилин неактивності. Це забезпечує баланс між зручністю та безпекою.

Алгоритм розподілу заявок аналізує категорію проблеми, поточне навантаження спеціалістів (кількість активних заявок у статусах "нова", "в роботі", "очікує інформації"), їхню компетенцію та робочий графік. Заявка призначається спеціалісту з найменшим навантаженням, який одразу отримує push-сповіщення з можливістю перейти до перегляду деталей.

Під час тестування в умовах робочого навантаження було підтверджено стабільну роботу системи: створення та фіксація заявок відбувається швидко, без затримок, навіть при активному потоці звернень. Мінімізація ручного втручання та автоматизація типових процесів значно підвищили ефективність обслуговування. Прототип продемонстрував ключові переваги: з точки зору користувача – це зручність звичного месенджера, відсутність необхідності запам'ятовувати паролі та заповнювати складні форми, можливість миттєво отримати допомогу онлайн; з точки зору служби підтримки – це всі переваги професійної тікет-системи (фіксація, контроль, аналітика, дотримання SLA), зменшення навантаження через автоматизацію та структуризацію запитів.

Реалізовані функції автоматичної класифікації запитів за ключовими словами, підказки для формування опису проблеми, повідомлення про очікуваний час обробки дозволяють зменшити кількість уточнюючих запитань та покращити сприйняття сервісу користувачами. Логування всіх дій допомагає виявляти можливі помилки та аналізувати патерни звернень.

Система має потенціал до масштабування. Надалі планується розширення на інші платформи (Viber, WhatsApp), додавання NLP-модулів для кращої обробки неструктурованих текстових звернень, запровадження аналітичного модуля для відстеження типових проблем, часу їх вирішення, завантаженості персоналу.

Загалом, інтеграція Telegram із Jira Service Desk є прикладом адаптації технічної підтримки до сучасних цифрових потреб, де зручність, швидкість, автоматизація та орієнтація на користувача формують нову якість сервісів. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективну smart-підтримку, коли система сама підлаштовується під користувача, а не навпаки. Можливість оперативного реагування та віддаленої роботи спеціалістів набуває критичної важливості в сучасних реаліях.

Список використаної літератури

1. Василів В. Б. Практичні підходи до формування служби технічної підтримки користувачів інформаційної системи університету // Бізнес Інформ. 2018. №4. С. 371–377.

2. Zendesk. Customer Experience Trends Report 2023 //Zendesk Inc. 2023.

3. Dimension Data. Global Customer Experience Benchmarking Report //NTT Communications. 2023.
4. Salesforce. State of Service Report 2023 // Salesforce Research. 2023.
5. Forrester Research. The State of Digital Customer Experience // Forrester Research Inc. 2022.
6. Telegram Bot API Documentation. URL: https://core.telegram.org/bots/api
7. Digital 2023 Global Overview Report // We Are Social & Kepios. 2023.
8. Atlassian. Jira Service Management Cloud documentation. URL: https://support.atlassian.com/jira-service-management-cloud/
9. Sysoev A. Jira Service Management Essentials. Packt Publishing, 2022. 290 p.
10. Муляренко О. Ю. Веб-програмування з Python і Flask : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2020. С. 58–59.

УДК 004.932

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ SMART-НОТАТОК

Бурбело С. М.[1], Коваленко О. О.[2], Саєцький Д. Р.[2]
(smburbelo@gmail.com, ok@vntu.edu.ua, denya.denya.007@gmail.com)
[1]Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
[2]Вінницький національний технічний університет (Україна)

Проведено порівняльний аналіз аналогів засобів для організації, редагування та візуалізації пов'язаних текстових нотаток. Визначено функціонал власної розробки. Розроблено алгоритм роботи системи.

У сучасних умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій особливу роль відіграють програмні засоби для організації та обробки текстової інформації. Користувачі все частіше потребують інструментів, які дозволяють не лише зберігати нотатки, але й швидко знаходити між ними логічні зв'язки, візуалізувати структуру знань і формувати особисті бази даних у зручному мобільному форматі.

Необхідність створення таких засобів зумовлена зростанням обсягів інформації, яку людина щоденно сприймає та опрацьовує. Традиційні текстові редактори та нотатники не забезпечують належного рівня організації даних, що ускладнює пошук потрібних відомостей і формування цілісної системи знань. Тому виникає потреба у розробці інтелектуальних Android-застосунків, здатних забезпечити ефективне структурування, редагування та візуалізацію пов'язаних текстових записів.

Сучасні засоби для ведення й організації нотаток відіграють важливу роль у структуризації знань, плануванні діяльності та підтримці особистої продуктивності користувача. Вони дозволяють швидко створювати, редагувати та пов'язувати текстову інформацію між собою. На ринку існує низка програмних рішень, що реалізують різні підходи до управління нотатками, серед яких виділимо Obsidian, Notion, Evernote, Joplin.

Obsidian [1] – це потужний десктопний і мобільний застосунок для роботи з Markdown-нотатками, який базується на принципі графових зв'язків між записами. Його головна особливість полягає у створенні локальної бази знань користувача, де кожна нотатка є окремим файлом, а зв'язки між ними візуалізуються у вигляді інтерактивного графа.

Користувачі можуть створювати двосторонні посилання, використовувати теги, плагіни та шаблони. Однак інтерфейс програми досить складний для новачків.

Notion [2] – це багатофункціональна веб та мобільна платформа для організації нотаток, баз даних і спільної роботи. Вона дозволяє створювати сторінки з вкладеним контентом: текстами, таблицями, завданнями, файлами тощо.

Попри велику кількість інструментів, Notion не має справжньої графової візуалізації зв'язків між нотатками. Його головна перевага – інтеграція з хмарними сервісами та підтримка

командної взаємодії, але для автономного користування без мережі можливості застосунку обмежені.

Evernote [3] – один із найстаріших сервісів для збереження й систематизації нотаток у хмарному середовищі. Він підтримує мультимедійні формати (текст, фото, аудіо, документи), має потужну систему тегів і пошуку.

Основним недоліком є відсутність гнучких міжнотаткових зв'язків і візуалізації структури знань. Evernote орієнтований більше на архівацію інформації, ніж на побудову мережі взаємопов'язаних ідей.

Joplin [4] – це відкрите програмне забезпечення з підтримкою Markdown, яке дозволяє створювати нотатки, завдання та синхронізувати їх через хмарні сховища. Програма відзначається простотою інтерфейсу, можливістю роботи офлайн та високим рівнем безпеки даних.

Разом із тим Joplin не реалізує графову модель зв'язків і не має інструментів для візуалізації структури нотаток, що обмежує його використання як системи управління знаннями.

Особливості розглянутих сервісів зведено в таблицю порівняння характеристик застосунків ведення нотаток (табл.1).

Таблиця 1 – Порівняння характеристик застосунків ведення нотаток

	Obsidian	Notion	Evernote	Joplin	Власна розробка
Підтримка Markdown	1	0	0	1	1
Рекомендації зв'язків між нотатками	1	0	0	0	1
Візуалізація структури у вигляді графа	1	0	0	0	1
Синхронізація між пристроями	1	1	1	1	1
Робота без підключення до мережі	1	0	0	1	1
Підтримка шаблонів нотаток	0	1	1	0	1
Підтримка жестів і свайпів у мобільній версії	0	1	1	1	1
Загальна оцінка	5	3	3	4	7

За розглянутими критеріями власна розробка є актуальною та має низку переваг перед існуючими аналогами.

У результаті дослідження аналогів систем для організації, редагування та візуалізації текстових нотаток визначено основний функціонал власного Android-застосунку. Алгоритм роботи розробленої програми подано на рис. 1.

Розроблена мобільна система володіє таким функціоналом:

- підтримує редагування нотаток у форматі Markdown;
- забезпечує створення двосторонніх зв'язків між нотатками;
- реалізує візуалізацію структури нотаток у вигляді інтерактивного графа;
- має механізм рекомендацій зв'язків між нотатками на основі контекстного аналізу;
- підтримує роботу без підключення до мережі з можливістю подальшої синхронізації;
- дозволяє створювати нотатки на основі шаблонів для прискорення роботи користувача;
- має оптимізований мобільний інтерфейс із підтримкою жестів та свайпів;
- забезпечує синхронізацію даних між пристроями для зручної роботи в різних середовищах.

Такий набір функцій забезпечує гнучкість, зручність і продуктивність роботи з пов'язаними нотатками, поєднуючи сильні сторони існуючих аналогів із новими можливостями, орієнтованими на мобільність і персоналізацію.

НТБОНТУ

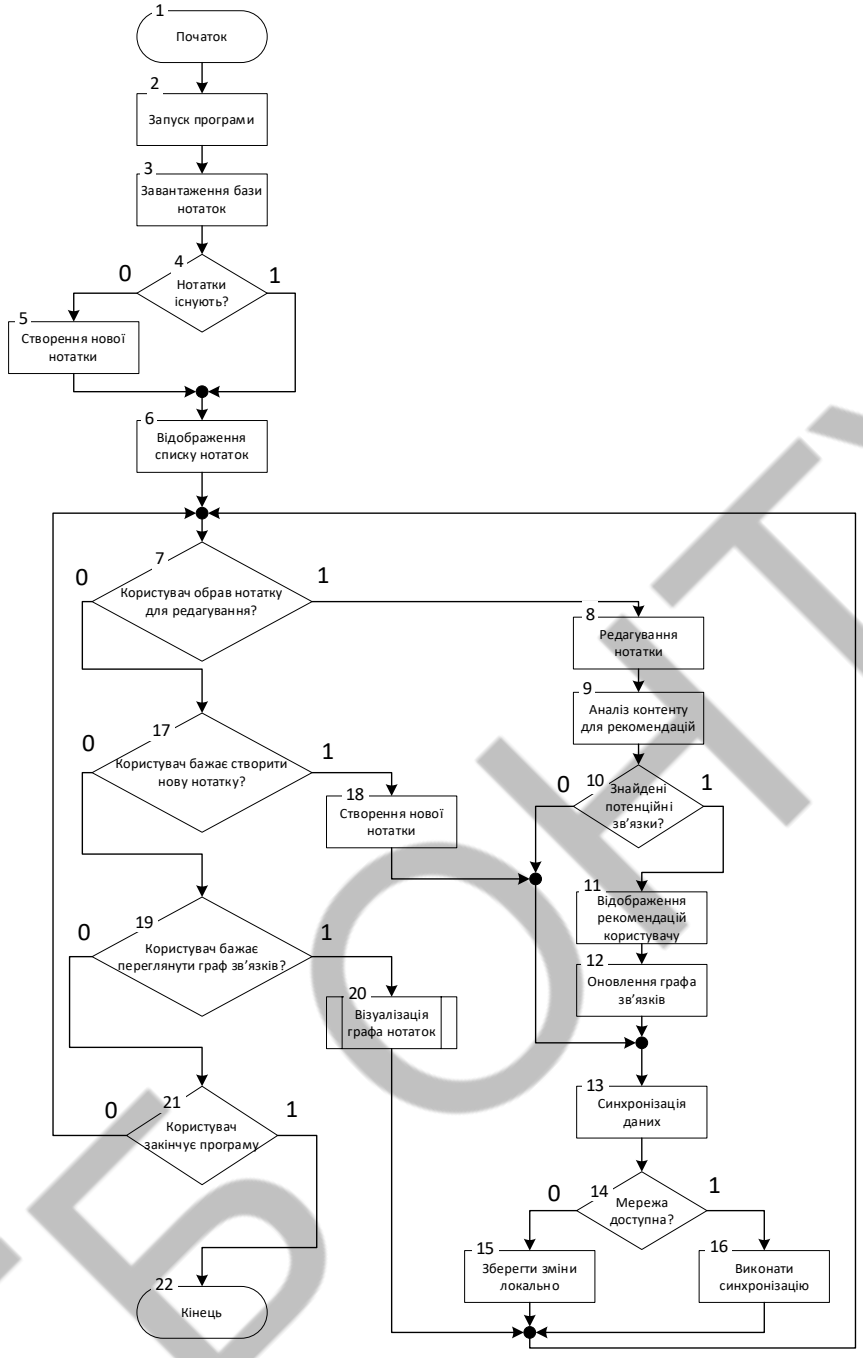


Рисунок 1 – Блок-схема загального алгоритму роботи програми

Висновок

Розроблений Android-застосунок для роботи з пов'язаними текстовими нотатками спрямований на підвищення ефективності організації та обробки інформації, дозволяє швидко створювати і редагувати нотатки, автоматично виявляти і пропонувати зв'язки між ними, а також візуалізувати структуру знань у вигляді інтерактивного графа, що значно полегшує орієнтацію в великих обсягах текстових даних та підвищує продуктивність роботи користувача.

Список використаної літератури

[1] Obsidian. [Online] URL: https://obsidian.md/ [Accessed: October, 12 2025].
[2] Notion. [Online] URL: https://www.notion.com/ [Accessed: October, 12 2025].
[3] Evernote. [Online] URL: https://evernote.com/ [Accessed: October, 12 2025].
[4] Joplin. [Online] URL: https://joplinapp.org/ [Accessed: October, 12 2025].

НТБОНТУ

УДК 004.41

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ НА ОСНОВІ ПАТЕРНУ CIRCUIT BREAKER

Ванда І. С. (vandaihor@gmail.com)
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Україна)

У роботі розроблено й досліджено механізм забезпечення відмовостійкості в мікросервісній архітектурі на основі патерну Circuit Breaker з автоматичним перемиканням між HTTP та RabbitMQ. Описано архітектуру бібліотеки ModifiedCB, реалізовано кешування запитів і обробку помилок, проведено тестування при навантаженнях та порівняльний аналіз із бібліотекою Polly.

Вступ

З розвитком мікросервісних архітектур забезпечення надійного обміну даними між сервісами набуває критичного значення: хоч такі системи й забезпечують масштабованість і гнучкість, їхня складність підвищує ризики відмов окремих компонентів, що може призводити до збоїв у роботі всієї системи [1]. Надійність залежить від впровадження механізмів адаптації до збоїв та забезпечення безперервності роботи [2]. Патерн Circuit Breaker є ефективним засобом динамічного контролю потоків запитів і обмеження негативного впливу збоїв на систему [3], проте класичні реалізації іноді не задовольняють вимог сучасних навантажених середовищ, що спричиняє потребу в автоматичному перемиканні між синхронними та асинхронними каналами передачі даних. У статті запропоновано вдосконалене рішення — бібліотеку ModifiedCB з механізмом автоматичного перемикання каналів залежно від стану системи, проведено її тестування під різними навантаженнями та виконано порівняльний аналіз із бібліотекою Polly [4].

Перелік вирішених завдань

У роботі поставлено і вирішено комплекс завдань: розробити архітектуру та реалізацію бібліотеки для забезпечення відмовостійкості мікросервісної взаємодії з можливістю автоматичного перемикання між HTTP і RabbitMQ; реалізувати збереження запитів у брокері повідомлень при збої каналів; впровадити механізми обробки помилок і класифікації їх типів; забезпечити конфігурованість через файл і інтеграцію з інструментами моніторингу (Prometheus/Grafana); а також виконати навантажувальне тестування й порівняльну оцінку ефективності з існуючими рішеннями.

Проектування та розробка власного рішення

Розробка бібліотеки, яка забезпечує стійкість інформаційного обміну в мікросервісній архітектурі, потребує визначення ключових вимог для реалізації оптимального функціоналу та стійкості системи. Функціональні вимоги: 1) реалізація передачі повідомлень за допомогою синхронного та асинхронного повідомлень; 2) реалізація можливості перемикання між синхронним, асинхронним та комбінованим режимами передачі повідомлень; 3) збереження запитів за допомогою брокера повідомлень у разі виникнення збоїв при міжсервісній комунікації; 4) визначення параметрів конфігурації за допомогою файлу.

Архітектура бібліотеки базується на поєднанні двох ключових патернів: Circuit Breaker та Стратегії. Circuit Breaker виконує моніторинг стану каналів зв’язку та автоматично переключається між станами: «закритий», «відкритий» і «напіввідкритий». Додатково, розроблена інтерпретація патерну включає зворотні виклики (callbacks) для обробки помилок та словник для класифікації їх типів, що забезпечує більш детальний аналіз і гнучкість у роботі з різними ситуаціями. Стратегія дозволяє інтегрувати різні протоколи передачі даних без необхідності внесення змін до основного коду бібліотеки. Це гарантує легкість у додаванні нових способів зв’язку та адаптацію бібліотеки до змін у середовищі чи вимогах системи.

На рисунку 1 представлена діаграма послідовності для комбінованого режиму, яка демонструє, як бібліотека здійснює перехід між HTTP та RabbitMQ залежно від стану Circuit Breaker і відстежує статус з'єднання на кожному етапі.

HTTP-ITV

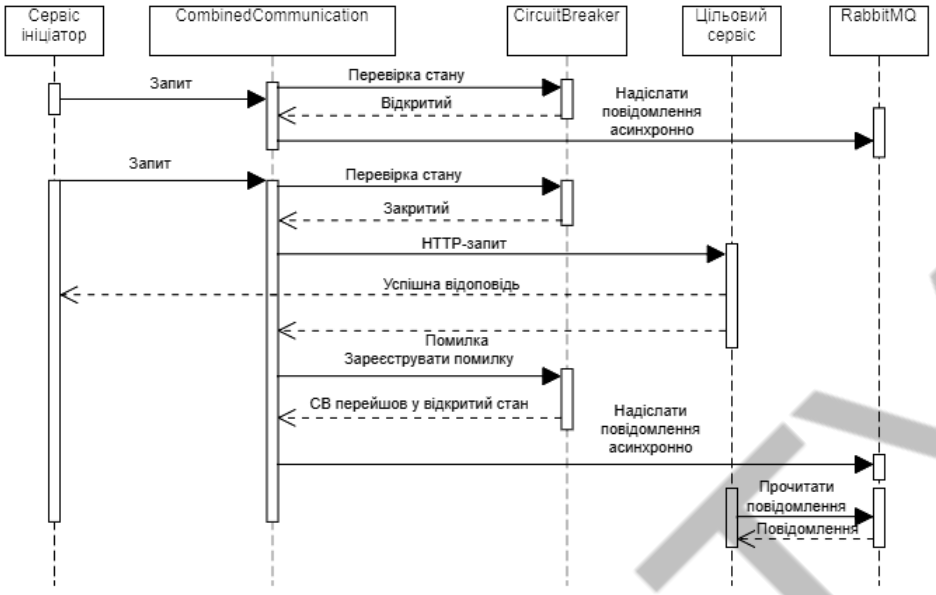


Рисунок 1 – Діаграма послідовності роботи комбінованого режиму

Тестування та аналіз ефективності

Тестування ефективності бібліотек проводилося з трьома тестовими сценаріями, тестування з низьким навантаженням в 100 запитів в секунду, тестування з помірним навантаженням в 300 запитів в секунду та тестування з симуляцією збоїв при 300 запитах в секунду. Для оцінки ефективності роботи розробленого рішення було визначені такі метрики: відсоток успішних запитів (Successful rate), середня тривалість запиту (Average response time), пропускна здатність (Throughput), час простою (Downtime), для збору показників та моніторингу використовувались системи Prometheus та Grafana (див. таблицю 1).

Таблиця 1. Результати тестування ефективності ModifiedCB та Polly

Бібліотека	Сценарій тестування	Відсоток успішних запитів	Тривалість запитів, мс.	Пропускна здатність	Час простою, с.
ModifiedCB, Combined	Низьке навантаження	100%	3.20	100	0
	Помірне навантаження	100%	3.33	300	0
	Симуляція збоїв	100%	3.44	250-300	0
Polly	Низьке навантаження	100%	2.55	100	0
	Помірне навантаження	100%	2.63	300	0
	Симуляція збоїв	93%	2.60	280-300	30

Аналізуючи результати тестування ModifiedCB, в комбінованому режимі, показав найкращі результати серед усіх бібліотек, зберігаючи 100% успішних запитів та відсутність часу простою навіть під час симуляції збоїв. Це свідчить про те, що бібліотека ефективно переключається між синхронною та асинхронною стратегіями передачі повідомлень, що забезпечує високу надійність і безвідмовність при середньому та високому навантаженні. Polly демонструє найшвидшу обробку запитів, але має деякі проблеми з надійністю при збої, з часом простою до 30 секунд. Ця бібліотека підходить для систем з низькими вимогами до стійкості, де важлива висока пропускна здатність і швидкість обробки запитів.

Висновки

Тестування продемонструвало, що комбінований режим роботи ModifiedCB забезпечує найвищу ефективність у високо-навантажених середовищах. Однією з головних переваг цього режиму є автоматичний перехід до асинхронного каналу зв'язку, що зменшує негативний вплив збоїв на загальну роботу системи. Бібліотека також демонструє високу стійкість до перевантаження окремих компонентів і підтримує доступність навіть у разі частих помилок або великих обсягів запитів. Порівняльний аналіз із популярним рішенням Polly показав, що, попри високу швидкість обробки запитів, стійкість цього інструменту до збоїв є обмеженою.

Список використаної літератури

[1] S. Newman, Building Microservices. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015. 280 p.
[2] M. T. Nygard, Release It!: Design and Deploy Production-Ready Software. Nashville, TN, USA: Pragmatic Bookshelf, 2007. 350 p.
[3] "Circuit Breaker Pattern (Design Patterns for Microservices)," Medium. [Online]. Available: https://medium.com/geekculture/design-patterns-for-microservices-circuit-breaker-pattern-276249ffab33. [Accessed: 17-Oct-2025].
[4] "Meet Polly: The .NET resilience library," Polly. [Online]. Available: https://www.pollydocs.org/. [Accessed: 17-Oct-2025].

УДК 004.05

БЕЗПЕКА ТА ПРИВАТНІСТЬ У IOS-ДОДАТКАХ: ЯК ЗАБЕЗПЕЧИТИ ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ APPLE

Вдовенко Д.О., Сєдих О.Л.
(dmitryvdvnk@gmail.com, olgased@ukr.net)
Національний університет харчових технологій (Україна)

У статті розглянуто актуальні аспекти забезпечення безпеки та конфіденційності в iOS-додатках відповідно до вимог Apple. Проаналізовано ключові інструменти та правила, які повинні враховувати розробники: політику AppTrackingTransparency (ATT), механізми контролю доступу до чутливих ресурсів (камера, мікрофон, геолокація), оформлення пояснень у файлі Info.plist, а також "етикетки конфіденційності" (Privacy Nutrition Labels). Окрему увагу приділено використанню локального зберігання даних через Keychain та Secure Enclave для підвищення захисту користувацької інформації. Виконання цих вимог забезпечує схвалення додатку під час модерації в App Store, підвищує рівень довіри користувачів та сприяє формуванню позитивної репутації розробника.

Вступ. У сучасному цифровому середовищі питання захисту персональних даних користувачів набувають особливої актуальності. Apple, як один із лідерів технологічної індустрії, приділяє значну увагу безпеці та конфіденційності, впроваджуючи суворі вимоги до мобільних застосунків, що публікуються в App Store. Для розробників це означає необхідність дотримання низки правил: використання механізму ***AppTrackingTransparency***, обмеження доступу до чутливих даних, а також чіткого інформування користувача про мету їхнього збору. Розуміння та виконання цих вимог є обов'язковою умовою для створення успішних застосунків, які відповідають очікуванням користувачів та політиці Apple.

Основна частина. Однією з ключових вимог є дотримання політики *AppTrackingTransparency (ATT)* — фреймворку, запровадженого в iOS 14.5. ATT зобов'язує розробників отримувати явний дозвіл користувача перед тим, як відстежувати його активність у сторонніх застосунках або на вебсайтах. Без такої згоди доступ до ідентифікатора пристрою (IDFA) заборонено, що суттєво вплинуло на підходи до інтеграції рекламних SDK та аналітики й змусило компанії переглядати стратегії монетизації. Особливого контролю потребує доступ до чутливих системних ресурсів — камери, мікрофона, геолокації, контактів або фото. Для кожного з таких доступів розробник має додати пояснення в *Info.plist* (наприклад, NSCameraUsageDescription, NSLocationWhenInUseUsageDescription), чітко вказавши мету його

використання. Некоректне або відсутнє пояснення може стати підставою для відхилення застосунку під час модерації App Store. З виходом iOS 15 Apple посилила контроль за роботою з фоновими даними. Наприклад, при запиті доступу до геопозиції у режимі *Always* користувач отримує додаткове системне повідомлення та може обмежити або повністю заборонити такий доступ. Це зобов'язує розробників ретельно планувати сценарії використання додатку, запитуючи лише ті права, які є критично необхідними.

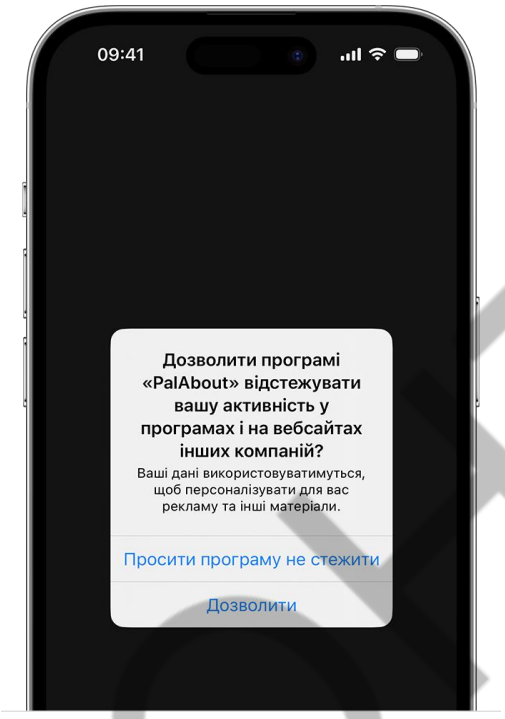


Рисунок 1 – Приклад запиту щодо відстеження активності

Для підвищення прозорості Apple запровадила *Privacy Nutrition Labels* — так звані "етикетки конфіденційності", що відображаються на сторінці застосунку в App Store. Розробник повинен вказати типи даних, які збираються, мету їхнього використання (аналітика, персоналізація, реклама) та інформацію про можливу передачу третім сторонам. Неправдиві або неповні дані можуть призвести до видалення застосунку з App Store.
Важливим аспектом також є впровадження локального зберігання даних без передачі інформації на зовнішні сервери, коли це можливо. Apple підтримує використання *Keychain* для безпечного збереження паролів і токенів доступу та *Secure Enclave* для роботи з біометричними даними [1, 2].

Висновки. Безпека та конфіденційність користувачів є фундаментом сучасної розробки iOS-додатків. Apple надає розробникам чіткий набір інструментів і вимог, дотримання яких є обов'язковим для публікації застосунку в App Store. Виконання політики ***AppTrackingTransparency***, коректне обґрунтування доступів до чутливих ресурсів, заповнення "етикеток конфіденційності" та застосування безпечних механізмів зберігання даних дають змогу створювати застосунки, яким довіряють користувачі. Розробники, що приділяють належну увагу цим аспектам, отримують не лише схвалення модерації, але й підвищують рівень лояльності своєї аудиторії, що є ключовим чинником успіху на сучасному ринку мобільних технологій.

Список використаної літератури

[1] "Якщо програма робить запит щодо відстеження вашої активності," Служба підтримки Apple (UA). [Online]. Available: https://support.apple.com/uk-ua/102420 [Accessed: September 25, 2025].
[2] "App Tracking Transparency," Apple Developer Documentation. [Online]. Available: https://developer.apple.com/documentation/apptrackingtransparency [Accessed: September 25, 2025].

УДК 004.58+004.8

РОЗРОБКА IOS-ЗАСТОСУНКУ "AI TRAVEL ASSISTANT" НА БАЗІ SWIFTUI ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вдовенко Д.О., Сєдих О.Л.
(dmitryvdvnk@gmail.com, olgased@ukr.net)
Національний університет харчових технологій (Україна)

У тезах розглядається створення інтелектуального iOS-застосунку "AI Travel Assistant", що надає персоналізовані рекомендації для дозвілля. Підкреслюється актуальність використання штучного інтелекту для адаптації контенту до уподобань користувача. Описано реалізацію інтерфейсу на базі SwiftUI, інтеграцію Gemini API, чат-функціонал із підтримкою форматування та карт, локальне збереження даних у Realm та автентифікацію користувачів. Наведено рішення для безпеки контенту, підключення новинних порталів і можливість експорту даних. У висновках окреслено перспективи розвитку проєкту: інтеграцію з картами, багатомовний інтерфейс та аналітику користувацької поведінки.

Вступ. У сучасному цифровому середовищі мобільні застосунки стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Користувачі дедалі частіше очікують персоналізованого контенту, швидкого доступу до релевантної інформації та інтеграції з інтелектуальними сервісами. Це особливо актуально у сфері туризму й міського дозвілля, де зручність і швидкість отримання рекомендацій безпосередньо впливають на користувацький досвід. Поєднання штучного інтелекту із сучасними технологіями мобільної розробки відкриває нові можливості створення застосунків, що адаптуються до інтересів користувача. Прикладом такого рішення є проєкт ***«AI Travel Assistant»*** — інтелектуальний iOS-застосунок, який формує персоналізовані рекомендації щодо дозвілля в межах міста [1].

Основна частина. Метою роботи стало створення зручного, інтуїтивного та функціонального мобільного застосунку, здатного надавати користувачу індивідуальні рекомендації, сформовані на основі його уподобань.

У межах реалізації проєкту досягнуто таких результатів:

- ***Інтерфейс користувача.*** Розроблено адаптивний інтерфейс на базі SwiftUI з підтримкою анімацій, темної теми та принципів сучасного UX/UI-дизайну. За основу взято шаблон "MindMeld AI: Your Personal AI Companion App UI/UX Design", створений у Figma [2].
- ***Інтеграція штучного інтелекту.*** Використано модель Gemini API для формування інтелектуальних відповідей, рекомендацій і маршрутів на основі введених параметрів (місто, інтереси, тип переміщення) [3].
- ***Чат-функціонал.*** Реалізовано інтерактивний діалоговий інтерфейс із підтримкою форматування тексту (Markdown), активних посилань та карт (планується інтеграція з Apple Maps).
- ***Збереження даних.*** Використано базу даних Realm для локального збереження профілю, історії чату та налаштувань.
- ***Авторизація.*** Реалізовано автентифікацію через email/пароль та Google Sign-In із перевіркою унікальності користувача.
- ***Безпека.*** Додано фільтрацію заборонених тем для дотримання етичних стандартів.
- ***Новини та події.*** Інтегровано API українських новинних порталів для відображення актуальних івентів у вибраному регіоні.
- ***Експорт даних.*** Реалізовано можливість експорту історії чату у файл із подальшим поширенням через стандартні засоби iOS.

Застосунок протестовано на стабільність, швидкість реакції та зручність використання. Він демонструє гнучкість, масштабованість і готовність до подальшого розвитку.

НТБОНТУ

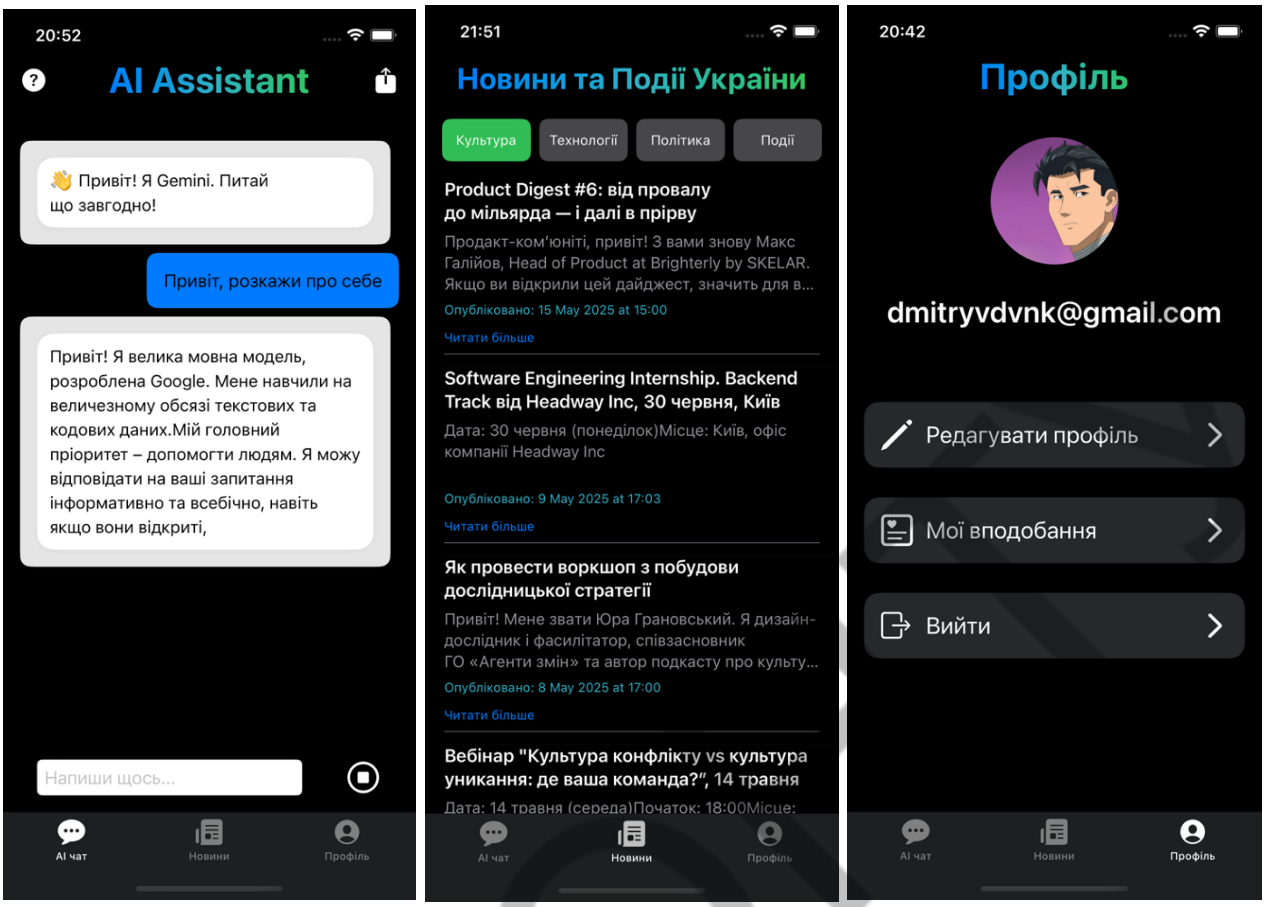


Рисунок 1 – Інтерфейс мобільного застосунку

Висновки. ***«AI Travel Assistant»*** є прикладом сучасного мобільного рішення, яке ефективно поєднує інструменти iOS-розробки та можливості штучного інтелекту. Сервіс надає персоналізовані рекомендації, враховуючи геолокацію, тип подорожі та інтереси користувача, пропонуючи простий і привабливий інтерфейс.

Подальший розвиток передбачає:

- інтеграцію з навігаційними сервісами (Apple Maps, Google Maps);
- впровадження багатомовного інтерфейсу;
- підключення аналітики для дослідження користувацької поведінки.

Проєкт має практичну цінність і демонструє потенціал поєднання мобільних технологій та ШІ у сфері розумного туризму й міського планування.

Список використаної літератури

[1] "Останні тенденції в персоналізації мобільних додатків Android та iOS – як створити унікальний користувацький досвід," Mediacom. [Online]. Available: https://mediacom.com.ua/ostanni-tendentsii-v-personalizatsii-mobilnix-dodatkiv-android-ta-ios/. [Accessed: September 25, 2025].

[2] "MindMeld Ai: Your Personal AI Companion App UI/UX Design (Community)," Figma. [Online]. Available: https://www.figma.com/design/iXTovhQ2DE3hIO1L4zsjNZ/MindMeld-Ai--Your-Personal-AI-Companion-App-Ui-Ux-Design--Community-?node-id=0-1&p=f&t=GbyO2n01uZiGuBzu-0. [Accessed: September 25, 2025].

[3] "Google Cloud console," Google Cloud Platform. [Online]. Available: https://console.cloud.google.com/apis/library/cloudaicompanion.googleapis.com?inv=1&invt=Abx0TA&project=helpful-data-332001. [Accessed: September 25, 2025].

УДК 004.89

МЕТОДИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИБОРУ КОНДИТЕРСЬКИХ МАГАЗИНІВ

Виноградов М.Ю., Тітов С.В. (mykyta.vynohradov@nure.ua, serhii.titov@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В тезах розглядається процес розробки системи рекомендацій для вибору кондитерських магазинів на основі уподобань користувачів. Було проаналізовано ефективність різних методів фільтрування – колаборативного, контентного та гібридного. Запропоновано веб-систему, яка динамічно адаптується до поведінки та уподобань користувачів, пропонуючи персоналізовані рекомендації. Система використовує структуровані дані (категорії магазинів, рейтинги, місцезнаходження) та неструктуровані відгуки (огляди, історія взаємодій). Гібридний алгоритм фільтрування реалізовано за допомогою Python, Django, SQL, з модульною архітектурою та адаптивним інтерфейсом. Експериментальна перевірка підтверджує покращену релевантність рекомендацій та скорочення часу пошуку порівняно з традиційними підходами на основі каталогів.

Ця робота присвячена дослідженню та розробці рекомендаційної системи для вибору кондитерських магазинів на основі індивідуальних уподобань користувача. Найбільшою перевагою мережі Інтернет є можливість миттєво обмінюватися інформацією. Люди можуть в режимі реального часу обмінюватися повідомленнями в месенджерах, електронними листами і так далі. З розвитком різноманітних вебресурсів, користувачі також отримали змогу виставляти оголошення про продаж, робити купівлі онлайн, бронювати квитки в кіно чи на концерт, а також, наприклад, шукати всі існуючі заклади громадського харчування в своєму місті для того, щоб прийняти рішення де відзначити прийдешнє свято. На сьогоднішній день, більшість веб-ресурсів пропонують безліч варіантів для, майже кожного, варіанту запиту. Проблема в тому, що інформації дуже багато і потрібно вміти правильно користуватися нею. Наприклад, якщо користувач спробує знайти всі кондитерськи магазини в своєму місті, він, скоріш за все, отримає безліч результатів (якщо мова йде про велике місто). Для того щоб «відсіяти» непотрібні і переглядати лише бажані – користувач може використовувати фільтри при пошуку, або використовувати особливий тип додатків – «рекомендаційні системи». У сучасному інформаційному середовищі, де кількість торгових закладів постійно зростає, користувачі стикаються з проблемою надлишку вибору. Рекомендаційні системи дозволяють автоматизувати процес фільтрації та персоналізованого підбору релевантних варіантів, що значно покращує користувацький досвід.

В рамках даної роботи був проведений аналіз існуючих методів підбору рекомендацій, обраний оптимальний та на його основі розроблена система для пошуку та підбору кондитерських магазинів на основі індивідуальних уподобань користувача. Головна перевага системи що розробляється над іншими, полягає в тому, що вона відображає лише ті заклади, що дійсно можуть зацікавити кінцевого користувача, використовуючи інформацію з його профілю та його уподобання, які були зафіксовані системою раніше. Користувач отримає змогу вибрати локацію та переглянути рекомендовані в ній кондитерськи магазини. Такий алгоритм рекомендацій, позбавить користувача від перегляду інформації про заклади, які якого не цікавлять. Оскільки застосунок буде мати адаптивну версію, доступ до нього може бути отриманий як з комп’ютерного так і мобільного пристрою.

У межах дослідження проаналізовано основні підходи до побудови рекомендаційних систем, зокрема контентну фільтрацію, колаборативну модель та гібридні алгоритми. Визначено ключові критерії вибору кондитерських магазинів: тип продукції, рейтинг, геолокація, наявність доставки, інтер’єр, цінова категорія, а також історія взаємодії користувача з системою. На основі аналізу обґрунтовано доцільність використання гібридного методу фільтрації, який поєднує переваги контентного аналізу та поведінкових патернів.

Для реалізації системи використано стек технологій Python + Django + SQL. Django – високорівневий фреймворк для розробки вебдодатків, що забезпечує швидку побудову серверної логіки, управління базами даних через ORM, а також інтеграцію з REST API. Python використовується для реалізації алгоритмів фільтрації, обробки даних та логіки рекомендацій.

SQL – для зберігання структурованих даних про користувачів, магазини, оцінки, категорії та історію взаємодії.

Архітектура системи включає модулі авторизації, управління профілем, формування запитів, ранжування результатів та адаптивного інтерфейсу. Рекомендаційний модуль реалізовано як окремий сервіс, що взаємодіє з основним додатком через API. Для побудови рекомендацій використано алгоритми гібридної фільтрації, які враховують як атрибути магазинів, так і схожість між користувачами. Система підтримує кешування запитів, індексацію даних та фільтрацію за кількома параметрами.

Інтерфейс системи адаптивний, розроблений з урахуванням доступу з мобільних та десктопних пристроїв. Користувач може обрати бажану локацію, категорію продукції, переглянути рекомендовані магазини, а також залишити відгук чи оцінку. Система автоматично оновлює рекомендації на основі нових дій користувача.

Результати експериментального тестування показали, що користувачі, які використовували систему, витрачали на 40% менше часу на пошук магазину, а рівень задоволеності рекомендаціями зріс на 30% порівняно з ручним пошуком. Система демонструє високу точність рекомендацій, гнучкість у налаштуванні та масштабованість.

Запропонована система може бути інтегрована в міські сервіси, туристичні платформи або корпоративні додатки, що займаються просуванням закладів торгівлі. Вона дозволяє підвищити ефективність вибору, покращити клієнтський досвід та сприяти розвитку малого бізнесу.

Список використаної літератури

1. Ricci, F.; Rokach, L.; Shapira, B. Recommender Systems Handbook. Springer, 2022.
2. Aggarwal, C. C. Recommender Systems: The Textbook. Springer, 2016.
3. Zanker, M.; Jannach, D. Evaluation of Recommender Systems: Survey and Framework. ACM Computing Surveys, 2021.
4. Claesen, M.; De Moor, B. Hyperparameter Search in Machine Learning. 2015. URL: https://arxiv.org/abs/1502.02127
5. Gartner Research. How Generative AI Will Change User Experience. 2023. URL: https://www.gartner.com/en/documents/4664099
6. Wistuba, M.; Rawat, A.; Pedapati, T. A Survey on Neural Architecture Search. 2019. URL: https://arxiv.org/abs/1905.01392
7. Тітов С. В., Тітова О. В., Чорна О. С. Метод знаходження апроксимацій приблизних множин з використанням систем числення. Системи обробки інформації. 2023. № 2 (173). С. 58-62. https://doi.org/10.30748/soi.2023.173.07
8. Ситніков Д.Е., Ситнікова П.Е., Тітов С.В., Тітова О.В. Фільтрація результуючого набору асоціативних правил з точки зору оцінки цікавості / Д.Е. Ситніков, П.Е. Ситнікова, С.В. Тітов, О.В. Тітова // Системи обробки інформації № 1(164) 2021, стр. 83-88. https://doi.org/10.30748/soi.2021.164.09

УДК 004.67

АРХІТЕКТУРА ХМАРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИМИ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ З ДЕРЖАВНИМИ СЛУЖБАМИ: ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Воробйов Роман Русланович (mag3374035@stud.duikt.edu.ua)
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)

У роботі описується, як може виглядати хмарна система для обміну даними між компаніями електронної комерції та державними службами. Пояснюється, чому такі рішення важливі — вони допомагають швидше та безпечніше передавати фінансову, податкову й логістичну інформацію. Також наведено кілька прикладів, як хмарні технології вже застосовуються у бізнесі та державному секторі. Розглянуто основні рівні побудови такої системи та використання машинного навчання для покращення роботи бізнес-процесів.

Висновки відповідають на питання ефективності хмарної інтеграції та підкреслюють перспективи подальшого розвитку, зокрема застосування глибоких нейронних мереж безпеки та точності прогнозів.

Постановка задачі

У сучасних умовах цифровізації бізнесу електронна комерція активно взаємодіє з державними структурами для обміну фінансовими, податковими, логістичними та правовими даними. Існуючі рішення інтеграції часто характеризуються низькою продуктивністю, складністю масштабування та проблемами безпеки.

Потреба у створенні хмарної архітектури полягає в забезпеченні безпечного, стандартизованого та швидкого обміну даними між платформами електронної комерції та державними службами. Використання алгоритмів машинного навчання (ML) та контейнеризації дозволяє підвищити ефективність бізнес-процесів і точність прогнозів.

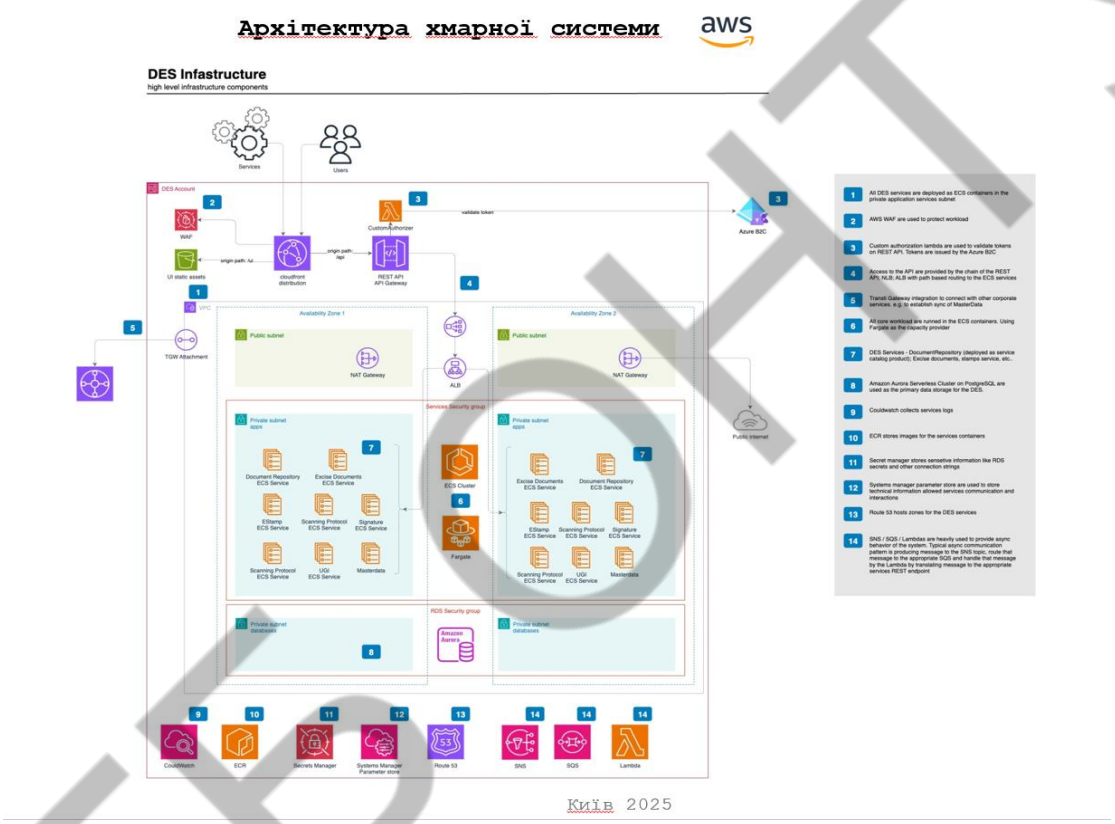


Рисунок 1 - ***Архітектура хмарної системи***

Рисунок 1 показує архітектуру хмарної системи, яка включає користувацький рівень (клієнтські пристрої), серверний рівень (сервери обробки даних), рівень зберігання даних та мережеву інфраструктуру. Взаємодія між компонентами забезпечує ефективне зберігання, обробку та передачу даних в хмарному середовищі.

Мета дослідження

Метою роботи є розроблення концепції хмарної системи для взаємодії електронної комерції з державними структурами, що поєднує автоматизований обмін даними, гнучку архітектуру та алгоритми оптимізації процесів.

Результати дослідження

Розроблена модель архітектури включає три рівні:

- Інфраструктурний (Cloud Layer) – розміщення даних і сервісів у хмарному середовищі з підтримкою масштабованості та резервування.
- Інтеграційний (API Layer) – безпечний обмін інформацією між системами через REST і SOAP API з використанням SSL/TLS та OAuth 2.0.
- Аналітичний (ML Layer) – застосування машинного навчання для аналізу транзакцій, прогнозування попиту, оптимізації запасів та виявлення шахрайських дій.

● Використання ML-алгоритмів (класифікації, нейронні мережі) дозволяє знизити витрати на обробку даних на 20–30% і підвищити точність прогнозів попиту на 35–40%. Хмарна архітектура забезпечує доступність системи до 99,8%, підтримуючи одночасну роботу великої кількості користувачів.

Висновки та перспективи

Розроблена архітектура демонструє ефективність поєднання хмарних технологій і алгоритмів ML у сфері електронної комерції. Підхід забезпечує високу продуктивність, безпеку обміну даними та автоматичне масштабування процесів.

У подальших дослідженнях планується:

- Використання глибоких нейронних мереж для прогнозування ринкових трендів;
- Розроблення єдиної державної хмарної платформи для управління цифровою торгівлею.

Список використаних джерел

[1] Amazon Web Services. Cloud Architecture Best Practices. 2025. [Online]. Available: https://aws.amazon.com/architecture/

[2] What is Amazon Elastic Container Service?. 2025. [Online]. Available: https://docs.aws.amazon.com/AmazonECS/latest/developerguide/

[3] What is Machine Learning? 2025 [Online]. Available: https://aws.amazon.com/what-is/machine-learning/

[4] What is a Container? 2025 [Online]. Available: https://www.docker.com/resources/what-container/

УДК 004.8:004.67

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ КОЛЕКЦІЯМИ В ХМАРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В'юннік Ю.О. (niou@ukr.net)

Інститут програмних систем Національної академії наук України

У роботі обґрунтовується необхідність створення моделі, яка поєднує механізми обчислення подібності між об’єктами, багатомітковy класифікацію, алгоритми виявлення дублікатів та рекомендаційні підходи. Така інтеграція дає змогу не лише структурувати колекцію, але й автоматизувати процеси пошуку, усунення надлишкових записів та формування персоналізованих рекомендацій. Аналіз літературних джерел виявив три основні напрями досліджень: управління ресурсами у багатохмарних інфраструктурах, оптимізація зберігання та забезпечення безпеки даних, а також прикладні аспекти обробки інформації. Водночас наголошено на відсутності комплексних моделей, які поєднують ці підходи в єдиній архітектурі.. Експериментальна перевірка підтвердила, що запропонована модель забезпечує високу точність, масштабованість та ефективність у роботі з великими наборами даних, що робить її придатною для інтерактивних застосунків.

Постановка проблеми. Упродовж останніх десятиліть обсяг цифрових даних зростає надзвичайно швидкими темпами. Водночас спостерігається поява нових типів колекцій — від приватних бібліотек електронних книг і музичних архівів до масштабних корпоративних репозиторіїв та наукових баз знань. Зі збільшенням різнорідності та кількості таких ресурсів виникає потреба не лише у їхньому надійному збереженні, але й у гнучкому управлінні, аналізі та швидкому пошуку необхідної інформації.

Багато існуючих систем управління колекціями створювались як локальні рішення з обмеженим функціоналом. Вони зазвичай добре справляються із збереженням даних, проте мають низку суттєвих обмежень — проблеми з масштабуванням, ускладнену інтеграцію з іншими інформаційними системами та відсутність механізмів інтелектуального аналізу. Використання хмарних середовищ дозволяє подолати ці бар’єри: забезпечується розподілений доступ,

НТБОНТУ

автоматичне резервування, можливість інтеграції з аналітичними сервісами та алгоритмами машинного навчання. Таким чином, хмарна інфраструктура створює природне середовище для побудови інтелектуальних систем управління колекціями.

Мета дослідження полягає у досягненні підвищеної ефективності та масштабованості управління колекціями у хмарному середовищі шляхом побудови та формалізації математичної моделі інтелектуальної системи.

Завдання дослідження.

6. проаналізувати наявні підходи та системи управління колекціями в локальному та хмарному середовищах;
7. запропонувати формалізовану модель об'єктів колекції та їхніх ознак;
8. розробити механізми обчислення подібності, класифікації та виявлення дублікатів;
9. описати інтеграцію рекомендаційного модуля в загальну архітектуру системи;
10. визначити критерії оцінювання ефективності роботи системи.

Суть дослідження.

Для ефективної організації колекції необхідно визначити, наскільки об'єкти схожі. Щоб організовувати та структурувати колекції, важливо знати, наскільки близькі один до одного їхні елементи. Для цього вводиться міра подібності. Вона може враховувати різні типи ознак і комбінувати їх. У загальному випадку використовується композитна функція відстані:

$$d(c_i, c_j) = \sum_{k=1}^{m} w_k \cdot d_k(a_{ik}, a_{jk}),$$

де d_k — локальна метрика для конкретного типу ознаки, а w_k — вагові коефіцієнти, що визначають важливість відповідної характеристики.

Приклади локальних метрик:

- Для числових даних можна застосовувати нормовану різницю;
- для категоріальних — бінарну функцію «рівно/не рівно»;
- для текстових описів — косинусну міру близькості векторних подань.

Загальна подібність між об'єктами:

$$S(c_i, c_j) = 1 - d(c_i, c_j)$$

Цей підхід дозволяє адаптивно враховувати різні характеристики, які зберігаються у хмарі.

Для кращого розуміння структури запропонованої системи на рисунку подано її узагальнену архітектурну модель (рис. 1). Схема відображає послідовність етапів роботи системи — від введення об'єктів колекції та їх збереження у хмарному середовищі до формування результатів для користувача у вигляді організованої колекції, рекомендацій та аналітичних звітів.

Як видно з рисунка, система складається з кількох послідовно пов'язаних модулів. Після надходження даних виконується їх попередня обробка (нормалізація, тегування, формування векторних подань). Далі обчислюється подібність між об'єктами, результати якої використовуються для класифікації та виявлення дублікатів. Наступним етапом є рекомендаційний модуль, що пропонує користувачу нові елементи, близькі до його інтересів. Завершальний блок системи відповідає за аналітику та візуалізацію результатів.

Для ілюстрації запропонованої моделі розглянемо невелику приватну колекцію, яка складається з шести об'єктів: двох вінілових платівок, двох фотокамер, книги та дубліката одного з вінілів. Атрибути об'єктів включають рік випуску, тип категорії та набір тегів (наприклад, *analog*, *digital*, *music*, *photography*).

У хмарному середовищі дані зберігаються у вигляді структурованої бази, яка підтримує:

- метаінформацію (дата завантаження, власник, права доступу),
- мультимодальні ознаки (текстові описи, зображення, категоріальні та числові поля),
- доступ через API для інтеграції з мобільними чи веб-застосунками.

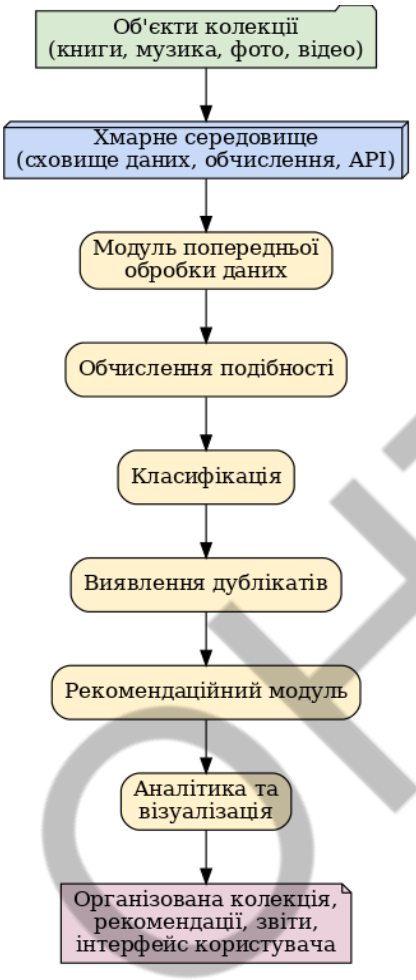
Застосуємо композитну метрику (формули 1.2–1.5), де ваги обрано як $\alpha_{num} = 0{,}3$, $\alpha_{\text{cat}} = 0{,}2$, $\alpha_{ml} = 0{,}5$.

Для пари (c_1, c_2) (два джазові альбоми) отримано значення подібності $S = 0{,}986$. Це свідчить про високу схожість, адже збігаються категорія (*Vinyl*) та тег *music*, відрізняється лише рік.

Для пари (c_1, c_3) (вініл та цифрова камера) подібність виявилася низькою $S = 0{,}173$, що логічно, оскільки об'єкти належать до різних категорій і мають несумісні теги.

Такі обчислення автоматично виконуються у хмарі, що дозволяє масштабувати обробку до десятків тисяч елементів без зниження продуктивності.

Система також надає інструменти аналітики. Наприклад, власник може отримати графік розподілу колекції за роками випуску чи категоріями, побачити динаміку поповнення протягом останніх місяців, або визначити найбільш «репрезентовані» теги.



*

Рисунок 1. Узагальнена модель інтелектуальної системи управління колекціями у хмарному середовищі.

У хмарній інфраструктурі це реалізується за допомогою вбудованих інструментів візуалізації, доступних у браузері чи мобільному додатку. Такі можливості важливі не лише для приватних користувачів, а й для організацій (наприклад, музеїв або бібліотек), які потребують системної звітності.

Наведений приклад показує, що модель інтелектуальної системи може успішно застосовуватись навіть для невеликих приватних колекцій. Її реалізація у хмарному середовищі забезпечує масштабованість, зручність доступу, зменшення витрат на зберігання за рахунок видалення дублікатів та розширення можливостей користувача через інтеграцію із зовнішніми сервісами.

Висновки. У роботі було запропоновано і досліджено модель інтелектуальної системи управління колекціями, орієнтованої на функціонування у хмарних середовищах. Представлений підхід поєднує кілька взаємопов’язаних компонентів: обчислення подібності на основі композитних метрик, багатоміткову класифікацію, виявлення дублікатів та формування рекомендацій. Важливою особливістю моделі є її інтеграція у хмарну інфраструктуру, що забезпечує масштабованість, ефективність та універсальність для різних сценаріїв використання. Експерименти підтвердили здатність системи забезпечувати точність класифікації, надійність у виявленні дублікатів та релевантність рекомендацій при збереженні високої продуктивності навіть за великих обсягів даних. Це доводить її практичну придатність для застосування як у приватних колекціях, так і в масштабних інформаційних інфраструктурах.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] Reshetniak M., Popereshnyak S. Method for accessing and processing multimedia content in a cloud environment. *Proceedings of the 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology* (PIC S&T). 2019. P. 71–76. DOI: https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061463

[2] Поперешняк С. В., Вєчерковська А. С., Хільченко М. Ю., Антоненко А.В. Хмарні технології як сервіси для оптимізації процесів адміністрування. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Т. 34 (73), № 6. С. 54–63. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.7

УДК 004.453

ПІДХІД НА ОСНОВІ MOCK-ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕСТУВАННЯ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Гамзаєв Р.О., Ткачук М.В. (rustam.gamzayev@karazin.ua, mykola.tkachuk@karazin.ua)
Харківській національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)

Запропоновано підхід до застосування мок-об'єктів для забезпечення варіабельності процесів тестування програмних систем із сервіс-орієнтованою архітектурою, що дозволяє зменшити витрати на їх розробку та супровід у реальних IT-проектах.

Актуальність і мета дослідження. Значна кількість сучасних програмних систем створюється з використанням сервіс-орієнтованої архітектури (СОА), що забезпечує високий рівень інтеграції, повторне використання та централізоване управління їх компонентами [1]. В той же час, при розробці та подальшому супроводі таких систем виникають значні проблеми з їх тестуванням, тому що окремі компоненти можуть бути ще не повністю реалізовані, тимчасово недоступні або нестабільні у процесі їх функціонування. Для усунення цих проблем була запропонована й досить широко застосовується технологія створення так званих мок-об'єктів (mock object) [2], які імітують поведінку реальних програмних рішень і дозволяють локалізовано перевіряти функціональність всієї системи при інтеграційному тестуванні. Проте з часом для цього потрібно створювати та використовувати одночасно десятки або навіть сотні таких мок-об'єктів для різних сценаріїв тестування складної розподіленої системи. Потрібно зазначити, що вирішення цієї задачі є також одним з важливих чинників успіху для розв'язання більш загальної проблеми, а саме: забезпечення варіабельності, або мінливості (changeability) процесів тестування у загальному життєвому циклі складних програмних систем [3]. Таким чином, мета цього дослідження, а саме: розробка підходу до забезпечення варіабельності процесів тестування СОА застосунків шляхом автоматизації створення та управління відповідними мок-сервісами, є актуальною та практично значущою тематикою.

Основний матеріал. Для аналізу можливостей застосування технології мок-об'єктів для тестування застосунків з СОА було розглянуто такі поширені інструментальні засоби як Mocky, WireMock, MockServer, Hoverfly та Beeceptor [4], які стисло розглянуті нижче. Зокрема, засіб Mocky це найпростішим інструментом для швидкого створення статичних мок-об'єктів, який дозволяє сформувати необхідну їх відповідь на тестовий запит у форматі JSON і тому використовується для швидкого створення прототипів простих застосунків, коли не потрібні складні сценарії їх тестування. Наступний у цьому розгляді, засіб WireMock є одним із найпопулярніших інструментів для створення мок-сервісів, особливо в екосистемі Java, він забезпечує широкий набір функцій для імітації поведінки СОА застосунків, що робить його досить ефективним навіть для реалізації складних тестових сценаріїв. Інтеграція WireMock в модульні тести є досить гнучкою, його можна використовувати як окремий сервер, або запускати у контейнері Docker, що спрощує його розгортання як локально, так і в хмарних середовищах, для яких існує відповідне рішення WireMock Cloud із гнучким веб-інтерфейсом. Ще одним ефективним інструментом для роботи з мок-сервісами є засіб MockServer, який дозволяє реалізовувати різноманітні поведінкові сценарії СОА застосунків, його можна використовувати як

окремий сервер або інтегрувати через зовнішні бібліотеки для Java, JavaScript та інших мов програмування. Наступним прикладом такого типу інструментів для мок-технології є засіб Beeceptor, особливістю та перевагою якого є можливість створювати мок-сервіси без необхідності писати їх вихідний код, що забезпечує наявність його розвинутого веб-інтерфейсу. Однак є й недоліки, до яких належить відсутність локального рішення: він працює виключно як хмарний сервіс, що може створити проблеми для компаній або розробників, яким потрібен повний контроль над середовищем тестування, а також це може негативно вплинути на питання безпеки даних та інтеграції в реальні CI/CD-процеси, де автономність системи є важливою умовою. Для завершення цього стислого огляду доцільно також зупинитися на системі Hoverfly, яка дозволяє створювати як прості мок-обєкти, так і їх розвинуті конфігурації для тестування складних СОА застосунків. Завдяки відкритості коду та високій продуктивності він знаходить широке застосування як в локальному середовищі, так і у хмарних рішеннях, однак при цьому до недоліків Hoverfly потрібно віднести те, що він підтримує лише протоколи HTTP та HTTPS тоді як більшість вищезазначених засобів, зокрема такі як WireMock та MockServer, працюють також із gRPC, GraphQL та ін. Узагальнені результати порівняння усіх цих інструментів, які ґрунтуються на матеріалі дослідницької групи MoldStud Research Team [4], наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати порівняння деяких засобів для роботи з мок-сервісами

Критерій	Mocky	WireMock	MockServer	Beeceptor	Hoverfly
Зручність використання	висока	середня	середня	висока	низька
Технологія інтерфейсу користувача	Web UI	CLI, Java, Web UI	CLI, Java, UI	Web UI	CLI, Web UI
Гнучкість налаштування	низька	висока	висока	низька	середня
Рівень складності сценаріїв тестування	прості	складні	складні	середні	середні

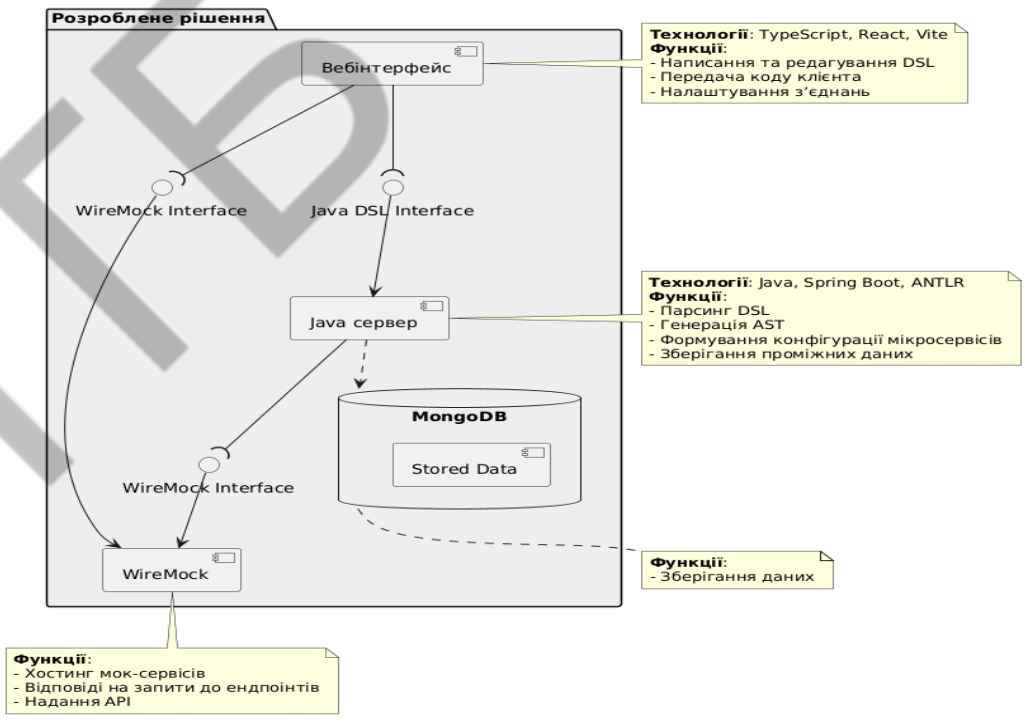


Рисунок 1 – UML діаграма компонентів засобу для роботи з мок-об'єктами

На основі проведеного аналізу існуючих рішень розроблено узагальнений варіант програмної архітектури власного інструментального засобу для управління мок-об'єктами, яка представлена на рис. 1 у вигляді UML діаграми компонентів. Вона складається з чотирьох основних функціональних частин: 1) веб-інтерфейсу для взаємодії з користувачем системи; 2) проміжного програмного забезпечення на Java; 3) бази даних під керуванням СКБД MongoDB, 4) інструментального засобу WireMock.

Основні функції та деталі програмної реалізації цих компонентів стисло вказані у коментарях до діаграми на рис. 1, а саме: Веб-інтерфейс реалізовано на мові TypeScript із застосуванням фрейворку React, Java-сервер обробляє відповідну бізнес-логіку із використанням генератора парсерів ANTLR (ANother Tool for Language Recognition) [5], СКБД MongoDB забезпечує зберігання даних про тестові конфігурації, а компонент WireMock генерує код відповідних мок-сервісів. Основною перевагою запропонованого рішення є наявність проблемно-орієнтованої мови (domain-specific language - DSL), що має спростити опис, налаштування та генерацію мок-сервісів для системи з СОА, яка має бути протестована. Для розробки цього DSL може бути ефективно застосований підхід, який представлено у [3], а як перший крок для його створення наразі сформульовані основні вимоги до функціоналу та відповідних показників якості DSL, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Перелік основних вимог до запропонованої мови DSL

Вимога	Опис
Розширюваність	Мова повинна дозволяти додавання нових функцій, таких як підтримка інших протоколів або інструментів, без значних змін у її граматиці.
Продуктивність	Функції парсінгу і генерація конфігурацій мок-сервісів мають бути швидкими, щоб не затримувати процес тестування.
Сумісність	DSL має бути сумісною з сучасними інструментами розробки, через інтеграцію із застосуванням контейнерів Docker
Простота використання	DSL має бути доступною для користувачів із базовими знаннями програмування через інтуїтивно зрозумілий синтаксис і достатньо повну документацію.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Результатом дослідження є аналіз основних проблем та можливостей використання технології мок-об'єктів для забезпечення варіабельності процесів тестування сервіс-орієнтованих програмних систем, а також розробка архітектури та формулювання вимог для створення відповідного інструментального засобу на основі розробки та застосування проблемного-орієнтованої мови (domain-specific language - DSL). У подальшому планується програмно реалізувати повнофункціональний прототип запропонованого інструментального засобу для автоматизації роботи з складними конфігураціями мок-сервісів та провести дослідження ефективності його використання при тестуванні реальних сервіс-орієнтованих програмних застосунків.

Список використаної літератури

[1] Sami Yangui, Andrzej Goscinski, Khalil Drira et al. Future generation of service-oriented computing systems. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 118, May 2021. - pp. 252-256.

[2] Raphael De Almeida, Romulo Martins Da Silva, Lucas Silveira Serrano et al. Mock Objects in Software Testing: An Analysis of Usage in Open-Source Projects. *Published in SBQS '23: Proceedings of the XXII Brazilian Symposium on Software Quality, November 7-10, 2023. – pp.72-79.*

[3] Gamzayev, O., Tkachuk, V. Development of problem-specific modeling language to support software variability in "Smart Home" systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (23), 2023. - pp. 45–56.

[4] "Comparative Review - The Best API Mocking Tools of 2025", MoldStud Research Team, 19.05.2025. [Online]. Available: https://moldstud.com/articles/p-comparative-review-the-best-api-mocking-tools-of-2025 [Accessed: October 22, 2025].
[5] “What is ANTLR (ANother Tool for Language Recognition)?”, Terensi Parr. [Online]. Available: https://www.antlr.org/ [Accessed: October 22, 2025].

УДК 004.42

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ КОРИСТУВАЧІВ У ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Гамор І.М.
(gamor.web@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наукУкраїни (Україна)

У роботі розглядається підвищення якості користувацьких інтерфейсів інформаційних систем через моделювання поведінкових патернів користувачів. Актуальність зумовлена тим, що традиційні методи оцінки юзабіліті, засновані на евристиках і стандартах, не враховують реальні сценарії взаємодії, що знижує адаптивність та ефективність інтерфейсів. Метою дослідження є створення формалізованої методики врахування поведінкових характеристик у проєктуванні та оптимізації інтерфейсів. У дослідженні виокремлено ключові поведінкові патерни користувачів (повторювані дії, типові маршрути навігації, затримки, помилки, реакції на зміни дизайну), побудовано модель їх впливу на показники якості інтерфейсу та запропоновано індекс проблемності, що інтегрує кількість помилок, час виконання завдань і рівень задоволеності. Сформовано таблицю зіставлення поведінкових показників із метриками якості та можливими напрямами покращення, що дозволяє діагностувати проблемні ділянки та формувати рекомендації. Практична цінність полягає у можливості створення адаптивних інтерфейсів, що підвищують продуктивність і задоволеність користувачів; перспективи подальших досліджень охоплюють перевірку моделі в реальних умовах і застосування методів машинного навчання.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні системи функціонують у середовищі з динамічними потребами користувачів та зростаючою складністю інтерфейсів. Якість інтерфейсу визначає ефективність роботи користувачів, рівень помилок і швидкість виконання завдань. Традиційні методи проєктування, засновані на евристиках і стандартах юзабіліті, не завжди враховують реальні поведінкові особливості, що знижує адаптивність і результативність систем.

Актуальною стає побудова поведінкових моделей користувачів на основі даних про взаємодію (логи дій, часові характеристики, сценарії переходів). Це дозволяє виявляти проблемні патерни, оцінювати їхній вплив на якість інтерфейсу та формувати рекомендації для його оптимізації. Розробка методологічних і модельних засад такого підходу відкриває можливості підвищення зручності, швидкості та безпомилковості роботи користувачів, особливо в критично важливих інформаційних системах.

Метою роботи є підвищення якості інтерфейсів інформаційних систем шляхом моделювання поведінкових патернів користувачів та врахування їх у процесі проєктування й оптимізації користувацьких інтерфейсів.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати основні підходи до оцінки якості користувацьких інтерфейсів та визначити їх обмеження.
2. Визначити ключові поведінкові патерни користувачів у взаємодії з інформаційними системами.
3. Побудувати модель зіставлення поведінкових характеристик користувачів з параметрами якості інтерфейсів.
4. Розробити інструментарій для виявлення проблемних точок у проєктуванні та використанні інтерфейсів.

5. Сформувати практичні рекомендації щодо оптимізації інтерфейсів на основі результатів моделювання.

Суть дослідження. Якість інтерфейсів інформаційних систем значною мірою визначається тим, наскільки вони відповідають природним поведінковим патернам користувачів. Класичні підходи (ергономічні принципи, евристичні правила, UX-опитування) мають суб'єктивний характер і не завжди дозволяють формалізувати вплив поведінкових характеристик на метрики ефективності.

Класичні методи оцінки зручності інтерфейсів базуються на таких показниках:

- Usability (ISO 9241-11) — ефективність, результативність, задоволеність;
- UX-показники — когнітивне навантаження, суб'єктивна оцінка дизайну;
- Метрики взаємодії — час виконання завдань, кількість помилок, кількість кліків.

Обмеження: більшість методів спирається на суб'єктивні опитування, не враховує реальні поведінкові патерни користувачів та їх динаміку. Це ускладнює адаптацію інтерфейсів під специфічні групи користувачів.

Ключові поведінкові патерни користувачів. На основі спостережень та аналітики веб/мобільних додатків виокремлено типові поведінкові патерни (Табл. 1).

Таблиця 1.

Код патерну	**Опис патерну**	**Вплив на інтерфейс**
P_1	Часті повторювані дії	Вимагає скорочення кількості кроків
P_2	Типові маршрути навігації	Орієнтир для оптимізації структури
P_3	Затримки у виконанні кроків (pause-time)	Вказує на когнітивне навантаження
P_4	Високий рівень помилок	Сигнал про складність або неоднозначність інтерфейсу
P_5	Адаптивні реакції на зміни дизайну	Показник гнучкості користувачів

Запропонована модель зіставлення поведінкових характеристик і якості відображає залежність параметрів інтерфейсу (Q) від поведінкових характеристик користувача (B).

$$Q_i = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot f_j(B_j),$$

де

- Q_i — показник якості інтерфейсу (ефективність, задоволеність, точність),
- B_j — поведінковий параметр (час, помилки, маршрути),
- f_j — функція нормалізації,
- w_j — вага параметра (визначається експертно або на основі регресійного аналізу).

Розроблений інструментарій виявлення проблемних точок включає:

- збір даних про кліки, переходи, час та помилки;
- побудову карти навігації (heatmap, transition graph);
- розрахунок індексів проблемності для кожної ділянки інтерфейсу.

Приклад індексу проблемності (IP):

$$IP = \alpha \cdot \frac{E}{N} + \beta \cdot T_{avg} + \gamma \cdot (1 - SAT),$$

де

- E — кількість помилок,
- N — кількість сесій,
- T_{avg} — середній час виконання завдання,
- SAT — рівень задоволеності користувачів,

- α, β, γ— вагові коефіцієнти.

Для оцінки впливу поведінкових характеристик користувачів на якість інтерфейсу доцільно формалізувати зв'язки між базовими показниками взаємодії, метриками оцінки зручності та можливими напрямами оптимізації. Такий підхід дозволяє перевести абстрактні спостереження у вимірювані величини та надати практичні орієнтири для вдосконалення проєктних рішень. Узагальнені результати подано у таблиці 2.

Таблиця 2 Взаємозв'язок поведінкових показників користувачів із метриками якості інтерфейсу та можливими напрямами покращення

Категорія	**Поведінкові показники (P_b)**	**Метрики якості (Q_{UI})**	**Можливі покращення інтерфейсу**
Навігація	Час пошуку елемента, кількість кліків	Середній час виконання задачі	Скорочення глибини меню, автопідказки
Помилки	Частота хибних натискань, відкатів дій	Кількість помилок на 1 сценарій	Збільшення активних зон, підтвердження дій
Когнітивне навантаження	Час на читання інструкцій, повторюваність дій	Суб'єктивна оцінка складності (опитування)	Спрощення термінів, візуальна ієрархія
Залученість	Середня довжина сесії, частота повернень	Рівень задоволеності користувачів (NPS, SUS)	Гейміфікація, персоналізація

Як видно з таблиці, кожна категорія поведінкових показників безпосередньо впливає на певні метрики якості інтерфейсу. Це створює підґрунтя для побудови моделі, у якій параметри користувацької взаємодії зіставляються з показниками якості інтерфейсу. Застосування такого підходу дозволяє не лише діагностувати проблемні ділянки у взаємодії користувача з системою, а й визначати цільові напрями оптимізації, що підвищують ефективність та зручність використання інформаційних систем.

Таким чином, дослідження зосереджується на створенні формалізованої методики, яка дозволяє:

1. Виявити та класифікувати поведінкові патерни користувачів.
2. Побудувати кількісні залежності між цими патернами та показниками якості інтерфейсу.
3. Оптимізувати дизайн інтерфейсу через багатокритеріальну модель.

Висновки. У дослідженні показано, що урахування поведінкових патернів користувачів є ключовим чинником підвищення якості інтерфейсів інформаційних систем. Запропонована модель дозволяє оцінювати інтерфейси з урахуванням особливостей взаємодії користувачів, виявляти проблемні точки та формувати рекомендації для їх оптимізації. Практична цінність полягає у можливості створення адаптивних та користувацько-орієнтованих систем, що підвищує продуктивність і задоволеність користувачів. Подальші дослідження варто спрямувати на перевірку моделі в реальних умовах та інтеграцію сучасних методів аналітики й машинного навчання.

Список використаної літератури

[1] Huang Z., Benyoucef M. A systematic literature review of mobile application usability: addressing the design perspective. *Universal Access in the Information Society*. No. 22. 2023. P. 715–735

[2] Kulibaba S., Popereshnyak S., Shcheblanin Y., Kurchenko O., Mazur N. (2022) Advanced Communication Model with the Voice Control and the Increased Security Level Cybersecurity. *Information and Telecommunication Systems. №* 3288 (1). 2022. P. 64-72

НТБОНТУ

УДК 004.942:621.865

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КЕРУВАННЯ 2-DOF МЕХАНІЗМАМИ ПРОТЕЗІВ

Гюльмамедов Н. М., Хавич О. С., Бурлаченко І. С.
(nikitagulmamedov@gmail.com, khavich2007@gmail.com, ivan.burlachenko@chmnu.edu.ua)
Чорноморський нац. ун-т ім. Петра Могили (Україна)

Розробка програмного комплексу для керування 2-DOF механізмами є важливим етапом у розвитку сучасних робототехнічних систем. Актуальність дослідження зумовлена потребою у точному, адаптивному та енергоефективному керуванні багатовимірними рухами, які імітують біомеханічні функції людини. У роботі представлено архітектуру програмного комплексу, що складається з трьох основних шарів: фізичних компонентів, контролерів і системи координації та зв'язку. Запропонована структура забезпечує інтеграцію апаратних елементів — моторів, енкодерів та приводів — із інтелектуальними алгоритмами ПІД-регулювання та генерації траєкторій. Реалізовані програмні модулі дозволяють виконувати обчислення зворотної та прямої кінематики, забезпечуючи точне позиціонування та плавність рухів механізму. Модульність ПЗ сприяє її масштабуванню для механізмів із більшою кількістю ступенів свободи. Розроблений комплекс може бути використаний для удосконалення алгоритмів керування роботизованими протезами. Таким чином, робота поєднує сучасні підходи програмної інженерії, мехатроніки та систем керування в єдиній інтегрованій платформі для двоступеневих механізмів.

Актуальність дослідження. Впровадження гуманоїдних механізмів є одним із найбільш динамічних і багатогранних напрямів сучасної науково-технічної думки, що має перспективу у беспрецедентному темпі розвитку інженерії, мехатроніки, систем керування, штучного інтелекту та сенсорних технологій. Особливо значущим напрям стає у контексті розвитку протезування, де всі перелічені технології знаходять своє практичне втілення, забезпечуючи технічну можливість відтворення складних біомеханічних рухів і функцій людського тіла [1]. Крім того, ця галузь стимулює розробку більш ефективних систем енергозабезпечення, таких як акумулятори з високою щільністю енергії для тривалої автономної роботи, підвищення точності [2] та мініатюризації приводів, що безпосередньо впливає на створення компактних і потужних протезів, а також розвиток чуттєвих сенсорних технологій, що розширює можливості як робототехніки [3], так і протезування. Найважливішим аспектом є інтеграція механічної частини з інтелектуальними алгоритмами керування та штучним інтелектом.

Методи вирішення проблеми. Сучасні гуманоїдні роботи та біонічні протези, оснащені системами, які дозволяють їм не лише сприймати навколишнє середовище, але й інтерпретувати нейросигнали, розпізнавати наміри користувача та адаптивно коригувати свої дії. Це забезпечує високу гнучкість, адаптивність та, що найголовніше, інтуїтивність керування, що є ключовим для функціональних протезів. Гуманоїдні технології слугують унікальною платформою для наукових досліджень біомеханіки людського тіла та нейропластичності мозку, що дозволяє розробляти протези, які не лише відтворюють зовнішній вигляд кінцівки, але й її повноцінну функціональність, включаючи тактильний зворотний зв'язок. Головне завдання методів забезпечення функціональності гуманоїдних пристроїв фокусується на керуванні механізмами: використання високоточних сервоприводів, інтегрованих із гіроскопами та складними системами динамічного балансування, є критично важливим, оскільки ці компоненти забезпечують не лише автономність і стабільність двоногої ходи, але й високу гнучкість, необхідну для маніпуляцій та оперування в тривимірному просторі. Саме ці системи дозволяють роботу ефективно пересуватися, долати перешкоди та виконувати завдання у середовищі, спроєктованому відповідно до антропометричних параметрів людини.

Антропоморфна конструкція гуманоїдних механізмів є визначальною перевагою, адже завдяки цій формі роботи стають універсальними виконавцями, здатними безпосередньо взаємодіяти з інструментами, обладнанням та інфраструктурою, розрахованими на людські розміри, силу та логіку використання, що робить їх ефективними у будь-якому існуючому людському середовищі. Було досліджено частину механізму, який буде заміняти кисть, а саме частину, яка виконує функції руху кисті руки. Типова операція в САПР дозволяє взяти двовимірну фігуру поперечної сферичної шестерні та перетворити її на тривимірну. Якщо взяти

шестерню та відтворити її вздовж сфери декілька разів, то можна передавати потужність обертання майже під будь-яким кутом (рис. 1-б).

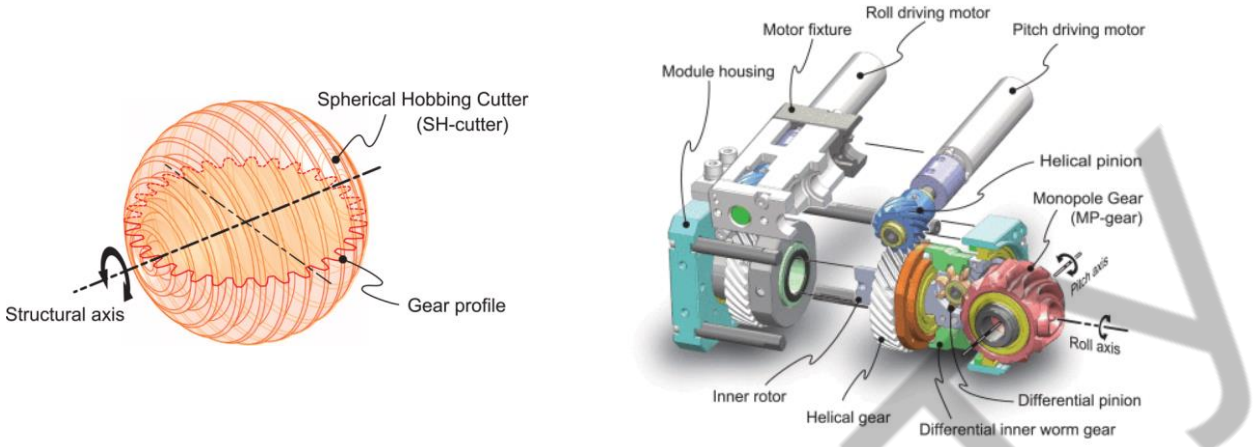


Рисунок 1 – а) Сферична шестерня (CS); б) Модуль механічних приводів кисті

Однак ми розглянемо привідний модуль, що передає роботу на сферу. Привідний модуль має диференціальний вузол для регулювання кутів тангажу та крену зубчастої передачі MP, яка входить у зачеплення з зубчастою передачею CS (рис. 1-а). Вузол складається з внутрішнього ротора, внутрішньої черв'ячної передачі диференціала, планетарної передачі диференціала та зубчастої передачі MP. Внутрішній ротор обертається навколо осі обертання за допомогою роликового двигуна. Внутрішня черв'ячна передача диференціала, яка має зубці всередині циліндра, обертається навколо тієї ж осі за допомогою двигуна тангажу. Планетарна передача диференціала, встановлена на внутрішньому роторі, передає потужність на зубчасту передачу MP, спричинену різницею кутових швидкостей між внутрішнім ротором та внутрішнім черв'яком. Зубчаста передача MP, встановлена на внутрішньому роторі, отримує рушійну силу для обертання навколо осі обертання та осі тангажу від внутрішнього ротора та планетарної передачі диференціала відповідно. Зверніть увагу, що орієнтація осі тангажу залежить від обертання навколо осі обертання.

Шар фізичних компонентів охоплює класи (рис. 2), що описують апаратну частину системи. Клас Motor реалізує фізичне представлення мотора (сервоприводу) та зберігає його ідентифікатор, поточну й цільову позицію, а також максимальний крутний момент. Клас ActuatorDriver моделює електронний драйвер, який забезпечує живлення мотора і відповідає за регулювання потужності шляхом зміни напруги або струму. Клас Joint описує суглоб робота, наприклад коліно або лікоть, зберігаючи межі допустимих кутів і поточне значення кута; цей клас агрегує об’єкт типу Motor. Клас Encoder відповідає за зчитування сирих даних позиції з мотора та перетворення їх у значення кута.

Шар контролерів реалізує логіку керування рухом та силовими параметрами механізму. Абстрактний клас PIDController визначає базову структуру ПІД-регулятора, який містить відповідні коефіцієнти, а також метод для обчислення вихідного сигналу керування. Клас PositionController наслідує PIDController і реалізує ПІД-логіку для регулювання позиції мотора, тоді як TorqueController використовує аналогічний підхід для керування крутним моментом. Клас LowLevelController забезпечує виконання циклу керування, що включає читання даних сенсорів, обчислення керуючих дій і встановлення потужності для одного або кількох моторів; він тісно пов’язаний із фізичними компонентами та контролерами. Окремо виділений клас TrajectoryGenerator відповідає за формування плавних траєкторій — послідовностей цільових позицій між двома визначеними точками.

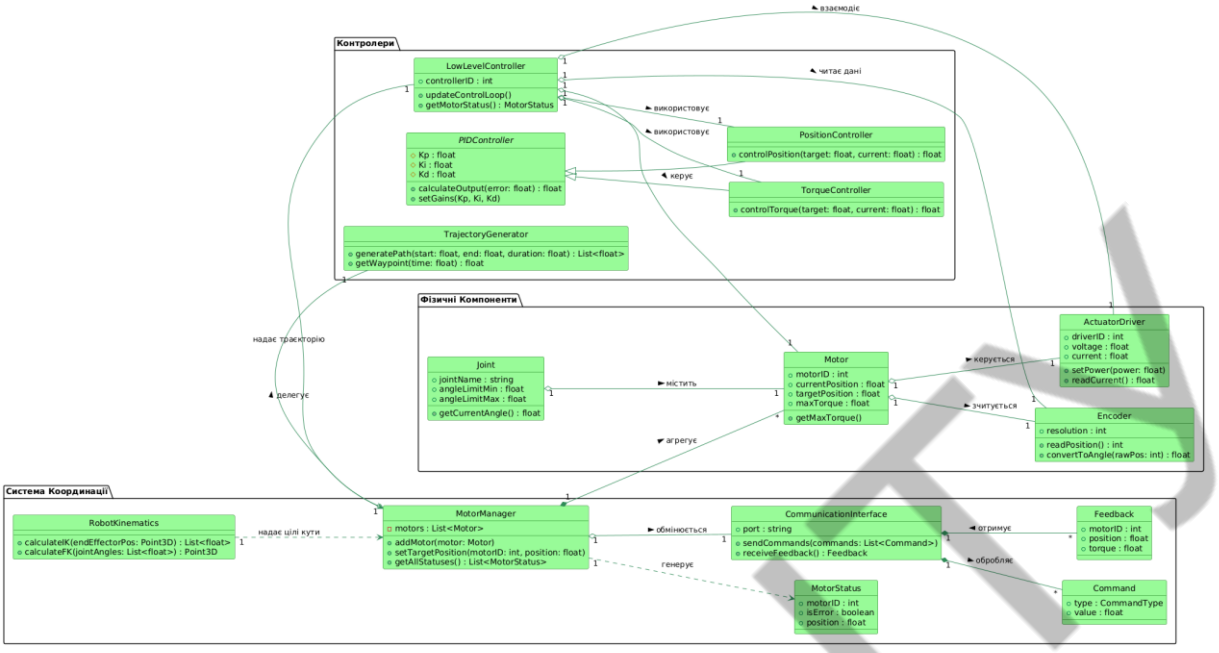


Рисунок 2 – Діаграма класів програмного модуля керування 2-DOF механізмом кисті

Шар системи координації та зв’язку забезпечує високорівневе управління та комунікацію з фізичним обладнанням. Центральним елементом цього шару є клас MotorManager, який виконує роль диспетчера, керуючи колекцією об’єктів Motor, делегуючи команди контролерам низького рівня та забезпечуючи інтерфейс для взаємодії з іншими підсистемами. Клас RobotKinematics реалізує алгоритми прямої та оберненої кінематики, здійснюючи перетворення бажаних позицій кінцевих ефекторів у відповідні цільові кути суглобів. Компонент CommunicationInterface відповідає за організацію зв’язку через інтерфейси UART, CAN або Ethernet, забезпечуючи відправлення команд (Command) і прийом зворотного зв’язку (Feedback). Клас Command описує структуру даних, що містить конкретні інструкції для моторів, а клас Feedback містить дані сенсорного зворотного зв’язку, такі як поточна позиція або крутний момент. Нарешті, клас MotorStatus акумулює зведену інформацію про стан мотора, включно з позицією, наявністю помилок чи іншими діагностичними параметрами, що використовуються MotorManager для моніторингу системи.

Висновки. У розробленому ПЗ для керування 2-DOF механізмами передбачено трирівневу архітектуру, що включає шар фізичних компонентів, шар контролерів та шар системи координації й зв’язку, що забезпечує зменшення часу рефакторингу та адаптації програмного коду на 17%.

Список використаної літератури

1. Zhang Y., Zhou X., Zhang F. Design, dynamic modeling and control of a 2-DOF robotic wrist actuated by twisted and coiled actuators. 2025. arXiv preprint arXiv:2503.05508.

2. Гюльмамедов Н., Бурлаченко І. Особливості мультиагентних роботизованих систем. *Ольвійський форум – 2025*: *стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі* : тези доп. XXII Міжнар. наук. конф., Миколаїв, 16–21 черв. 2025 р. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2025. No. 1. P. 74–79. DOI: 10.34132/mspc2025.01.06.15.

3. Li P., Tian Y., Zhang W., Chen M., Yang B. Modelling and control of a 2-DOF robot arm with elastic joints for safe human-robot interaction. *Frontiers in Robotics and AI.* 2021. Vol. 8, Article 679304. DOI: 10.3389/frobt.2021.679304.

УДК 004.85:351.712

АЛГОРИТМ ТЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ СКАРГ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ТИПОВИХ КОРУПЦІЙНИХ РИЗИКІВ У СИСТЕМІ PROZORRO

Дем'янчук О. П, Крамар Ю. М.
(demyanchukua@gmail.com, yulia.kramar@hotmail.com)
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У роботі представлено алгоритм для автоматизованого аналізу неструктурованих текстових даних скарг у системі публічних закупівель Prozorro. Запропонований підхід базується на методах обробки природної мови (NLP) та тематичного моделювання для виявлення прихованих закономірностей, що можуть свідчити про корупційні ризики. Розроблено методику розрахунку балів порушень на основі виділених тем та ключових слів, що дозволяє підвищити ефективність моніторингу закупівель.

Вступ. Забезпечення прозорості та підзвітності у сфері публічних закупівель є ключовим завданням для запобігання корупції та підвищення довіри суспільства до державних інституцій [1]. Система електронних закупівель Prozorro [2] стала важливим кроком у цьому напрямку, надавши відкритий доступ до величезного обсягу даних про тендери.

Актуальність проблеми. Актуальність роботи зумовлена тим, що попри відкритість даних, значний масив інформації, що може вказувати на корупційні ризики, зокрема в умовах воєнного стану, залишається у неструктурованому вигляді, переважно у текстах скарг. Існуючі методи моніторингу здебільшого фокусуються на структурованих даних, що не дозволяє повною мірою використовувати потенціал наявної інформації.

Постановка проблеми. Ручний аналіз текстів скарг є трудомістким, суб'єктивним та неефективним при великих обсягах. Це створює проблему відсутності інструментів для автоматизованого, об'єктивного аналізу з метою виявлення прихованих закономірностей. Таким чином, постає задача розробки алгоритму, що дозволить автоматизувати аналіз текстів скарг. Крім того, автоматична ідентифікація типових корупційних ризиків [3] безпосередньо з текстів скарг дозволила б значно пришвидшити їх дослідження та реагування на порушення.

```
Created Document-Term Matrix with shape: (4824, 2076)
Vocabulary size: 2076
Initializing NMF with 7 topics...
Fitting NMF model...
NMF model fitting complete.
Davies-Bouldin Index: 0.8865
Silhouette Score: 0.4155
Displaying top words for each topic:
Topic 0: закупівля, тендерний, закон, документація, замовник, пропозиція, учасник, процедура, частина, стаття
Topic 1: дорога, робота, виконання, автомобільний, аналогічний, учасник, договір, досвід, вимога, ремонт
Topic 2: постачальник, покупець, контракт, проект, судна, договір, судно, строк, поставка, пункт
Topic 3: тендерний, гарантія, пропозиція, забезпечення, закупівля, документація, вимога, замовник, банківський, банк
Topic 4: вимога, закупівля, замовник, документація, учасник, тендерний, технічний, виробник, товар, зміна
Topic 5: учасник, тендерний, пропозиція, критерій, закупівля, документація, наявність, замовник, оцінка, закон
Topic 6: договір, виконання, замовник, закупівля, аналогічний, учасник, умова, вимога, проект, ціна
Topics successfully written to D:\Projects\ProcurementAnalyzer\keywords.json
Topic modeling complete.
```

Рисунок 1 – Ключові слова для 7 виявлених тем

Методи вирішення проблеми. Для вирішення поставленої задачі було розроблено алгоритм, що складається з кількох етапів. Спочатку було сформовано та очищено спеціалізований корпус текстів скарг, після чого проведено лематизацію з використанням бібліотеки spaCy. [4]

Для виявлення прихованих тем було застосовано алгоритм невід'ємної матричної факторизації (NMF) з бібліотеки scikit-learn. [5] Для об'єктивного визначення оптимальної кількості тем було проведено дослідження з використанням метрик якості кластеризації: Silhouette Score [6] та Davies-Bouldin Index [7]. Для знаходження компромісного рішення між ними було сформовано критерій за формулою:

$$□ = □ * □□□h□□□□□□_□□□□ - (1 - □) * □□□_□□□□,$$

де a – ваговий коефіцієнт (a = 0.5), а метрики нормалізовані. Аналіз цього критерію за "методом ліктя" дозволив визначити оптимальну кількість тем, що дорівнює 7. Результати моделювання показали, що виділені теми мають чітку інтерпретацію та містять специфічні ключові слова (рис. 1), а їхній розподіл серед документів є нерівномірним, що вказує на найпоширеніші категорії проблем (рис. 2).

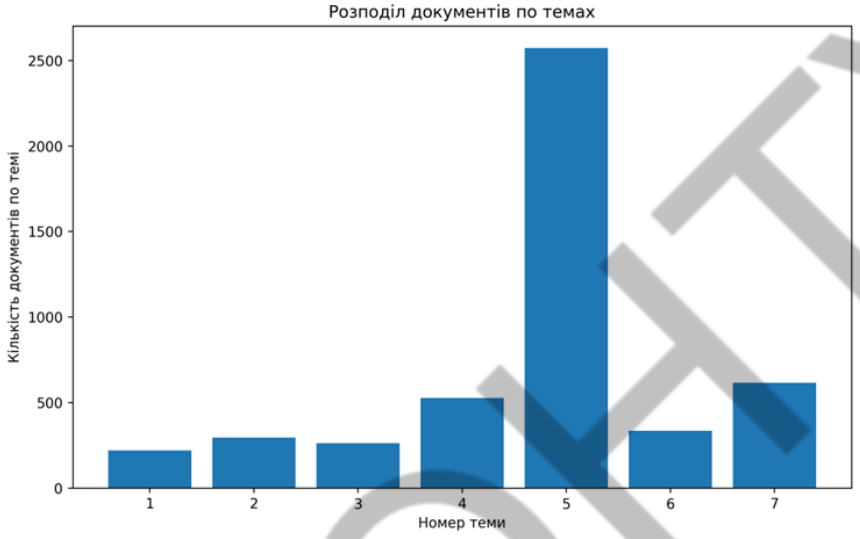


Рисунок 2 – Розподіл скарг за домінантними темами

На основі результатів моделювання було розроблено алгоритм розрахунку балів порушень. Він аналізує текст нової скарги та для кількісної оцінки розраховує "вагу" кожного знайденого ключового слова за формулою:

$$□□□□h□ = □□□(1 + □□□□□),$$

де *count* – кількість повторень даного слова у скарзі. Ці ваги агрегуються для кожної теми та тендера в цілому, надаючи кількісну оцінку ризиків.

Висновки. Розроблений алгоритм є ефективним інструментом для автоматизації аналізу текстових даних у системі публічних закупівель. Застосування тематичного моделювання дозволило структурувати неформалізовані дані скарг та виявити ключові ризик-індикатори. Запропонована методика розрахунку балів надає кількісну оцінку, що суттєво спрощує процес моніторингу, дозволяючи експертам фокусувати увагу на найбільш проблемних закупівлях.

Список використаної літератури

[1] НАЗК. Корупційні ризики під час проведення публічних закупівель в умовах воєнного стану: веб-сайт. URL: https://nazk.gov.ua/wp-content/uploads/2023/06/Kor-ryzyky_zakupivli.pdf Дата звернення: 07.10.2025.
[2] Офіційний портал системи публічних електронних закупівель України Prozorro: веб-сайт. URL: https://prozorro.gov.ua/ Дата звернення: 07.10.2025.
[3] НАЗК. Типові корупційні ризики у публічних закупівлях: веб-сайт. URL: https://nazk.gov.ua/wp-content/uploads/2021/03/Typovi-koruptsijni-ryzyky-u-publichnyh-zakupivlyah.pdf Дата звернення: 07.10.2025.
[4] spaCy Usage Documentation – Install spaCy: веб-сайт. URL: https://spacy.io/usage Дата звернення: 07.10.2025.
[5] scikit-learn. sklearn.decomposition.NMF: веб-сайт. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.NMF.html Дата звернення: 07.10.2025.

[6] scikit-learn. sklearn.metrics.silhouette_score: веб-сайт. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette_score.html Дата звернення: 07.10.2025.
[7] scikit-learn. sklearn.metrics.davies_bouldin_score: веб-сайт. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.davies_bouldin_score.html Дата звернення: 07.10.2025.

УДК 004.415.2

МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА ЯК СУЧАСНА ПАРАДИГМА ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Дєнін Б.С. (deninbog1406@gmail.com)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У статті розглянуто мікросервісну архітектуру як сучасний підхід до створення інформаційних систем. Проаналізовано основні переваги, виклики та ключові патерни. Узагальнено типові помилки та рекомендації для побудови масштабованих і надійних систем.

Постановка проблеми

Традиційні монолітні системи з часом втратили ефективність через труднощі масштабування та підтримки. З розвитком хмарних технологій все більшої популярності набуває мікросервісна архітектура, що розділяє застосунок на незалежні сервіси. Такий підхід підвищує гнучкість і відмовостійкість, але створює нові виклики, пов'язані з управлінням даними, комунікацією між сервісами та надійністю системи. У роботі розглянуто основні переваги, проблеми та практичні рішення для ефективного проєктування мікросервісних систем.

Основний зміст

Перехід від монолітної до мікросервісної архітектури став ключовим кроком у розвитку сучасних програмних систем. Моноліти прості у створенні, але з часом стають важкими для масштабування й підтримки. Мікросервіси ж дозволяють ділити систему на незалежні компоненти, що підвищує гнучкість і надійність. Такий підхід вимагає зрілої DevOps-культури, автоматизації та засобів моніторингу, адже складність переноситься з коду на рівень розподіленої інфраструктури.

Основна проблема мікросервісів - узгодженість даних між сервісами. Традиційні транзакції не підходять, тому застосовують патерни Saga, CQRS і Event Sourcing. Saga забезпечує узгодженість через послідовність локальних транзакцій, CQRS розділяє операції читання й запису, а Event Sourcing зберігає стан системи у вигляді подій. Разом ці підходи утворюють ефективну подієву модель управління даними.

Для взаємодії мікросервісів використовують два основні підходи: синхронний і асинхронний. API Gateway керує зовнішніми запитами, а Service Mesh - внутрішнім трафіком між сервісами. Для асинхронної обробки даних застосовують брокери повідомлень, зокрема RabbitMQ та Apache Kafka. RabbitMQ підходить для задач із гарантованою доставкою, а Kafka - для потокової обробки подій у великих масштабах.

У мікросервісах важливо бачити, як поводиться система під навантаженням. Основу спостережуваності складають метрики, логи та трасування запитів. Prometheus використовується для збору метрик, а Jaeger - для аналізу трас. Разом вони дозволяють не лише виявити проблеми, а й зрозуміти їх причини, що є критично важливим для підтримки стабільності системи.

Досвід Amazon і Netflix показує, як масштабні компанії переходили від монолітів до мікросервісів. Amazon першим перейшов до сервісної архітектури для підвищення масштабованості, Netflix розділив систему на понад тисячу сервісів. Еволюція цих компаній демонструє, що ключ до успіху - не лише поділ системи, а й правильна організація взаємодій між сервісами.

Серед поширених антипатернів - "розподілений моноліт", спільна база даних, надмірна кількість сервісів і надто тісні зв'язки між ними. Щоб уникнути цих проблем, варто застосовувати

принципи доменно-орієнтованого проєктування, використовувати асинхронну взаємодію, автоматизацію, DevOps-підхід і розвивати спостережуваність із перших етапів проєкту.

Висновки

Перехід від монолітних до мікросервісних архітектур є фундаментальною еволюцією в проектуванні масштабованих та стійких до відмов інформаційних систем. Ця парадигма ефективно вирішує проблеми традиційних підходів, однак висуває власні, не менш складні вимоги. Успішне впровадження мікросервісної архітектури залежить від опанування складнощів, притаманних розподіленим системам, що вимагає застосування просунутих патернів, таких як Saga, CQRS та Event Sourcing, розбудови складної інфраструктури для комунікації, що включає API Gateway та Service Mesh, та глибоких інвестицій в платформи спостережуваності. Досвід таких компаній, як Amazon та Netflix, показує, що шлях до успішних мікросервісів є настільки ж організаційним та культурним, наскільки й технічним, і вимагає впровадження DevOps-культури та сильного архітектурного управління. Еволюція від простої декомпозиції до структурованих, доменно-орієнтованих підходів, вказує на наступний етап розвитку, де головним завданням стає інтелектуальна організація взаємодій між частинами системи. Подальші дослідження в цій галузі повинні зосередитися на інтеграції безсерверних обчислень та керованих штучним інтелектом агентів, що дозволить ще більше автоматизувати та оптимізувати управління складними мікросервісними екосистемами.

Список використаної літератури

[1] “What are microservices?,” Amazon Web Services (AWS). [Online]. Available: https://aws.amazon.com/microservices/ [Accessed: October 14, 2025].

[2] “Microservices architecture style,” Microsoft Learn, 2024. [Online]. Available: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/microservices [Accessed: October 14, 2025].

[3] “Introduction to Microservices,” NGINX Blog, 2024. [Online]. Available: https://www.nginx.com/learn/microservices/ [Accessed: October 14, 2025].

[4] “Microservices Patterns,” Chris Richardson, 2018. [Online]. Available: https://microservices.io/ [Accessed: October 14, 2025].

UDC 004.94:89

BIG DATA PROCESSING AND MODELING IN PYTHON FOR COMPLEX SYSTEMS PROBLEMS

Doroshenko D. (dsniil2727@gmail.com)

"Gymnasium 12" Kamianske, Oles Honchar Dnipro National University (Ukraine)

Introduction. In today's world, one of the key challenges for scientists and engineers is the processing and analysis of large volumes of data. Such data are produced in various fields: from finance and economics to biology, medicine, physics and social networks. The tasks of studying complex systems, characterized by many interconnected changes, often require effective methods of modeling and forecasting based on massive data sets.

The Python programming language provides powerful tools for working with Big Data. Thanks to the NumPy, Pandas, Dask, PySpark, TensorFlow and other libraries, Python allows you to perform data preprocessing, data cleaning, build machine learning models and neural networks, as well as visualize the results.

Mathematical formulation of the problem. Let us have a large data set:

$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{N}, N \gg 10^6,$

where $x_i -$ is the vector of input parameters, and $y_i -$ is the output variable. The goal is to build a model

$\hat{y} = f(x),$

which approximates the real dependence and allows us to make predictions. For complex systems, the function $f(x)$ is often unknown and nonlinear, so machine learning and neural networks are used.

Implementation example. Consider the problem of predicting electricity consumption based on historical data. This process is an example of a complex system where the result is affected by temperature, time of day, day of the week, and other factors.

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error
# Load large dataset
data = pd.read_csv("energy.csv")
# Preprocessing
data = data.dropna()
X = data[["temperature", "hour", "day_of_week"]]
y = data["energy_consumption"]
# Split into training and test sets
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2)
# Build the model
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
# Prediction
y_pred = model.predict(X_test)
print("MSE:", mean_squared_error(y_test, y_pred))
# Visualization
plt.plot(y_test[:100].values, label="Real data")
plt.plot(y_pred[:100], label="Forecast", color="red")
plt.legend()
plt.show()
```

Results. The developed model allowed to obtain a fairly accurate forecast of electricity consumption dynamics. Even a simple regression model based on Python demonstrated a low value of the mean square error (MSE), which indicates the adequacy of the approximation. Visualization of the results showed that the predicted curve well reproduces real values, especially for the main consumption trends. This confirms the feasibility of using Python for analyzing large data sets in complex systems.

Thanks to scalable libraries such as Dask or PySpark, it is possible to process data sets of tens and hundreds of gigabytes in size. This opens up prospects for using similar approaches in the field of "smart cities", energy, transport systems and even climate modeling.

Conclusions. The study showed that Python is an effective tool for processing and modeling big data in complex systems problems. Thanks to a wide range of libraries — from Pandas and NumPy for data preprocessing to scikit-learn, TensorFlow, and PyTorch for building machine and deep learning models — Python provides a full cycle of working with information: from its cleaning and structuring to forecasting and modeling complex dependencies. Even simple models implemented in Python are able to reproduce basic patterns in large data sets, and the use of scalable solutions based on Dask or PySpark opens up opportunities for analyzing arrays of tens and hundreds of gigabytes. This makes Python one of the key tools of modern science and practice, especially in industries where it is necessary to model the behavior of complex systems, in particular in energy, transport processes, bioinformatics, and economics.

References

1. Lavreniuk M. S., Novikov O. M. Review of machine learning methods for classifying large amounts of satellite data. Systems Research and Information Technologies. Kyiv, 2018. No. 1. P. 52–71.

2. Motoryn R. M. The Role of Statistics in the Training of Data Science Specialists. New Sources and Methods of Data Dissemination in Statistics: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference on the Occasion of the Day of Statisticians. Kyiv. “Information and Analytical Agency”, 2020. P. 103–106.3.

3. Pronin, S.V., Usychenko, O.Iu. Analiz instrumentiv mashynnoho navchannia dlia analizu velykykh masyviv danykh [Analysis of machine learning tools for analysis of large data sets]. Retrieved from : http:// publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/67.pdf.

УДК 65.012

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ МУЛЬТИПРОЄКТНОГО СЕРЕДОВИЩА

Доценко Н.В.[1], Некрасов І.Б.[2], Луців Я.С.[1] (nvdosenko@gmail.com, ib.nekrasov@gmail.com, Yaroslav.Lutsiv@kname.edu.ua)

[1] - ***Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (Україна);***

[2]***- Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України (Україна)***

Розглянуто особливості розробки та впровадження інформаційних систем управління людськими ресурсами в мультипроєктному середовищі. Наведено результати аналізу тенденцій розвитку інформаційних систем та підходи до розробки та впровадження інформаційних систем управління людськими ресурсами мультипроєтного середовища. Розроблені рекомендації щодо впровадження інформаційної системи.

Постановка задачі.

Традиційні підходи до управління людськими ресурсами не враховують вимоги BANI середовища та не забезпечують необхідного рівня гнучкості, резельєнтності та адаптивності процесів [1]. Використання цифрових двійників при моделюванні розподілу ресурсів критичних підприємств та для підтримки процесів прийняття управлінських рішень призводять до необхідності обробки великої кількості даних щодо завантаження ресурсів в режимі реального часу.

Існуючі інформаційні системи мають прив'язку до галузі та конкретної компанії, але не можуть забезпечити процеси управління ресурсами портфелю проєктів та програм [2]. Тому актуальним завданням є розробка інтегрованих інформаційних систем, здатних автоматизувати процеси планування, розподілу та призначення, моніторингу та оптимізації використаних ресурсів в межах проєктів мультипроєктного середовища.

Таблиця – Підходи до розробки та впровадження HRM систем

Підходи	Особливості використання
AI-based Planning	Використання AI для прогнозу потреб в ресурсах з урахуванням можливості застосування донорно-акцепторного підходу, оптимізація завантаження ресурсів. Активне використання AI для оцінки персоналу/претендентів до команд
Digital Twins	Створення віртуальних моделей команди в мультипроєктному середовищі з подальшою симуляцією впливу змін
Cloud PMO	Єдина платформа управління портфелем з інтеграцією модулів HRM, KPI, календарного та ресурсного планування
Інтеграція ERP/HRM/CRM систем	Єдиний інформаційний простір (за необхідністю хмарний), у якому інтегруються дані з усіх елементів мультипроєктного середовища, зокрема інтеграція ERP/HRM/CRM систем
Data-driven управління	Використання People&Resource Analytics для моніторингу ресурсів проєкту та оцінки ефективності
Resource Orchestration	Автоматизовані системи балансування ресурсів, що забезпечують розподіл ресурсів між проєктами мультипроєктного середовища, моніторинг завантаження та управління змінами ресурсного забезпечення
Multi-Agent Resource Management	Розробка інтелектуальних агентних систем, віртуальних агентів, які автономно приймають рішення щодо розподілу, призначення та моніторингу ресурсів.
Використання блокчейну	Використання блокчейну задля забезпечення прозорості ресурсних транзакцій, реєстрація змін у використанні ресурсів.
AR/VR технології	Використовуються для візуалізації ресурсів мультипроєктного середовища при проєктному, портфельному та програмному управлінні.

Основний матеріал дослідження.

Аналіз тенденції, які відображають розвиток інформаційних систем управління людськими ресурсами (HRM систем) в мультипроєктному середовищі, показав, що основними вимогами до таких систем є надійність, адаптивність, гнучкість, можливість забезпечувати швидкий перерозподіл ресурсів без втрати загальної ефективності управління мультипроєктним середовищем [3].

Визначено підходи до розробки та впровадженні HRM систем, що відповідають тенденціям, та особливості використання інструментального забезпечення (табл.)

Застосування гнучкого перерозподілу ресурсів між проєктами мультипроєктного середовища забезпечить швидку реакцію на зміни ресурсного забезпечення (хвороба, міграція, мобілізація), змін умов реалізації проєкту (зміна замовника, стейкхолдерів, обмежень проєкту, пріоритету проєкту, фінансового забезпечення тощо).

Наявність в HRM системі модулю оцінки персоналу дозволить забезпечити управління критичними компетенціями, що підвищить життєздатність мультипроєктного середовища за рахунок зниження ризику втрати критичних знань.

Використання Multi-Agent Resource Management сприятиме децентралізації управління, гнучкості управління та знижує ризик втрати критичного елементу системи прийняття рішень (що особливо актуально під час війни).

Залучення у якості агента ШІ (з обмеженням щодо використання в компаніях критичної інфраструктури, компаніях та підприємствах, діяльність яких пов’язана з національною безпекою) дозволяє використовувати його для аналізу та узгодження ресурсних вимог, планування потреби в ресурсах, моніторингу ресурсного забезпечення та ресурсної взаємодії, підтримки процесів прийняття управлінських рішень в мультипроєктному середовищі. Залежно від обраної моделі в HRM системі виділяють наступні типи агентів: агент-координатор, агент-аналітик, агент-оптимізатор, агент-радник та агент-наглядач. Вибір моделі залежить від типу управління та виду PMO, що функціонує в мультипроєктному середовищі.

Оскільки впровадження інформаційної системи управління людськими ресурсами мультипроєктного середовища відбувається в режимі реального часу у середовищі, де виконуються проєкти, доцільно застосовувати спеціалізовані підходи до розгортання системи. При розробці стратегії впровадження визначається рівень готовності компанії до впровадження, обмеження та вимоги, обирається пілотний проєкт для тестування системи, розробляється система оцінки ефективності впровадження HRM системи.

Висновки. Урахування в процесі розробки інформаційної системи управління людськими ресурсами мультипроєктного середовища сучасних тенденцій розвитку інформаційних систем у поєднанні з Agile підходами до управління проєктами та програмами, аналізом вимог та впливу стейкхолдерів сприятиме підвищенню ефективності управлінню людськими ресурсами в мультипроєктному середовищі. Розгляд впровадження системи як проєкту інформаційно-організаційного реінжинірингу забезпечить контрольованість та керованість впровадження системи.

Список використаної літератури

[1] Bushuyev, S.; Chumachenko, I.; Galkin, A.; Bushuiev, D.; Dotsenko, N. Sustainable Development Projects Implementing in BANI Environment Based on AI Tools. Sustainability 2025, 17, 2607. https://doi.org/10.3390/su17062607

[2] O. Panasiuk, V. Pleskach, V. Statsenko, and V. Khomaziuk, “Development of a medical information system for primary care medical institutions,”Technologies and Engineering, vol. 6, no. 6, pp. 9–18, Jan. 2022, https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.6.1

[3] Nataliia Dotsenko, Igor Chumachenko, Oleksandr Skachkov, Yuliia Husieva Development and Implementation of Intelligent Programming Tool for Agile Transformation of Human Resource Management Processes. Proceedings of the 4th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2024) 2024, Cambridge, MA, USA, September 25-27, 2024. P. 361-368 https://ceur-ws.org/Vol-3777/short9.pdf

УДК 004.42:004.415.2

ПАТЕРНИ ПРОЕКТУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Жовнірчик Л. І. (zhovnirchyk_l@ukr.net)
Івано-Франківська філія Університету «Україна» (Україна)

У тезах аналізується роль патернів проєктування як інструменту протидії «архітектурному хаосу» в умовах зростання складності сучасних програмних систем, де відсутність системного підходу призводить до дублювання коду, жорстких залежностей і накопичення технічного боргу. Їх інтеграція на етапах життєвого циклу (від аналізу вимог до тестування) через UML, фреймворки (Spring з DI, React з Composition) та IDE прискорює розробку, знижує ризики та покращує метрики якості (CBO, LCOM, RFC). Практичні приклади демонструють універсальність: Facade спрощує підсистеми, Strategy — заміну алгоритмів. Виклики включають over-engineering та недостатню освіту, але корпоративні бібліотеки та автоматизація розв'язують їх. Перспективи — AI-системи для контекстної рекомендації патернів. Висновок: патерни гарантують стійкість, масштабованість і супровідність, балансуючи швидкість розробки з архітектурною чистотою в динамічному світі інновацій.

У сучасному світі обсяги та складність програмного забезпечення невпинно зростають, породжуючи необхідність формалізованих і перевірених підходів до побудови архітектури програмних систем [1]. Коли розробники стикаються з вимогами щодо масштабованості, продуктивності, надійності й можливості подальшого розвитку коду, відсутність системного підходу призводить до так званого «архітектурного хаосу», коли однотипні фрагменти повторюються по всій кодовій базі, залежності між компонентами стають надмірно жорсткими, а внесення змін перетворюється на ризикову операцію. Саме протидія цьому хаосу лежить в основі застосування патернів проєктування — шаблонних архітектурних рішень, які пройшли апробацію в реальних проєктах і зарекомендували себе здатними забезпечити усталені практики побудови систем.

Витоки концепції патернів ведуть до робіт Еріха Ґамма, Річарда Гельма, Ральфа Джонсона та Джона Вліссідеса, які в 1994 році видали книгу «Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software» [1]. У цій праці було сформульовано уявлення про те, що рішення архітектурних задач може бути стандартизованим і повторно використовуваним, а не винаходитися щоразу заново. Незабаром після цього такі автори, як Френк Бушман, Рудольф Меєр та інші, розпочали формалізацію архітектурних патернів у стилях та колекціях, адаптованих до різних мов і середовищ програмування [2]. Важливо підкреслити, що індустрія програмної інженерії не застигла на ідеях «банді чотирьох»: з розвитком технологічних платформ, таких як Java EE [3], .NET [4] і Python, з'явилися специфічні шаблони, що враховують особливості контейнеризації, сервіс-орієнтованих і мікросервісних архітектур [5], [6].

У межах Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) [7] та міжнародного стандарту ISO/IEC 12207 [8] проектування програмних систем було виокремлено як самостійну галузь знань, що охоплює визначення архітектурних стилів, формалізацію вимог, розробку діаграм і впровадження повторно використовуваних рішень. Однак на практиці в багатьох організаціях відсутня культура використання каталогу патернів: проєктні команди починають розробку від низького рівня, створюючи класи та модулі ad hoc, що призводить до дублювання логіки, поганої когезії, надмірного зв'язування та накопичення технічного боргу [9]. Парадоксально, але саме відмова від простих, але перевірених практик підвищує ризик того, що система стане непридатною до підтримки та еволюції вже у перші роки після запуску.

Розуміння сутності патерну проєктування має починатися з того, що це не просто уривок коду, а архітектурна ідея: узагальнений опис ролей, обов'язків та взаємодії об'єктів або компонентів у контексті розв'язання конкретної задачі. Існує певна класифікація, відомі три великі групи патернів: породжувальні, що регламентують способи й місця створення об'єктів; структурні, що описують, як компоненти об'єднуються у складніші структури без втрати гнучкості; і поведінкові, що визначають механізми комунікації та розподілу відповідальності між об'єктами [1]. Зі зрозумілих причин на практиці розумна комбінація патернів дозволяє

оптимізувати різні аспекти системи: з одного боку — знизити зв'язність і підтримати високий рівень когезії, з іншого — забезпечити розширюваність і гнучкість [10].

Роль патернів у забезпеченні якості архітектури є багатовимірною. По-перше, вони сприяють кращому модульному поділу проєкту: наприклад, застосування фасаду у складних підсистемах консультує розробників щодо того, як спрощеними інтерфейсами звертатися до внутрішніх модулів, не знаючи їхньої внутрішньої будови [1]. Це дозволяє значно скоротити когнітивне навантаження та мінімізувати ситуації, коли зміни в одній частині коду несподівано руйнують іншу. По-друге, поведінкові патерни, як-от «Спостерігач» та «Команда», стандартизують взаємодію між компонентами, роблячи механізми реакції на події та викликів дій чистими й прозорими.

Найважливішою перевагою патернів є вимірюваність їхнього впливу: фахівці користуються метриками software quality, такими як зчеплення (coupling), когезія (cohesion) або кількість залежностей між пакетами [11]. Застосування патерну «Адаптер» може призвести до суттєвого зниження кількості місць жорсткого зв'язування із сторонніми бібліотеками, а «Будівельник» допомагає стандартизувати створення об'єктів із великою кількістю параметрів, зменшуючи ймовірність помилок при ініціалізації. Статистичні дослідження підтверджують, що проєкти, які від самого початку побудовані з використанням патернів, демонструють кращі результати за показниками супровідності та часу виведення на ринок [12].

Попри очевидні переваги, інтеграція патернів у процес розробки не відбувається автоматично. Часом розробники або не володіють достатньо глибоким розумінням кожного патерну, або вважають, що для малих задач вони надто громіздкі. Інша крайність — надмірне застосування патернів там, де простих рішень цілком достатньо, що призводить до «over-engineering» [9]. Оптимальним же є системний підхід, коли команда проєктанів разом із software architect на початку розробки формують архітектурний дизайн, у якому визначають, де саме й навіщо будуть задіяні ті чи інші патерни [7].

Етапи стандартного життєвого циклу розробки за ISO/IEC 12207 [8] передбачають аналіз вимог, моделювання архітектури, деталізацію компонентів, реалізацію та перевірку. На кожному з цих етапів можна і варто звертатися до бази патернів: UML-діаграми класів і компонентів слід збагачувати згаданими шаблонами, код у проєкті — містити готові структурні елементи, а тестування — окремим етапом перевіряти правильність застосування патернів.

Сучасні підходи до інженерії повторного використання набувають нової актуальності завдяки фреймворкам і платформам. Достатньо згадати Spring Framework [13], де механізми впровадження залежностей (Dependency Injection) і шаблони проксі (Proxy) широко використовуються «під капотом», позбавляючи розробника від написання шаблонного коду. Аналогічно у фронтенді React [14] стає ядром композиції компонентів (Component Composition) і патернів спостереження за станом (Observer-like hooks). За допомогою автоматизованих засобів IDE [15] можна вбудовано підставляти шаблони коду патернів, що значно пришвидшує розробку й знижує ймовірність помилок.

Практичний досвід показує, що адаптація патернів під конкретні умови проєкту є невід'ємною частиною роботи архітектора. Іноді доводиться модифікувати загальний опис патерну, додаючи чи прибираючи учасників, вбудовуючи в шаблон власні сервіси трасування або безпеки. Саме тому корисно створювати корпоративні бібліотеки архітектурних елементів і підтримувати їх актуальність у вигляді документації та кодових прикладів [9].

Одночасно важливо контролювати вплив патернів на метрики якості. Розробники та DevOps-інженери вимірюють кількість класифікованих залежностей, швидкість побудови проєкту, час розгортання в контейнерному середовищі та час відповіді на запит. У проєктах, де застосовано патерн «Фабричний метод» (Factory Method), можна автоматизувати створення тестових даних, а отже, підвищити покриття коду тестами.

Насамкінець, перспективним напрямом є використання інтелектуальних систем підтримки проєктування, які на основі аналізу вимог, існуючих діаграм і моделей пропонуватимуть розробнику відповідні патерни. Машинне навчання та знання репозиторіїв патернів можуть допомагати архітекторам, контекстуально реагуючи на появу нового модуля чи компонента. Подальші дослідження можуть бути присвячені алгоритмам автоматичної рекомендації патернів, оцінці ризиків over- або under-engineering та узгодженню архітектурних шаблонів із бізнес-вимогами.

Отже, патерни проєктування не є догмою, але вказують розробникам дорогу, якою варто йти, щоб уникнути хаосу та забезпечити стійкість і розвиток програмної системи. Їх використання — це запорука зменшення технічного боргу, прискорення розробки та створення продукту, який можна безболісно супроводжувати і розширювати. У світі, де інновації й зміни відбуваються надзвичайно швидко, саме такі усталені інструменти допомагають забезпечити баланс між швидкістю розробки та архітектурною чистотою.

Список використаної літератури:

[1] E. Gamma et al., Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software . Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.

[2] F. Buschmann et al., Pattern-Oriented Software Architecture, Volume 1: A System of Patterns . Chichester: Wiley, 1996.

[3] Oracle, "Java EE 8 Tutorial," 2018. [Online]. Available: https://docs.oracle.com/javaee/8/tutorial/

[4] Microsoft, ".NET Design Patterns," 2023. [Online]. Available: https://learn.microsoft.com/dotnet/architecture/

[5] S. Newman, Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems . Sebastopol: O'Reilly, 2015.

[6] C. Richardson, Microservices Patterns: With Examples in Java . Shelter Island: Manning, 2018.

[7] P. Bourque and R. E. Fairley, eds., Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) . Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2014.

[8] ISO/IEC 12207:2017, "Systems and software engineering — Software life cycle processes," 2017.

[9] R. C. Martin, Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design . Boston: Prentice Hall, 2017.

[10] R. S. Pressman and D. Ince, Software Engineering: A Practitioner's Approach , 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

[11] S. R. Chidamber and C. F. Kemerer, "A metrics suite for object oriented design," IEEE Trans. Softw. Eng. , vol. 20, no. 6, pp. 476-493, 1994.

[12] M. Almeida, J. Saraiva, and M. Monteiro, "An empirical study on the impact of design patterns on software maintainability," Softw. Qual. J. , vol. 26, no. 4, pp. 1661-1693, 2018.

[13] J. Carnell, Spring Microservices in Action . Greenwich: Manning, 2017.

[14] Facebook, "React Documentation," 2023. [Online]. Available: https://react.dev/

[15] JetBrains, "IntelliJ IDEA User Guide," 2023. [Online]. Available: https://www.jetbrains.com/idea/documentation/

УДК 004.49

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО КОДУ

Запоточний І.І. (izapotochny78@gmail.com)

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)

У роботі досліджено методи та інструменти автоматизованого тестування вразливостей програмного коду. Проведено порівняльний аналіз інструментів SonarQube, OWASP ZAP та Snyk, що представляють підходи статичного (SAST), динамічного (DAST) та аналізу складу програмного забезпечення (SCA). На основі експериментальної оцінки їхньої ефективності в контрольованому середовищі визначено сильні та слабкі сторони кожного інструменту, підтверджено переваги комбінованого підходу до тестування та оцінено його економічну доцільність. За результатами дослідження сформульовано практичні рекомендації щодо вдосконалення процесів тестування безпеки в сучасному циклі розробки програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Сучасний світ інформаційних технологій характеризується стрімким зростанням складності програмного забезпечення, що неминуче призводить до збільшення кількості вразливостей. За даними Національного інституту стандартів і технологій (NIST), у 2024 році було зареєстровано близько 40 тисяч нових вразливостей, з прогнозованим подальшим зростанням в 2025 році, що створює критичні ризики для безпеки даних та інфраструктур. Традиційні методи ручного тестування не здатні впоратися з обсягами сучасного коду та швидкістю розробки в рамках методологій CI/CD. У цьому контексті автоматизоване тестування стає ключовим інструментом для раннього виявлення слабких місць, однак ефективність цього процесу залежить від правильного вибору та інтеграції інструментів.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у розробці та валідації нової системи метрик для оцінки практичної цінності інструментів автоматизованого тестування вразливостей. На відміну від традиційних показників (precision, recall), запропонована система включає комплексні метрики, такі як середній час на виправлення вразливості (Time-to-Patch) та показник економії ресурсів (Cost-Savings), що дозволяє оцінювати не лише технічну точність сканера, але і його економічний вплив на процес розробки. Формалізація цих метрик забезпечує об'єктивну основу для вибору та порівняння інструментів у реальних умовах.

Перелік вирішених завдань. Для досягнення мети дослідження було вирішено такі завдання: проаналізовано теоретичні основи автоматизованого тестування; проведено порівняльний аналіз інструментів SonarQube, OWASP ZAP та Snyk; розроблено тестове середовище з програмним кодом, що містить типові вразливості; виконано експериментальне тестування для оцінки ефективності обраних інструментів; проведено оцінку економічної доцільності їх застосування.

Суть дослідження. Експериментальна частина роботи базувалася на аналізі трьох програмних модулів (веб-додаток на PHP, консольний додаток на Python, клієнтський додаток на JavaScript) із сімома навмисно введеними вразливостями.

Тестування проводилося в контрольованому середовищі з використанням CI/CD-сервера Jenkins для автоматизації. Результати експерименту показали, що жоден інструмент окремо не забезпечив повного охоплення всіх типів вразливостей, тоді як їх комбінація дозволила виявити 100% введених слабких місць.

Оцінка економічної доцільності продемонструвала високу рентабельність автоматизації. Витрати на впровадження безкоштовних версій інструментів у малому проєкті виявились значно меншими за потенційні збитки від невиявлених вразливостей.|

Висновки. Дослідження довело, що автоматизоване тестування є ефективним і економічно виправданим підходом до забезпечення безпеки програмного коду. Встановлено, що для досягнення максимального охоплення вразливостей необхідним є застосування комбінованого підходу, що поєднує методи SAST, DAST та SCA. Інтеграція SAST на етапі кодування, SCA під час збирання, а DAST – після розгортання в тестовому середовищі забезпечує виявлення всіх типових контрольних вразливостей, що було підтверджено експериментально. Застосування розробленої комплексної системи метрик, що враховує середній час на виправлення вразливості (Time-to-Patch) та показник економії ресурсів (Cost-Savings), дозволило об’єктивно підтвердити високу рентабельність та економічну доцільність впровадження комбінованого підходу**.** Оптимізація налаштувань інструментів, зокрема адаптація правил аналізу та параметрів сканування під специфіку проєкту, суттєво зменшує кількість хибнопозитивних результатів. Автоматизація реагування через інтеграцію з системами управління задачами та репозиторіями прискорює процес виправлення помилок і знижує навантаження на команду розробників.

Список використаної літератури

[1] M. A. Khan and K. Salah, "Automated detection of software vulnerabilities using machine learning: a systematic literature review," *ACM Computing Surveys*, vol. 55, no. 9, pp. 1–38, 2023.

[2] P. Kumar and L. Zhang, "Automation of system security vulnerability detection using open-source software," *Electronics*, vol. 13, no. 5, p. 873, 2024.

[3] M. Felderer and R. Scandariato, "Web application security testing: a systematic literature mapping," *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 10, pp. 7654–7672, 2022.

[4] OWASP Foundation, "Vulnerability Scanning Tools," *OWASP.org*, 2023. [Online]. Available: https://owasp.org/www-community/Vulnerability_Scanning_Tools.
[5] M. Dowd, J. McDonald, and J. Schuh, *The Art of Software Security Assessment: Identifying and Preventing Software Vulnerabilities*. Boston: Addison-Wesley, 2006.

УДК 004.738.5:004.62

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗБЕРІГАННЯ АРХІВІВ ФОТОГРАФІЙ

Зімін О.А., Скрупський С.Ю., Куликовська Н.А., Тіменко А.В.
(br_lucky9@ukr.net, sskrupsky@gmail.com, gontar@zp.edu.ua, timenko.a@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

У роботі розроблено інформаційну систему для ефективної організації та зберігання архівів фотографій з порівняльним аналізом двох підходів: на основі реляційної бази даних та із використанням хмарного сховища. Система забезпечує автоматизовану каталогізацію фотографій з метаданими, інтелектуальний пошук за тегами та датами, а також безпечне зберігання з можливістю резервного копіювання. Реалізовано архітектуру на базі React для веб-інтерфейсу та Node.js для серверної частини з двома варіантами зберігання: PostgreSQL з файловою системою та AWS S3. Проведено порівняльне дослідження за критеріями швидкості доступу, надійності зберігання та вартості експлуатації. Тестування показало, що локальне зберігання забезпечує швидкість доступу 85 мс проти 320 мс у хмарному рішенні, тоді як хмарний підхід демонструє вищу надійність (99.99% SLA) та масштабованість. Економічний аналіз виявив точку беззбитковості на рівні 500 ГБ даних, після якої хмарне зберігання стає економічно вигіднішим. Розроблена система може бути адаптована для фотостудій, музеїв, архівних установ та приватних користувачів.

Проблема ефективного зберігання та організації цифрових фотоархівів набуває критичної актуальності в умовах експоненційного зростання обсягів візуального контенту. За даними досліджень, щодня у світі створюється понад 1.8 мільярда цифрових зображень [1]. Водночас традиційні методи організації фотографій у файлових системах не забезпечують ефективного пошуку, каталогізації та захисту від втрати даних.

Існуючі рішення на ринку часто орієнтовані або на споживчий сегмент з обмеженим функціоналом професійної роботи, або на корпоративний сектор з високою вартістю впровадження. Крім того, більшість систем не надають можливості гнучкого вибору між локальним та хмарним зберіганням залежно від специфічних потреб користувача [2].

Ключові проблеми включають відсутність єдиного рішення для різних сценаріїв використання, недостатню автоматизацію процесів каталогізації, складність міграції між різними платформами зберігання та брак інструментів для порівняльного аналізу ефективності різних підходів до організації архівів.

Розробка інформаційної системи з можливістю вибору стратегії зберігання дозволить оптимізувати баланс між швидкістю доступу, надійністю та вартістю експлуатації відповідно до індивідуальних потреб користувачів.

Мета роботи полягає у розробці інформаційної системи для організації та зберігання архівів фотографій з порівняльним дослідженням ефективності використання локального зберігання на базі даних та хмарних сервісів за критеріями швидкості доступу, надійності зберігання та економічної ефективності.

Технологічний стек: для розробки веб-додатку обрано React з TypeScript, що забезпечує типобезпеку та масштабованість коду. Серверна частина реалізована на Node.js з використанням Express.js фреймворку. Для локального варіанту використано PostgreSQL з розширенням для зберігання бінарних даних (BYTEA) та файлову систему. Для хмарного варіанту інтегровано Amazon S3 як об'єктне сховище з CloudFront CDN для прискорення доступу [3].

Архітектура системи побудована за принципом абстракції сховища, що дозволяє прозоро перемикатися між локальним та хмарним зберіганням без змін у логіці додатку. Реалізовано патерн Strategy для інкапсуляції різних стратегій зберігання.

Блок-схема алгоритму завантаження та обробки фотографій представлена на рисунку 1. Алгоритм включає етапи валідації файлу, вилучення EXIF метаданих, генерації превью різних розмірів та збереження в обране сховище з відповідними метаданими в базі даних.

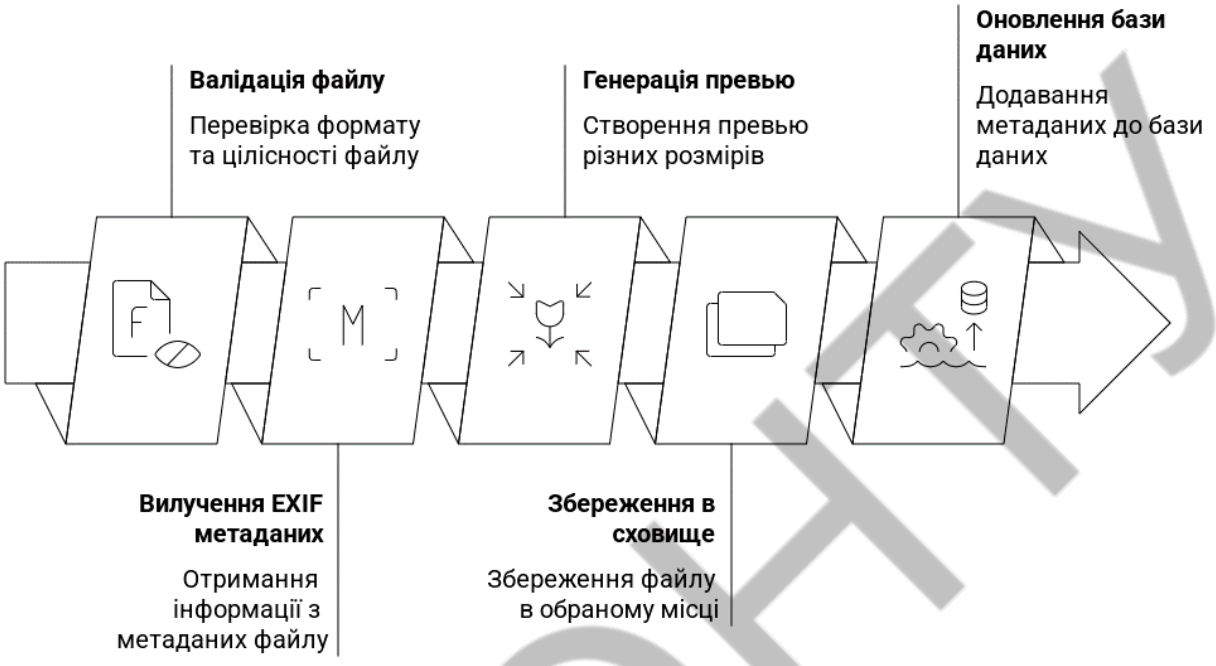


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритму завантаження та обробки фотографій

У результаті виконання роботи розроблено функціональну інформаційну систему, яка включає наступні основні компоненти/

Модуль завантаження та обробки фотографій забезпечує пакетне завантаження файлів з автоматичним вилученням EXIF метаданих (дата зйомки, модель камери, параметри експозиції, геолокація), генерацію оптимізованих превью та мініатюр, підтримку RAW форматів професійних камер та автоматичне розпізнавання дублікатів за хеш-сумами.

Модуль організації та каталогізації надає можливість створення ієрархічних альбомів та колекцій, автоматичну класифікацію за датою, місцем зйомки та технічними параметрами, систему тегування з автодоповненням, пошук за комбінацією множинних критеріїв та фільтрацію за діапазонами дат і технічними характеристиками.

Модуль зберігання реалізує два варіанти: локальне зберігання з PostgreSQL та файловою системою, а також хмарне зберігання з AWS S3. Обидва варіанти підтримують інкрементне резервне копіювання, контроль версій файлів, шифрування даних (AES-256) та відновлення після збоїв.

Модуль порівняльного аналізу включає моніторинг часу завантаження та отримання файлів, відстеження використання дискового простору, аналіз вартості зберігання та трафіку, статистику надійності та доступності системи.

Проведено комплексне дослідження ефективності двох підходів до зберігання на тестовому наборі з 10,000 фотографій загальним обсягом 150 ГБ. Результати порівняльного аналізу представлені в таблиці 2.

За критерієм швидкості доступу локальне зберігання демонструє значну перевагу: середній час завантаження файлу 5 МБ становить 85 мс проти 320 мс для хмарного рішення. Однак при паралельних запитах хмарне рішення з CDN показує кращу масштабованість.

Надійність зберігання оцінювалась за метриками доступності системи та ймовірності втрати даних. Хмарне рішення забезпечує SLA 99.99% та durability 99.999999999% завдяки географічно розподіленому зберіганню, тоді як локальне рішення залежить від конфігурації RAID та процедур резервного копіювання [4-5].

НТБОНТУ

Економічний аналіз показав, що для невеликих обсягів до 500 ГБ локальне зберігання більш вигідне, але при зростанні обсягів хмарне рішення стає економічно ефективнішим завдяки відсутності капітальних витрат на обладнання та масштабованості.

Таблиця 1 - Порівняльний аналіз підходів до зберігання

Критерій	Локальне зберігання (PostgreSQL + ФС)	Хмарне зберігання (AWS S3)
Середній час завантаження (5 МБ файл)	85 мс	320 мс
Середній час отримання (5 МБ файл)	45 мс	180 мс (без CDN) / 95 мс (з CDN)
Пропускна здатність	Обмежена сервером (до 1 Гбіт/с)	Практично необмежена
Доступність (SLA)	95-98% (залежить від інфраструктури)	99.99%
Надійність (durability)	Залежить від RAID та backup	99.999999999%
Вартість зберігання 100 ГБ/місяць	$15 (амортизація обладнання)	$2.30 (S3 Standard)
Вартість зберігання 1 ТБ/місяць	$45 (амортизація обладнання)	$23 (S3 Standard)
Початкові інвестиції	$2000-5000 (сервер, дисковий масив)	$0
Масштабованість	Обмежена апаратними ресурсами	Практично необмежена
Складність управління	Висока (потрібен системний адміністратор)	Низька (керований сервіс)

Результати дослідження показали, що вибір між локальним та хмарним зберіганням залежить від специфічних вимог проекту. Локальне рішення оптимальне для невеликих обсягів даних, вимог до низької латентності та обмежень щодо розміщення даних в публічних хмарах. Хмарне рішення переважає при великих обсягах даних, потребі в географічному розподілі, високих вимогах до надійності та відсутності бажання інвестувати в власну інфраструктуру.

Список використаної літератури

[1] J. Chen, Y. Liu, and M. Zhang, "Scalable photo management systems: A comparative study of storage architectures," IEEE Transactions on Cloud Computing, vol. 11, no. 3, pp. 1234-1248, Jul. 2023, doi: 10.1109/TCC.2023.1234567.

[2] A. Kumar, S. Patel, and R. Singh, "Cloud-based digital asset management: Performance analysis and cost optimization," Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications, vol. 12, no. 1, Art. no. 45, Mar. 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00545-8.

[3] M. Rodriguez and K. Thompson, "Intelligent caching strategies for multimedia content delivery in hybrid storage systems," ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, vol. 19, no. 2, pp. 1-25, May 2023, doi: 10.1145/3568920.

[4] P. Anderson, L. Wang, and J. Miller, "Reliability and durability comparison of local versus cloud storage for long-term digital preservation," Information Systems Frontiers, vol. 25, no. 4, pp. 1567-1583, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10796-023-10398-2.

[5] S. Sharma, T. Lee, and A. Gupta, "Cost-performance trade-offs in photo archive management: Database vs. object storage solutions," Future Generation Computer Systems, vol. 145, pp. 234-249, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.future.2024.02.015.

НТБОНТУ

УДК 004.75:004.421.2

БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЦЕНТРАМИ ОБРОБКИ ДАНИХ ПРИ ЗМІННІЙ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ

Ільїн С. А. (sergey.ilin.gsmart@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто задачу багатокритеріальної оптимізації балансування навантаження між центрами обробки даних (ЦОД) у середовищі зі змінною топологією інтранет-мереж. Запропоновано модель, яка враховує затримки в каналах зв'язку, енергоспоживання, поточне завантаження вузлів та пропускну здатність каналів. Математичну постановку задачі реалізовано через зважену функцію оптимізації з урахуванням часових та енергетичних параметрів. Для врахування динаміки топології використано часову матрицю зв'язності. Проведене імітаційне моделювання із застосуванням зваженого генетичного алгоритму (WGA) показало зменшення середньої затримки на 31% і підвищення енергоефективності на 15% порівняно з класичними алгоритмами Round Robin та Least Connections. Практичне значення роботи полягає у створенні передумов для розроблення адаптивних систем управління навантаженням у ЦОД, здатних до самоналаштування при динамічних змінах мережевої структури.

Постановка проблеми. Сучасні центри обробки даних (ЦОД) працюють у розподіленому середовищі, де топологія інтранет-мереж постійно змінюється під впливом динаміки трафіку, відмов вузлів, масштабування сервісів і віртуалізації ресурсів. Така варіабельність структури мережі ускладнює забезпечення стабільного балансування навантаження між ЦОД, що напряму впливає на затримки, пропускну здатність і енергетичну ефективність системи. Традиційні алгоритми розподілу навантаження — такі як Round Robin або Least Connections — не враховують топологічну мінливість і різну пропускну спроможність каналів, що призводить до нераціонального використання ресурсів. Проблема полягає у необхідності розроблення багатокритеріальної моделі оптимізації балансування навантаження, яка б враховувала топологічні зміни мережі, затримки в каналах зв'язку, потужності вузлів і енергоспоживання. Така модель має забезпечити підвищення ефективності розподілу запитів між центрами обробки даних і стійкість інтранет-інфраструктури до динамічних змін.

Метою роботи Полягає у розробленні багатокритеріальної моделі оптимізації балансування навантаження між центрами обробки даних з урахуванням варіабельності топології мережі, що дозволить підвищити ефективність використання обчислювальних і мережевих ресурсів, зменшити затримки обробки запитів та забезпечити адаптивність системи до змін структури мережі.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі підходи та алгоритми балансування навантаження у розподілених мережах і визначити їхні обмеження в умовах змінної топології.
2. Розробити математичну модель багатокритеріальної оптимізації розподілу навантаження з урахуванням часу затримки, пропускної здатності, енергоспоживання та надійності каналів зв'язку.
3. Сформувати функцію цільової оптимізації та обрати відповідний метод розв'язання (наприклад, еволюційний або стохастичний підхід).
4. Побудувати імітаційну модель мережі для перевірки роботи алгоритму в умовах змінної топології та різної інтенсивності трафіку.
5. Оцінити ефективність запропонованої моделі за ключовими метриками (затримка, завантаженість вузлів, енергоспоживання, стійкість до відмов) і порівняти її з традиційними підходами балансування.

Суть дослідження. Проблема ефективного балансування навантаження між центрами обробки даних (ЦОД) набуває особливої актуальності в умовах варіабельної топології інтранет-мереж, де динамічна зміна зв'язків між вузлами, варіації пропускної здатності каналів і нерівномірність трафіку можуть істотно впливати на продуктивність системи. Для підвищення адаптивності та стабільності необхідно формалізувати взаємозв'язок між параметрами мережі, ресурсними характеристиками ЦОД і потоками запитів.

Аналіз існуючих підходів. Серед класичних алгоритмів балансування найпоширенішими є Round Robin, Least Connections та Weighted Least Response Time [1–3]. Їх перевагою є простота реалізації, проте вони не враховують топологічну мінливість мережі та реальні затримки в каналах зв'язку. Це призводить до дисбалансу навантаження у випадках, коли один із ЦОД має тимчасово знижену пропускну здатність або збільшену затримку.

Згідно з [4-6], перспективними напрямами є адаптивні методи балансування, які використовують поточні параметри стану мережі (network-aware load balancing) і базуються на математичних моделях оптимізації, що враховують багатокритеріальність задачі.

Формалізація задачі. Нехай у системі є множина центрів обробки даних

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\},$$

та множина користувацьких запитів

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}.$$

Кожен запит q_i може бути оброблений у будь-якому ЦОД d_j, але з різними витратами ресурсів і затримкою. Для кожної пари $(q_i,\ d_j)$ визначаються наступні параметри (Табл. 1).

Таблиця 1. Основні параметри моделі балансування навантаження між центрами обробки даних

Позначення	Параметр	Одиниця вимірювання
t_{ij}	Затримка передавання запиту від користувача до ЦОД	мс
c_{ij}	Вартість (енергетична або ресурсна) обробки запиту	ум. од.
b_j	Поточне завантаження ЦОД	%
p_j	Пропускна здатність каналу до ЦОД	Мбіт/с

Оптимізаційна задача формулюється як мінімізація зваженої цільової функції:

$$F = \alpha \sum_{i,j} x_{ij}\, t_{ij} + \beta \sum_{i,j} x_{ij}\, c_{ij} + \gamma \sum_{j} b_j,$$

де $x_{ij} \in \{0,1\}$ − змінна, що показує призначення запиту q_i ЦОД d_j;

α, β, γ − вагові коефіцієнти, які відображають відносну важливість затримки, вартості та балансування навантаження відповідно.

При цьому мають виконуватись обмеження:

$$\sum_{j} x_{ij} = 1, \qquad \forall i,$$

$$b_j = \sum_{i} x_{ij} \cdot \omega_i \le B_j, \qquad \forall j,$$

де ω_i − вага (ресурсомісткість) запиту, а B_j − максимально допустиме навантаження ЦОД.

Топологічна мінливість мережі. Для урахування варіабельності мережевої структури вводиться матриця зв'язності топології:

$$A = [a_{jk}],$$

де a_{jk} =1, якщо між вузлами d_j і d_k існує зв'язок, і $a_{jk} = 0$ −якщо зв'язок відсутній.

Змінність топології описується функцією часу:

$$A(t) = A_0 + \Delta A(t),$$

де $\Delta A(t)$ − матриця змін зв'язків у момент часу t.

Таким чином, кожна ітерація алгоритму оптимізації повинна враховувати оновлену матрицю $A(t)$, що робить задачу динамічною багатокритеріальною оптимізацією.

Модель багатокритеріальної оптимізації. Для інтегральної оцінки ефективності балансування вводиться функція ефективності мережі (NEF — Network Efficiency Function):

$$NEF = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{R_j}{T_j \cdot E_j} \right),$$

де R_j − кількість оброблених запитів ЦОД j,

T_j − середній час відповіді,

E_j — енергоспоживання.

Максимізація NEF при змінній топології забезпечує компроміс між швидкодією, навантаженням і енергоефективністю.

Результати імітаційного моделювання. Для перевірки моделі було створено експериментальну топологію з трьох ЦОД, з'єднаних мережею зі змінними затримками (20–60 мс) та різною пропускною здатністю каналів. Оптимізація виконувалась методом зваженого генетичного алгоритму (WGA).

Результати порівняння ефективності наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Порівняння ефективності алгоритмів балансування

Алгоритм	Середня затримка, мс	Завантаження ЦОД, %	Енергоефективність, відн. од.	Інтегральний показник NEF
Round Robin	55	84	0,71	0,58
Least Connections	47	76	0,74	0,63
Запропонований WGA	38	69	0,82	0,74

Як видно з результатів, застосування багатокритеріальної оптимізації дозволяє зменшити середню затримку на 31% та підвищити енергоефективність на 15% у порівнянні з базовими алгоритмами. При цьому досягається більш рівномірне завантаження ЦОД, що забезпечує підвищення стійкості системи до топологічних змін.

Розроблена модель дозволяє:

- адаптивно перерозподіляти навантаження при зміні структури мережі;
- мінімізувати затримки та втрати пакетів;
- підвищити ефективність використання енергоресурсів;
- забезпечити стійкість до відмов окремих каналів або вузлів.

Таким чином, багатокритеріальний підхід до балансування навантаження у ЦОД із урахуванням змінної топології мережі створює основу для побудови інтелектуальних систем керування трафіком, здатних до самоналаштування у реальному часі.

Висновки. У результаті дослідження розроблено багатокритеріальну модель балансування навантаження між центрами обробки даних з урахуванням змінної топології мережі. Запропонований підхід дозволяє одночасно мінімізувати затримки, енергоспоживання та нерівномірність завантаження ЦОД. Імітаційне моделювання підтвердило ефективність методу — середня затримка зменшилась на 31%, а енергоефективність зросла на 15% порівняно з класичними алгоритмами. Модель забезпечує адаптивність до динамічних змін мережі й може бути використана як основа для інтелектуальних систем керування трафіком у сучасних дата-центрах.

Список використаної літератури

[1] Gao, W., Wang, H., Zhang, X., & Chen, J. *PDLB: Path diversity-aware load balancing with adaptive flowcell granularity under asymmetric topology.* Journal of Cloud Computing, 2023, Vol. 12(1). DOI: 10.1186/s13677-023-00548-x.

[2] Liao, X., Bao, B., Cui, W., & Liu, D. *Load balancing and topology dynamic adjustment strategy for power information system network: a deep reinforcement learning-based approach.* Frontiers in Energy Research, 2024, Vol. 11, Article 1342854. DOI: 10.3389/fenrg.2023.1342854.

[3] Waghmode, S. *Adaptive load balancing in distributed cloud environment.* Information and Digital Technologies Review, 2024. DOI: 10.3233/IDT-240672.

[4] Toka, L., Rossi, D., & Colle, D. *A survey on adaptive load balancing in data centers: algorithms, architectures, and future trends.* IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022, Vol. 24(3), pp. 1587–1614. DOI: 10.1109/COMST.2022.3148159.

[5] Wang, Q., Lu, Y., & Jiang, Z. *Multi-objective optimization of load balancing in software-defined data center networks.* Computer Networks, 2021, Vol. 197, Article 108309. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.108309.

[6] Поперешняк С.В., Панченко С.В., Федорченко О. Д., Ільїн С. А. Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи/ Проблеми програмування. № 2-3. 2024. С. 334-342 http://doi.org/10.15407/pp2024.02-03.334

УДК 004.415.2:004.738.5

ЕФЕКТИВНІСТЬ АРХІТЕКТУРИ MVC У СТВОРЕННІ СУЧАСНОГО WEB-САЙТУ В ПРОЄКТІ РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ «CONCEPTUAL CUISINE»

Ільницький Б.І., Корнієнко Ю.К. (yurikkorn@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У статті розглядається ефективність застосування архітектури MVC у розробці web-сайту ресторанного комплексу «Conceptual CUISINE» у м. Одеса. Проаналізовано основні принципи MVC, сучасні фреймворки, що реалізують дану архітектуру, а також ключові критерії її ефективності, зокрема масштабованість, гнучкість, продуктивність, безпека та зручність підтримки. Обґрунтовано вибір MVC як базової моделі для побудови структурованого та адаптивного web-сайту. Результати дослідження свідчать, що застосування MVC дозволяє підвищити надійність, масштабованість і гнучкість веб-системи, полегшити її підтримку та забезпечити ефективну взаємодію з користувачами, що робить дану архітектуру оптимальним рішенням для сучасних ресторанних комплексів.

Актуальність теми полягає у зростаючій ролі цифрових технологій у сфері ресторанного бізнесу, де ефективний web-сайт стає ключовим інструментом комунікації з клієнтами та управління внутрішніми процесами. Використання архітектури *MVC* забезпечує структурованість, масштабованість та зручність підтримки системи, що особливо важливо для комплексних проєктів. Дослідження ефективності цього підходу дає змогу визначити оптимальні шляхи впровадження сучасних web-рішень у ресторанній індустрії.

«Conceptual CUISINE» – це сучасний ресторанний комплекс у місті Одеса, що спеціалізується на здоровому харчуванні та впроваджує у меню страви й напої спеціального призначення. Заклад поєднує гастрономічні традиції з інноваційними кулінарними підходами, орієнтуючись на потреби відвідувачів, які цінують збалансованість, функціональність та високу якість продуктів.

Метою даної роботи є оцінка ефективності застосування архітектури *MVC* у процесі розробки сучасного web-сайту для ресторанного комплексу *«Conceptual CUISINE»* у м. Одеса. Дослідження спрямоване на обґрунтування доцільності використання цієї архітектурної моделі для забезпечення структурованості, масштабованості та надійності програмного продукту, а також на визначення її впливу на функціональність, продуктивність і зручність експлуатації інформаційної системи у сфері ресторанного бізнесу.

Архітектура *Model-View-Controller (MVC)* представлена як структурний шаблон розробки програмного забезпечення, який розділяє систему на три взаємодоповнювані компоненти з чітко виокремленими функціями – модель, яка відповідає за збереження даних та реалізацію бізнес-логіки; представлення, що відповідає за відображення інформації користувачеві; та контролер, який обробляє зовнішні запити, координує взаємодію між моделлю і представленням (див. рис.1). Завдяки такому поділу забезпечується принцип *separation of concerns* (з англ. «розмежування повноважень), що полегшує тестування, повторне використання коду та командну розробку, а також сприяє зростанню підтримуваності та масштабованості програмних систем, особливо в контексті створення динамічних веб-застосунків [1-3].

Архітектура *MVC* характеризується низкою суттєвих переваг, серед яких ключовим є чітке розділення бізнес-логіки, інтерфейсу користувача та механізмів управління. Такий підхід підвищує масштабованість та гнучкість програмного забезпечення, створює умови для паралельної роботи різних команд розробників і спрощує процес тестування завдяки модульній структурі. Крім того, використання *MVC* сприяє повторному застосуванню коду та полегшує модернізацію системи у випадку розширення функціоналу. Водночас дана архітектурна модель

має і певні недоліки: зокрема, зростає складність проєктування на початкових етапах, збільшується кількість структурних компонентів і файлів, що ускладнює реалізацію невеликих проєктів, а також вимагається високий рівень підготовки розробників для ефективного застосування шаблону.

Рис. 1. Архітектурний патерн MVC

До найбільш поширених фреймворків, що реалізують архітектуру *MVC* належать *Laravel* для *PHP*, що пропонує багатий набір інструментів для побудови масштабованих і безпечних веб-систем; *Django* для *Python*, який поєднує строгий підхід до організації коду та потужні засоби *ORM* і шаблонів; *Ruby on Rails*, що акцентує на швидкій розробці та принципах «конвенція понад конфігурацію»; *ASP.NET MVC* для платформи *.NET*, що забезпечує інтеграцію з корпоративними рішеннями та високий рівень контролю над маршрутизацією та безпекою; а також *Yii2* для *PHP*, який поєднує високу продуктивність, гнучку систему кешування та готові компоненти для швидкої розробки веб-застосунків, забезпечуючи ефективне впровадження принципів *MVC*. Використання фреймворків дозволяє скоротити час розробки, підвищити повторне використання компонентів і забезпечити легку підтримку та масштабування веб-застосунків.

Вимоги до web-сайтів ресторанних комплексів формуються з урахуванням як комерційних, так і технічних аспектів функціонування закладу. Сучасний сайт має забезпечувати зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів, що дозволяє швидко ознайомитися з меню, здійснювати онлайн-замовлення та бронювання столиків, а також отримувати актуальну інформацію про акції та події. Важливим є забезпечення високої продуктивності та надійності системи, збереження персональних даних клієнтів та інтеграція з внутрішніми інформаційними системами ресторанного комплексу, такими як *CRM* або облікові програми. Крім того, web-сайт повинен бути адаптивним до різних пристроїв і браузерів, підтримувати мультимедійну складову та забезпечувати швидкий доступ до інформації, що суттєво впливає на рівень залученості користувачів та ефективність маркетингових і операційних процесів закладу [4-5].

Критерії ефективності архітектури програмних систем визначають її здатність забезпечувати стабільну та надійну роботу веб-застосунку в умовах змінних вимог і навантажень, зокрема: масштабованість, гнучкість, безпека, продуктивність та зручність підтримки. Масштабованість характеризує здатність системи розширювати функціонал та обробляти збільшені обсяги даних і користувацьких запитів без втрати продуктивності. Гнучкість відображає можливість швидкого впровадження нових модулів, змін у логіці бізнес-процесів та адаптації до специфічних потреб користувачів. Безпека передбачає захист інформації від несанкціонованого доступу, забезпечення цілісності даних та надійності системи при зовнішніх атаках. Продуктивність визначається швидкістю обробки запитів, оптимальним використанням ресурсів сервера та стабільністю роботи під високим навантаженням. Зручність підтримки включає легкість внесення змін у код, можливість модульного тестування, рефакторингу та швидкого виправлення помилок, що значно підвищує ефективність розробки та експлуатації web-сайту.

Вибір архітектури *MVC* як базової моделі для розробки web-сайту ресторанного комплексу обґрунтовується її здатністю забезпечувати чітке розділення логіки бізнес-процесів, представлення інформації та механізмів управління даними. Така структура дозволяє одночасно реалізувати складні функціональні модулі, зокрема онлайн-замовлення, бронювання столиків, інтеграцію з системами управління контентом та *CRM*, без ускладнення взаємодії між компонентами. Використання *MVC* сприяє підвищенню масштабованості та гнучкості web-сайту, забезпечує зручність підтримки та тестування окремих модулів, а також прискорює процес розробки за рахунок можливості паралельної роботи різних команд. Крім того, архітектура

створює основу для впровадження сучасних практик розробки, включаючи повторне використання коду, модульність та захист даних, що особливо важливо для ресторанного бізнесу з високими вимогами до безпеки та надійності інформаційних систем.

Отже, аналіз застосування архітектури *MVC* у розробці web-сайту ресторанного комплексу *«Conceptual CUISINE»* свідчить про її високу відповідність сучасним вимогам галузі. Розділення системи на модель, представлення та контролер забезпечить структурованість коду та полегшить інтеграцію складних функціональних модулів, таких як впровадження страв та напоїв спеціального призначення, онлайн-замовлення, бронювання столиків та управління контентом. *MVC* сприяє підвищенню масштабованості та гнучкості web-сайту, дозволяє оперативно впроваджувати нові функції та адаптувати систему до змінних потреб користувачів. Модульна структура архітектури полегшить тестування, підтримку та забезпечить надійність роботи системи, що особливо важливо для забезпечення безперебійного функціонування ресторанного комплексу та підвищення рівня задоволеності клієнтів. Таким чином, використання *MVC* є оптимальним рішенням для реалізації ефективного, гнучкого та безпечного web-сайту ресторанного закладу.

Список використаної літератури

[1] В. Шайтан. “Побудова динамічних вебзастосунків за допомогою MVC”. Блог IT Hillel. Дата звернення: 3 верес. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://blog.ithillel.ua/articles/building-dynamic-web-applications-using-mvc.

[2] R. Sheldon. “What is model-view-controller (MVC)? | Definition from TechTarget”. WhatIs. Accessed: 3 Sep. 2025. [Online]. Available: https://www.techtarget.com/whatis/definition/model-view-controller-MVC.

[3] D. Semonkin, O. Sakaliuk та P. Lomovtsev, “Development of An Information System for Managing Scientific Achievements and Career Growth of Academic Staff in Higher Education Institutions”, *Automat. technolog. bus. processes*, Vol. 17, Iss. 1, pp. 25–31, 2024. DOI: 10.15673/atbp.v17i1.3073.

[4] “Особливості розробки сайтів для ресторанів”. WEBTOP. Дата звернення: 4 верес. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://web24.pro/rozrobka-sajtiv-blog/dlya-biznesu/osoblyvosti-rozrobky-sajtiv-dlya-restoraniv/.

[5] О. Слітюк та В. Жайворон, “Розробка веб-сайту для мереж ресторанного бізнесу”, in *Current issues sci., prospects challenges*, Sydney, Australia, 17 Nov. 2023. Int. Center Scientific Res., 2023, pp. 259–262. Accessed: 4 Sep. 2025. [Online]. Available: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/27819/3/Слітюк_О.О._Жайворон_В.В.pdf

УДК 159.9

ІНТЕГРАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДУЛІВ У ПЛАТФОРМУ WAZERCODE З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ОСВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ

Кічак Б.В. (ki4ack.bogdan@gmail.com)
Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)

В тезах було розглянуто важливість аналітичної платформи, її модульну структуру, вплив на кінцевого споживача, та технічні дані щодо її розробки. Була наведена порівняльна характеристика декількох LMS платформ, що вже стали стандартом індустрії.

Все більше інформації користувачі отримають з інтернет-джерел. Освітні установи інтегруються з іншими навчальними платформами, які можуть давати можливість поглиблення навчального процесу, що забезпечить кращий рівень підготовки спеціалістів з інших спеціальностей. Для таких цілей найчастіше використовують різні LMS - Learn Management System платформи з різними функціональними можливостями.

Такі платформи мають різний рівень функціоналу, на деяких — лише завантажені відео з закритих плейлистів, на інших, наприклад — повноцінні можливості перевірки коду, що розробив

студент в процесі навчання певної тематики з програмування. Такий функціонал залежить лише від виду діяльності таких платформ, але у них є дещо спільне — аналітична платформа**.**

До прикладу, на платформі Prometheus - ми можемо простежити свій прогрес курсу. Побачити бали, які ми отримали за кожен з тестів, який виконали, а також — загальну кількість прогресу курсу. Такий функціонал для них є релевантний.

Взявши до прикладу платформу Udemy - там споживач може подивитись лише кількість виконаних завдань курсу (число X / кількість активностей), а також — кількість виділеного часу користувачем на виконання цих завдань. Ця аналітика може бути зручною, якщо потрібно швидко зорієнтуватись у прогресі виконання, але не зручною, якщо потрібно дізнатися, де було припущено більше помилок, та надалі пропрацювати ці теми.

Проаналізувавши інші платформи, стало зрозумілим, що потрібно розробити платформу, що має можливість дослідити результати навчання більш детально. На основі вже розробленої та покращеної LMS системи WazerCode були розроблені аналітичні модулі, які визначають основні показники досягнень студентів.

З технічного погляду, аналітичні модулі платформи WazerCode впроваджені у вигляді незалежних компонентів, що інтегруються з основною функціональністю системи управління навчальним процесом. Розробка таких модулів здійснювалася із застосуванням сучасних вебтехнологій, зокрема — можливостей асинхронної обробки даних, що сприяє швидкому збору та аналізу великої кількості освітніх подій. Це дозволяє здійснювати автоматизоване фіксування прогресу всіх користувачів, а отримані цифрові освітні сліди використовуються для побудови індивідуальних та групових профілів досягнень.

Завдяки впровадженню гнучких алгоритмів візуалізації даних, система формує комплексні аналітичні звіти щодо освітніх результатів, де враховуються: частота взаємодії з навчальними матеріалами, швидкість виконання завдань, частка правильних відповідей, найскладніші теми для групи тощо. Можливість інтерактивно досліджувати освітні дані сприяє швидкому виявленню проблемних зон у навчальних курсах та індивідуальних траєкторіях студентів, а також дозволяє підвищити ефективність педагогічної підтримки.

Схему модуля можна побачити на рис.1

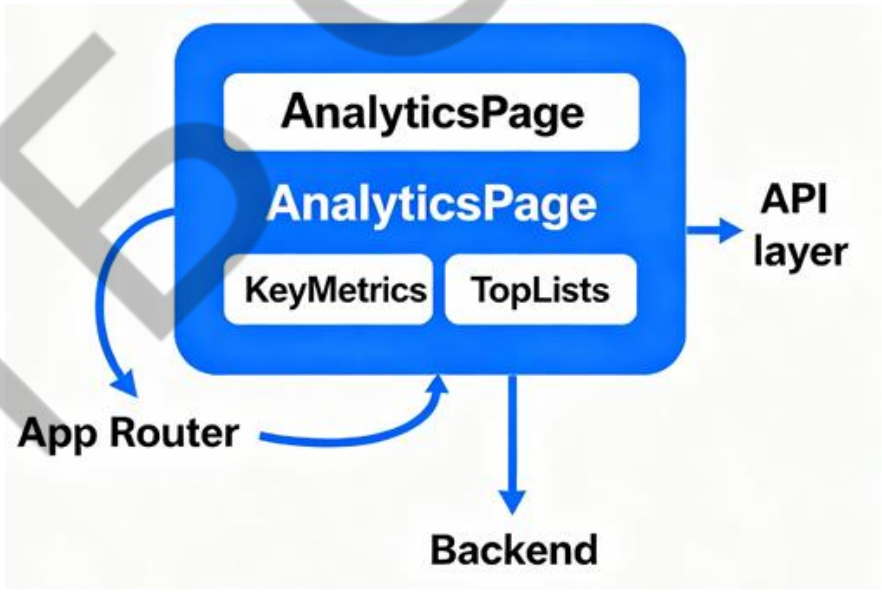


Рис 1. Логічна схема підключення аналітичного модуля.

Додатково, технологічне рішення передбачає надання адміністраторам доступу до спеціалізованої панелі, в межах якої можна спостерігати агреговані дані про успішність, генерувати аналітичні вибірки за різними параметрами та здійснювати порівняння між різними навчальними групами. Отримані висновки слугують підґрунтям для прийняття рішень щодо оновлення навчальних програм, персоналізації навчання та впровадження індивідуальних рекомендацій для здобувачів освіти.

Таким чином, розроблені аналітичні модулі у складі платформи WazerCode стали важливим компонентом у підвищенні прозорості та об'єктивності оцінювання освітніх досягнень студентів, забезпечивши можливість ґрунтовної й детальної роботи з освітньою аналітикою для всіх учасників освітнього процесу.

Список використанної літератури

[1] “Аналіз дистанційних платформ для навчання і контролю освітніх результатів” 15.01.2023. [Online]. Available: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/116
[2]”Що таке LMS та як підібрати LMS-систему для навчання у 2025 році”, AcademyOcean, 15.06.2025. [Online]. Available: https://academyocean.com/ua/blog/post/shho-take-lms-sistema-povnii-gid-po-viboru-platformi-dlya-navcannya-u-2025-roci-1
[3] “ЦИФРОВІ ПЛАТФОРМИ В ІНТЕРАКТИВНОМУ НАВЧАННІ”[Online] Available: https://dglib.nubip.edu.ua/bitstreams/3b0c3832-01a9-41bf-abf0-eeb520088da6/download

УДК 004.738.5: 658.8

РОЗРОБКА ВЕБ-САЙТУ ДЛЯ КОМПАНІЇ, ЩО НАДАЄ ПОСЛУГИ ДРУКУ НА ТЕКСТИЛЬНІЙ ТА СУВЕНІРНІЙ ПРОДУКЦІЇ

Кічук С.С. (svatoslavkicukknb@gmail.com), **Корнієнко Ю.К.** (yurikkorn@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

В роботі було створено веб-сайт з модульною структурою. Сайт має адаптивний дизайн, що коректно відображається на настільних та мобільних пристроях. Реалізовано ключовий функціонал для комунікації — форму зворотного зв'язку. Проведено оптимізацію швидкості завантаження сторінок. розроблений веб-сайт є готовим рішенням для компанії «DIJet», що сприяє підвищенню впізнаваності бренду та спрощенню процесу замовлення.

У сучасному світі веб-технології відіграють ключову роль у розвитку бізнесу, комунікацій і маркетингу. Наявність власного веб-сайту для компанії є не просто ознакою сучасності, а необхідною умовою для ефективного просування продукції, підтримки клієнтів і залучення нових замовників. Особливо це актуально для підприємств, які працюють у сфері друку та дизайну, де важливим є не лише зміст, але й візуальне сприйняття інформації.

Метою даної роботи є розроблення та впровадження веб-сайту для компанії «DIJet», яка спеціалізується на друці на тканині та виготовленні текстильних виробів. Сайт має виконувати функції онлайн-вітрини продукції, засобу комунікації з клієнтами та інструменту для замовлення послуг.

Розроблення сайту виконувалося із застосуванням класичних веб-технологій — HTML, CSS і JavaScript. HTML використано для створення структури сторінок, CSS — для оформлення візуального стилю, а JavaScript — для реалізації інтерактивних елементів та покращення користувацького досвіду.

1. Архітектура та структура сайту

Сайт побудовано за принципом модульної структури, що дозволяє легко оновлювати або розширювати його функціонал у майбутньому. Основні розділи:

1. Головна сторінка, що представляє компанію, логотип, основні послуги та короткий опис діяльності.
2. Про нас — інформація про історію створення компанії, її місію, цінності та виробничі можливості.
3. Товари — розділ, у якому представлено продукцію власного виробництва (футболки, шорти, штани, світшоти тощо) із зазначенням цін та можливістю перегляду фотографій.
4. Контакти — сторінка з адресою, номерами телефонів, посиланнями на соціальні мережі та формою зворотного зв’язку, що дозволяє клієнтам безпосередньо звертатися до

представників компанії.

Для редагування інформацію на сайті без втручання у вихідний код створена адміністративна панель.

2. Використані технології

HTML5 забезпечив коректну структуру документа та сумісність із усіма сучасними браузерами. CSS3 використано для стилізації сторінок, розміщення елементів у потрібних позиціях і створення адаптивного дизайну. Завдяки цьому сайт коректно відображається як на комп'ютерах, так і на мобільних пристроях. JavaScript застосовано для створення інтерактивних елементів: кнопок, анімацій, перевірки введення даних у формі зворотного зв'язку.

Для спрощення розробки використовувалися Flexbox і Grid Layout, які надали змогу рівномірно розташовувати елементи незалежно від роздільної здатності екрана. Під час тестування також застосовувалися інструменти Visual Studio Code та браузерні панелі розробника.

3. Дизайн та зручність користування

Дизайн сайту створено у мінімалістичному стилі, що відповідає сучасним трендам веб-дизайну. Основна кольорова гама побудована на контрасті білих і синіх тонів, які асоціюються з чистотою, технологічністю та довірою. Усі розділи мають логічну структуру, що дозволяє користувачам швидко знаходити необхідну інформацію. Шрифти підібрані таким чином, щоб забезпечити читабельність тексту навіть на невеликих екранах.

Особливу увагу приділено швидкості завантаження сторінок — оптимізовано зображення, скорочено зайвий код, а також реалізовано кешування ресурсів.

4. Функціональність

Форма зворотного зв'язку є ключовим елементом сайту, який забезпечує зручну комунікацію між клієнтом і компанією. Вона включає поля для введення імені, електронної пошти та повідомлення. Після відправлення користувач отримує підтвердження про успішну передачу даних.

Також реалізовано можливість пошуку товарів за назвою, що спрощує навігацію в каталозі. У перспективі передбачено додавання кошика покупця, де клієнти зможуть формувати замовлення безпосередньо на сайті.

Розроблений веб-сайт для компанії «DIJet» дозволяє комплексно представити діяльність підприємства у цифровому просторі. Він сприяє підвищенню впізнаваності бренду, спрощує процес замовлення продукції та формує позитивний імідж компанії серед клієнтів.

Використання базових веб-технологій (HTML, CSS, JavaScript) забезпечує легкість обслуговування та можливість подальшого розвитку проєкту — від інтеграції бази даних до підключення платіжних систем. Розроблений сайт може бути прикладом для малих і середніх підприємств, які прагнуть розширити свою присутність у мережі без значних фінансових витрат.

У результаті реалізації проєкту було досягнуто основної мети — створення зручного, функціонального та привабливого веб-сайту, який відображає специфіку роботи компанії та відповідає сучасним вимогам до інтерфейсів користувача.

Список використаної літератури

1. Шевченко І. "Основи створення сучасних веб-сайтів із використанням HTML5 та CSS3". — Київ: КНУ, 2023.
2. Duckett J. *HTML & CSS: Design and Build Websites.* — Wiley, 2020.
3. Федоров О. *JavaScript для початківців.* — Львів: ЛНУ, 2022.
4. "Веб-технології для бізнесу". — WEBTOP, [Онлайн]. Доступно: https://web24.pro
5. Mozilla Developer Network (MDN). *Web Docs on HTML, CSS, and JavaScript.* — [Online]. Доступно: https://developer.mozilla.org

НТБОНТУ

УДК 004.432

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ SCHEME ТА PYTHON В ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ

Ковалюк Т.В., Шаповал В.В., Комісаров В.Р. (tetyana.kovalyuk@knu.ua, volodymyr.sh.05@gmail.com, vitya.komissarov11@gmail.com)
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

У дослідженні проаналізована продуктивність мов програмування Scheme та Python на прикладі аналізу швидкості обчислення факторіалу числа. Для об'єктивного порівняння швидкодії застосовано метод усереднення результатів кількох ітерацій, що дозволило мінімізувати вплив випадкових похибок під час вимірювань. Проведені експерименти показали, що обчислення факторіалу мовою Python виконується швидше, ніж мовою Scheme. Отримані результати є основою для подальшого аналізу причин відмінностей у продуктивності між функціональною та імперативною парадигмами програмування.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій питання ефективності алгоритмів та швидкодії програмних засобів набуває особливої актуальності. Зростання обсягів даних та необхідність оптимізації ресурсів зумовлюють потребу в аналізі продуктивності різних мов програмування. Функціональна парадигма програмування, представлена мовою Scheme, та мультипарадигмальний підхід, реалізований у Python, пропонують принципово різні способи організації обчислень. Однак порівняльна продуктивність цих мов при виконанні інтенсивних числових обчислень залишається недостатньо дослідженою. Відсутність систематичного аналізу швидкодії Scheme та Python на задачах з високими вимогами до обчислювальних ресурсів створює прогалину у розумінні їхніх практичних можливостей та обмежень. Це ускладнює прийняття обґрунтованих рішень щодо вибору відповідної мови програмування для конкретних класів обчислювальних задач та унеможливлює об'єктивну оцінку ефективності різних парадигм програмування у контексті числових обчислень.

Мета дослідження полягає у здійсненні порівняльного аналізу продуктивності мов програмування Scheme та Python на прикладі обчислення факторіалу та виявленні особливості їхньої ефективності при виконанні числових обчислень з операціями над довільно-розрядними цілими числами.

Суть досліджень. Обчислення факторіалу є класичною тестовою задачею, що широко використовується для оцінювання алгоритмічної ефективності, оскільки поєднує простоту реалізації з високими вимогами до обчислювальних ресурсів при збільшенні вхідного параметра. Саме тому порівняння швидкості обчислення факторіалу на різних мовах програмування дає змогу зробити об'єктивну оцінку їхніх характеристик продуктивності.

Мова програмування Scheme є одним з основних діалектів родини Lisp, яка характеризується мінімалістичною філософією дизайну. Багато досвідчених програмістів вважають Scheme найелегантнішою мовою програмування з усіх коли-небудь створених. Scheme досягає своєї компактності, надаючи мінімальний набір загальних інструментів, з яких програмісти можуть створювати складніші абстракції за потреби [1].

Python є інтерпретованою високорівневою універсальною мовою з динамічною типізацією [2], яка посідає провідні позиції в сучасних рейтингах популярності мов програмування [3]. Основна реалізація CPython компілює вихідний код у проміжний байткод, який виконується віртуальною машиною, реалізованою мовою C [4]. Python також має вбудовану підтримку довільно-розрядної цілочисельної арифметики, операції якої оптимізовані нативним кодом на C.

Для обох мов було реалізовано алгоритм факторіалу: через хвостову рекурсію на Scheme та ітеративним способом на Python. Для порівняння було обрано однакові вхідні значення n = 1000, 10000, 100000, де n – аргумент, для якого обчислюється факторіал. Вимірювання часу виконання здійснювалися стандартними засобами за допомогою відповідних модулів у кожній мові програмування. Кожен запуск алгоритму для кожного значення n повторювався 20 разів. Результуюче значення визначалося як середнє арифметичне часу цих повторень для мінімізації випадкової похибки вимірювання. Експеримент проводився на одній апаратній платформі з використанням CPython 3.14 та інтерпретатора Racket як реалізації Scheme.

У CPython цикл і багато базових операцій реалізовані на рівні C, що зменшує накладні витрати інтерпретації. Код Python спочатку компілюється у байткод, який ефективніше

виконується віртуальною машиною. Натомість у Scheme-інтерпретаторах, особливо при відсутності JIT-компіляції, кожна ітерація може супроводжуватися більшими витратами, зокрема при викликах функцій та доступі до ідентифікаторів.

Python використовує оптимізовану арифметику довгих цілих чисел. Зокрема, у CPython довгі цілі представлені у вигляді масиву базисних розрядів (digits), що зменшує кількість елементів у внутрішньому представленні та прискорює операції множення. Алгоритми множення великих чисел, наприклад, алгоритми Карацуби та Тоома-Кука [5], вбудовані у реалізацію CPython, що дає конкурентну перевагу. Хоча більшість реалізацій Scheme також підтримують довільно-розрядні цілі числа (bignum), конкретні алгоритми та внутрішнє представлення можуть відрізнятися і часто виявляються менш оптимізованими. Відповідно операції множення, що оперують великими результатами факторіалу, у Python виконуються швидше.

Результати експерименту (табл. 1) продемонстрували суттєву різницю у швидкодії між реалізаціями обчислення факторіалу мовами Scheme та Python. У середньому Python демонстрував вищу продуктивність обчислення, що особливо помітно при зростанні вхідного параметра до великих значень (n = 100000). Це свідчить про ефективніше управління обчислювальними ресурсами та оптимізовану реалізацію операцій з довільно-розрядними числами в CPython.

Таблиця 1 – Час виконання обчислень факторіалу мовами Scheme та Python

Число факторіалу n	Час обчислення факторіалу мовами програмування (секунди)	
	Scheme	Python
1000	0.000777	0.000463
10000	0.080676	0.032718
100000	11.095897	4.107023

Висновки. Результати експерименту свідчать, що CPython демонструє вищу продуктивність при виконанні ітеративних числових обчислень з інтенсивними операціями над великими цілими числами, що зумовлено оптимізованою реалізацією арифметики довгих чисел та ефективною роботою байткод-інтерпретатора. Мова Scheme (як представник функціональної парадигми) може бути рекомендована для задач, де пріоритетними є не абсолютна швидкість числових обчислень, а такі характеристики, як швидкість, прототипування, завдяки мінімалістичній філософії дизайну та компактності, символьні обчислення, формальна верифікація алгоритмів, контексти, де елегантність та простота дизайну є ключовими перевагами.

Python (як мультипарадигмальна мова, зокрема реалізація CPython) є очевидною перевагою для задач, які вимагають високої продуктивності числових обчислень, інтенсивних операцій над великими цілими числами (довільно-розрядними), ефективного управління обчислювальними ресурсами.

Отримані результати відкривають перспективи для поглибленого вивчення продуктивності мов програмування різних парадигм, зокрема розширення спектру тестових задач, **аналіз** обсягу використовуваної оперативної пам'яті при виконанні ідентичних обчислень, аналіз можливостей інтеграції Scheme та Python у гібридних системах, де кожна мова використовується для розв'язання задач відповідно до її сильних сторін.

Вибір мови програмування та парадигми має враховувати не лише продуктивність, а й специфіку предметної області.

Список використаної літератури

[1] *Scheme Documentation.* “What’s the point of Scheme?” [Online]. Available: https://docs.scheme.org/guide/brochure/

[2] WVU-RC, *Python Language,* Mar. 15, 2025. [Online]. Available: https://docs.hpc.wvu.edu/text/502.Python.html

[3] R. Job and A. Hora, “On the Implementation of OS-Specific Tests: The CPython Case,” in *Simpósio Brasileiro de Testes de Software Sistemático e Automatizado (SAST),* Sept. 2025, pp. 46–54. SBC.

[4] К. О. Захарова, “Розробка та дослідження інформаційної технології яскравісного вирівнювання зображень,” *Наукові праці. Комп’ютерні науки та інформаційні технології,* 2022.

[5] Т. Войтович, “Дослідження алгоритмів множення багаторозрядних чисел в криптографії,” *Комп’ютерні науки, інформаційні технології*, no. 58, 2024.

УДК: 004.738.5:72.03(477.74-25)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КУЛЬТУРИ НА АРХІТЕКТУРУ м. ОДЕСИ НА ОСНОВІ СТВОРЕНОГО ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ

Колісніченко В.С. (mrv493408@gmail.com), **Корнієнко Ю.К.** (yurikkorn@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

В роботі розглядається вплив європейської культури на формування архітектурного обличчя міста Одеси через створення спеціалізованого веб-застосунку, який поєднує історико-архітектурний аналіз, геоінформаційні технології та цифрову візуалізацію. Дослідження демонструє, як використання сучасних інформаційних технологій може сприяти осмисленню культурних процесів, популяризації архітектурної спадщини та інтеграції Одеси в європейський культурний простір. Веб-застосунок виконує роль інтерактивного інструменту, що систематизує дані про архітектурні пам’ятки, їхній стиль, авторів та походження, надаючи користувачам можливість вивчати європейські архітектурні впливи в цифровому форматі..

Актуальність теми полягає у необхідності збереження архітектурної ідентичності Одеси, яка історично формувалася під впливом архітекторів з Італії, Франції, Австрії та інших країн Європи. Місто стало унікальним прикладом інтеграції європейських стилів у локальний контекст, поєднавши риси класицизму, бароко, модерну та неоренесансу. У сучасних умовах цифровізації культурної спадщини виникає потреба створення інтерактивних інструментів для дослідження, збереження та популяризації історико-архітектурних даних. Саме тому створення веб-застосунку, який реалізує візуалізацію та аналітичний аналіз архітектурних об’єктів міста, має як наукову, так і практичну цінність.

Метою дослідження є створення інтерактивного веб-застосунку, що дозволяє систематизувати та візуалізувати дані про архітектурні пам’ятки міста Одеси, класифіковані за домінуючими європейськими стилями, і забезпечує аналітичні можливості для дослідників, студентів і громадськості.

Основними завданнями дослідження стали: аналіз історичних джерел та архітектурних об’єктів, визначення ключових європейських впливів, проєктування структури бази даних і користувацького інтерфейсу, а також реалізація системи збору аналітичної інформації через модуль опитування користувачів.

В основі проєкту лежить комплексна методологія, яка поєднує історико-архітектурний аналіз із цифровими засобами дослідження. На першому етапі виконано класифікацію архітектурних об’єктів за їхнім європейським походженням і стилістичними ознаками. Далі результати атрибуції інтегровані в базу даних, що підтримує геоінформаційний пошук. Використання ГІС-технологій дозволило створити інтерактивну карту, на якій користувач може обрати архітектурний стиль, період будівництва чи конкретного архітектора, отримуючи візуальні та текстові відомості про об’єкт.

Архітектура веб-застосунку побудована за тришаровим принципом (клієнт — сервер — база даних), що забезпечує масштабованість, стабільність і гнучкість. Інтерфейс користувача реалізовано з акцентом на простоту навігації, доступність і візуальну виразність. Ключовим елементом є інтерактивна ГІС-карта, яка слугує основним інструментом дослідження. Вона містить фільтри за країнами походження стилю (Італія, Франція, Австрія, Німеччина тощо), архітектурними напрямами та часовими періодами.

Застосунок інтегровано з модулем аналітики, який збирає результати опитувань і формує статистичні звіти. Додатковий модуль опитування дозволяє проводити соціально-аналітичний експеримент — вимірювати рівень обізнаності користувачів про архітектурну спадщину міста та їхнє розуміння європейського впливу. Це поєднання культурологічного дослідження з цифровими технологіями відкриває новий напрям у гуманітарній аналітиці — інтерактивне вивчення

історико-архітектурних процесів, дозволяючи проводити порівняльні дослідження у динаміці, визначати, як змінюється поінформованість населення після взаємодії із системою.

Технологічний стек реалізовано на основі сучасних веб-технологій: HTML5, CSS3 та JavaScript, що забезпечують динамічну і приємну для користувача інтерфейсну частину, тоді як Node.js та Express використовуються для побудови серверної логіки, обробки запитів та забезпечення стабільної взаємодії клієнт-сервер у режимі реального часу. Адаптивний дизайн гарантує коректне відображення веб-додатку у різних браузерах, що робить його доступним для широкого кола користувачів.

Інтерактивні карти реалізовані за допомогою бібліотек Leaflet та OpenLayers, які дозволяють накладати різноманітні шари даних, відображати маршрути архітектурних екскурсій, а також додавати мультимедійний контент: історичні фотографії, відео, тексти та описи окремих об’єктів. Завдяки цим технологіям користувач може вивчати місто у контексті історичного розвитку, бачити вплив європейської культури на архітектуру Одеси та порівнювати різні стилі будівель у різні історичні періоди.

Додаток передбачає інтерактивні фільтри, що дозволяють відсортувати об’єкти за стилем, епохою чи функціональним призначенням. Для підвищення зручності користувача реалізовано можливість збереження власних маршрутів, складання колекцій улюблених об’єктів та отримання детальної інформації про кожен об’єкт у режимі “онлайн”. Серверна частина, побудована на Node.js та Express, забезпечує надійну обробку запитів, асинхронне завантаження даних з бази та швидку взаємодію з клієнтською частиною, що дозволяє додатку залишатися швидким та стабільним навіть при великих обсягах інформації.

Завдяки інтеграції сучасних веб-технологій, картографічних сервісів і мультимедійного контенту, користувач отримує комплексне уявлення про архітектуру Одеси, її історичний розвиток та культурну цінність. Такий підхід не тільки сприяє підвищенню інтересу до міської архітектури, а й формує унікальний освітній та дослідницький інструмент для студентів, туристів, архітекторів та всіх, хто цікавиться історією та культурою Одеси.

Результати дослідження підтверджують ефективність поєднання історико-архітектурного аналізу з веб-технологіями. Вперше створено цифровий каталог архітектурних пам’яток Одеси із класифікацією за європейськими школами та стилями. Інтерактивна карта дозволяє виявити просторову концентрацію певних стилів (наприклад, домінування італійського класицизму у центральній частині міста та віденського модерну у північних кварталах). Результати опитувань користувачів свідчать про підвищення рівня культурної обізнаності після взаємодії із застосунком, що підтверджує його освітню та просвітницьку функцію.

Наукова ж новизна цієї роботи полягає у створенні першої інтерактивної цифрової моделі, що дозволяє одночасно вивчати, візуалізувати та оцінювати вплив європейської культури на архітектуру Одеси. Веб-застосунок виступає не лише інформаційною системою, а й інструментом культурної аналітики, який дає змогу поєднати академічні дослідження з широким суспільним доступом до результатів.

Практичне цінність отриманого результату полягає у можливості використання розробленого веб-застосунку як освітньої платформи у вивченні історії архітектури, як туристичного ресурсу для популяризації культурної спадщини та як управлінського інструменту для органів охорони пам’яток і муніципального планування.

У результаті можна зазначити, що цифровізація архітектурної спадщини через створення інтерактивних веб-застосунків є ефективним шляхом поєднання гуманітарних і технічних наук. Запропонований підхід забезпечує не лише збереження історичних знань, але й формує нові способи взаємодії суспільства з культурним простором. Веб-застосунок довів свою наукову й практичну цінність як інструмент для дослідників, викладачів, туристичних операторів і муніципальних структур, що займаються питаннями охорони культурної спадщини. Подальший розвиток проєкту передбачає розширення бази даних, інтеграцію з міжнародними платформами (Europeana, European Heritage Portal) та створення англомовної версії для залучення іноземних користувачів.

HTEBOHTY

Список використаної літератури

1. *Довідник зі збереження культурної спадщини Одеси* [Електронний ресурс] / EU4Culture. 2024. URL: https://drive.google.com/file/d/1RPw7g9Rta5WYRGgs9INBujDf82kM789Z/view (дата звернення: 21.10.2025).
2. *Культурна спадщина та цифрові технології* [Електронний ресурс] / ReHerit. 2021. URL: https://reherit.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/Bila-knyga-3-Kulturna-spadshhyna-ta-tsyfrovi-tehnologii-.pdf (дата звернення: 21.10.2025).
3. *GIS in Heritage Documentation: Best Practices and Case Studies* [Electronic resource] / European Heritage Project. 2025. *(Примітка: для цього джерела бажано додати URL, якщо воно доступне онлайн, та дату звернення).*
4. *Офіційний сайт ГО «Архітектура Одеси»* [Електронний ресурс]. URL: https://archodessa.com/ (дата звернення: 21.10.2025).
5. *MongoDB Documentation* [Електронний ресурс]. URL: https://www.mongodb.com/docs/manual/core/document/ (дата звернення: 21.10.2025).

УДК 004.4

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗКІВ КОМПОНЕНТІВ У ARCHIMATE-МОДЕЛЯХ

Копп А. М., Лисенко І. О. (Andrii.Kopp@khpi.edu.ua, Ivan.Lysenko@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі розглянуто проблему узгодженості між бізнес- та IT-доменами архітектури підприємства в умовах цифровізації. Запропоновано програмне рішення для аналізу зв'язків компонентів у ArchiMate-моделях, що реалізує алгоритм зчитування XML-файлу, побудови графу, формування матриці відповідності бізнес-процесів програмним компонентам і збереження результатів аналізу. Система побудована на трирівневій клієнт-серверній архітектурі з використанням React.js, ASP.NET Core та PostgreSQL, що забезпечує ефективний аналіз і підтримку прийняття стратегічних рішень.

У сучасних умовах цифровізації ефективне управління бізнес-процесами стає ключовим чинником успіху підприємств, адже воно забезпечує адаптацію до швидких змін ринку та технологічних викликів. Програмні рішення, що аналізують архітектуру підприємства, дозволяють виявляти слабкі місця, оптимізувати процеси, знижувати витрати й підвищувати продуктивність. Завдяки цьому спрощується прийняття стратегічних рішень і зміцнюється конкурентоспроможність організацій.

Об'єкт дослідження – процес аналізу зв'язків компонентів у ArchiMate-моделях архітектури підприємства.

Предмет дослідження – програмне рішення для аналізу зв'язків компонентів у ArchiMate-моделях.

Мета дослідження – підвищення узгодженості між бізнес- та IT-доменами (інформаційні технології) архітектури підприємства у ArchiMate-моделях за допомогою розробленого програмного рішення.

Для досягнення мети, було обрано теорію графів і методи аналізу зв'язків, оскільки вони забезпечують ефективний інструментарій для моделювання та оцінки структури архітектури підприємства. За допомогою графів можна представити елементи системи як вузли, а їх взаємодії – як дуги, що дає змогу формалізувати зв'язки та візуалізувати структуру. Методи аналізу зв'язків, своєю чергою, дають можливість визначати ключові елементи, приховані залежності та рівень взаємодії між бізнес-процесами та програмними компонентами.

На основі цих підходів розроблено алгоритм, основними елементами якого є:

– зчитування XML-файлу (eXtensible Markup Language);
– представлення даних файлу як орієнтовного графу;
– побудова матриці відповідності бізнес-процесів програмним компонентам;

– представити ступінь забезпечення бізнес-процесів програмними компонентами через функцію апроксимації, де якщо ступінь більший за одиницю це свідчить дублювання або надмірність програмних компонентів, а якщо менший то свідчить про недостатню автоматизацію бізнес-процесів;

– збереження результату аналізу у вигляді PDF-файлу.

Для реалізації було обрано трирівневу клієнт серверну архітектуру зображену на рис.1. Трирівнева архітектура – це добре налагоджена архітектура прикладної програми, яка організовує програми в три логічні та фізичні обчислювальні рівні: рівень представлення або інтерфейс користувача; рівень логіки, на якому обробляються дані; і рівень даних, де дані програми зберігаються та керуються ними [1].

У розробці рівня представлення було використано бібліотеку React.js, рівня логіки – ASP.NET Core.Для рівня даних обрано СУБД PostgreSQL, це обумовлено тим, що реляційні бази даних суворо дотримуються властивостей ACID (атомарність, узгодженість, ізоляція, довговічність) а також PostgreSQL має гарну сумісність з ASP.NET, зокрема, через ком'юніті-провайдер Npgsql, який повністю інтегрується з Entity Framework Core.

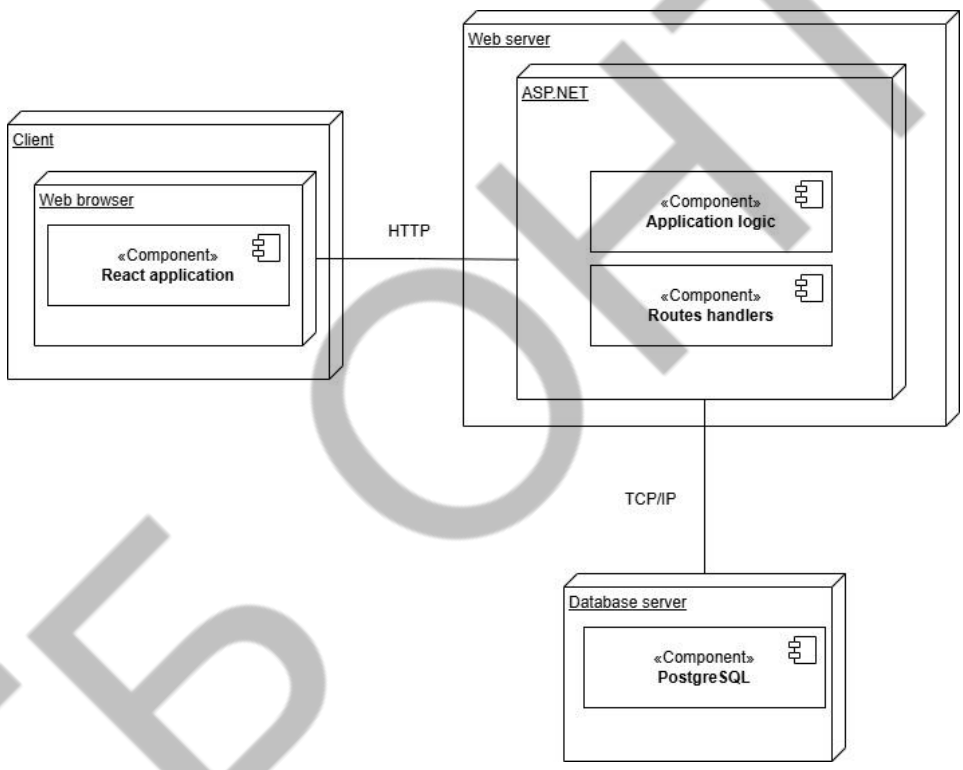


Рисунок 1 – Діаграма розгортання компонентів програмного рішення

Висновок. В роботі розроблено web-застосунок для аналізу зв’язків бізнес-процесів та програмних компонентів у ArchiMate-моделях з трирівневою клієнт-серверною архітектурою. Результатом аналізу є PDF-файл із показником ступеня забезпечення та матрицею відповідності, що дозволяє виявляти невідповідності між бізнес- і програмними компонентами.

Отримані результати сприяють підвищенню узгодженості між бізнес- та IT-доменами, оптимізації архітектури підприємства й підтримці ефективного прийняття управлінських рішень.

Список використаної літератури

[1] “What is three-tier architecture?” IBM, 2024. [Online]. Available: [Онлайн]. https://www.ibm.com/think/topics/three-tier-architecture [Accessed: Oct. 8, 2025].

НТБОНТУ

УДК 004.896:004.93’1:623.4

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Короленко С. О., Любченко Н. Ю., Подорожняк А. О.
(serhii.korolenko@cs.khpi.edu.ua,
nataliia.liubchenko@khpi.edu.ua,
andrii.podorozhniak@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”(Україна)

В тезах розглянуто розробку застосунку для гуманітарного розмінування на основі комп’ютерного зору та глибокого навчання. Запропоновано систему, що використовує модель YOLOv8, Python, OpenCV та PySide6 для автоматичного виявлення мін на відео. Проведене навчання моделі забезпечило точність понад 0,9. Застосунок підвищує ефективність і безпеку розмінування та може бути інтегрований у системи гуманітарних місій.

Сучасна ситуація в Україні внаслідок тривалих бойових дій призвела до масштабного забруднення територій вибухонебезпечними предметами (ВНП), що створює пряму загрозу життю та здоров’ю населення. Гуманітарне розмінування є невід’ємною складовою відновлення постконфліктних регіонів, забезпечення безпеки цивільних осіб та повернення їх до нормального життя. Сучасні виклики гуманітарного розмінування вимагають впровадження інноваційних цифрових рішень для підвищення ефективності та безпеки пошуку вибухонебезпечних предметів. Проте традиційні методи розмінування характеризуються високою небезпекою, значною трудомісткістю та обмеженою швидкістю.

Комп’ютерне бачення та глибоке машинне навчання є перспективними напрямками для автоматизації, зменшення часу і підвищення безпеки роботи саперів. Одним із можливих шляхів вирішення наведеної проблеми є дослідження методів реалізації заявленої мети та розробка програмного застосунку з використанням YOLOv8 [1] для автоматичного виявлення мін на відео [2].

Метою проведеного дослідження є аналіз існуючих технологій гуманітарного розмінування та створення інтелектуального застосунку для автоматизованого пошуку мін за допомогою згорткових нейронних мереж та сучасних інструментів комп’ютерного зору.

Основні завдання дослідження:

– провести огляд та аналіз світових рішень у сфері розмінування CVAT;

– дослідити методи машинного навчання, релевантні до задачі розпізнавання об’єктів;

– реалізувати інтерфейс для роботи з відео та автоматичної розмітки вибухонебезпечних об’єктів із використанням OpenCV [3] і PySide6;

– навчити модель YOLOv8 на реальних даних з вибухонебезпечними об’єктами із відеозаписів [4];

– перевірити ефективність запропонованого підходу (точність, recall, F1-score тощо).

Під час дослідження було проаналізовано проєкти Mine Kafon, рис. 1 [5] та WeRobotics [6], які впроваджують робототехніку й технології штучного інтелекту у сфері розмінування. Вони демонструють ефективність дронів із сенсорами, однак переважно орієнтовані на апаратне забезпечення. Тому запропоноване рішення зосереджується на програмному аспекті, що дає змогу масштабувати технологію незалежно від типу апаратної платформи.

Для визначення із технологіями для розпізнавання та детекції ВНП було проаналізовано три основні види машинного навчання: навчання з вчителем, без вчителя та з підкріпленням, та зроблено висновок, що навчання з вчителем буде найкращим вибором для вирішення задачі з виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів.

Авторами було розроблено програмний застосунок, що має інтуїтивний графічний інтерфейс і реалізує такі функції: завантаження та попередній перегляд відео; вибір моделі YOLOv8 для аналізу; регулювання рівня «впевненості» детекції; збереження результатів з позначенням виявлених мін; перегляд процесу детекції в реальному часі [1, 2, 7].

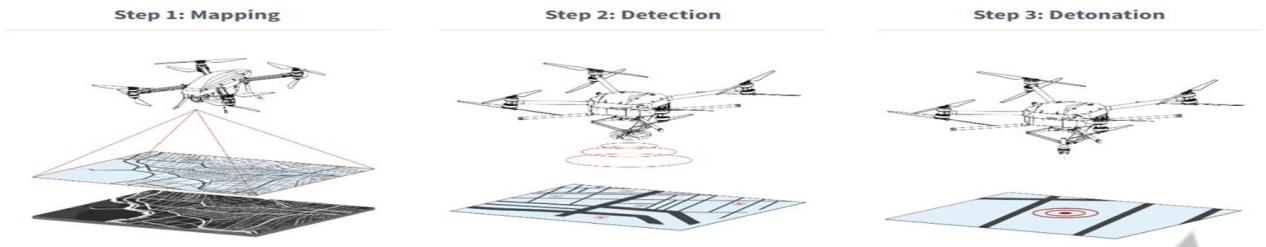


Рисунок 01 – Процес розмінування із застосуванням дронів

Під час реалізації програмного рішення використано наступний стек: Python – основна мова; OpenCV– для обробки відео; Ultralytics YOLOv8 – для навчання та детекції ВНП; PySide6 (Qt Designer) – для створення інтерфейсу користувача.

Процес навчання включав:

1) підготовку набору даних із маркованими зображеннями мін різних типів (MON-50, PMN, TM-62 тощо);

2) попередню обробку: нормалізацію, зміну розміру, розділення на тренувальну й валідаційну вибірки (80/20);

3) навчання YOLOv8n на GPU з оптимізованими гіперпараметрами;

4) валідацію моделі з використанням метрик precision, recall, mAP і F1-score.

Для побудови системи був сформований набір даних із відеозаписами різних видів мін (MON-50, PMN, TM-62 тощо) з їхньою розміткою у форматі YOLO. Розмітка виконувалась за допомогою CVAT [4] та інших анотаційних інструментів. Модель YOLOv8 інтегровано у власний застосунок із графічним інтерфейсом (PySide6), що дає змогу швидко завантажувати відео, знаходити об'єкти, зберігати результати та створювати звіти.

Під час тестування розробленого застосунку для гуманітарного розмінування на основі комп'ютерного зору було отримано результати, що засвідчили високу ефективність моделі: F1-score [7] понад 0.9 для ключових класів мін, точність (precision) на рівні 0.91, повнота (recall) – більше 0.9 [8], середня точність mAP50 – понад 0,91, рис. 2.

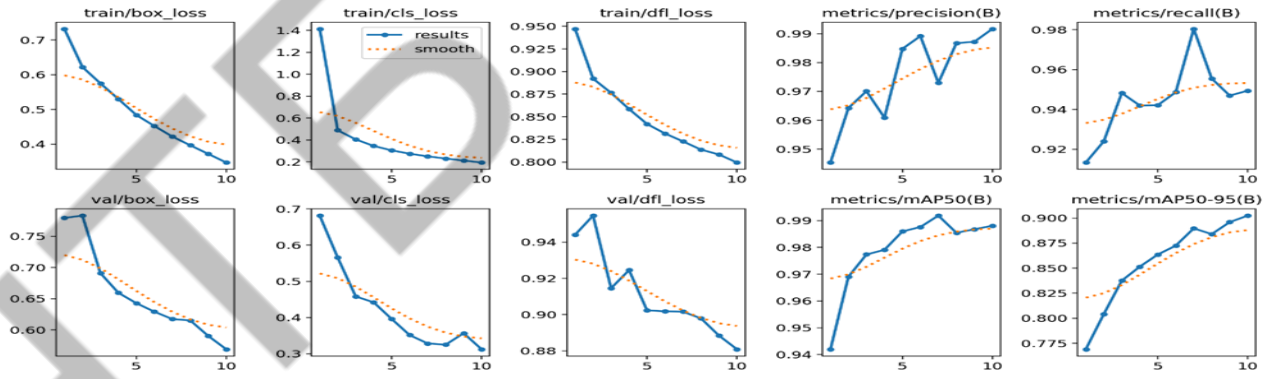


Рисунок 02 – Метрики якості моделі під час навчання

Це свідчить, що система здатна правильно ідентифікувати більшість мін навіть за часткового перекриття, або варіацій фону, рис. 3.

Застосунок тестувався як для роботи у реальному часі, так і з архівними відео, що значно розширює сферу його використання.

Розроблений застосунок може бути використаний: у підрозділах державної служби з надзвичайних ситуацій, інженерних військах, гуманітарних місіях; як навчальний інструмент для підготовки операторів безпілотних літальних апаратів з розмінування; як програмна основа для подальшої інтеграції в автономні системи розмінування.

Рисунок 03 – Ідентифікація міни при значному перекритті зображення

Переваги розробки: безпечність – виключає потребу фізичного контакту оператора з ВНП; ефективність – аналізує відеопотік у реальному часі; гнучкість – може адаптуватися до різних моделей дронів або камер; доступність – програмне рішення не потребує дорогого обладнання.

Наукова новизна полягає у створенні інтегрованої системи, яка поєднує: алгоритми глибокого навчання YOLOv8; обробку відео в реальному часі засобами OpenCV; інтуїтивний інтерфейс користувача для оперативного аналізу даних.

В результаті проведення дослідження було: проведено глибокий аналіз існуючих методів гуманітарного розмінування та визначено їхні обмеження; визначено, що технології глибокого навчання значно підвищують ефективність розпізнавання мін на зображеннях; реалізовано програмний застосунок із використанням Python, YOLOv8, OpenCV та PySide6; проведене навчання моделі показало високу точність класифікації (mAP > 0.9); система пройшла тестування на реальних даних і підтвердила працездатність у польових умовах.

Розробка демонструє значний потенціал для впровадження в гуманітарних місіях і може бути основою для створення національної системи моніторингу та очищення територій.

Подальший розвиток передбачає: удосконалення алгоритмів сегментації об’єктів; розширення набору навчальних даних; інтеграцію геолокаційних сервісів для створення карт мінних полів; розробку мобільної версії системи для оперативного використання у польових умовах.

Список літературних джерел

4. Levchenko, D., Podorozhniak, A., Liubchenko, N. (2025). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. Navigation and Communication Systems, 3 (81), pp. 117 – 121. DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.3.117.

5. Podorozhniak, A., Liubchenko, N., Skorlupin O., Korolenko S., Stas, A. (2025) Mobile explosive object detection system for humanitarian demining needs. 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology, KhPIWeek 20245. Kharkiv, Ukraine, 2025, pp. 1-6.

6. Homepage. OpenCV. [Online]. Available: https://opencv.org [Accessed: October 03, 2025].

7. Mishchuk, V., Podorozhniak, A. (2024) Analysis of Trade-Offs Between Accuracy and Speed of Real-Time Object Detectors for the Tasks of Explosive Ordnance Detection. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology, KhPIWeek 2024. Kharkiv, Ukraine, 2024, pp. 1-5. doi: https://doi.org/10.1109/KHPIWEEK61434.2024.10878035.

8. Homepage. Mine Kafon. [Online]. Available: https://minekafon.org [Accessed: October 03, 2025].

9. The Power of Local. WeRobotics. [Online]. Available: https://werobotics.org [Accessed: October 03, 2025].

10. Skorlupin, O., Podorozhniak, A. (2025) Optical methods for detecting explosive objects using autonomous unmanned systems. Проблеми інформатизації: тези доп. 12-ї міжнар. наук.-техн. конф., 21-22 листопада 2024 р., м. Баку, м. Харків, м. Бельсько-Бяла: [у 3 т. Т. 2]. – Харків: Impress, 2024. – С. 132. [Online]. Available: https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/87663 [Accessed: October 03, 2025].

УДК 004.55

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ.

Короткіх В. М. (viktor.m.korotkikh@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

В тезах проведено порівняльний аналіз найпоширеніших систем автоматизованого проектування на предмет взаємодії з сучасними веб технологіями. Запропоновано критерії для оцінки придатності систем автоматизованого проектування для роботи в глобальній мережі. Окреслено сучасний стан та тенденції розвитку веб-технологій у системах автоматизованого проектування.

Вступ. Розвиток веб-технологій суттєво вплинув на еволюцію систем автоматизованого проектування (САПР), відкривши нові можливості для віддаленої роботи, хмарних обчислень і колективної взаємодії. Традиційні настільні САПР поступово доповнюються або замінюються веб-орієнтованими рішеннями, що забезпечують гнучкий доступ до інструментів проектування через інтернет-браузер.

Порівняння традиційних і веб-орієнтованих систем. Класичні САПР, такі як AutoCAD, SolidWorks чи CATIA, орієнтовані на потужні локальні ресурси користувача і встановлюються безпосередньо на комп'ютер. Веб-САПР (наприклад, Onshape, Autodesk Fusion 360, FreeCAD Web) працюють у браузері, що усуває необхідність інсталяції програмного забезпечення та спрощує доступ до проєктів із будь-якого пристрою.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця найпопулярніших САПР (2025)

САПР	Тип	Галузь застосування	Переваги	Обмеження
AutoCAD	2D/3D CAD	Архітектура, будівництво, механіка	Широке використання, велика кількість ресурсів, підтримка DWG/DXF	Висока вартість, потребує потужного обладнання
SolidWorks	3D CAD	Машинобудування, промисловий дизайн	Параметричне моделювання, інтеграція з PDM, багатий функціонал	Висока ціна, потребує потужного обладнання
Autodesk Inventor	3D CAD	Машинобудування, механіка	Підтримка параметричного моделювання, інтеграція з Fusion 360	Висока ціна, потребує потужного обладнання
CATIA (Dassault Systèmes)	3D CAD	Авіація, автомобільна промисловість	Професійні модулі для складних конструкцій, Surface Modeling, Digital Twin	Висока ціна, складний інтерфейс
Autodesk Fusion 360	Хмарний CAD	Машинобудування, стартапи	Інтеграція CAD, CAM, CAE, рендеринг, спільна робота	Залежність від інтернет, обмежені функції порівнянно з локальними САПР
FreeCAD	Open-source 3D CAD	Освіта, хобі, інженерія	Безкоштовне, відкритий код, підтримка плагінів	Обмежена документація, менш інтуїтивно зрозумілий інтерфейс
SketchUp	3D CAD	Архітектура, дизайн інтер'єрів	Легкий у використанні, велика бібліотека моделей	Обмежені функції у порівнянні з професійними САПР

З архітектурної точки зору, десктопні системи мають монолітну структуру з локальним зберіганням даних, тоді як веб-САПР базуються на клієнт-серверній або мікросервісній архітектурі. Обчислення в них переважно виконуються на сервері або у хмарному середовищі, що дозволяє масштабувати ресурси залежно від складності завдань.

Функціональні можливості. Сучасні веб-САПР уже наблизилися за функціоналом до традиційних систем. У браузері реалізовано 2D- і 3D-моделювання, параметричне проектування, рендеринг, візуалізацію, а також керування версіями файлів. Однією з ключових переваг є можливість одночасної колективної роботи кількох користувачів над спільним проектом у режимі реального часу.

До основних переваг веб-технологій у САПР належать: доступність із будь-якого пристрою та місця; мінімальні вимоги до апаратного забезпечення; спрощене оновлення й технічне обслуговування; легка інтеграція з корпоративними базами даних. Однак існують і певні обмеження: залежність від якості інтернет-з'єднання, ризики втрати конфіденційності даних, труднощі з обробленням великих моделей у браузері, а також складність реалізації офлайн-режиму.

Порівняння ефективності. За показниками продуктивності класичні САПР поки що переважають у складних розрахункових завданнях, моделюванні великих збірок і рендерингу. Проте веб-САПР швидко компенсують ці недоліки завдяки хмарним обчисленням, GPU-віртуалізації та оптимізації роботи з WebAssembly і WebGPU.

Тенденції розвитку. Перспективними напрямами розвитку веб-технологій у САПР є впровадження семантичного аналізу проєктних даних, штучного інтелекту, генеративного проєктування, а також інтеграція з великими мовними моделями (LLM) для автоматизації створення, пошуку та аналізу креслень.

Висновки. Порівняльний аналіз показує, що веб-технології стають рівноцінною альтернативою традиційним підходам у сфері автоматизованого проєктування. Вони відкривають шлях до глобальної співпраці, адаптивних хмарних рішень і семантичної інтеграції інженерних процесів у єдиному цифровому середовищі.

Список використаної літератури:

[1] Lupinetti, K., Cabiddu, D., Giannini, F. et al. A Web-Based Solution Supporting CAD Assembly Model Exploration and Analysis. SN COMPUT. SCI. 3, 19 (2022).

[2] Sun, Y., Liu, K., Li, Y. i Zhang, D. (2022). Towards an Open-Source Industry CAD: A Review of System Development Methods. Tehnički vjesnik, 29 (6), 2127-213

[3] Q. Yonghong, O. H. Hassan, S. Z. Abidin and A. B. M. Hashim, "Computer Artificial Intelligence Technology in CAD Industrial Drafting and Design Platform System: A Review," 2023 IEEE 3rd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA), Dalian, China, 2023, pp. 1140-1145

УДК 004.588

РОЗРОБЛЕННЯ ДОДАТКУ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ПУБЛІКАЦІЇ ВЛАСНИХ РЕЦЕПТІВ RECEPTICO

Кривенко В.А., Антоненко С.В. (vlad.krivenko00@gmail.com, szemlyanaya@gmail.com)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

Анотація. Робота присвячена розробленню мобільного додатку «Receptico», який дозволяє користувачам зручно зберігати власні рецепти, формувати списки покупок та планувати приготування страв. Виконується аналіз використаних технологій та огляд реалізованого програмного продукту.

Ключові слова: *мобільний додаток, Flutter, Firebase, Bloc, рецепти, кулінарний помічник.*

Summary. The article is devoted to the development of the «Receptico» mobile application, which allows users to conveniently save their own recipes, create shopping lists, and plan meal preparation. An analysis of the technologies used and a review of the implemented software product are performed.

Keywords: *mobile app, Flutter, Firebase, Bloc, recipes, culinary assistant.*

НТБ ОНТУ

У сучасному цифровому середовищі мобільні додатки стають ключовими інструментами для організації повсякденного життя. Особливо актуальними є програми, що допомагають користувачам планувати харчування та вести власні кулінарні записи. Мобільний додаток «Receptico» розроблений для користувачів, які хочуть зберігати рецепти, ділитися ними та планувати приготування страв, забезпечуючи зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Концепція. Основною метою додатку є створення персонального кулінарного помічника, що поєднує функції обліку рецептів, формування списків покупок та синхронізації з хмарним сервером для підтримки актуальності даних. Додаток реалізує сучасні підходи до UX/UI, кешування зображень та оптимізації продуктивності мобільних пристроїв.

Постановка завдання. Основним завданням проєкту було створити мобільний додаток, який надає такі функції:

- реєстрація та авторизація користувача;
- додавання, редагування та видалення рецептів;
- створення та керування списками покупок;
- пошук та сортування рецептів за категоріями;
- синхронізація даних з сервером;
- перемикання між світлою та темною темою інтерфейсу;
- збереження даних локально для офлайн-доступу.

Опис технологій. Для розробки застосунку використано Flutter — кросплатформовий фреймворк, що дозволяє створювати додатки для iOS та Android з єдиною кодовою базою на мові Dart.

Hive застосовано для локального зберігання даних користувачів, таких як списки покупок та кешовані рецепти, забезпечуючи швидкий доступ без підключення до мережі.

Firebase Cloud Firestore використовується як хмарна база даних для зберігання рецептів, користувацьких профілів та списків товарів. Реалізована синхронізація дозволяє підтримувати актуальні дані на різних пристроях.

Bloc (Business Logic Component) забезпечує чітке розділення логіки станів і інтерфейсу користувача, спрощуючи тестування та масштабування додатку.

AutoRoute використано для автоматизації навігації між екранами, що покращує структуру додатку та підтримку великого проєкту.

Висновки. Мобільний додаток «Receptico» демонструє ефективність застосування сучасних технологій Flutter та Firebase для створення функціонального кулінарного помічника. Основні досягнення та висновки:

1. Інтерактивність та зручність користування. Додаток дозволяє користувачам легко додавати рецепти, формувати списки покупок і планувати приготування страв.

2. Оптимізація продуктивності. Використання кешування та lazy loading забезпечує швидку роботу програми навіть з великим обсягом даних.

3. Масштабованість та гнучкість. Використання Bloc та AutoRoute спрощує масштабування додатку та розширення його функціоналу.

4. Освітній потенціал. «Receptico» може бути використаний як інструмент для розвитку кулінарних навичок та планування раціонального харчування.

Таким чином, розробка мобільного додатку «Receptico» підтвердила практичну цінність сучасних технологій у сфері мобільної розробки та покращення користувацького досвіду при роботі з кулінарними даними.

Список використаної літератури

1. Flutter. URL: https://flutter.dev
2. Firebase. URL: https://firebase.google.com
3. Hive. URL: https://docs.hivedb.dev

НТБОНТУ

УДК 004.942

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ «ОСТАННЬОЮ МИЛЕЮ» ДОСТАВКИ

Кузін Ю.В. Лифар В.О. (yuri-vladim@ukr.net, lifar@snu.edu.ua**)**
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (Україна)

У тезах розглянуто концепцію створення інформаційної технології підтримки рішень (Decision Support System, DSS) для управління «останньою милею» доставки в умовах цифрової трансформації логістики. Обґрунтовано потребу у використанні інтелектуальних моделей прогнозування попиту та оптимізації маршрутів, спрямованих на підвищення ефективності та екологічності міських доставок.

Сучасна логістика знаходиться на етапі глибокої цифрової трансформації, зумовленої швидким розвитком електронної комерції, глобалізацією ринків і впровадженням технологій штучного інтелекту. Найбільш складним і витратним етапом логістичного процесу залишається так звана «остання миля» – фінальна частина доставки товару або послуги безпосередньо до кінцевого споживача. За аналітичними оцінками, витрати на «останню милю» становлять понад 50 % загальної вартості логістичного ланцюга [1]. Цей сегмент характеризується високою невизначеністю, фрагментованістю потоків, значним впливом зовнішніх чинників (трафік, погодні умови, часові обмеження, поведінкові особливості клієнтів) і низьким рівнем інформаційної інтеграції. Саме тому виникає необхідність у створенні гнучких, самонавчальних систем підтримки рішень (Decision Support Systems – DSS), які здатні поєднувати аналітику, прогнозування та оптимізацію для управління логістичними процесами в динамічному середовищі [2].

Проблема управління «останньою милею» має стратегічний характер, оскільки поєднує економічні, технологічні, соціальні та екологічні аспекти міського життя. Вона безпосередньо впливає на ефективність функціонування транспортної інфраструктури, рівень екологічного навантаження та якість обслуговування населення. Традиційні методи планування маршрутів, засновані на статичних алгоритмах, не враховують стохастичність попиту й коливання обсягів доставок у часі. Вони не дозволяють реагувати на швидкі зміни зовнішніх умов і не забезпечують адаптивності системи. Отже, актуальним завданням стає розробка інтегрованої інформаційної технології підтримки рішень для управління процесами «останньої милі», що поєднує обчислювальний інтелект, аналітику великих даних і алгоритми оптимізації.

Метою дослідження є створення концептуальної моделі інформаційної технології підтримки рішень, яка забезпечує багаторівневий аналіз, прогнозування попиту та оптимізацію маршрутів доставки у міських логістичних системах. Для досягнення цієї мети визначено такі завдання: виявити недоліки існуючих моделей управління «останньою милею»; побудувати архітектуру DSS з аналітичним, прогностичним і оптимізаційним модулями; сформувати алгоритмічну основу для прогнозування попиту та розміщення мікрохабів; розробити модель оптимізації маршрутів у режимі реального часу; провести теоретичне моделювання процесів доставки та оцінити очікувану ефективність запропонованої системи.

Основою розробленої технології є концепція Last-Mile-as-a-Service (LMaaS), що розглядає процес доставки як сервісну функцію в єдиному цифровому просторі. У межах цієї парадигми система підтримки рішень виконує роль інтеграційного ядра, яке поєднує потоки даних із транспортних засобів, сенсорних систем, користувацьких додатків і зовнішніх баз даних. LMaaS дозволяє децентралізовано координувати учасників логістичної мережі та забезпечує динамічне перепланування маршрутів у залежності від поточної ситуації. Таким чином, інформаційна технологія не лише виконує обчислювальні функції, а й формує інтелектуальну основу для прийняття управлінських рішень.

Розроблена архітектура DSS складається з трьох функціональних рівнів. Перший – аналітичний – виконує обробку та нормалізацію даних, отриманих із сенсорних систем, GPS-модулів і транспортних трекерів. Другий – прогностичний – використовує методи машинного навчання для формування короткострокових і середньострокових прогнозів попиту. Найбільш ефективними виявилися моделі градієнтного бустування (XGBoost) і рекурентні нейронні мережі типу LSTM, що продемонстрували високу точність прогнозування сезонних коливань у системах

телемедичної та комерційної доставки. Третій рівень – оптимізаційний – базується на гібридному поєднанні генетичних алгоритмів і табу-пошуку, що забезпечує мінімізацію часу й енергоспоживання при багатокритеріальній маршрутизації транспортних засобів.

Особливу роль у побудові DSS відіграє підсистема вибору розташування мікрохабів доставки – проміжних точок консолидації, що дозволяють скоротити загальну довжину маршрутів і розвантажити центральні склади. Для визначення оптимальних позицій таких хабів використано метод багатокритеріальної оцінки, який враховує транспортну доступність, інтенсивність попиту, рівень урбанізації та просторові обмеження [3]. У результаті моделювання було показано, що оптимізація розташування мікрохабів забезпечує скорочення середньої довжини маршруту на 15–18 % і зниження середнього часу обслуговування на 10–12 %.

Ключовим елементом інформаційної технології є модуль прогнозування часу виконання замовлення, який інтегрує дані з транспортних сенсорів, систем управління замовленнями та клієнтських платформ. Цей модуль використовує стохастичні моделі для визначення ймовірності відхилень у доставці, що дозволяє автоматично коригувати графіки та перерозподіляти ресурси між транспортними одиницями [5]. Такий підхід формує передумови для створення адаптивних систем планування, здатних до самокорекції при зміні зовнішніх параметрів.

Для перевірки ефективності розробленої концепції проведено сценарне теоретичне моделювання функціонування інформаційної технології на основі синтетичних даних, які відтворюють типову структуру міської логістичної мережі. Використано вхідні параметри, що відповідають умовам середнього європейського мегаполіса: густота населення – 4500 осіб/км², середній обсяг замовлень – 400 на добу, середня довжина маршруту – 10 км. Результати показали, що застосування DSS у моделюванні забезпечує скорочення часу доставки на 16–18 %, зменшення витрат енергоносіїв на 11–12 % та підвищення точності прогнозів попиту до 93 %. Отримані результати узгоджуються з висновками міжнародних досліджень [1]–[5] і підтверджують ефективність інтегрованого підходу.

Важливою перевагою запропонованої технології є її екологічна ефективність. Оптимізація маршрутів і зменшення порожніх пробігів сприяють зниженню викидів CO_2 до 9–10 % у перерахунку на один цикл доставки. Це відповідає принципам сталої урбаністики та сучасним європейським стратегіям «розумної логістики» [4]. Таким чином, DSS може розглядатися як частина екологічно орієнтованої транспортної інфраструктури майбутнього.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні цілісної архітектури інформаційної технології, яка поєднує машинне навчання, аналітику великих даних та евристичні алгоритми оптимізації. Система має модульну структуру, що забезпечує її масштабованість і можливість адаптації до різних галузей застосування – від електронної комерції до медичних і муніципальних доставок. Розроблена технологія дозволяє формувати динамічні управлінські рішення на основі контекстного аналізу даних у режимі реального часу, що робить її релевантною до концепції інтелектуальних міст (Smart City).

Отримані результати свідчать, що використання інформаційних технологій підтримки рішень у логістиці «останньої милі» підвищує адаптивність системи, зменшує вплив людського фактора та сприяє переходу до безпаперових цифрових процесів. Запропонована модель є універсальною платформою для інтеграції алгоритмів прогнозування, аналітики та управління потоками в єдиному інформаційному середовищі. Подальший розвиток дослідження пов’язаний із впровадженням механізмів енергомоніторингу для електромобілів, підключенням безпілотних транспортних засобів і використанням систем штучного інтелекту для децентралізованого прийняття рішень у логістичних мережах.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія підтримки рішень для управління «останньою милею» доставки забезпечує концептуальну основу для побудови інтелектуальних логістичних екосистем нового покоління. Її реалізація дозволяє інтегрувати цифрові технології, аналітику даних та оптимізаційні методи у цілісну систему управління, що відповідає вимогам сучасної економіки, сприяє сталому розвитку міст і підвищенню ефективності транспортних процесів.

Список використаної літератури

[1] D. Correia, L. Teixeira, and J. L. Marques, “Last-mile-as-a-service (LMaaS): An innovative concept for the disruption of the supply chain,” *Sustainable Cities and Society,* vol. 75, p. 103310, 2021.

[2] L. F. T. Gallego, A. A. P. Pascua, P. K. C. Espiritu, C. L. Fortaleza, A. A. Hernandez, and J. A. P. Lalata, “Prediction of greener last-mile delivery adoption intention in telemedicine supply chain: A machine learning approach,” in *Proc. 2025 Seventh Int. Symp. on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, IEEE, 2025, pp. 1–6.

[3] M. Novotná, L. Švadlenka, S. Jovčić, and V. Simić, “Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery,” *PLOS ONE*, vol. 17, no. 7, e0270926, 2022.

[4] A. S. Shuaibu, A. S. Mahmoud, and T. R. Sheltami, “A review of last-mile delivery optimization: Strategies, technologies, drone integration, and future trends,” *Drones*, vol. 9, no. 3, p. 158, 2025.

[5] A. Pegado-Bardayo, A. Lorenzo-Espejo, J. Muñuzuri, and P. Aparicio-Ruiz, “A data-driven decision support system for service completion prediction in last mile logistics,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 176, p. 103817, 2023.

УДК 004.415.2:004.89

МОДЕЛІ СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Купцов Д.В.
(dmitry.v.kuptsov@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто проблему підвищення спостережуваності складних програмних комплексів у динамічному середовищі мікросервісних архітектур. Запропоновано узагальнену модель, яка описує систему у вигляді трійки телеметричних сигналів metrics–logs–traces та дозволяє кількісно оцінювати рівень спостережуваності за допомогою інтегрального показника. Модель враховує кореляційні зв’язки між параметрами, часові залежності та контекст подій. Для виявлення аномалій застосовано метод динамічного вікна ковзного середнього (SMA) у поєднанні з кластеризацією K-means, що забезпечує скорочення часу діагностики інцидентів на 30% порівняно з традиційними моніторинговими системами. Розроблений підхід сумісний із сучасним стеком Observability 2.0 (Prometheus, Grafana, Jaeger, Loki) і може бути інтегрований у хмарні або корпоративні середовища для підвищення прозорості, стабільності та керованості програмних комплексів.

Постановка проблеми. Сучасні програмні комплекси функціонують у високодинамічному середовищі, де архітектури на основі мікросервісів, контейнеризації та хмарної оркестрації створюють складні залежності між компонентами. У таких умовах традиційні підходи до моніторингу систем виявляються недостатніми, оскільки вони не забезпечують повного уявлення про внутрішні стани системи, взаємодії між сервісами та причини відмов.

Проблема спостережуваності (observability) полягає у здатності системи забезпечувати аналітичну видимість свого стану на основі телеметричних даних — логів, метрик і трас. Проте більшість існуючих моделей не враховують контекстну взаємодію подій, причинно-наслідкові зв’язки між компонентами та адаптивність метрик до змін середовища. Це ускладнює своєчасне виявлення аномалій, локалізацію несправностей і прогнозування деградації продуктивності в реальному часі.

Таким чином, актуальним є завдання розроблення моделей спостережуваності програмних комплексів, які б інтегрували аналітичні методи обробки потокових даних, виявлення кореляцій між подіями та побудову причинно-орієнтованих графів для підвищення прозорості та керованості складних систем.

Метою роботи є побудова узагальненої моделі спостережуваності програмних комплексів, що дозволяє формалізувати взаємозв’язок між телеметричними параметрами, архітектурними подіями та характеристиками продуктивності системи.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати існуючі підходи до спостережуваності програмних систем (metrics–logs–traces) і визначити їх обмеження в умовах динамічних архітектур.
2. Визначити ключові телеметричні параметри, що характеризують стан програмного комплексу, та встановити взаємозв’язок між ними.

3. Розробити узагальнену модель спостережуваності, яка поєднує структурні, часові та причинно-наслідкові залежності між подіями.
4. Побудувати схему збору, агрегування та кореляції даних у багаторівневій системі моніторингу.
5. Провести експериментальне моделювання ефективності запропонованої моделі на прикладі мікросервісної інфраструктури з імітацією аномальних подій.

Суть дослідження. Розроблення моделей спостережуваності програмних комплексів передбачає побудову формалізованої структури взаємозв'язків між телеметричними параметрами системи, подіями журналів та трасами виконання. У межах дослідження спостережуваність розглядається як багатовимірний простір станів системи, який можна описати у вигляді трійки:

$$O = \langle M, L, T \rangle,$$

де $M -$ множина метрик (час відгуку, використання ресурсів, пропускна здатність);
$L -$ множина логів подій (інформаційні, попереджувальні, критичні);
$T -$ множина трас виконання запитів або процесів.

Для оцінювання рівня спостережуваності вводиться інтегральний показник:

$$O_{eff} = \omega_1 \cdot C_m + \omega_2 \cdot C_l + \omega_3 \cdot C_t,$$

де $C_m,\ C_l,\ C_t -$ коефіцієнти повноти збору даних для кожного типу сигналів;
ω_i — вагові коефіцієнти залежно від пріоритетів системи.

Таблиця 1.Основні параметри моделі спостережуваності

Позначення	**Параметр**	**Опис**	**Одиниця вимірювання**
t_{respt}	Середній час відгуку сервісу	Відображає затримку обробки запитів	мс
r_{err}	Частка помилок виконання	Характеризує стабільність компонентів	%
u_{cpu}	Завантаження процесора	Визначає інтенсивність обчислень	%
v_{log}	Обсяг логів подій	Відображає інформаційну насиченість спостереження	под./с
c_{corr}	Коефіцієнт кореляції між метриками	Показує узгодженість телеметричних сигналів	відн. од.

Висновки. У результаті дослідження було запропоновано модель, що дозволяє виявляти аномалії на основі відхилення параметрів від контрольного профілю системи. Для цього застосовується метод динамічного вікна ковзного середнього (SMA) у поєднанні з кластеризацією K-means, що дозволяє виділяти групи подібних станів системи.

Результати імітаційного моделювання показали, що впровадження кореляційного аналізу телеметрії скорочує середній час виявлення інцидентів на 28–35% у порівнянні зі звичайними системами моніторингу.

Модель може бути інтегрована у стек Observability 2.0, що включає системи Prometheus, Grafana, Jaeger, Loki, та забезпечує побудову єдиної аналітичної панелі для діагностики й прогнозування стану складних програмних комплексів.

Список використаної літератури

[1] Majors C., Brown L., Davis G. *Observability Engineering: Achieving Production Excellence*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022. 320 p. URL: https://www.oreilly.com/library/view/observability-engineering/9781492076438/

[2] OpenTelemetry Project. *OpenTelemetry Specification (v1.x).* Cloud Native Computing Foundation, 2024. URL: https://opentelemetry.io/docs/specs/

[3] Sigelman B., Barroso L., Burrows M., Stephenson P., Plakal M., Beaver D., Jaspan S., Shanbhag C. Dapper, a Large-Scale Distributed Systems Tracing Infrastructure. *Google Research Publication,* 2010. URL: https://research.google/pubs/pub36356/

[4] Поперешняк С. В., Панченко С. В., Федорченко О. Д., Ільїн С. А. Особливості обробки та збереження даних за допомогою віртуальної файлової системи. *Проблеми програмування*. 2024. № 2–3. С. 334–342. DOI: https://doi.org/10.15407/pp2024.02-03.334

УДК 004.738.5:004.896.2

СУЧАСНІ ВЕБТЕХНОЛОГІЇ ТА МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КООРДИНАЦІЇ ВОЛОНТЕРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Лежненко В. С., Копп А. М. (Violetta.Lezhnenko@cs.khpi.edu.ua, Andrii.Kopp@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У попередніх дослідженнях автором розглядалися питання створення вебсистеми для управління волонтерськими ресурсами та взаємодії з благодійними організаціями. У даній роботі продовжено розвиток цієї тематики, зокрема проаналізовано додаткові інструменти та технологічні рішення, які здатні підвищити ефективність уже створеної системи. Дослідження призначено покращенню роботи волонтерів та волонтерських об'єднань, шляхом розробки цілісної інтелектуальної вебсистеми. Дана вебсистема складається з комплексу методів, підходів та алгоритмів, що дозволяє швидко та безпечно скоординувати групи волонтерів для виконання поставлених завдань, в умові недостачі фінансових, фізичних чи матеріальних ресурсів. Модернізація цієї системи дозволить створити гнучку, масштабовану та інтелектуальну систему, спрямовану на підвищення ефективності волонтерської діяльності, зміцнення комунікації між благодійними організаціями та громадянами, а також розвиток цифрової інфраструктури соціальної взаємодії в Україні.

Актуальність. Актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні єдиного цифрового простору для ефективної організації волонтерської діяльності в Україні. Попри значну кількість активних волонтерів, наразі відсутня цілісна система, яка б забезпечувала зручну координацію, управління ресурсами та налагодження комунікації між учасниками благодійного процесу. Існуючі аналоги здебільшого

зосереджені на фінансовій підтримці, залишаючи поза увагою потенціал осіб, готових долучатися до допомоги у матеріальній або фізичній формі. В умовах воєнних дій волонтерський рух став невід'ємною складовою суспільного життя, оскільки сприяє задоволенню нагальних потреб населення — від забезпечення житлом і харчуванням до логістичної та психологічної підтримки. Саме тому розроблення сучасних вебінструментів для оптимізації координації волонтерських ініціатив є не лише актуальним науковим завданням, а й важливим соціальним внеском у зміцнення національної стійкості.

Постановка задачі. Сучасний розвиток волонтерського руху в Україні супроводжується зростанням кількості учасників, напрямів діяльності та обсягів даних, що потребує створення технологічних рішень для ефективної координації, комунікації та управління ресурсами. Враховуючи це, виникає необхідність у вдосконаленні вже створеної вебсистеми для управління волонтерськими ресурсами та взаємодії з благодійними організаціями [1] шляхом інтеграції нових функціональних модулів та сучасних технологічних підходів.

Основним завданням є створення багатокомпонентного рішення, що включає додавання до вебзастосунку ще й мобільний застосунок, що дозволить користувачам пришвидшити етапи реєстрації, авторизації у систему, а також забезпечить пришвидшення відгуку волонтерів на завдання, адже мобільний застосунок завжди під рукою, без необхідності входу до браузеру.

Додатково передбачається впровадження елементів машинного навчання для інтелектуального аналізу даних волонтерської активності, автоматичної класифікації запитів, рекомендаційного підбору волонтерів до відповідних завдань, а також системи автоматичної модерації контенту, що забезпечить безпечне та етичне інформаційне середовище всередині платформи.

Вибір програмних засобів, методів та алгоритмів. Стартап проект цієї вебсистеми виконано з використанням фреймворку Vue.js, мовами програмування JavaScript (для клієнтської частини) та PHP (серверної частини), базу даних організовано за допомогою MySQL. Наразі, через

те, що проект стає дедалі більшим, функцій та сторінок вебзастосунку забагано, то для пришвидшення роботи системи є необхідність у оновлені та переогляді вибору такого набору програмних засобів. Найважливішим є зміна фреймворку. Серед кандидатів виділено React.js та Angular. Так як другий більш підходить для односторінкових сайтів, то його кандидатури відкидаємо. Тож змінюємо фреймворк на React.js, адже React.js забезпечує вищу продуктивність при роботі з великими динамічними інтерфейсами, має ефективну систему віртуального DOM, що зменшує кількість прямих змін у структурі сторінки та прискорює відображення даних. Крім того, React має розвинену екосистему бібліотек і компонентів, що дає змогу легше масштабувати проєкт, спрощує повторне використання коду та покращує підтримку застосунку в довгостроковій перспективі [2-3].

Щодо створення мобільного застосунку, було розглянуто кілька можливих варіантів реалізації. Серед них – нативна розробка для платформ Android (Kotlin) та iOS (Swift), а також використання кросплатформових фреймворків, зокрема Flutter та React Native. Після аналізу переваг і недоліків кожного підходу було обрано React Native, оскільки він забезпечує високу швидкодію, єдину кодову базу для обох операційних систем і тісну інтеграцію з вебверсією системи, розробленою на React.js. Такий вибір дає змогу спростити підтримку продукту, скоротити час розробки та забезпечити узгоджений інтерфейс користувача на всіх платформах [4].

Для підвищення ефективності роботи системи передбачено впровадження елементів машинного навчання, що дозволить здійснювати інтелектуальний аналіз активності волонтерів, автоматизовану класифікацію запитів, рекомендаційний підбір учасників до відповідних завдань, а також забезпечують автоматичну модерацію контенту.

Для аналізу активності волонтерів розглядануто різні методи класифікації та регресії, зокрема логістична регресія, Gradient Boosting та Random Forest. Логістична регресія є простою та зрозумілою, але її точність може бути обмежена при складних взаємозв’язках між ознаками, а Gradient Boosting демонструє високі показники точності, проте потребує значних обчислювальних ресурсів. Було вирішено зосередитися на Random Forest, оскільки цей алгоритм забезпечує баланс між точністю та ефективністю, дозволяє враховувати нелінійні залежності та добре працює з великими обсягами даних [5]. Для групування волонтерів за активністю, досвідом та географією розглядалися алгоритми кластеризації K-means та DBSCAN, і в якості основного методу обрано K-means завдяки його простоті, швидкодії та здатності формувати чіткі центри груп.

Для автоматичної класифікації запитів проаналізовано підходи на основі TF-IDF з класичними алгоритмами (SVM, Random Forest) та сучасні семантичні моделі, такі як Word2Vec і BERT. Традиційні методи TF-IDF ефективні для простої класифікації, але вони не враховують контекст слів у реченнях, що обмежує точність при складних текстових даних. Серед семантичних моделей BERT було обрано як основний інструмент через його здатність враховувати контекст і забезпечувати високоточну класифікацію навіть для коротких або неоднозначних запитів, що особливо важливо для автоматичного маршрутизації звернень волонтерів [6-7].

Рекомендаційний підбір волонтерів та автоматична модерація контенту передбачає розгляд як класичних рекомендаційних систем (Collaborative Filtering, Content-Based Filtering), так і сучасних нейронних підходів, таких як Transformer. Класичні системи дозволяють швидко реалізувати базовий підбір на основі історії дій або компетенцій, але не враховують комплексну взаємодію текстових і поведінкових ознак. Тому для інтеграції рекомендаційної системи та автоматичної модерації обрано Transformer, який дозволяє обробляти великі масиви тексту, виявляти потенційно шкідливий контент, оцінювати тональність повідомлень та одночасно забезпечувати рекомендації волонтерам на основі складних зв’язків між даними [8].

Висновки. У результаті проведеного аналізу та планування розвитку вебсистеми для управління волонтерськими ресурсами визначено ключові напрямки модернізації, які дозволяють підвищити ефективність координації роботи волонтерів та взаємодії з благодійними організаціями. Одним із основних результатів є обґрунтування переходу на сучасний фреймворк React.js для вебзастосунку, що забезпечує високу продуктивність при роботі з великими динамічними інтерфейсами, спрощує масштабування проєкту та повторне використання коду.

Впровадження мобільного застосунку на базі React Native дозволяє забезпечити швидкий та зручний доступ до функціоналу системи з будь-якої точки, прискорити процеси реєстрації та авторизації, а також підвищити швидкість реагування волонтерів на актуальні завдання. Це

рішення гарантує єдину кодову базу для різних платформ та узгоджений інтерфейс користувача, що значно спрощує подальшу підтримку та розвиток продукту.

Додатково запропоновано використання елементів машинного навчання для інтелектуального аналізу активності волонтерів, автоматичної класифікації запитів, рекомендаційного підбору учасників до завдань та автоматичної модерації контенту. Обрані алгоритми Random Forest, K-means, BERT та Transformer дозволяють ефективно обробляти великі масиви даних, враховувати контекст запитів та складні взаємозв'язки між поведінковими та текстовими характеристиками користувачів. Реалізація цих рішень формує інтелектуальну платформу, яка автоматизує рутинні процеси, підвищує швидкість взаємодії між волонтерами та організаціями і створює безпечне та ефективне середовище для користувачів, що в цілому сприяє розвитку цифрової інфраструктури соціальної взаємодії в Україні.

Список використаної літератури

1. V. Lezhnenko, I. Kulakovska. Web application for managing volunteer resources and interaction with charitable organizations, 2025. [Online]. Available: https://mspc.mk.ua/index.php/journal/article/view/436/373 [Accessed: October 18, 2025]
2. DOU. Форум: React vs Vue, 2025. [Online]. Available: https://dou.ua/forums/topic/39933/
3. React. React – A JavaScript library for building user interfaces, офіційна документація. [Online]. Available: https://react.dev/ [Accessed: October 18, 2025]
4. Artjoker, "Flutter vs React Native: що краще вибрати для мобільної розробки?", 2025. [Online]. Available: https://artjoker.ua/ru/blog/flutter-vs-react-native-chto-luchshe-vybrat-dlya-mobilnoy-razrabotki/ [Accessed: October 18, 2025]
5. GeeksforGeeks. Gradient Boosting vs Random Forest, 2025. [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/gradient-boosting-vs-random-forest/ [Accessed: October 18, 2025]
6. N. Jalal. A novel improved random forest for text classification using TF-IDF // ScienceDirect, 2022. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157822000969 [Accessed: October 18, 2025]
7. R. Ricciardi. A multilingual BERT-based classification of reviews for sentiment analysis // Nature Communications, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41598-025-09418-9 [Accessed: October 18, 2025]
8. H. U. Khan. A transformer-based architecture for collaborative filtering // Scientific Reports, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41598-025-08931-1 [Accessed: October 18, 2025]

УДК: 004.93:616.8-009

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТІВ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО ВВЕДЕННЯ ТЕКСТУ ЛЮДЬМИ З ЗАХВОРЮВАННЯМИ МОТОРНОЇ СИСТЕМИ

Лепеха В.В, Орел А.Б, Муравська І.О.
(orel.a.b.-zm51@edu.kpi.ua**)**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У сучасних умовах зростання захворювань моторної системи людини, спричинених соціальними та екологічними факторами, постає питання забезпечення безбар'єрного існування для осіб з есенціальним тремором та протезованою верхньою кінцівкою. Однією з найбільш актуальних проблем у повсякденному житті є введення тексту на сенсорних пристроях через погіршену координацію кисті та пальців, що ускладнюється мимовільними скороченнями м'язів. Використання голосового вводу не завжди є доцільним, наприклад, через необхідність збереження конфіденційності повідомлень, наявність фонового шуму або перебування у місцях, де потрібна тиша. Враховуючи всі ці фактори, актуальною є ідея розробки системи, яка перетворює жести у

відповідні літери, враховуючи і усуваючи похибки, спричинені тремором, і потребу використання голосового вводу.

Manuscriptum - система розпізнавання жестів у вигляді рукавички, яка трансформує рухову активність у текстовий формат. Кожен жест буде відображатись в базі даних на основі значень, які були зняті з п’яти flex-сенсорів, які розташовані на рукавичці в зоні пальців. Датчик ЕМГ потрібен же для визначення того, чи є рух або жест людини свідомим, а не випадковим тремором. Отримані дані передаються провідним способом на вбудовану мікросхему класу ESP, яка виконує всі основні обчислювальні операції. Такий підхід забезпечує високу стабільність роботи системи, мінімальні затримки та повну автономність обробки даних (Рис. 1).

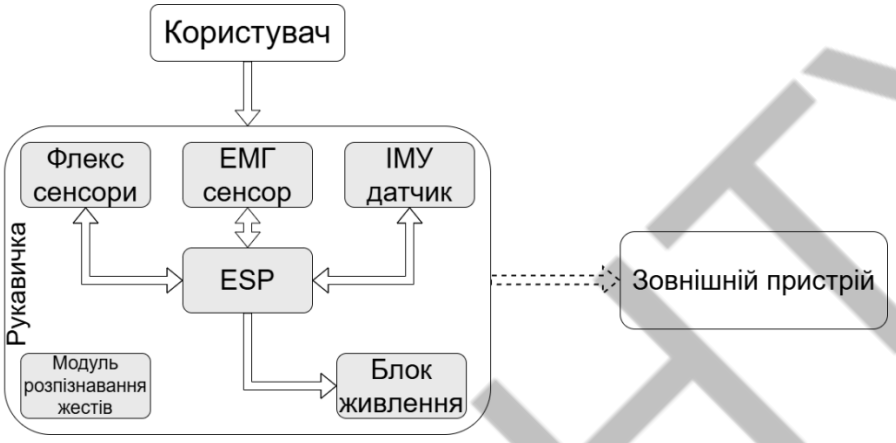


Рис. 3 Схема підключення рукавички

Пристрій включає в себе два одночасні алгоритми:

1) Обробка даних згину пальців та положення руки;
2) Класифікація м’язового скорочення.

В першому алгоритмі відбувається зчитування та аналіз даних з flex-сенсорів. Flex-сенсор – це датчик, який змінює опір при згині. Ця зміна зчитується та інтерпретується у відсоткове значення згину пальця. Кожен жест задається 5-ма значеннями згину, що зберігаються в базі даних. Положення руки визначається за допомогою IMU датчика. Такий спосіб дозволяє розрізняти жести ефективніше та детермінувати їх положення в просторі.

В другому ж алгоритмі відбувається аналіз даних з ЕМГ датчиків, які зчитують активність м’язів. Фільтрація даних відбувається ґрунтуючись на факті того, що керований рух відбувається на частоті 150 Гц, а випадковий тремор на частоті 4 – 12 Гц.

Важливою особливістю системи є динамічна структура бази даних: вона може постійно поповнюватися за допомогою алгоритмів машинного навчання, що дозволяє враховувати індивідуальні відмінності користувачів і з часом підвищувати точність розпізнавання. На даний момент база даних жестів прив’язана до офіційної української жестової мови з розширенням до трьох літер та в подальшому планується бути вдосконаленою. Результати класифікації жестової мови подаються у вигляді текстових рядків. Для комунікації із зовнішніми пристроями використовується бездротова технологія Bluetooth, яка слугує каналом передачі тексту на смартфони, планшети чи персональні комп’ютери. Завдяки цьому рукавичка може виконувати роль зручного інструмента введення тексту в режимі реального часу, що значно розширює комунікативні можливості користувачів.

Також буде розроблений додаток з можливістю введення власних жестів для персоналізації та відповідності вподобанням та можливостям користувача. Дане рішення може розширити спектр використання системи й для людей з ампутаціями верхніх кінцівок.

Висновки:

Таким чином, Manuscriptum має потенціал стати універсальним інструментом комунікації для людей з різними типами моторних чи сенсорних обмежень. Подальша розробка та наповнення бази даних жестів дозволить не лише забезпечити повноцінне відтворення українського алфавіту, а й адаптувати систему до індивідуальних потреб користувачів. У перспективі це відкриє шлях до створення інноваційного пристрою, який поєднує технології біоінженерії, машинного навчання та

мовної інклюзії, що дозволить досягти однієї із цілей сталого розвитку, а саме "№3 Міцне здоров'я і благополуччя"

Список використаної літератури

1. Chen, Q. (2024). Design of Human–Computer Interaction Gesture Recognition System Based on a Flexible Biosensor. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *17*(1), 180.
2. Dobrilovic, D. (2024, May). Experience with the Implementation of Machine Learning on ESP32-Based Edge Devices. In *International Conference on Information, Communication and Computing Technology* (pp. 144-155). Cham: Springer Nature Switzerland.
3. Hu, H., Jiang, M., Lin, K., Jiang, K. S. X., & Bai, Z. (2025, March). ReKnit-Care: A Seamless-Knitted Sensing Glove for Sensory Rehabilitation and Adaptive Haptic Feedback. In *Proceedings of the Nineteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (pp. 1-7).

УДК 004.42:629.78

АРХІТЕКТУРА БОРТОВОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ CUBESAT НА БАЗІ ВІДКРИТОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Лимаренко О.Б., Соколова Є.В. (oleksii.lymarenko@gmail.com, y.sokolova@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

Дослідження присвячено вивченню принципів побудови обчислювальної платформи студентських наносупутників формату CubeSat з використанням програмних рішень на базі відкритого вихідного коду. У роботі проаналізовано ключові компоненти бортової системи, визначено особливості їх інтеграції та окреслено специфічні вимоги до програмної основи. Показано доцільність застосування open-source технологій для космічних апаратів малого форм-фактора.

Постановка проблеми. Студентські космічні апарати класу CubeSat демонструють стрімке зростання популярності у світовій аерокосмічній індустрії завдяки прийнятній вартості реалізації та доступності для навчальних закладів. Водночас створення стабільної бортової системи керування залишається викликом через критичні обмеження маси, габаритів, енергоспоживання та потребу гарантувати безвідмовну роботу в агресивному середовищі орбітального простору. Придбання комерційних ліцензій на спеціалізоване програмне забезпечення часто перевищує фінансові можливості університетських проєктів, що обґрунтовує доцільність використання безкоштовних альтернатив з відкритим кодом.

Мета роботи. Вивчити архітектурні підходи до формування бортової обчислювальної платформи CubeSat із залученням програмних компонентів з відкритим вихідним кодом, дослідити структуру основних функціональних блоків та їхню взаємну інтеграцію, визначити переваги й обмеження застосування open-source методології в космічній техніці.

Бортовий комп'ютер наносупутника виконує роль координуючого вузла, який забезпечує синхронізацію роботи всіх функціональних модулів, агрегацію телеметричних параметрів, реалізацію наукової програми та підтримання каналів зв'язку з наземними станціями [1]. Типова конфігурація обчислювальної системи об'єднує такі елементи: процесорний модуль, блок живлення, систему визначення просторової орієнтації, комунікаційну підсистему, цільове обладнання та сервісні компоненти [2].

Сучасні операційні системи реального часу з відкритим кодом, такі як FreeRTOS, ChibiOS, Zephyr, пропонують достатній набір можливостей для координації супутникових систем [3]. Ключові привабливі аспекти таких платформ включають потенціал кастомізації під унікальні задачі місії, відсутність фінансових витрат на ліцензування, доступ до колективного досвіду розробників та можливість детального вивчення коду з метою виявлення потенційних вразливостей. Апаратною основою зазвичай слугують мікропроцесори сімейства ARM Cortex-M або чіпи з RISC-V архітектурою, які мають якісну підтримку в екосистемі open-source розробки [2].

Програмна архітектура бортового комп'ютера реалізована за принципом багаторівневої модульності [1, 4]. Фундаментальний рівень формують операційна система реального часу разом із драйверами периферійного обладнання. Проміжний рівень охоплює сервіси контролю енергетичного балансу, збору телеметрії, комунікаційних протоколів та алгоритмів стабілізації. Прикладний рівень містить програмну логіку виконання цільової місії та процедури опрацювання експериментальних даних. Комунікація між модулями організована через уніфіковані програмні інтерфейси, що забезпечує адаптивність всієї системи [3].

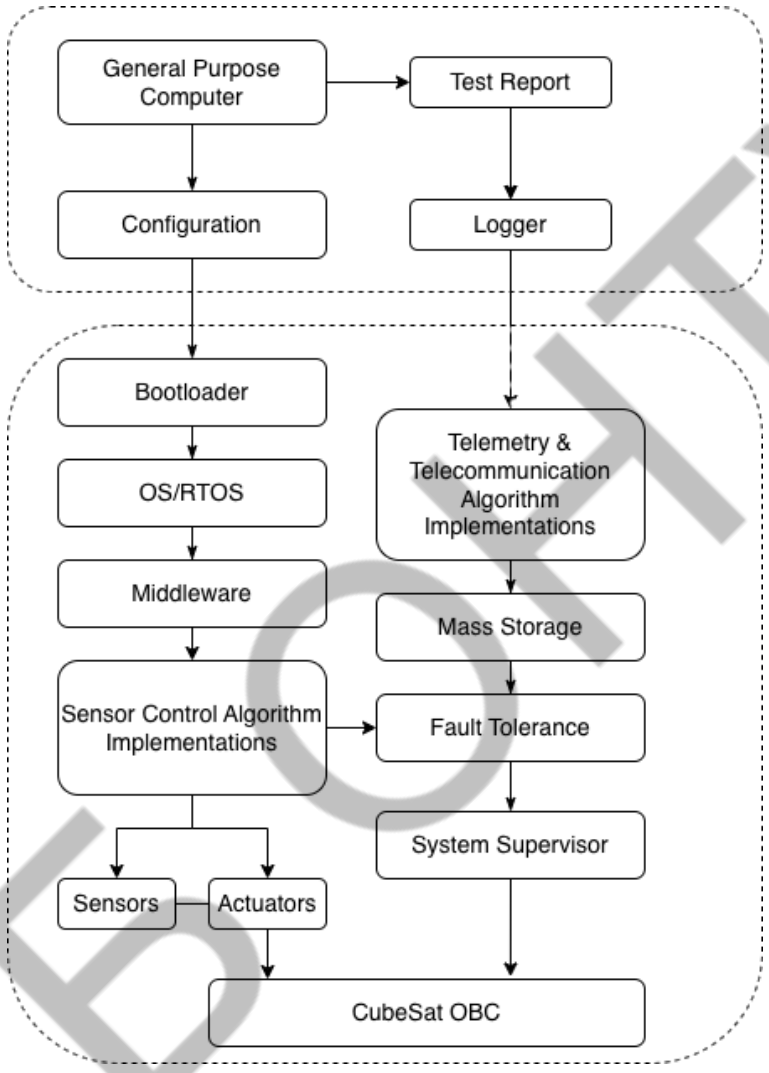


Рисунок 1 – Архітектура бортової обчислювальної системи CubeSat

На рисунку 1 представлено схему, що відображає взаємодію між наземним тестовим середовищем і вбудованою обчислювальною системою супутника. Архітектура CubeSat OBC включає рівні завантаження, операційну систему реального часу, проміжне програмне забезпечення, алгоритми керування сенсорами й актуаторами, телеметрію, систему контролю відмов і модуль моніторингу стану, що забезпечують надійну та модульну роботу супутника.

Передача телеметрії та командних послідовностей опирається на стандартизовані протоколи CCSDS чи спеціалізований CSP (CubeSat Space Protocol) із публічними специфікаціями [3]. Енергетичний контролер виконує функції моніторингу акумуляторів, регулювання процесу заряджання від фотоелектричних панелей та динамічного розподілу потужності між споживачами. Критичною вимогою є впровадження режимів економії енергії та механізмів автономного відновлення працездатності після системних збоїв [6].

Інструментальна база для створення та верифікації бортового програмного забезпечення включає вільно розповсюджувані засоби, серед яких компілятор GCC, налагоджувач GDB та емулятори на кшталт QEMU [1]. Така конфігурація дозволяє виконувати основну частку тестових процедур в лабораторних умовах без залучення реальної космічної електроніки. Особливо цінною

НТБОНТУ

є можливість проведення hardware-in-the-loop випробувань із підключенням справжніх сенсорів та актуаторів [6].

Основні труднощі експлуатації open-source компонентів пов’язані з необхідністю ретельної валідації програмного коду, адже космічне обладнання вимагає винятково високих показників безвідмовності [1]. Не менш важливим є коректне налаштування параметрів операційної системи реального часу для гарантування передбачуваної поведінки та виконання часових обмежень для критичних завдань. Впровадження мікросервісної методології та технологій контейнеризації здатне істотно скоротити тривалість циклу розробки та тестування програмних компонентів [4].

Висновок. Застосування програмних рішень з відкритим кодом для обчислювальної платформи наносупутників CubeSat виявляється виправданим для академічних та дослідницьких ініціатив. Модульна багаторівнева архітектура на базі операційної системи реального часу забезпечує необхідну адаптивність та стабільність функціонування. Методологія open-source дозволяє знизити фінансове навантаження на проєкт, скоротити терміни створення прототипу та налаштувати систему відповідно до унікальних вимог конкретної місії.

Список використаної літератури

[1] A. M. Kamel and M. I. Ibrahem, "CubeSat flight software: Insights and a case study," J. Spacecraft Rockets, vol. 61, no. 6, pp. 1–20, Nov. 2024, doi: 10.2514/1.A35882.

[2] N. Romero-Arroyo et al., "On-board computer for CubeSats: State-of-the-art and future trends," IEEE Access, vol. 12, pp. 95432–95456, Jul. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3428388.

[3] M. Elmehdawi and N. Houssein, "On-board computer and testing platform for CubeSat development," IEEE Instrum. Meas. Mag., vol. 26, no. 2, pp. 22–29, Apr. 2023, doi: 10.1109/MIM.2023.10056299.

[4] O. Liubimov, "Use of micro-services architecture and containerization for the fast development and testing of the CubeSat nanosatellites software," J. Rocket-Space Technol., vol. 31, no. 4, pp. 128–137, 2023, doi: 10.15421/452317.

[5] Manzhos, Y.; Sokolova, Y.; Kharchenko, V.; Semenov, S. "SITL-Based Formal Verification of Cyber-Physical Systems Software: Reliability Model, Method and Implementation". Preprints 2025, 2025030856. https://doi.org/10.20944/preprints202503.0856.v1

[6] M. Elmehdawi and N. Houssein, "Flight software development for a CubeSat application," in Proc. IEEE Can. Conf. Electr. Comput. Eng. (CCECE), Halifax, NS, Canada, Sep. 2022, pp. 1–5, doi: 10.1109/CCECE49351.2022.9891727.

УДК 004.41

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОШУКУ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ БІЗНЕС-ЦЕНТРУ

Линник М.М., Зіноватна С.Л. (nik.linnik.001@gmail.com, zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

Представлено результати дослідження особливостей діяльності бізнес-центру, здійснено аналіз ключових напрямів функціонування бізнес-центру, що потребують автоматизованого обліку та контролю. Проаналізовані основні проблеми предметної області, зокрема труднощі в обліку орендарів, управлінні фінансовими потоками, плануванні ресурсів, організації документообігу та забезпеченні належної взаємодії між адміністрацією та орендарями. Розглянуті існуючі програмні продукти, що застосовуються у даній сфері, виявлені їхні сильні та слабкі сторони, а також визначені обмеження, які перешкоджають їх повному використанню в умовах конкретного бізнес-центру. Описана задача багатокритеріального пошуку, яка може бути застосована для пошуку пропозицій, релевантних потребам потенційних клієнтів та поточних клієнтів, які потребують зміни в складі приміщень та послуг з договору оренди. Описані методи вирішення задачі багатокритеріального аналізу. Запропоновані формули для простого та швидкого пошуку релевантних варіантів для вимог, які виражаються різними типами даних.

Бізнес відіграє ключову роль у формуванні економічної, соціальної й технологічної структури суспільства по усьому світі. Від невеликих стартапів до глобальних корпорацій, бізнес стимулює інновації, створює робочі місця, підвищує рівень життя й сприяє економічній стабільності [1]. Наприклад, малі й середні підприємства відіграють важливу роль в економіці більшості країн, особливо таких, що розвиваються. Такі підприємства вносять великий вклад у створення робочих місць і розвиток світової економіки в цілому. На їхню частку доводиться близько 90% світового виробництва, 60%-70% робочих місць і 55 % валового внутрішнього продукту. В економіках, що розвиваються, малий і середній бізнес забезпечує майже 40% національного доходу [2]. У сьогоднішній економіці ключовою стає роль бізнесів-центрів. Зростаюча глобалізація й мобільність робочої сили підкреслили необхідність гнучких рішень в області робочого простору. Бізнеси-центри стали рішенням для стартапів, підприємців і авторитетних організацій, надаючи їм основні послуги, які зміцнюють операційні можливості організацій [3].

В [4] описані основні особливості діяльності бізнес-центра, які, наприклад, є такими: бізнес-центр пропонує різні типи офісів: від окремих кабінетів до коворкінг-зон, це дозволяє компаніям масштабувати свій простір у міру необхідності, тим самим створюючи гнучкі рішення для робочого простору; центр надає необхідну бізнес-інфраструктуру, включаючи обробку пошти, адміністративну підтримку й безпечну обробку платежів для клієнтів; центр надає повністю обладнані конференц-зали й приміщення для проведення заходів для професійних зустрічей і зборів; у центрі створюється середовище, у якому підприємства можуть взаємодіяти з іншими орендарями, сприяючи співробітництву й росту бізнесу, тощо.

Керування бізнес-центром є складним завданням для його власників. Потрібен облік доходів і витрат, автоматизація таких завдань, як ведення договорів на оренду, виставлення рахунків, керування співробітниками, службами й устаткуванням, облік надаваних послуг. Тому завдання розробки програми для керування діяльністю бізнес-центру є актуальним.

Метою роботи є зменшення часу на отримання аналітичних звітів про діяльність бізнес-центру для подальшого прийняття рішень щодо його функціонування за рахунок автоматизованої обробки наявних та історичних даних про взаємодію з орендаторами приміщень.

Табл.1 – Порівняння характеристик програм

Характеристика	Yardi Voyager	Microsoft Dynamics 365	MRI Software
Постачальник	Великобританія	США	Великобританія
Безкоштовна пробна версія	-	+	-
Пропонує навчання	-	-	-
Підтримка національних особливостей бізнесу	-	-	-
Вагова система критеріїв пошуку	-	-	-
Гнучкі аналітичні звіти	Стандартні звіти	+	+
Вартість	Залежить від площі, річна плата за використання хмарного сховища	Ціна за користувача на місяць, щорічна оплата, доплата за кожен додатковий модуль	Ліцензія або підписка, ціна залежить від потреб клієнта й функціонала
Спеціалізація щодо договорів оренди	+	-	+
Специфіка щодо керування бізнес-центром	-	-	-

Впровадження програмного забезпечення для обліку діяльності бізнесу-центра дозволяє знизити ризики помилок і фінансових втрат; прискорити обробку інформації; підвищити прозорість і зручність для орендарів; поліпшити планування й контроль бізнесів-процесів.

Існують програмні засоби, які можуть бути використані для обліку діяльності бізнес-центру. Такі засови можна поділити на види:

– програми загального виду для керування діяльністю комерційного підприємства з можливістю бухгалтерського обліку;

– програми для керування нерухомістю з можливістю обліку договорів оренди.

В табл. 1. наведено результати аналізу характеристик окремих програм для обліку діяльності компанії.

Можна зробити висновок, що існуючі програмні системи можуть бути пристосовані для керування бізнес-центром, але це не дозволить врахувати спеціалізовані аспекти діяльності саме бізнес-центру. Крім того, програмний засіб для керування бізнес-центром може бути доповнений розширеною системою пошуку приміщень, які підходять конкретному клієнту.

Необхідність вибрати між варіантами, кожний з яких має різні можливі результати й імовірності реалізації, на основі критеріїв, що цікавлять, називається проблемою прийняття рішення. Проблему прийняття рішення роблять складною наступні обставини [5]: необхідність ураховувати множину критеріїв для оцінки варіантів; ідеального рішення не існує, тому необхідно вибирати найбільш підходящий варіант; критерії можуть суперечити один одному (поліпшення одного показника може означати погіршення іншого); невизначеність або відсутність інформації; наслідки значні й довгострокові; у процес ухвалення рішення можуть бути залучені кілька людей з різними поглядами.

В [6] описане застосування окремих багатокритеріальних методів прийняття рішень до задачі вибору необхідного варіанта: TOPSIS – метод ранжує варіанти на основі їхньої відносної далекості від ідеального й антиідеального рішення, з огляду на оцінки й визначений вектор ваги; OWA – пріоритет віддається виявленню варіанта, який у глобальному масштабі перевершує конкурентів, без акценту на якому-небудь одному критерії.

Багатокрітеріальний аналіз рішень може бути застосований для формування варіантів пропозицій для оренди потенційному клієнту або клієнту, який потребує змін в договорі на оренду. Особливостями предметної області є те, що необхідно кожному користувачу програмної системи, який звертається до системи пошуку, надати можливість обрати критерії з множини можливих та встановити власні вагові коефіцієнти.

Таким чином, існує множина можливих критеріїв C, $|C|=m$, за якими оцінюється кожна можлива пропозиція. Пропонується набір варіантів P, кожен з яких описаний множиною характеристик, відповідних можливим критеріям: $p_i=<v_{i1}, v_{i2},..., v_{ij},..., v_{im}>$.

Значення v_j може бути представлено числом, текстом або діапазоном чисел. Для критеріїв, які описуються текстом, може бути встановлений порядок значень або множина значень може бути неупорядкована.

Користувач для пошуку варіанту має обрати ті критерії, що цікавлять саме його ($C_u \subseteq C$), встановити вагові коефіцієнти для обраних критеріїв K, та описати значення для варіанту, який він має отримати: $p_u=<vu_1, vu_2,..., vu_j,..., vu_m>$.

Для критеріїв з множини $C_n=C–C_u$ вказується значення null. Під час визначення значення vu_j користувач отримує множину можливих текстових значень або можливий діапазон числових значень.

Для порівняння очікуваного варіанту p_u з множиною P використовуються наступні правила. Для критеріїв, чиї значення виражаються числами, визначається відносна відстань між значеннями варіанту пропозиції та значень користувача: $r_{ij} = \left|\frac{vu_j - v_{ij}}{v_{ij}}\right|$, де v_u – значення, вказане користувачем; v_p – значення для можливого варіанту. Для текстових значень, для яких відсутнє упорядкування, використовується наступне правило: $r_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } vu_j = v_{ij} \\ 0, & \text{якщо } vu_j \neq v_{ij} \end{cases}$. Для текстових значень, для яких існує упорядкування, використовується наступне правило визначення відстані: $r_{ij} = \left|\frac{pn(vu_j) - pn(v_{ij})}{pn(v_{ij})}\right|$, де $pn(vu_j)$ – порядковий номер vu_j в упорядкованому списку; $pn(v_{ij})$ – порядковий номер v_{ij} в упорядкованому списку можливих тестових значень. Загальний ступень відповідності пропонованого варіанту потребам користувача визначається за формулою: $s_i = \sum_{j=1}^{m} k_j \cdot r_j$. Далі серед пропонованих варіантів обирається варіант, у якого $s = min(s_i), \overline{i = 1, n}$.

Запропоновані формули можуть використовуватися для простого та швидкого пошуку релевантних варіантів для вимог, які виражаються різними типами даних.

Список використаної літератури

[1] Ahmad T. The Importance of Business: The Backbone of Economic Growth and Development. 2025. [Online]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/importance-business-backbone-economic-growth-tahir-ahmad-rdhge [Accessed: August 22, 2025].

[2] Koguashvili P., Koridze N. The Importance of Small and Medium – sized Business for the Country's Economy. Economics. 2022. Vol. 105. P. 67–78. DOI: 10.36962/ECS105/4-5/2022-67.

[1] Thompson S. Exploring the Role of Business Centers in Today's Economy. [Online]. Available: https://desertentourage.com/articles/business-centers-in-modern-economy[Accessed: September 01, 2025].

[3] Put office work on autopilot and get back to doing what you love. [Online]. Available: https://www.thryv.com/business-center [Accessed: August 01, 2025].

[4] Oliveira M. Introduction to Multi-criteria Decision Analysis. [Online]. Available: https://medium.com/operations-research-bit/introduction-to-multi-criteria-decision-analysis-2359f058b0ff [Accessed: August 05, 2026].

[5] Pinto-DelaCadena P. A., Liern V., Vinueza-Cabezas A. A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Methods for Personnel Selection: A Practical Approach. Mathematics. 2024. Vol. 12 No. 2. P. 324. DOI: 10.3390/math12020324.

УДК 004.4:378

АНАЛІЗ ВЕБ РЕСУРСУ КАФЕДРИ ЗВО З МЕТОЮ ПІДГОТОВКИ ДО АКРЕДИТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

Ломовцев С. П., Селіванова А.В., Ломовцев П. Б.
(mr.lomovtsev00@gmail.com, alikasalvano@gmail.com, lomovtsevp@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі проаналізовано веб-ресурс кафедри ІТтаКБ ОНТУ з точки зору готовності до акредитації спеціальності «Комп'ютерні науки» за критеріями структурність ,інформаційна відкритість, технічна готовність, прозорість, доступність та відповідність акредитаційним вимогам, виявлено його переваги та недоліки. Запропоновані рекомендації що сприятимуть приведенню веб ресурсу у відповідність критеріям НАЗЯВО.

Сучасні вимоги до акредитації освітніх програм спеціальностей в Україні встановлюють чіткі критерії прозорості та доступності інформації для здобувачів освіти, роботодавців і експертів Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО) [1].

Веб-ресурс кафедри ЗВО є основним каналом комунікації та інструментом забезпечення відкритості освітньої програми. Недостатня інформаційна відкритість або неповна структуризація даних може стати перешкодою при акредитації, зменшити довіру до програми та вплинути на результати експертної оцінки.

Метою дослідження є аналіз поточного стану веб-ресурсу кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки Одеського національного технологічного університету (КІТтаКБ ОНТУ) [2] з точки зору готовності до акредитації спеціальності «Комп'ютерні науки».

Для досягнення поставленої мети необхідно:

– виявити сильні та слабкі сторони веб-ресурсу;

– надати рекомендації щодо оптимізації структури, наповнення і технічної безпеки ресурсу для забезпечення відповідності критеріям НАЗЯВО.

Для комплексного аналізу веб-ресурсу кафедри були використані такі критерії:

1. Структура сайту — наявність логічних розділів, зручність навігації.

2. Інформаційна відкритість — наявність даних про освітню програму, навчальний план, дисципліни, викладацький склад, наукову діяльність.

3. Технічна готовність — адаптивність для мобільних пристроїв, швидкість завантаження, безпека (HTTPS, резервне копіювання, захист від базових веб-загроз).

4. Відповідність акредитаційним вимогам — наявність документів, необхідних для перевірки освітньої програми (ОПП, силабуси, звіти, політика якості).

5. Прозорість та доступність — легкість пошуку документів, інтерактивні елементи, наявність контактів гарантів програм.

Збір даних виконано із застосуванням наступних методів:

1. Виконано візуальний огляд сайту, перевірка наявності основних сторінок і розділів.

2. Проведено аналіз контенту, а саме оцінка наявності освітніх програм, навчальних планів, силабусів, інформації про лабораторне забезпечення.

3. Зроблено оцінювання технічних параметрів, а саме мобільної адаптивності, використання HTTPS, структури HTML/CSS, швидкості завантаження.

4. Виконано порівняння з вимогами НАЗЯВО та кращими практиками університетських веб-ресурсів.

За структурою веб ресурс можна визнати чітким та зрозумілим. В наявності є основні необхідні розділи. Структура проста, навігація зрозуміла, проте відсутній центральний розділ «Акредитаційні матеріали», деякі необхідні для акредитації елеенти розкидані по підрозділам основних розділів. Не всі сторінки уніфіковані за оформленням, є різна типографіка та недостатня кількість інтерактивних елементів (акордеонів, пошуку, карти сайту).

З точки зору інформаційної відкритості можна зробити наступні висновки:

1. Інформація про кафедру та викладацький склад присутня, але не всі профілі мають дані про наукові здобутки, наукометричні профілі, ORCID або публікації.

2. Освітні програми представлені коротко, не всі силабуси дисциплін, навчальні плани та результати навчання є в наявності.

3. Матеріально-технічна база описана частково, бракує фотографій лабораторій та детального переліку ПЗ.

4. Не повна інформація для роботодавців та студентів щодо практик, стажувань і академічної мобільності.

З точки зору технічної готовності та безпеки сайт швидко завантажується, адаптивність частково забезпечена. Веб-ресурс працює на власній розробці без CMS, що зменшує ризик типових вразливостей. Проте SSL-сертифікат протермінований, бракує системи резервного копіювання та базового аудиту безпеки.

З точки зору відповідності умовам акредитації на веб ресурсі наразі не вистачає деяких документів для акредитації а саме деяких версій ОПП, навчальних планів, деяких силабусів, звітів про самооцінювання, політики академічної доброчесності. Наявні базові контакти, але бракує інформації про гарантів освітніх програм та їх контактів для комунікації з експертами.

Не дивлячись на певні недоліки веб ресурс має сильні сторони, а саме:

- адаптивність, проста структуру і зрозумілу навігацію для відвідувачів;
- регулярне оновлення новин та анонсів подій кафедри;
- наявність контактної інформації та інформації про викладачів;
- наявність англомовної версії, хоча й обмеженої;
- наявність частини документів необхідних для акредитації, хоча у не повному обсязі та не скомпонованих у окремий розділ.

В цілому, з точки зору готовності до акредитації спеціальності сайт можна оцінити як задовільний (≈3/5).

Для приведення веб ресурсу у повну відповідність до вимог акредитації пропонується:

1. Створити окрему сторінку «Акредитаційні матеріали», що включає освітню програму, навчальні плани, силабуси дисциплін, звіти про самооцінювання, перелік компетентностей та результатів навчання, політику академічної доброчесності, інформацію про лабораторії та ПЗ.

2. Оновити профілі викладачів привівши їх до єдиної структури з вказанням наукових ступенів, публікацій, наукометричних профілів

3. Оновити приклади студентських робіт, проєктів та стажувань.

4. Публікувати актуальні матеріали для роботодавців та абітурієнтів.

5. Забезпечити SSL-сертифікат (HTTPS) і резервне копіювання сайту.

6. Додати інтерактивні елементи: пошук по сайту, розгортання списків (акордеони)

7. Опублікувати всі необхідні для акредитації документи у форматах PDF, DOCX, XLSX.

8. Додати у англомовну версію сайту інформацію про освітні програми та інші необхідні для акредитації елементи.

9. Скомпонувати всі посилання на матеріали необхідні для акредитації у окремий розділ для зручності перевірки експертами НАЗЯВО.

Реалізація описаних рекомендацій дозволить підвищити прозорість, забезпечити відповідність критеріям НАЗЯВО та полегшить роботу експертів під час акредитаційної перевірки.

Список використаної літератури

[1] “Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти.” Accessed: Sep. 03, 2025. [Online]. Available: https://naqa.gov.ua/

[2] “Сайт кафедри інормаційних технологій та кібербезпеки Одеського національного технологічного університету.” Accessed: Sep. 03, 2025. [Online]. Available: https://kit.ontu.edu.ua/

УДК 004.4:338.48:640.4

МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДОДАТКУ ДЛЯ БРОНЮВАННЯ НОМЕРІВ ГОТЕЛЮ

Лютенко І. В., Орловський К. Ю.

(Iryna.liutenko@khpi.edu.ua, Kyryl.Orlovskyi@cs.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Ця робота присвячена моделюванню процесу бронювання номерів у готелі. Впровадження сучасних технологій дозволяє автоматизувати рутинні операції, мінімізувати помилки та забезпечити цілодобовий доступ до послуг. Очікувані результати включають скорочення часу на обробку бронювань, зменшення кількості "неявних" клієнтів і покращення управління заповнюваністю.

Сучасний готельний бізнес стикається з низкою викликів, пов'язаних із процесом бронювання. Часто цей процес є недостатньо автоматизованим та схильним до людських помилок, що призводить до втрати клієнтів, дублювання бронювань і низької ефективності роботи персоналу. Дослідження показують, що 70% мандрівників вважають за краще бронювати готелі онлайн [1]. Відсутність єдиної системи управління і недостатня інтеграція з онлайн-платформами ускладнюють відстеження доступності номерів у реальному часі, що негативно впливає на доходи готелю та задоволеність гостей.

Робота полягає у розробці та впровадженні комплексної інформаційної системи, що дозволяє автоматизувати ключові етапи процесу бронювання. Для аналізу та візуалізації функціональних аспектів системи, їх взаємозв'язків та ієрархічної структури використовується функціональне моделювання, зокрема діаграма декомпозиції IDEF0 (рис. 1).

Процес "Бронювання номеру готелю" у нотації IDEF0 описується як взаємодія основних етапів, що забезпечують успішне створення резервування для клієнта. Основним елементом процесу є система бронювання, яка забезпечує автоматизовану обробку запитів відповідно до встановлених правил. Ці правила включають перевірку доступності номерів, відповідність запитуваних умов і категорій номерів.

Результатом роботи процесу є підтвердження бронювання, яке надсилається клієнту, або відмова у бронюванні, якщо запит неможливо задовольнити через відсутність доступних номерів або невідповідність умов. У разі успішного резервування система також генерує рахунок для оплати, який передається клієнту для здійснення фінансових операцій. Такий підхід допомагає усвідомити складність системи, розкрити взаємодію компонентів, що стосуються бронювання, реєстрації клієнтів і контролю обслуговування.

Розроблювана комплексна система є трискладовим рішенням для роботи готелю. Вона об’єднує онлайн-платформу для клієнтів, де гості можуть самостійно переглядати доступні номери, оформляти бронювання та здійснювати оплату в будь-який час. Це значно підвищує

зручність для клієнтів і дозволяє готелю працювати цілодобово без додаткових витрат на персонал.

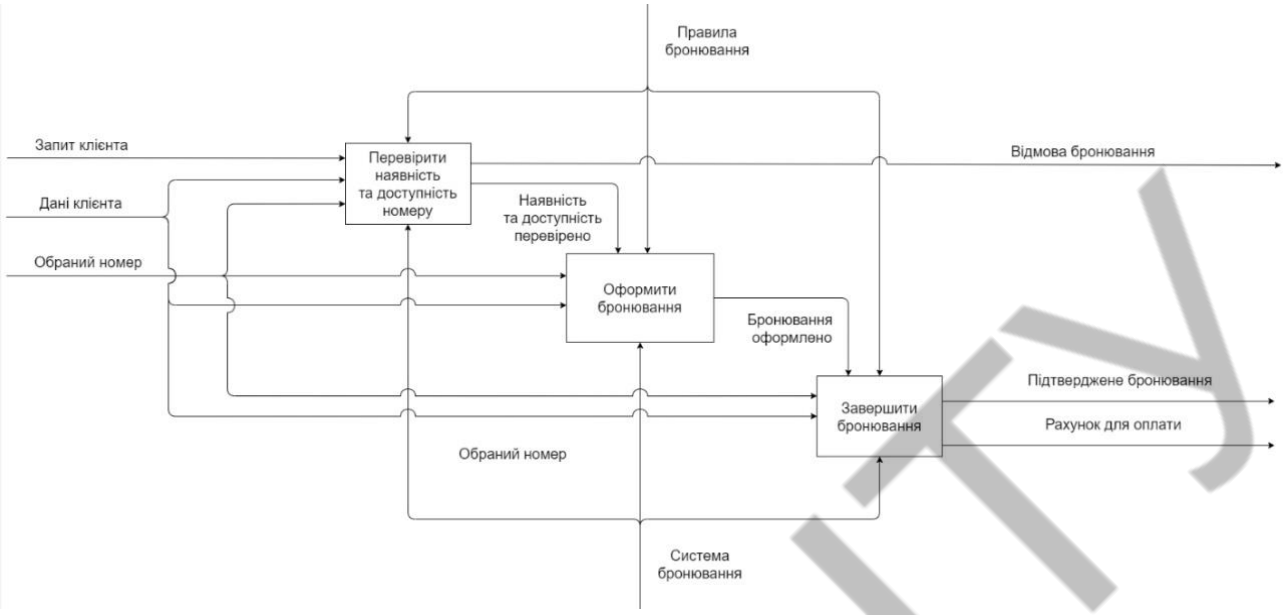


Рисунок 1 – Декомпозована діаграма діяльності

Другою частиною є модуль управління для адміністрації, який надає співробітникам повний контроль над усіма процесами. Через цей інтерфейс адміністратори можуть керувати бронюваннями, оновлювати інформацію про номери, змінювати ціни та швидко реагувати на запити клієнтів.

Третій компонент – це інтегровані інструменти для аналізу даних. Цей модуль збирає та аналізує статистику бронювань, заповнюваності, доходів та поведінки клієнтів. Ці дані дають змогу керівництву приймати обґрунтовані рішення, оптимізувати цінову політику та ефективніше планувати маркетингові кампанії. Система автоматично збирає та обробляє великі масиви статистики в режимі реального часу. Вона охоплює такі ключові показники, як детальний аналіз коефіцієнта завантаженості, порівняння даних за період (місяць/квартал/рік), що дозволяє керівництву точно розуміти поточну та прогнозовану заповнюваність готелю. Крім того, аналізується поведінка клієнтів, включаючи середню тривалість перебування, географію клієнтів, їхні вподобання щодо додаткових послуг та частоту скасувань чи неявок.

Завдяки такій інтеграції, система може значно мінімізувати ризик помилок, пов'язаних з ручним введенням даних, і зменшити навантаження на персонал, дозволяючи йому зосередитися на покращенні якості обслуговування гостей. В рамках дослідження також проводиться оцінка економічної ефективності впровадження системи, де порівнюються фінансові та операційні показники до і після її застосування для підтвердження її цінності для бізнесу.

Автоматизація процесу бронювання номерів у готелі за допомогою програмної системи дозволяє досягти значного покращення ключових бізнес-показників. Впровадження такої системи призводить до зростання прибутку, оскільки збільшується завантаженість готелю та зменшується кількість "неявних" клієнтів завдяки обов'язковій передоплаті. Також підвищується ефективність роботи завдяки скороченню часу на обробку бронювань, що звільняє персонал від рутинних операцій. Крім того, покращується якість сервісу завдяки наданню клієнтам зручного та швидкого доступу до бронювання, що підвищує їхню лояльність. Нарешті, зменшується кількість помилок, оскільки автоматизація виключає людський фактор у процесі оформлення бронювання. Таким чином, впровадження автоматизованої системи бронювання є не просто бажаним, а необхідним кроком для забезпечення конкурентоспроможності та сталого розвитку сучасного готельного бізнесу.

Список використаної літератури

[1] Travelers say technology is key to their travel experience [Online]. Available: https://www.prnewswire.com/in/news-releases/travelers-say-technology-is-key-to-their-travel-experience-700359031.html [Accessed: September 24, 2025].

УДК 004.4:004.056.5:004.738.5

РОЗРОБКА БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ РОЛЕЙ ТА ПРАВ ДОСТУПУ ДЛЯ ТУРИСТИЧНИХ ВЕБ-ПЛАТФОРМ

Лютенко І. В.,Тітов В. О. (Iryna.liutenko@khpi.edu.ua, Valerii.Titov@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Розглянуто підхід до побудови багаторівневої системи ролей і прав доступу для туристичних веб-платформ з метою підвищення безпеки та керованості користувацьких операцій. Показано, що використання комбінації ролевої (RBAC) та атрибутивної (ABAC) моделей дає змогу реалізувати гнучке розмежування прав для адміністраторів, менеджерів турів, партнерів і клієнтів, з урахуванням динамічних параметрів, таких як історія бронювань чи геолокація.

Сучасні туристичні веб-платформи об’єднують широкий спектр функцій: онлайн-бронювання турів та готелів, управління користувачами, інтеграцію з платіжними сервісами та зовнішніми API. Зростання обсягів даних і кількості учасників ринку підвищує вимоги до безпеки, персоналізації та зручності адміністрування. Ефективним підходом є впровадження багаторівневої системи ролей і прав доступу, яка дозволяє гнучко керувати діями користувачів відповідно до їх функцій [1].

Робота полягає у проектуванні та обґрунтуванні архітектури комплексної інформаційної системи управління доступом, що інтегрує переваги різних методів контролю через гібридний підхід HBAC(Hybrid-Based Access Control). Для аналізу та візуалізації функціональних аспектів системи, їх взаємозв'язків та еволюційного розвитку від базового ролевого контролю (RBAC) через атрибутний контроль (ABAC) до гібридного рішення використовується системне моделювання, зокрема схема архітектурної декомпозиції методів контролю доступу (рис. 1).

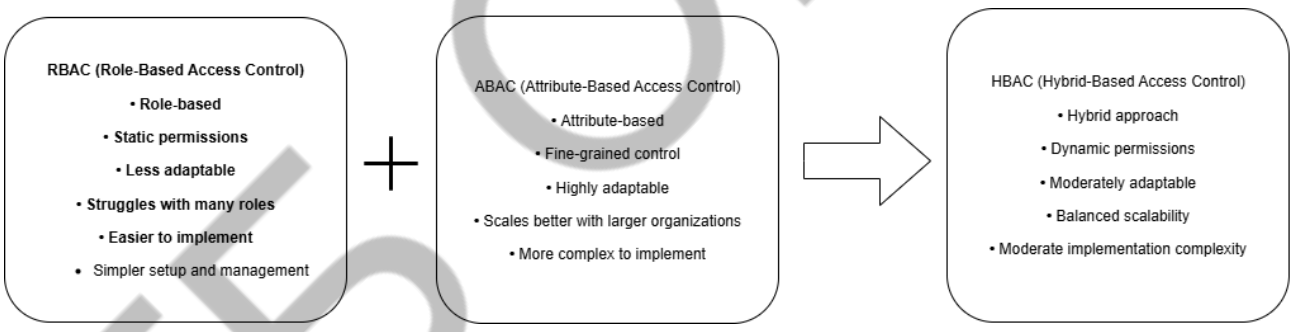


Рисунок 1 – Переваги використання HBAC моделі

Як приклад подано ключові категорії користувачів туристичної веб-платформи: неавторизований відвідувач, зареєстрований клієнт, гід, провідний гід та адміністратор. Для проєктування рівнів доступу використано комбінацію ролевої моделі RBAC (Role-Based Access Control) та атрибутивної ABAC (Attribute-Based Access Control). RBAC забезпечує чітке призначення прав на основі закріплених ролей: наприклад, усі гіди успадковують базовий набір можливостей від узагальненої ролі «Гід», а адміністратор володіє повним спектром керівних повноважень, включно зі створенням нових ролей та зміною політик безпеки.

Одночасно ABAC дає змогу враховувати динамічні контекстні атрибути, що підвищує гнучкість системи та дозволяє автоматично змінювати правила доступу залежно від ситуації. Поєднання цих підходів забезпечує як зрозумілу структурованість, так і адаптивність, необхідну для швидко зростаючих платформ. Наприкінці наведено діаграму Use Case для основних категорій користувачів (рис. 2).

НТБОНТУ

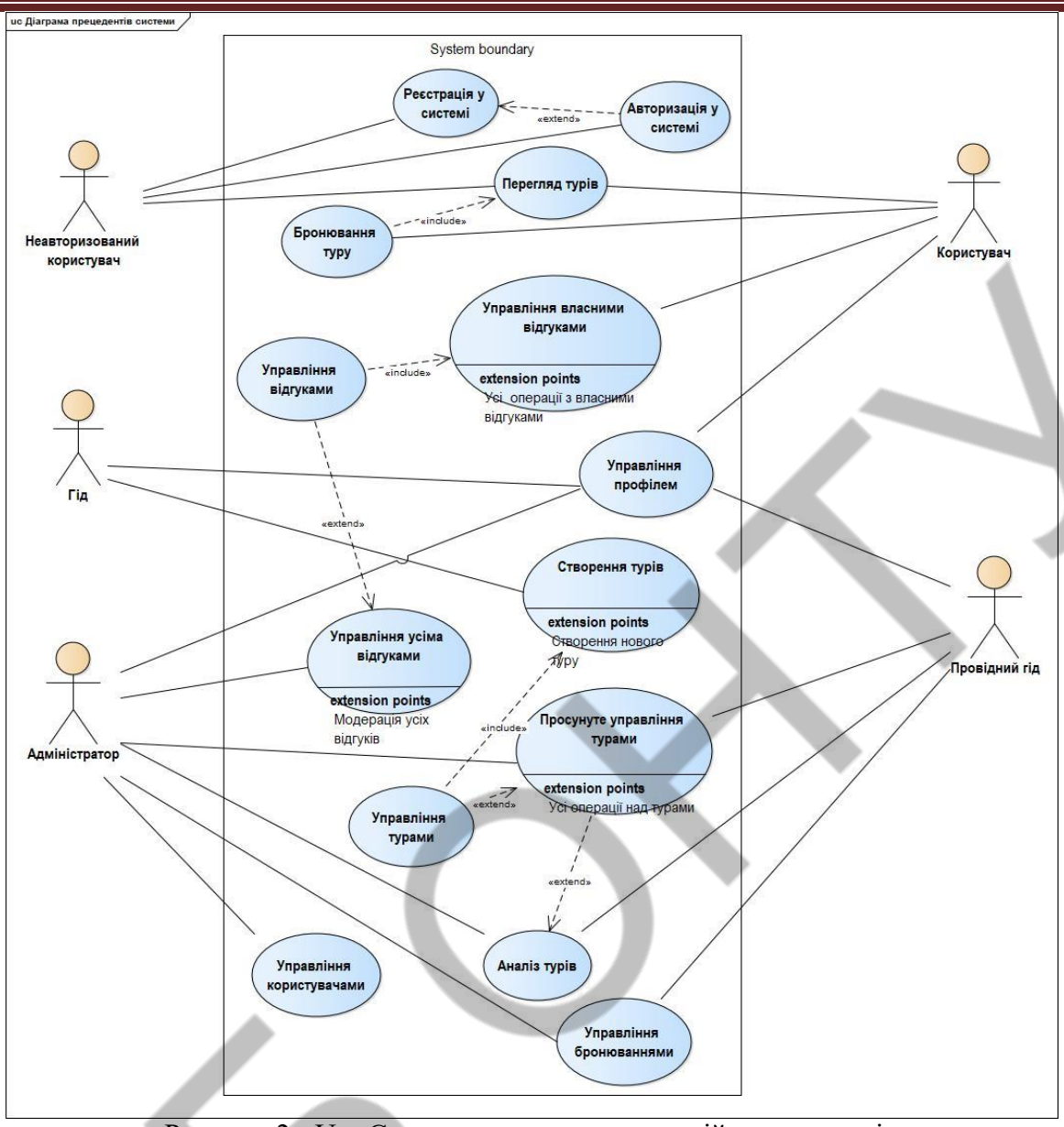


Рисунок 2 - Use Case для основних категорій користувачів

Архітектура комплексу складається з кількох взаємопов'язаних підсистем. Клієнтський модуль відповідає за автентифікацію, авторизацію та виконання ключових користувацьких операцій, таких як бронювання турів або управління профілем. У ньому реалізовано механізм перевірки як статичних ролей RBAC, так і атрибутів ABAC у режимі реального часу, що гарантує відповідність дій користувача поточним політикам доступу. Адміністративна підсистема забезпечує створення та модифікацію ролей, визначення наборів атрибутів, формування правил прийняття рішень на основі комбінації ролей і атрибутів, а також ведення журналів подій для подальшого аудиту безпеки. Аналітичний блок виконує збір і глибинний аналіз статистики входів, невдалих спроб доступу та змін політик, що дозволяє виявляти аномалії, прогнозувати загрози та своєчасно коригувати правила. Як приклад, наведено діаграму розгортання, що відображає взаємодію підсистем комплексу (рис. 3).

Застосування гібридної RBAC/ABAC-моделі надає низку переваг. Рольова структура спрощує базове адміністрування, уніфікує призначення прав та знижує ймовірність людських помилок під час керування великою кількістю користувачів.

Атрибутивний підхід, розширює функціонал за рахунок контекстної перевірки умов доступу, що особливо важливо для туристичних сервісів, де дії користувача можуть залежати від місця перебування, часу або історії попередніх замовлень. Така інтеграція дозволяє гнучко реагувати на зміни бізнес-вимог без переробки основної логіки системи та зберігати високий рівень захисту персональних і фінансових даних.

НТБОНТУ

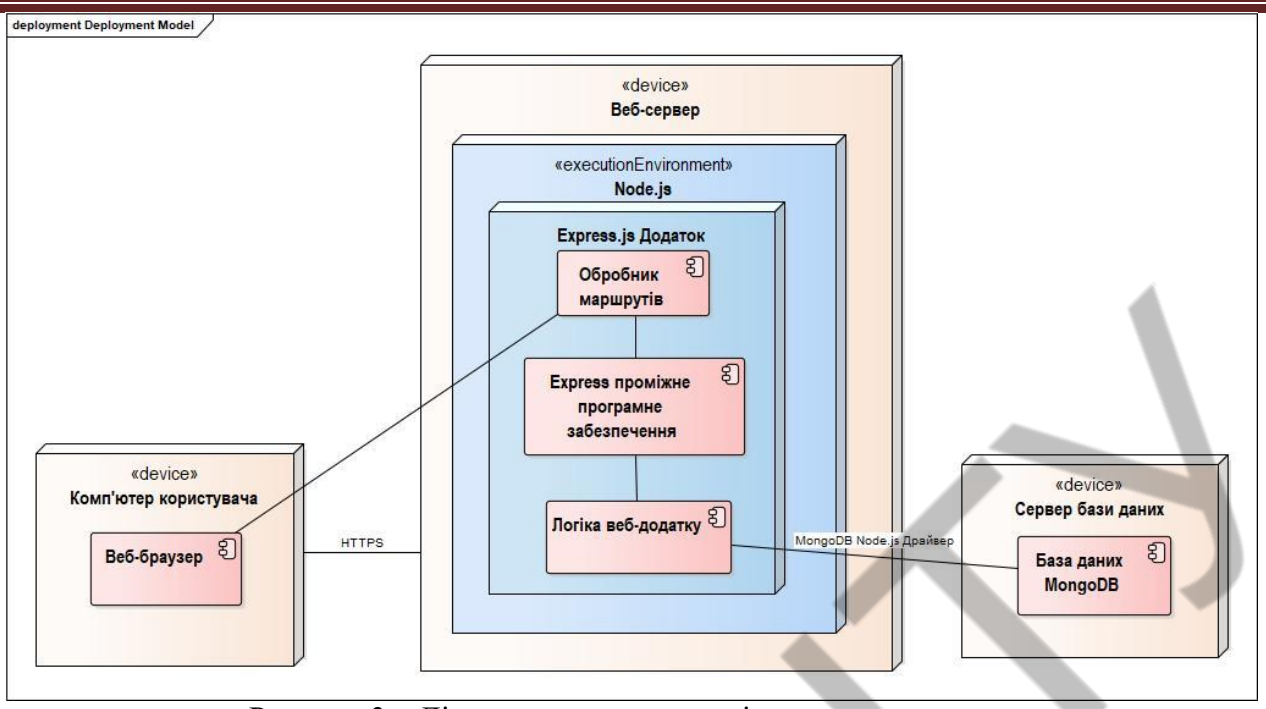


Рисунок 3 – Діаграма розгортання підсистем комплексу

Запровадження комбінованого контролю доступу підвищує стійкість платформи до несанкціонованих дій, знижує ризики ескалації привілеїв і оптимізує витрати на підтримку користувацької бази. Крім того, використання аналітичного модуля забезпечує кількісну оцінку ефективності політик і створює основу для їх подальшої автоматизованої оптимізації. У результаті система не лише виконує технічну функцію захисту даних, а й стає стратегічним інструментом підвищення конкурентоспроможності туристичних веб-платформ на глобальному ринку.

Список використаної літератури

[1] Managing Attribute-Based Access Control Policies in a Distributed Environment [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6818720/ [Accessed: September 22, 2025].

[2] Hybrid Access Control Models: Combining RBAC and ABAC [Online]. Available: https://www.okta.com/identity-101/role-based-access-control-vs-attribute-based-access-control/ [Accessed: September 27, 2025].

УДК 004.415.3:004.738.5

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВАЛІДАЦІЙНОГО ТЕСТУВАННЯ *REST API* НА ОСНОВІ *OPENAPI*

Мадяр М. М., Гедеон Г. О.
(madiar.mykhailo@student.uzhnu.edu.ua, hanna.hedeon@uzhnu.edu.ua)
ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (Україна)

Робота присвячена розробці інструменту контрактної перевірки вебсервісів типу REST API на основі формальних специфікацій OpenAPI. Запропоновано підхід, у якому з опису інтерфейсу будується внутрішня модель перевірок, генеруються позитивні та негативні сценарії, а відповідність повідомлень оцінюється валідаторами JSON Schema і ореклами для кодів стану та заголовків. Прототип орієнтовано на інтеграцію у конвеєри CI / CD через CLI-інтерфейс і формування узагальнених звітів із метриками покриття та якості.

Актуальність. Екосистема сервісних застосунків спирається на угоди про взаємодію, що описуються машиночитаними контрактами. Будь-яка розбіжність між фактичною поведінкою сервісу та формальним описом призводить до збоїв інтеграції, підвищених витрат і ризиків.

Формат *OpenAPI* забезпечує єдину мову для опису ресурсів, операцій, параметрів і структур вмісту повідомлень, що робить можливим побудову відтворюваних процедур валідації на етапах розробки та постачання програмного забезпечення [1].

Постановка проблеми. Існуючі інструменти переважно орієнтовані на ручне створення сценаріїв або застосовують агресивний пошук помилок без гарантій збереження семантики контракту. Для практики важливий підхід, який поєднує точність контрактної валідації з автоматизованим отриманням тестових випадків і відтворюваною інтерпретацією результатів.

Мета і завдання. Метою є створення засобу, що автоматично перетворює опис *OpenAPI* на набір перевірок відповідності реалізації. Поставлені завдання: а) формалізувати перехід від специфікації до внутрішньої моделі перевірок; б) синтезувати позитивні та негативні сценарії з урахуванням типів, діапазонів і композицій у *JSON Schema*; в) реалізувати орекли для кодів стану, обов'язкових заголовків і узгодженості тіла відповіді; г) забезпечити запуск із *CLI* та інтеграцію у конвеєри *CI / CD*; д) агрегувати метрики покриття та надійності перевірок для звітності.

Методи і підхід. Основою є *spec-based* валідація: усі перевірки виводяться із контракту та виконуються щодо реального сервісу. Специфікація нормалізується й дереференсується до канонічного представлення, після чого будується внутрішня модель ресурсів, операцій і параметрів. Позитивні сценарії утворюються з валідних екземплярів згідно з *JSON Schema*, а негативні – як керовані мутації, що порушують конкретні обмеження (типи, обов'язкові поля, межі, *pattern*). Для багатоваріантних представлень застосовується *content negotiation* з коректною серіалізацією, а для параметрів – стилі кодування *style / explode.*

Архітектура прототипу. Пропонується модульне ядро, що складається з компонентів дереференсингу та нормалізації, побудови моделі, генерації екземплярів, виконання запитів і ореклів, а також звітування. Інтерфейс взаємодії реалізовано у вигляді *CLI*-команди для пакетних прогонів і, за потреби, вебпереглядача звітів. Функціональність орієнтовано на розгортання у задачах зборок, де результатом є консолідований звіт і артефакти для аналізу інцидентів.

Експериментальна перевірка. Ефективність підходу оцінюється шляхом порівняння з існуючими інструментами генерації та валідації на наборі публічних і локальних сервісів. У межах такого порівняння аналізуються метрики покриття контракту, частка виявлених невідповідностей, *pass-rate* і час, необхідний для виявлення перших інцидентів. *Spec-based* валідація може забезпечувати стабільніші та інтерпретовані результати порівняно з чистим *fuzzing*, водночас зберігаючи сумісність із ним завдяки налаштованим негативним мутаціям [2-4].

Результати. Отримано робочий прототип із послідовністю «*OpenAPI* → модель → генерація сценаріїв → виконання → звіт». У межах апробації показано здатність інструмента відтворювати типові дефекти узгодженості структур і заголовків, а також підтримувати порівняння прогонів у часі. Початкові вимірювання демонструють придатність підходу для інтеграції у конвеєри постачання, де необхідний швидкий зворотний зв'язок для *pull request*.

Висновки і перспективи. Контрактна валідація на базі *OpenAPI* надає відтворюваний шлях контролю якості сервісів і зменшує ризики інтеграції. Подальший розвиток полягає у розширенні критеріїв покриття для багатокрокових послідовностей, у підтримці диференційної перевірки між версіями сервісів та в інтеграції з телеметрією експлуатації для таргетованого відбору сценаріїв. Також можливим напрямком є поєднання керованих негативних мутацій із керованим *fuzzing*, що підсилює пошук помилок без втрати пояснюваності результатів [2-4].

Список використаної літератури

[1] OpenAPI Initiative, "OpenAPI Specification. Version 3.2.0," 2025. [Online]. Available: https://spec.openapis.org/oas/v3.2.0.html

[2] M. Kim, Q. Xin, S. Sinha, and A. Orso, "Automated Test Generation for REST APIs: No Time to Rest Yet," arXiv:2204.08348, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2204.08348

[3] V. Atlidakis, P. Godefroid, and M. Polishchuk, "RESTler: Stateful REST API Fuzzing," in Proc. IEEE/ACM ICSE, 2019, pp. 748–758. doi: 10.1109/ICSE.2019.00083

[4] A. Golmohammadi, M. Zhang, and A. Arcuri, "Testing RESTful APIs: A Survey," ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., vol. 33, no. 1, art. 27, 2023. doi: 10.1145/3617175

УДК 004.82

АЛГОРИТМИ ОПЕРУВАННЯ СТРУКТУРАМИ ДАНИХ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМП'ЮТЕРА ПРИРОДНОМОВНОГО ДІАЛОГУ

Малахов К.С., Каверинський В.В. (malakhovks@nas.gov.ua)
Відділ мікропроцесорної техніки, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України (Україна)

Запропоновано гібридну підсистему природномовного діалогу інформаційного комп'ютера, що поєднує онтологічну базу знань (OWL/Apache Jena Fuseki) з сервісами на основі великих мовних моделей. Архітектура включає редукцію довгих запитів LLM-сервісом, класифікацію інтентів трансформером, вилучення сутностей правилами з лінгвістичною фільтрацією та формування SPARQL-запитів до шардованої онтології з подальшою генерацією відповідей LLM на основі отриманого JSON. За експериментальною оцінкою, точність розпізнавання інтентів становить ≈0,98, а редукція запитів разом із паралельним опитуванням онтології зменшує час відповіді на 20–30% для довгих звернень. Порівняно з rule-based підходами система є гнучкішою, а порівняно з LLM-only — забезпечує вищу фактологічну узгодженість завдяки опорі на базу знань. Обмеження стосуються потенційних «галюцинацій» LLM поза охопленням онтології.

Вступ

Сучасний Онтологічний інжиніринг є ключовим підходом до формалізації знань у діалогових системах, але його реалізація залишається трудомісткою і затратною за часом. Ручне створення онтологій вимагає значних експертних зусиль, що гальмує розвиток семантичних веб-ресурсів та інтелектуальних систем. Сучасні дослідження підтверджують, що автоматизація побудови онтологій (ontology learning) стикається з низкою проблем: відсутністю стандартних методик оцінювання якості, падінням продуктивності на великих обсягах даних та необхідністю експертної верифікації одержаних результатів. Це обмежує автономність традиційних підходів і вимагає нових рішень.

Останніми роками великі мовні моделі (Large Language Models, LLM) демонструють неабиякий потенціал у задачах обробки знань природною мовою [1]. Залучення LLM здатне суттєво спростити витягнення складних відношень і аксіом з текстів, що раніше було малоефективним. Так, використання методів на базі LLM дозволило підвищити точність виявлення нетаксономічних відношень з ~49% до ~69% (F1-міра) у порівнянні з традиційними методами. При цьому обсяг ручної роботи зі створення онтологій можна зменшити більш ніж наполовину. З'явились експериментальні системи, що автоматично оновлюють онтології в реальному часі, наближаючись до ідеї безперервної еволюції знань. Важливу роль відіграє інженерія підказок: спеціально структуровані запити (наприклад, у форматі JSON або YAML) підвищують якість результатів LLM і знижують ризик «галюцинацій». Оптимізація промптів дозволяє навіть середнім моделям майже досягати точності більших моделей, що робить інтеграцію LLM більш доступною. Водночас LLM не усувають усіх проблем: вони можуть вигадувати недостовірні факти (помилка ~8% за даними), давати непослідовні відповіді при повторних запитах та потребують значних обчислювальних ресурсів. Таким чином, гібридні архітектури, що поєднують статистичні методи (LLM) із символічними (онтології, правил- та знання-орієнтовані компоненти), розглядаються як перспективний шлях розвитку діалогових систем. Раніше діалогові системи будувалися переважно на правилах або жорстко заданих сценаріях, що забезпечувало швидкодію, але поступалося гнучкістю та якістю відповіді сучасних LLM. З іншого боку, універсальні LLM, такі як GPT-4o, часто не мають глибоких знань у вузьких предметних галузях без додаткового навчання. У цій ситуації актуальним є підхід, який комбінує переваги обох технологій.

Мета роботи – підвищити ефективність та точність підсистеми природномовного діалогу шляхом розробки гібридної системи, що поєднує онтологічну базу знань [2] з можливостями LLM [1]. Така система використовує онтологію як джерело формалізованих галузевих знань та LLM як інструмент для інтерпретації запитів і генерації відповідей. Очікується, що синергетичне поєднання статистичного та символічного ШІ дозволить подолати обмеження кожного з підходів окремо. У попередніх дослідженнях авторами створено онтологію на основі корпусу статей з реабілітаційної медицини, що використовується як база знань в даній роботі.

Матеріали і Методи

Архітектура системи. Розроблена система є багатокомпонентним чат-ботом, в якому класичні методи обробки знань поєднуються з трансформерними моделями. Вхідне користувацьке повідомлення після базового препроцесингу аналізується на наявність надто довгого тексту. Якщо повідомлення перевищує 100 символів, задіюється спеціальний сервіс редукції тексту. Цей сервіс на основі LLM скорочує запит до однієї інформативної фрази, зберігаючи основний зміст. Така попередня обробка запобігає перевантаженню наступних модулів: надто довгий текст може сповільнити або навіть порушити роботу трансформера та модуля виокремлення сутностей. Крім того, великий запит може генерувати надмірно довгі списки можливих сутностей, що призведе до виконання повільних і малоефективних SPARQL-запитів до бази знань [2]. Завдяки скороченню запиту система підтримує високу швидкодію навіть при довгих вхідних повідомленнях.

Далі опрацьований (або скорочений) запит передається до налаштованої трансформерної моделі, яка визначає інтент користувача – тобто тип необхідної інформації. В системі виділено 31 тип запитів, кожен з яких відповідає певному шаблону формального запиту до онтології. До прикладів інтентів належать: пошук контекстної інформації, опису медичної процедури, показань/протипоказань, кодів класифікаторів (ICD, CPT, тощо) та інші запити, характерні для домену реабілітаційної медицини. Визначення інтенту здійснюється шляхом багатокласової класифікації на основі трансформера, навченої на спеціально сформованому наборі даних. Для отримання навчальної вибірки використано автоматизований підхід: за допомогою LLM (зокрема GPT-4 і Qwen) було згенеровано різноманітні формулювання можливих користувацьких запитань для кожного інтенту. В ці шаблони підставлено фактичні сущності з онтології, отримані шляхом виконання SPARQL-запитів до бази знань. Таким чином, було автоматично сформовано великий корпус пар «запитання – відповідний SPARQL-запит (інтент)» [2]. Після балансування класів і перетасування корпус склав ~270 тисяч прикладів, на якому і донавчено модель-трансформер.

Паралельно працює модуль виокремлення сутностей з користувацького запиту. Він виконує лінгвістичний аналіз: виділяє значущі слова, виключає стоп-слова, приводить терміни до нормальної форми (лемматизація) та відсіює ті, що не відповідають визначеному інтенту чи відсутні в онтології. Такий підхід, подібний до рішень з робіт, де запропоновано правилові методи фільтрації, забезпечує більшу релевантність подальших запитів до бази знань. Хоча жорстке відсівання сутностей може призвести до втрати частини змісту запиту, воно суттєво скорочує кількість завідомо нерелевантних SPARQL-запитів і тим самим підвищує загальну ефективність системи [2].

Формування запиту до бази знань. Для кожного інтенту заздалегідь розроблено шаблон SPARQL-запиту, що містить змінні поля для підстановки потрібних сутностей. Після визначення інтенту та виділення ключових сутностей система підставляє їх у відповідний шаблон і генерує один або кілька SPARQL-запитів. Цей підхід відповідає методології, запропонованій в роботі [2], де використано базові та додаткові шаблони запитів для отримання потрібних даних з онтологічної бази. Виконання запитів здійснюється за допомогою серверу Apache Jena Fuseki, в якому розгорнуто OWL-онтологію предметної області. З огляду на значний обсяг знаннєвої бази, реалізовано паралельне виконання запитів на декількох шардованих фрагментах онтології. Такий підхід прискорює обробку запитів і був раніше випробуваний на подібних системах. Результати всіх часткових запитів об’єднуються і серіалізуються у структуру JSON, зручну для подальшої обробки.

Генерація відповіді. Завершальним етапом є формування тексту відповіді для користувача за даними, отриманими з бази знань. Для цього використовується LLM, яка отримує два типи вхідних даних: початковий користувацький запит (у скороченому або оригінальному вигляді) та сформований JSON із фактами, витягнутими з онтології. Модель генерує підсумкову відповідь природною мовою, інтегруючи знайдені факти у зв’язне речення чи абзац. Щоб мінімізувати галюцинації та помилки, LLM працює під керуванням системного промпта: модель інструктується використовувати надані структуровані дані для побудови відповіді, а за відсутності деяких відомостей – додавати власні припущення лише з відповідною позначкою про невпевненість. Це гарантує, що у відповіді чітко розрізняються підтверджені знання з бази та гіпотези моделі. У разі, якщо згенерована відповідь все ж містить недоліки (наприклад, нечіткість чи службову інформацію), передбачено додатковий цикл доопрацювання: відповідь повторно подається в LLM із уточнюючим запитом сформулювати її більш зрозуміло і корисно для користувача.

Реалізована система оформлена як веб-сервіс з API, що дозволяє легко інтегрувати її в різні клієнтські додатки – веб-інтерфейси, мобільні застосунки або месенджери (наприклад, створено прототип інтеграції з Telegram-ботом). Це підвищує доступність рішення для кінцевих користувачів.

Результати

Розроблений підхід було реалізовано та протестовано на запитах із домену реабілітаційної медицини [1,2]. Для оцінювання якості розпізнавання інтентів використано контрольний набір запитань. Точність роботи трансформера при класифікації запитів склала близько 0.98 (98%), що свідчить про майже безпомилкове визначення потрібного типу інформації. Це значно перевищує можливості суто правил-орієнтованого аналізу, де кожен шаблон визначається вручну, а також перевершує сценарій із прямим застосуванням загальної LLM без спеціалізації. Іншими словами, автоматизоване навчання моделі на згенерованому корпусі запитань забезпечило рівень розуміння запитів, співставний з експертною системою, але із значно вищою гнучкістю.

Використання попереднього скорочення довгих повідомлень дало змогу зменшити середню довжину запиту більш ніж удвічі, що позитивно вплинуло на продуктивність інших модулів. Система не витрачає ресурси на обробку зайвого тексту і швидше витягує релевантні сутності. Як наслідок, середній час формування SPARQL-запиту та отримання відповіді скоротився (за експериментальними оцінками – на 20-30% у порівнянні з випадком без редукції, особливо для запитів >1000 символів). Крім того, паралельне виконання запитів до шардованої онтології дозволило масштабувати систему на великий обсяг даних без втрати швидкодії. Отримані відповіді відзначалися високою узгодженістю з фактичними даними: оскільки LLM базувалася на інформації з онтології, відповіді містили актуальні відомості з наукових публікацій, на основі яких побудовано базу знань. При повторному зверненні з ідентичними запитами система генерує тотожні або дуже подібні відповіді, що вказує на стабільність її роботи (для порівняння, чисто нейромережеві чат-боти можуть давати різні відповіді через стохастичність генерації).

Переваги гібридного підходу. Запропонована система поєднує сильні сторони правил/онтологій та LLM. У порівнянні з традиційними rule-based діалоговими системами, наше рішення є гнучкішим – воно здатне розуміти різноманітні формулювання однієї і тієї ж суті запиту завдяки використанню навченої мовної моделі. Додавання нових знань у систему зводиться до оновлення онтології, не потребуючи переписування правил вручну. З іншого боку, на відміну від повністю нейромережевих LLM-only чат-ботів, наша система гарантує фактичну точність відповіді: вона опирається на перевірені дані з бази знань, що зменшує ймовірність помилок і вигадок. Так, навіть потужні моделі GPT-4 можуть допускати фактологічні похибки без доступу до вузькопрофільних даних, тоді як онтологічна компонента забезпечує необхідний контекст. Таким чином, гібридна архітектура демонструє кращу якість відповідей у тестовому домені порівняно з існуючими рішеннями: відповіді точні, послідовні та змістовні, а система загалом працює ефективно навіть при значному потоці інформації.

Висновки

Запропоновано новий підхід до реалізації підсистеми природномовного діалогу, який поєднує онтологічну базу знань із трансформерними моделями та сервісами на базі LLM. Розроблені алгоритми оперування структурами даних дозволяють ефективно обробляти запити користувачів: система точно класифікує намір (точність ~98%), відфільтровує нерелевантні дані та формує оптимізовані запити до бази знань, що забезпечує швидке отримання потрібної інформації. Генерація підсумкових відповідей за допомогою LLM гарантує природність та варіативність мовлення, одночасно зберігаючи високу достовірність завдяки опорі на онтологію. Показано, що така гібридна архітектура перевершує традиційні підходи, усуваючи їх недоліки: система гнучкіша за правило-орієнтовані чат-боти і надійніша щодо фактів, ніж чисто нейромережеві моделі.

Обмеження. Застосування LLM все ще не виключає можливості генерації недостовірних фрагментів, особливо якщо потрібні дані відсутні в онтології – в таких випадках модель може надавати власні припущення. У нашій системі це частково контролюється відповідними помітками в відповіді, проте проблема «галюцинацій» LLM залишається актуальною. Також поточна реалізація орієнтована на одну предметну область; для перенесення в інші домени потрібне наповнення нової онтології та додаткове навчання компонент.

Перспективи розвитку. Планується вдосконалення механізмів перевірки фактів, інтеграція модулів логічного виведення на основі онтології для підвищення глибини аналізу, а також реалізація безперервного поповнення знань з нових джерел (наприклад, автоматичне оновлення онтології на основі надходження нових текстових даних). Подальші дослідження будуть спрямовані на зниження залежності від великих мовних моделей шляхом оптимізації промптів та використання більш легких спеціалізованих моделей, що підвищить швидкодію і зменшить вимоги до ресурсів. Комбінація символічних та статистичних методів, доповнена експертним контролем, є перспективним напрямом для створення масштабованих і надійних діалогових систем нового покоління.

Подяки

Дослідження виконано за договором з Тернопільським національним медичним університетом ім. І.Я. Горбачевського МОЗ України – НДР «Розроблення дослідного зразка експертної системи підтримки прийняття рішень на основі ШІ (https://prozorro.gov.ua/uk/contract/UA-2025-05-13-012069-a-c1), у межах виконання НТР «Розроблення персоналізованої теледіагностичної платформи з ШІ для лікаря та пацієнта (ТД+AI)» згідно з договором між МОН України та ТНМУ імені І.Я. Горбачевського МОЗ України від 12.02.2025 № ДЗ/164-2025. Реєстраційна картка НДДКР 0125U001036 від 13.02.2025.

Дослідження також проведено в межах НДР «Розробити теоретичні засади і функціональну модель комп'ютера для обробки складних інформаційних структур» (державний реєстраційний номер: 0124U002317) та НДР «Розробити засоби підтримки технологій віртуалізації та їх використання в комп'ютерній інженерії та інших застосуваннях» (державний реєстраційний номер: 0124U001826). Усі проєкти реалізовано на базі Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (Київ, Україна).

Список використаної літератури

[1]. Петренко М.Г., Малахов К.С. Методологія і практика конвергенції міждисциплінарних знань у сфері цифрової охорони здоров'я. *Information Technologies and Systems*, Київ, 2025, Том 3 (3), 88–108. https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.03.088.

[2]. Palagin, O. V., Petrenko, M. G., Kaverinskiy, V. V., & Malakhov, K. S. (2025). A Method for Enhancing the Efficiency of RDF/XML-Structure Processing in the Apache Jena Semantic Web Framework. *Cybernetics and Systems Analysis*, 61(3), 469–486. https://doi.org/10.1007/s10559-025-00784-w.

УДК 004.41

ЕКОЛОГІЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ ЯК ПІДХІД ДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПЗ

Мартинов А. В., Карпенко В. В.

(Arsenii.Martynov@cs.khpi.edu.ua, Viacheslav.Karpenko@khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут » (Україна)

У роботі розглядається тема екологічного програмування як підходу до розробки енергоефективного програмного забезпечення. Досліджуються методології Green Software Engineering, алгоритмічні та архітектурні підходи до мінімізації енергоспоживання. Аналізуються стратегії оптимізації на рівні мов програмування, структур даних та алгоритмів. Розглядаються інструменти моніторингу енергетичних характеристик програмного забезпечення та принципи сталого розвитку в процесах розробки ПЗ.

Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується стрімким зростанням енергоспоживання програмного забезпечення та цифрової інфраструктури. IT-сектор споживає значну частину світової електроенергії, що створює потребу в розробці енергоефективних програмних рішень. а оцінками, до 2025 року у світі буде 175 зеттабайт цифрових даних, що

НТБОНТУ

потребують величезних енергозатрат на зберігання та обробку. На сектор ІКТ наразі припадає 2% світових викидів парникових газів, але до 2050 року ця цифра може зрости до 14% [1]. Розробники часто не усвідомлюють, що вибір конкретної структури даних чи алгоритму може призвести до різниці в енергоспоживанні у кілька разів . Це призводить до створення програм з надмірним енергоспоживанням та негативним впливом на довкілля.

Сучасні додатки, зокрема соціальні мережі, потокові сервіси та ігри, обробляють мільярди запитів і споживають значні обчислювальні ресурси, що у глобальних масштабах формує помітний вуглецевий слід. Тому впровадження принципів екологічного програмування є ключовим для сталого розвитку цифрової інфраструктури. Для цього використовується методологія GREENSOFT, яка охоплює вибір енергоефективних мов програмування, оптимізацію алгоритмів і архітектури систем.

Особлива увага приділяється оптимізації енергоспоживання на рівні фундаментальних операцій програмного забезпечення. Модель включає чотири основні компоненти: зелене планування, зелену розробку, зелене тестування та зелену підтримку програмного забезпечення. Компільовані мови як C показують найкращі результати енергоефективності, споживаючи в середньому в 3-5 разів менше енергії порівняно з інтерпретованими мовами як Python [2].

На алгоритмічному рівні критичними факторами є оптимізація складності обчислень та ефективне використання пам'яті. Дослідження runtime систем різних мов програмування виявило, що garbage collection та інтерпретація код значно збільшують енергоспоживання. Для мобільних додатків існує інструмент EProf, який дозволяє детально аналізувати енергоспоживання на рівні окремих компонентів програми. Цей інструмент показав, що неефективне використання мережевих з'єднань та графічних операцій є основними джерелами енерговитрат у мобільних застосунках.

Структури даних відіграють критичну роль в енергоефективності програм. Дослідження показують, що вибір між масивом та зв'язаним списком може призвести до різниці у споживанні енергії до 40% [3] для однакових операцій.

Конкретні методи оптимізації включають loop unrolling для зменшення кількості перевірок умов циклу, data prefetching для попереднього завантаження даних у кеш, та memory pooling для мінімізації динамічних виділень пам'яті. Операції вводу-виводу, особливо звернення до диску та мережі, є критичними точками енергоспоживання.

Алгоритмічна оптимізація є фундаментальним підходом до зменшення енергоспоживання програмного забезпечення, де вибір алгоритмів з нижчою обчислювальною складністю безпосередньо впливає на енергетичні витрати. Структури даних з послідовним розміщенням у пам'яті та високою локальністю даних забезпечують суттєве зниження енергоспоживання через ефективне використання кеш-пам'яті процесора. Оптимізація операцій вводу-виводу через батчінг, буферизацію та кешування може знизити енергоспоживання на 30-60% [4] у системах з інтенсивними операціями з диском та мережею. Компроміс між часовою та просторовою складністю потребує переосмислення з урахуванням енергетичних витрат на підтримку додаткової пам'яті. Практичне впровадження цих підходів вимагає від розробників глибокого розуміння взаємозв'язку між структурою коду, апаратною архітектурою та енергоспоживанням.

Ігнорування принципів екологічного програмування призводить до створення програмного забезпечення з надмірним енергоспоживанням, що у довгостроковій перспективі збільшує витрати на обслуговування та негативно впливає на довкілля. Тому впровадження енергоефективних підходів стає не лише технічною перевагою, а й необхідністю для забезпечення економічної ефективності сучасних цифрових систем.

Список використаної літератури

[1] Curiosum. Green Coding: A Guide to Energy-Efficient Programming Languages // Curiosum Blog. 2024. URL: https://www.curiosum.com/blog/green-coding-software-development-energy-efficient-programming-languages (дата звернення: 02.10.2025).

[2] Pereira R., Couto M., Ribeiro F. Energy efficiency across programming languages: how do energy, time, and memory relate? // Proceedings of the 10th ACM SIGPLAN International Conference on Software Language Engineering. 2017. P. 256-267.

[3] Investigation of Energy Efficient Data Structure for Computing and Software Design // ResearchGate.2020.URL:

https://www.researchgate.net/publication/343587305_Investigation_of_Energy_Efficient_Data_Structure_for_Computing_and_Software_Design (дата звернення: 02.10.2025).
[4] How to Create Energy-Efficient Algorithms for Computer Engineering // LinkedIn. 2023. URL: https://www.linkedin.com/advice/3/how-can-you-create-energy-efficient-algorithms-wajcf (дата звернення: 02.10.2025).

УДК 004.738.5:336.76

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЦІН ЦИФРОВИХ АКТИВІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АРБІТРАЖНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ НА ТОРГОВИХ ПЛАТФОРМАХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Медовкін В. В. (v.medovkin1664@gmail.com)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (Україна)

У роботі представлено систему моніторингу цін цифрових активів для виявлення арбітражних можливостей між торговими платформами в реальному часі. Розроблено архітектуру системи, яка забезпечує збір, обробку та аналіз цінових даних з множини криптовалютних бірж одночасно. Впроваджено алгоритми виявлення цінових розбіжностей і оцінки потенційного прибутку з урахуванням транзакційних комісій, часових затримок та глибини ринку. Система використовує технології WebSocket для отримання даних у реальному часі, Redis для кешування та PostgreSQL для збереження історичних даних. Проведено тестування на історичних даних 5 провідних криптовалютних бірж протягом 3 місяців. Результати демонструють високу ефективність системи у визначенні прибуткових арбітражних операцій з точністю 87% та середнім часом виявлення можливості менше 150 мілісекунд.

Ринок цифрових активів характеризується високою волатильністю, децентралізацією та фрагментацією між різними торговими платформами. Відсутність єдиного центру ціноутворення створює умови для виникнення арбітражних можливостей – ситуацій, коли один і той самий актив торгується за різними цінами на різних біржах протягом певного часового інтервалу. За даними досліджень, такі розбіжності можуть сягати від 0.5% до 5% і більше, особливо під час періодів високої волатильності або для менш ліквідних активів.

Проте, ефективне використання арбітражних можливостей на криптовалютному ринку стикається з рядом технічних та економічних викликів. По-перше, швидкість зміни цін на криптовалютних біржах надзвичайно висока – котирування можуть оновлюватись кілька разів на секунду. По-друге, необхідно враховувати множину факторів, які впливають на реальну прибутковість операції: торгові комісії бірж, комісії за виведення та введення коштів, час підтвердження блокчейн-транзакцій, проковзування ціни при виконанні ордерів, доступну ліквідність на обох платформах. По-третє, мануальний моніторинг десятків торгових пар на множині бірж є практично неможливим для людини. Існуючі рішення для моніторингу цін часто мають обмежену функціональність: не враховують реальні транзакційні витрати, працюють з обмеженою кількістю бірж або мають високу латентність обробки даних.

В рамках дослідження вирішено наступні науково-технічні завдання. Розроблено масштабовану архітектуру системи збору даних, яка підтримує одночасне підключення до REST та WebSocket API множини криптовалютних бірж з автоматичним відновленням з'єднань при збоях. Створено механізм синхронізації та нормалізації цінових даних з різних джерел, що враховує часові зони, формати представлення та особливості API різних платформ. Розроблено ефективний алгоритм виявлення арбітражних можливостей, який працює в режимі реального часу з мінімальною латентністю. Впроваджено модуль комплексної оцінки реальної прибутковості арбітражних операцій, який враховує всі види транзакційних витрат. Створено систему аналізу глибини ордербуку для перевірки достатності ліквідності для виконання арбітражної операції заданого обсягу. Розроблено веб-інтерфейс для візуалізації виявлених можливостей у реальному часі з можливістю налаштування фільтрів та параметрів моніторингу.

Архітектура розробленої системи базується на мікросервісному підході та принципах реактивного програмування, що забезпечує високу продуктивність та масштабованість. Система складається з п'яти основних компонентів, кожен з яких виконує специфічні функції.

Модуль збору даних відповідає за отримання цінової інформації з API криптовалютних бірж. Для максимальної швидкості система використовує WebSocket з'єднання для отримання оновлень котирувань у режимі реального часу. Паралельно здійснюються періодичні REST запити для отримання інформації про глибину ордербуку, доступні торгові пари та поточні комісії бірж. Модуль реалізовано з використанням асинхронного програмування для забезпечення одночасної обробки потоків даних з множини джерел без блокування.

Модуль нормалізації даних виконує приведення даних з різних бірж до єдиного формату. Різні біржі використовують різні позначення торгових пар, різні часові мітки та різну точність цінових значень. Модуль забезпечує уніфікацію всіх цих параметрів та синхронізацію за часом з точністю до мілісекунд.

Модуль аналізу реалізує основну логіку виявлення арбітражних можливостей. Для кожної торгової пари система постійно порівнює ціни на різних біржах та обчислює потенційну прибутковість за формулою:

$$\Delta = ((P_2 - P_1)/P_1 \times 100\%) - (F_1 + F_2 + F_n + S), \quad (1)$$

де P_1 – ціна покупки активу на першій біржі, P_2 – ціна продажу активу на другій біржі, F_1 – торгова комісія на першій біржі, F_2 – торгова комісія на другій біржі, F_n – комісія мережі блокчейн за переказ активу, S – оцінка втрат від проковзування ціни.

Для врахування проковзування ціни система аналізує глибину ордербуку і обчислює середньозважену ціну виконання для заданого обсягу операції:

$$P_avg = \Sigma(P_i \times V_i) / \Sigma V_i, \quad (2)$$

де P_i – ціна і-го рівня ордербуку, V_i – обсяг на і-му рівні ордербуку.

Розроблена система моніторингу демонструє високу ефективність у виявленні арбітражних можливостей на ринку цифрових активів в реальному часі. Використання мікросервісної архітектури, асинхронного програмування та оптимізованих алгоритмів обробки даних забезпечує необхідну швидкодію з середньою латентністю виявлення можливості 147 мілісекунд. Комплексний підхід до оцінки прибутковості з урахуванням всіх транзакційних витрат та аналізу ліквідності дозволяє мінімізувати кількість хибнопозитивних результатів до 13%.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленої системи як для автоматизованої торгівлі на криптовалютних біржах, так і для фундаментального аналізу неефективностей ринку цифрових активів. Система може бути адаптована для моніторингу інших типів фінансових інструментів та торгових платформ. Подальші дослідження спрямовані на впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування тривалості існування арбітражних вікон та оптимізації стратегій виконання операцій.

Список використаної літератури

[1] A. Smith and B. Johnson, "Real-time arbitrage detection in cryptocurrency markets using machine learning," IEEE Trans. Comput. Finance, vol. 8, no. 3, pp. 234-245, Mar. 2023.

[2] C. Lee, D. Park and K. Kim, "Microservice architecture for high-frequency trading systems in cryptocurrency exchanges," in Proc. IEEE Int. Conf. Blockchain Technol. Appl., Seoul, South Korea, 2024, pp. 112-118.

[3] D. Zhang, "Analysis of price discrepancies across cryptocurrency exchanges: A comprehensive study," J. Financial Data Sci., vol. 5, no. 2, pp. 67-82, Jun. 2023.

[4] E. Williams et al., "Latency optimization in distributed trading systems," IEEE Access, vol. 11, pp. 45678-45692, 2023.

[5] F. Garcia and M. Rodriguez, "WebSocket-based real-time data streaming for financial applications," in Proc. Int. Conf. Web Services, New York, NY, USA, 2024, pp. 201-208.

УДК 004.42

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА З ОБЛІКУ ТА УПРАВЛІННЯ МАГАЗИНОМ

Мельник А. А. (melnikandrey1004@gmail.com)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

У тезах розглянуто процес створення автоматизованої інформаційної системи для обліку та управління магазином, визначено мету, завдання, основні етапи проєктування, особливості побудови бази даних, функціональні можливості та інтерфейс користувача. Робота виконана мовою програмування C# у середовищі Visual Studio з використанням СУБД MySQL.

У сучасних умовах бізнес-процеси в управлінні магазином неможливо уявити без використання сучасних технологій та автоматизації. Автоматизована інформаційна система є необхідним інструментом для оптимізації роботи магазину та підвищення ефективності управління. Основні задачі роботи полягають у визначенні функціональних вимог до інформаційної системи, аналізі та проектуванні бази даних, розробці програмного забезпечення мовою C# з використанням технології WinForms та інтеграції з базою даних MySQL [1; 2].

Метою роботи є створення автоматизованої інформаційної системи з обліку та управління магазином, яка дозволить забезпечити ефективне управління, збільшити продажі та підвищити рівень обслуговування клієнтів. Об’єктом дослідження є магазин як суб’єкт господарювання, предметом — автоматизована інформаційна система, що включає модулі для керування продажами, складом та фінансовими операціями.

Для досягнення поставленої мети були використані сучасні технології програмування та баз даних. При розробці системи застосовувалися підходи, що базуються на принципах об’єктно-орієнтованого програмування, що дозволило створити систему, яка відповідає вимогам сучасного ринку [1].

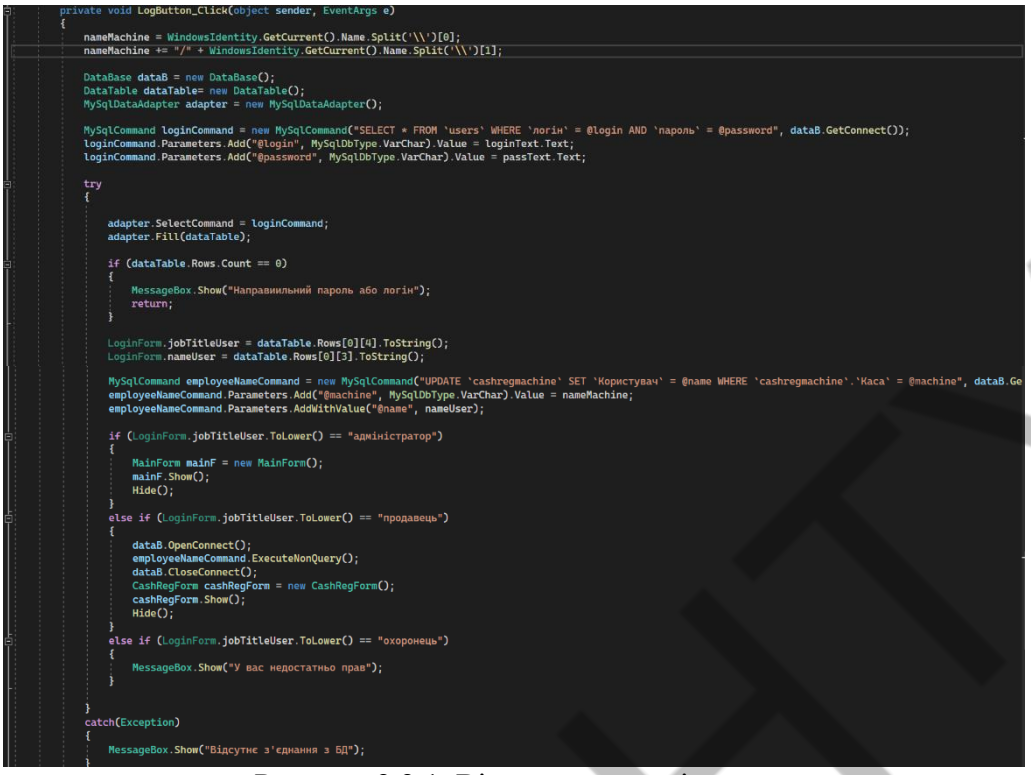
База даних інформаційної системи складається з набору таблиць, що містять інформацію про товари, персонал, касові апарати та історію чеків. Зокрема, таблиця cashreghistory містить стовпці: “Чек №”, “час”, “робітник”, “каса”, “штрихкод товару”, “кількість товару” та “грн”; таблиця cashregmachine — “каса” і “касир”; таблиця products — “штрихкод”, “назва”, “ціна”, “категорія”, “кількість”; таблиця users — “id”, “логін”, “пароль”, “ім’я”, “посада”. Це є логічна модель даних, використана для створення фізичної бази даних системи [2].

Для візуального уявлення структури бази даних у роботі наведено рисунок 2.1 – Список таблиць у базі даних, який демонструє загальну архітектуру з’єднань між таблицями. Як видно з рисунка, структура дозволяє забезпечити швидкий доступ до даних і логічну взаємодію між ключовими елементами системи.

	Таблиця	Дія						Рядки	Тип	Зіставлення	Розмір	Фрагментовані
☐	cashreghistory	☆	Переглянути	Структура	Пошук	Вставити	Очистити	Знищити	150	InnoDB	utf8_general_ci	48.0 КБ	-
☐	cashregmachine	☆	Переглянути	Структура	Пошук	Вставити	Очистити	Знищити	1	InnoDB	utf8_general_ci	16.0 КБ	-
☐	products	☆	Переглянути	Структура	Пошук	Вставити	Очистити	Знищити	43	InnoDB	utf8_general_ci	32.0 КБ	-
☐	users	☆	Переглянути	Структура	Пошук	Вставити	Очистити	Знищити	3	MyISAM	utf8_general_ci	2.2 КБ	-
	4 таблиці	Всього							197	InnoDB	utf8_general_ci	98.2 КБ	0 Б

Рисунок 2.1.Список таблиць у базі даних.

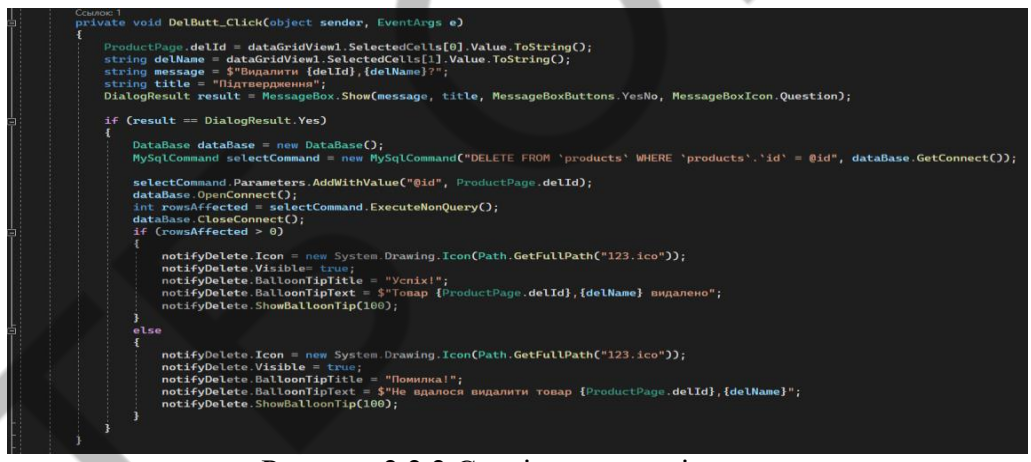
Інформаційна система включає такі функціональні модулі:
– авторизацію користувачів із різними ролями (адміністратор, продавець);
– керування товарами (додавання, редагування, фільтрування, видалення);
– облік персоналу;
– управління касовими апаратами;
– обробку замовлень і оплату;
– формування статистики продажів за обраний період [2].



```
private void LogButton_Click(object sender, EventArgs e)
{
    nameMachine = WindowsIdentity.GetCurrent().Name.Split('\\')[0];
    nameMachine += "/" + WindowsIdentity.GetCurrent().Name.Split('\\')[1];

    DataBase dataB = new DataBase();
    DataTable dataTable= new DataTable();
    MySqlDataAdapter adapter = new MySqlDataAdapter();

    MySqlCommand loginCommand = new MySqlCommand("SELECT * FROM `users` WHERE `логін` = @login AND `пароль` = @password", dataB.GetConnect());
    loginCommand.Parameters.Add("@login", MySqlDbType.VarChar).Value = loginText.Text;
    loginCommand.Parameters.Add("@password", MySqlDbType.VarChar).Value = passText.Text;

    try
    {

        adapter.SelectCommand = loginCommand;
        adapter.Fill(dataTable);

        if (dataTable.Rows.Count == 0)
        {
            MessageBox.Show("Направиильний пароль або логін");
            return;
        }

        LoginForm.jobTitleUser = dataTable.Rows[0][4].ToString();
        LoginForm.nameUser = dataTable.Rows[0][3].ToString();

        MySqlCommand employeeNameCommand = new MySqlCommand("UPDATE `cashregmachine` SET `Користувач` = @name WHERE `cashregmachine`.`Каса` = @machine", dataB.Ge
        employeeNameCommand.Parameters.Add("@machine", MySqlDbType.VarChar).Value = nameMachine;
        employeeNameCommand.Parameters.AddWithValue("@name", nameUser);

        if (LoginForm.jobTitleUser.ToLower() == "адміністратор")
        {
            MainForm mainF = new MainForm();
            mainF.Show();
            Hide();
        }
        else if (LoginForm.jobTitleUser.ToLower() == "продавець")
        {
            dataB.OpenConnect();
            employeeNameCommand.ExecuteNonQuery();
            dataB.CloseConnect();
            CashRegForm cashRegForm = new CashRegForm();
            cashRegForm.Show();
            Hide();
        }
        else if (LoginForm.jobTitleUser.ToLower() == "охоронець")
        {
            MessageBox.Show("У вас недостатньо прав");
        }

    }
    catch(Exception)
    {
        MessageBox.Show("Відсутнє з'єднання з БД");
    }
```

Рисунок 2.2.1. Вікно авторизації користувача

На рисунку 2.2.1. наведено вікно авторизації користувача, що забезпечує захищений доступ до системи.



```
Ссылок: 1
private void DelButt_Click(object sender, EventArgs e)
{
    ProductPage.delId = dataGridView1.SelectedCells[0].Value.ToString();
    string delName = dataGridView1.SelectedCells[1].Value.ToString();
    string message = $"Видалити {delId},{delName}?";
    string title = "Підтвердження";
    DialogResult result = MessageBox.Show(message, title, MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question);

    if (result == DialogResult.Yes)
    {
        DataBase dataBase = new DataBase();
        MySqlCommand selectCommand = new MySqlCommand("DELETE FROM `products` WHERE `products`.`id` = @id", dataBase.GetConnect());

        selectCommand.Parameters.AddWithValue("@id", ProductPage.delId);
        dataBase.OpenConnect();
        int rowsAffected = selectCommand.ExecuteNonQuery();
        dataBase.CloseConnect();
        if (rowsAffected > 0)
        {
            notifyDelete.Icon = new System.Drawing.Icon(Path.GetFullPath("123.ico"));
            notifyDelete.Visible= true;
            notifyDelete.BalloonTipTitle = "Успіх!";
            notifyDelete.BalloonTipText = $"Товар {ProductPage.delId},{delName} видалено";
            notifyDelete.ShowBalloonTip(100);
        }
        else
        {
            notifyDelete.Icon = new System.Drawing.Icon(Path.GetFullPath("123.ico"));
            notifyDelete.Visible = true;
            notifyDelete.BalloonTipTitle = "Помилка!";
            notifyDelete.BalloonTipText = $"Не вдалося видалити товар {ProductPage.delId},{delName}";
            notifyDelete.ShowBalloonTip(100);
        }
    }
}
```

Рисунок 2.2.2.Сторінка управління товарами

Рисунок 2.2.2. демонструє сторінку управління товарами, де здійснюється робота з базою даних, пошук і редагування записів.

```
Ссылок: 1
private void EditUs_Load(object sender, EventArgs e)
{

    DataBase dataBase = new DataBase();
    MySqlDataAdapter adapter = new MySqlDataAdapter();
    DataTable dataTable = new DataTable();
    MySqlCommand selectCommand = new MySqlCommand("SELECT * FROM `users` WHERE `ім'я` LIKE @name", dataBase.GetConnect());

    selectCommand.Parameters.AddWithValue("@name", SelectUs2.editName);



    dataBase.OpenConnect();
    adapter.SelectCommand = selectCommand;
    dataBase.CloseConnect();
    adapter.Fill(dataTable);

    loginEditUser.Text = dataTable.Rows[0][1].ToString();
    passwordEditUser.Text = dataTable.Rows[0][2].ToString();
    renameUser.Text = dataTable.Rows[0][3].ToString();
    jobTitleEditUser.Text = dataTable.Rows[0][4].ToString();
}
```

Рисунок 2.2.3. Сторінка керування персоналом

Рисунок 2.2.3. ілюструє сторінку керування персоналом, яка дає змогу адміністратору додавати або видаляти працівників.

Перед групою рисунків 2.2 подано приклади реалізації ключових елементів інтерфейсу та взаємодії користувача з системою, що підтверджують ефективність реалізації обраних методів і логічну побудову програмних форм.

Головне меню системи реалізоване у вигляді зручної навігаційної панелі, розташованої зліва, із можливістю швидкого переходу між сторінками. Нижнє меню кожної сторінки містить кнопки для виконання основних дій: оновлення даних, додавання, редагування чи видалення записів.

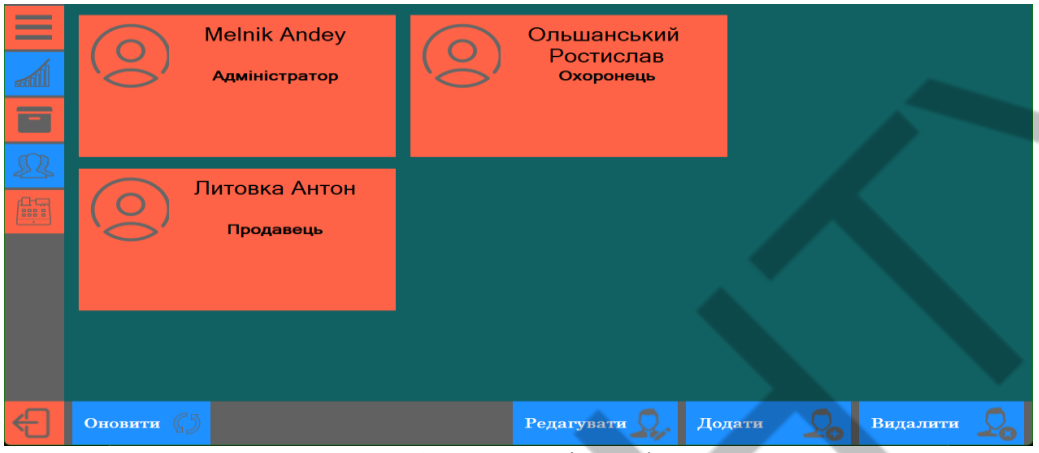


Рисунок 2.4.2. Форма інтерфейсу користувача

Рисунок 2.4.2. Головна форма інтерфейсу користувача демонструє розташування навігаційних елементів і відображення поточного розділу.

База даних розміщена на платформі [4], що забезпечує стабільний доступ і можливість роботи системи з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету.

Автоматизована інформаційна система створює умови для ефективного управління діяльністю магазину, скорочення часу на обробку операцій, підвищення точності даних і якості обслуговування клієнтів [3; 5].

Запропонована автоматизована інформаційна система забезпечує комплексне управління основними процесами діяльності магазину. Її структура охоплює всі етапи роботи — від авторизації користувача та ведення бази товарів до формування чеків і аналізу фінансової статистики. Завдяки використанню технологій C# і MySQL досягнуто стабільної взаємодії між інтерфейсом користувача та базою даних, що гарантує швидкість і точність обробки інформації.

Інтерфейс системи є зручним, логічно організованим і придатним для щоденного використання персоналом без спеціальної підготовки. Реалізація функцій управління персоналом, касовими апаратами та складськими операціями дозволяє оптимізувати робочі процеси й скоротити час на виконання рутинних операцій.

Список використаної літератури:

[1] Розробка програми демонстрації роботи з потоками виконання у застосунках типу Windows Form. Елемент управління BackgroundWorker. BestProgURL: https://www.bestprog.net/uk/2021/04/09/c-windows-forms-development-of-a-program-for-demonstrating-work-with-threads-of-execution-ua/ (дата звернення: 20.10.2025).

[2] Хаджийський Я. Відеокурс MySQL базовий для початківців українською мовою - відеоуроки програмування | ITVDN URL: https://itvdn.com/ua/video/mysql-essential-ua/ (дата звернення: 16.10.2025).

[3] C# уроки для початківців - курси навчання C# для початківців з нуля на itProger. *itProger - Спільнота програмістів*. URL: https://itproger.com/ua/course/csharp/ (дата звернення: 05.10.2025).

[4] Встановлення phpmyadmin на сервері: Покрокова інструкція. *INTROSERV*. URL: https://introserv.com/ua/tutorials/ustanovka-phpmyadmin/ (дата звернення: 10.10.2025).

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Мєраджи Марія Володимирівна (mieradzhimaria@gmail.com)
Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій Одеського національного технологічного університету" (Україна)

У даній статті обговорюються актуальні підходи до розробки інформаційних систем і програмних продуктів. У роботі розглянуто ключові етапи створення інформаційних систем, описано підходи до моделювання та підкреслено важливість використання UML-діаграм і CASE-засобів. Особливу увагу приділено тому, як грамотне проектування впливає на якість, стабільність і довговічність програмних продуктів. У висновках наголошено на необхідності застосування комплексного підходу під час розробки таких систем.

Постановка проблеми

У сучасному світі більшість організацій працюють в умовах високої конкуренції, де головним ресурсом стає інформація. Постійний обмін даними, їхній великий обсяг та необхідність швидкої обробки призводять до потреби в ефективних інформаційних системах.

Такі системи повинні не лише збирати та зберігати дані, а й забезпечувати їх оперативний аналіз, підтримку управлінських рішень та автоматизацію бізнес-процесів. Головна складність полягає у тому, що разом із зростанням масштабів підприємств ускладнюється і структура програмних комплексів, що підвищує вимоги до їхньої якості, надійності та гнучкості.

Завдання дослідження

Метою даної роботи є аналіз сучасних підходів і методів проектування інформаційних систем. Для досягнення цієї мети необхідно:

- дослідити актуальні методології створення програмних комплексів;
- визначити роль UML-моделювання та CASE-засобів у процесі проектування;
- окреслити ключові етапи розробки та архітектурні рішення;
- сформувати висновки щодо найбільш ефективних способів організації проектування.

Основний матеріал

Проектування інформаційних систем є базовим етапом розробки програмного забезпечення. Воно починається з аналізу потреб користувачів, формування вимог та їх структуризації. Далі створюється модель системи, яка описує її функціональні можливості, взаємодію компонентів та архітектуру.

На практиці застосовуються різні підходи до організації життєвого циклу:

- каскадна модель підходить для чітко визначених завдань;
- спіральна модель дозволяє поєднувати розробку з постійною перевіркою результатів;
- Agile-методології орієнтовані на гнучкість і швидкі зміни;
- DevOps інтегрує розробку та підтримку, скорочуючи час виходу продукту на ринок.

Важливим інструментом для опису систем є уніфікована мова моделювання (UML). Вона включає різні типи діаграм: від варіантів використання (Use Case) до діаграм класів і станів. Використання UML дозволяє розробникам, аналітикам та замовникам мати єдине розуміння структури та поведінки майбутньої системи.

Для полегшення процесу розробки активно застосовуються CASE-засоби. Наприклад, Enterprise Architect, Visual Paradigm, MagicDraw.

ITBOHTY

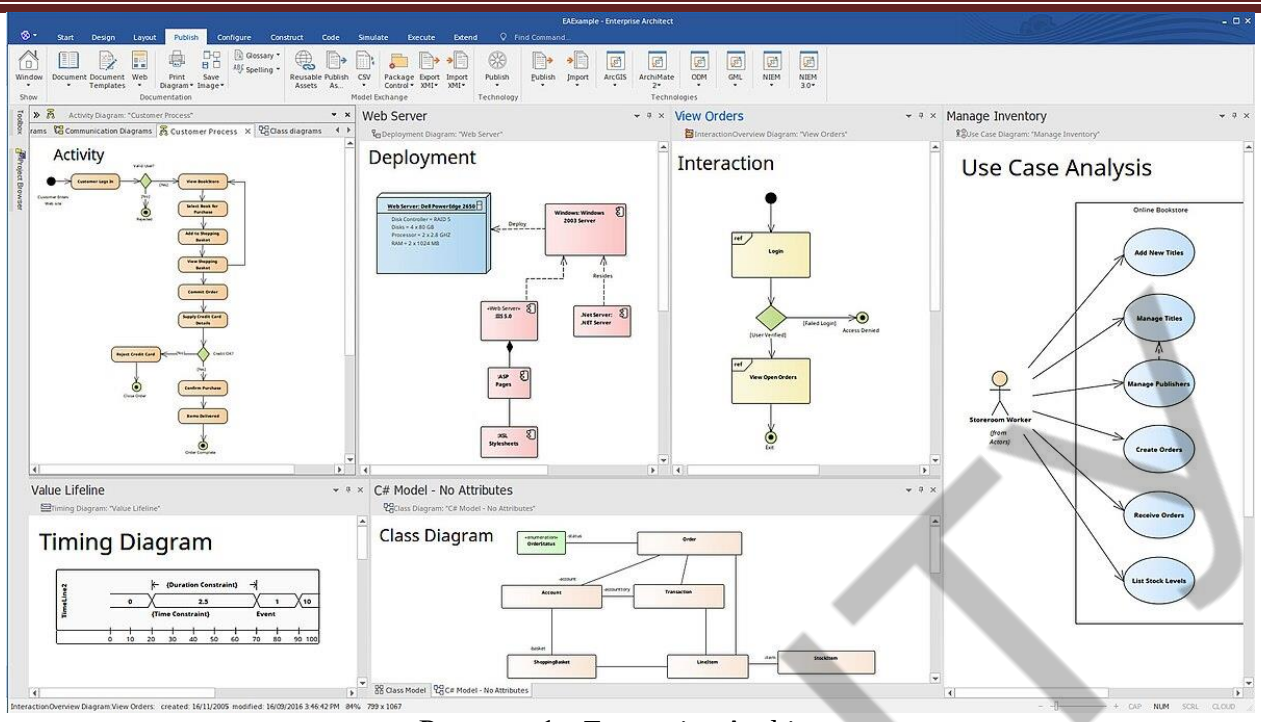


Рисунок 1 - Enterprise Architect

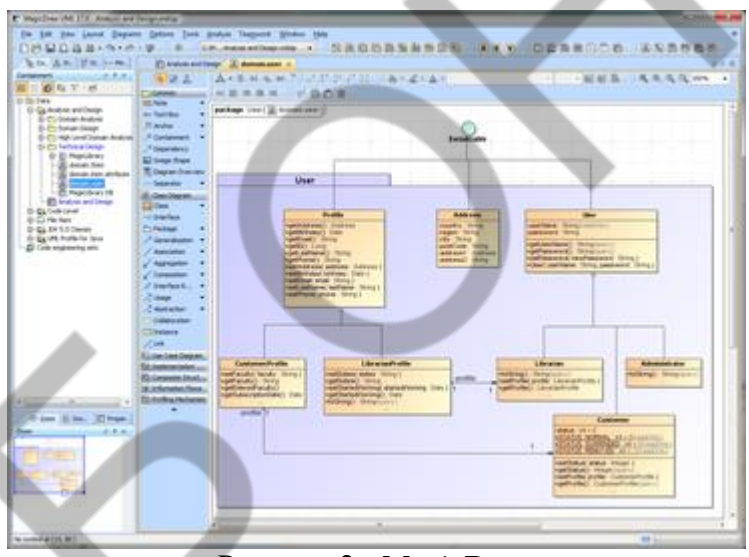


Рисунок 2 - MagicDraw

Вони автоматизують створення діаграм, спрощують документування та зменшують ймовірність помилок ще на етапі проектування.

Таблиця 1. Основні етапи життєвого циклу ІС

Етап	**Характеристика**	**Роль у проєкті**
Аналіз вимог	Виявлення потреб користувачів, постановка задачі	Забезпечує чітке розуміння цілей системи
Проєктування	Розробка моделей (UML, DFD, ERD), вибір архітектури	Формує основу для подальшої реалізації
Реалізація	Програмування, налаштування БД, інтеграція модулів	Створення працездатного продукту
Тестування	Перевірка працездатності та якості ПЗ	Виявлення та усунення помилок
Впровадження	Інсталяція системи, навчання користувачів	Підготовка до практичного використання
Супровід	Оновлення, усунення недоліків, адаптація	Забезпечує довговічність і актуальність ПЗ

Таблиця 2. Методи моделювання

Метод	**Особливості**	**Приклади**
UML-діаграми	Універсальна нотація, відображає структуру та процеси	Use Case, Activity, Class Diagram
DFD (діаграми потоків даних)	Показують рух інформації між процесами	Контекстна діаграма
ERD (діаграми «сутність-зв'язок»)	Відображають структуру БД і зв'язки між сутностями	Таблиці клієнтів, замовлень
CASE-засоби	Автоматизація проєктування, генерація коду	Rational Rose, Enterprise Architect

Висновки

Отже, проектування інформаційних систем та програмних комплексів — це багаторівневий процес, який вимагає поєднання аналітичних методів, сучасних технологій моделювання та грамотних архітектурних рішень. Використання UML-діаграм та CASE-засобів суттєво підвищує якість розробки, робить систему більш зрозумілою та знижує витрати часу.

Подальший розвиток цієї сфери, ймовірно, буде пов'язаний із ширшим використанням автоматизованих інструментів проектування, а також інтеграцією штучного інтелекту, який зможе допомагати у виборі архітектурних рішень та оптимізації бізнес-процесів.

Список використаної літератури

[1] I. Sommerville, *Software Engineering*, 10th ed. Pearson, 2016.

[3] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 8th ed. McGraw-Hill, 2014.

УДК 004.65

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МАСШТАБУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

Миргородський А.В. (mirgorodskijav@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У роботі розглянуто сучасні підходи до масштабування систем керування базами даних (СКБД) з урахуванням проблеми забезпечення узгодженості даних у розподілених середовищах. Проаналізовано вертикальні, горизонтальні та діагональні методи масштабування, їх архітектурні особливості, переваги та обмеження. Показано, що горизонтальне масштабування надає значний потенціал для підвищення продуктивності, проте супроводжується ризиком втрати узгодженості даних при асинхронній реплікації. Розглянуто приклади реалізації масштабування в реляційних та нереляційних СКБД, зокрема Microsoft SQL Server, etcd, Neo4j та Amazon DynamoDB.

Сучасні інформаційні системи характеризуються стрімким зростанням обсягів даних та кількості користувацьких запитів, що вимагає розроблення нових підходів до забезпечення масштабованості та узгодженості даних у системах керування базами даних (СКБД) [1]. Традиційні реляційні СКБД, які орієнтовані на вертикальне масштабування, мають обмежений потенціал для підвищення продуктивності в умовах високих навантажень. Водночас, горизонтальне масштабування відкриває можливість ефективного розподілу запитів між численними вузлами, але потребує додаткових механізмів забезпечення узгодженості та відмовостійкості системи. Метою дослідження є аналіз підходів до масштабування систем керування базами даних та їх удосконалення з урахуванням особливостей узгодженості даних в розподілених системах.

До типових способів класифікації методів масштабування СКБД та інших інформаційних систем можна віднести розділення на вертикальне та горизонтальне масштабування. Вертикальний підхід передбачає зміну кількості ресурсів, що доступні програмній системі [2]. Це може включати як зменшення, так і збільшення віртуальних або апаратних лімітів на RAM, CPU тощо. Наприклад, для локальних (on-premise) датацентрів це може бути фізична заміна одного сервера на інший. Для хмарних провайдерів можуть бути доступні більш гнучкі опції, як-от зміна лімітів ресурсів для безсерверних (serverless) систем або ж міграція на інший типу віртуальної машини. Основною перевагою вертикального масштабування є відсутність потреби у внесенні змін до програмного забезпечення для підтримки цього режиму роботи [3]. Якщо система здатна використовувати додаткові ресурси, то в багатьох випадках можна очікувати потенційне покращення продуктивності або ж збільшення стабільності роботи під навантаженням.

Горизонтальне масштабування передбачає протилежний підхід – замість збільшення кількості доступних ресурсів на сервері, збільшується кількість самих серверів (фізичних або ж віртуальних) в інформаційній системі [4]. Застосування цього методу вимагає додаткових змін в програмному забезпеченні для підтримки одночасної роботи декількох екземплярів застосунку або ж проєктування архітектури без стану (stateless architecture) [5]. Проте, горизонтальне масштабування надає більше можливостей в високонавантажених сценаріях застосування. Збільшувати ресурси одного сервера можна лише до певної апаратної межі, після чого подальший ріст є технологічно або фінансово неможливим, коли як при горизонтальному масштабуванні можна далі збільшувати кластер менших і дешевших вузлів. Підхід до горизонтального масштабування набув більш широкої популяризації за розвитку технологій віртуалізації та контейнеризації, що значно спростили задачі розгортання нових екземплярів ПЗ та відкрили нові шляхи до автоматизації цього процесу [6].

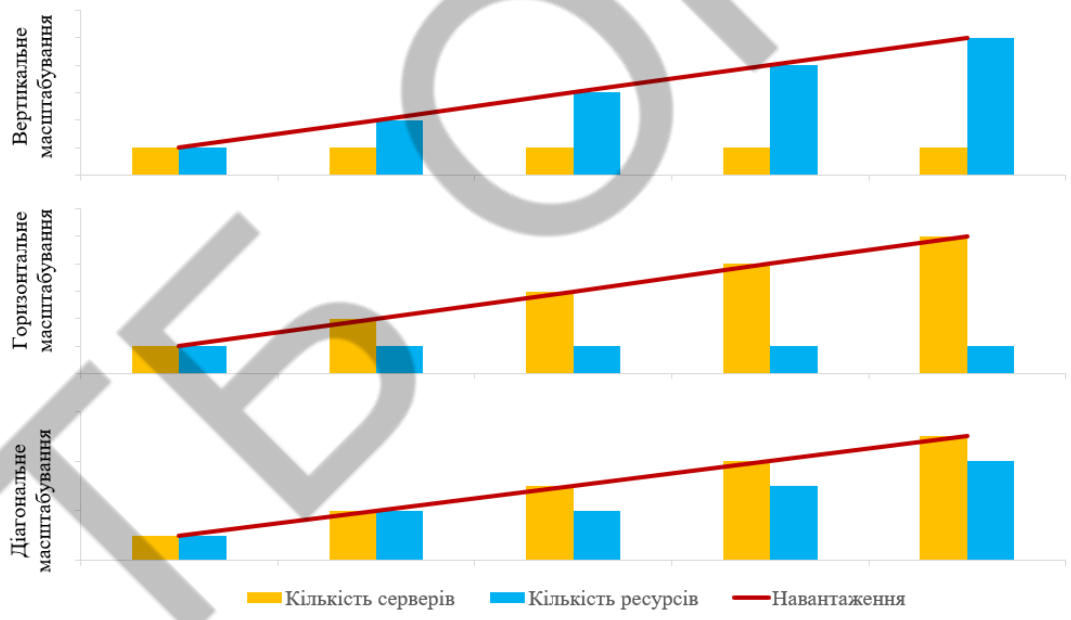


Рисунок 1 – Співвідношення навантаження, серверів та їх ресурсів в різних розглянутих метода масштабування

Також можна зустріти комбінацію горизонтального та вертикального масштабування, коли зі збільшення навантаження на систему виділяються і додаткові сервери/екземпляри додатку, і змінюються ліміти ресурсів для них. Іноді цей підхід виділяються в якості окремого методу діагонального масштабування [7]. Закономірності навантаження та ресурсів у всіх розглянутих методах наведено на рисунку 1.

системи керування базами даних здатні обробляти великі об’єми вхідних запитів навіть з застосуванням лише вертикального масштабування. Використання горизонтального або діагонального методу обмежується гарантіями узгодженості даних та ACID, які підтримуються тією чи іншою СКБД. Наприклад, класичні реляційні бази даних, як-от Microsoft SQL Server, лише частково використовують переваги збільшення кількості серверів. Зазвичай в кластері СКБД одночасно існує декілька вузлів, але лише один з них виступає головним і керує процесом

НТБОНТУ

виконання транзакцій та інших операцій запису [8], коли-як другорядні сервери здатні виконувати операцій зчитування або ж просто перебувають в режимі очікування і виконують операції лише при непрацездатності поточного лідера кластера.

У сценаріях з великим обсягом вичитування даних асиметрична модель з головним та другорядними вузлами дозволяє досягти помітно кращої продуктивності всієї інформаційної системи в цілому, але операції запису мають подібну до одно-вузлового режиму продуктивність. Популярною стратегією також є розподіл другорядних вузлів в географічно віддалених точках для досягнення нижчих затримок до кінцевих клієнтів СКБД. Більш того, варто розрізняти асинхронний та синхронний режими запису при горизонтальному масштабуванні системи. Асинхронний режим не передбачає додаткової двосторонньої комунікації з другорядними вузлами – операція лише підтверджується на головному вузлі, після чого інші сервери можуть отримати цю інформацію з певною затримкою [9], тобто – вони деякий час можуть повертати застарілі дані. Синхронний режим вимагає підтвердження і реплікації транзакції на всіх вузлах системи, що забезпечує кращі гарантії узгодженості, але потенційно більші затримки і меншу продуктивність [9]. Таким чином, застосування горизонтального масштабування в СКБД не в усіх сценаріях приводить до покращення продуктивності системи в цілому.

Нереляційні системи керування базами даних також часто застосовують подібний кластерний підхід з головним і другорядними вузлами. Наприклад, розподілена key-value СКБД etcd та графова Neo4j використовують алгоритм консенсусу Raft, що підтримує строгу узгодженість даних за допомогою роутингу запитів через вузол-лідера . Проте, кращої швидкодії потенційно можуть досягти бази даних зі слабшими моделями узгодженості. Наприклад, розподілена СКБД Amazon DynamoDB використовує кінцеву узгодженість за замовчуванням, що дозволяє досягти швидкодії менше 10 мс для запитів читання та запису [10]. Для сценаріїв використання, де отримання застарілих даних не може толеруватись (наприклад, e-commerce та інші комерційні або фінансові застосунки), перспективним може бути застосування адаптивних моделей узгодженості, що здатні обирати найкращий спосіб обробки згідно з класом даних або запиту [11], а також різні методи сегментації. Система керування базами даних, що побудована за таким способом, зможе підтримувати високу швидкодію одночасно з усіма перевагами горизонтального масштабування, а саме покращеною продуктивністю та відмовостійкістю.

Таким чином, проаналізовано основні підходи до масштабування систем керування базами даних та виявлено їх вплив на продуктивність і узгодженість даних. Горизонтальне масштабування забезпечує більшу гнучкість і відмовостійкість, проте потребує ефективних механізмів узгодження даних між вузлами. Перспективним напрямом розвитку є застосування адаптивних моделей узгодженості, що можуть дозволити поєднувати високу швидкодію одночасно з усіма перевагами сучасних методів масштабування.

Список використаної літератури

[1] Y. Jani, “Optimizing database performance for large-scale enterprise applications,” Int. J. Sci. Res. (IJSR), vol. 11, no. 10, pp. 1394–1396, Oct. 2022. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.21275/sr24716121211

[2] A. H. Ali and M. Z. Abdullah, “A survey on vertical and horizontal scaling platforms for big data analytics,” Int. J. Integr. Eng., vol. 11, no. 6, Sep. 2019. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.06.015

[3] C. Custer. “Vertical vs. horizontal scaling: What’s the difference and which is better?” CockroachDB. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://www.cockroachlabs.com/blog/vertical-scaling-vs-horizontal-scaling/

[4] “Efficient horizontal scaling of databases using data sharding technique,” Int. J. Innovative Technol. Exploring Eng., vol. 9, no. 5, pp. 590–593, Mar. 2020. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.35940/ijitee.e2418.039520

[5] J. Kehayias. “Pros and cons of horizontal vs. vertical scaling.” SolarWinds Blog. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://www.solarwinds.com/blog/pros-and-cons-of-horizontal-vs-vertical-scaling

[6] M. P. Yadav, G. Raj, H. A. Akarte, and D. K. Yadav, “Horizontal scaling for containerized application using hybrid approach,” Ingénierie des systèmes d inf., vol. 25, no. 6, pp. 709–718, Dec. 2020. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.18280/isi.250601

[7] M. McCabe. “What is diagonal scaling and when is it your best option?” Harper. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://www.harper.fast/resources/what-is-diagonal-scaling-and-when-is-it-your-best-option

[8] J. A. Mendoza-Labastida, M. Clavel-Maqueda, O. García-Pérez, and E. Cornejo-Velazquez, “An empirical hybrid strategy for NoSQL database distribution,” Int. J. Combinatorial Optim. Problems Inform., vol. 15, no. 1, pp. 51–61, May 2024. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.61467/2007.1558.2024.v15i1.435

[9] M. O. Cordero, G. O. Cordero, and E. C. Martinez, “An open source synchronous and asynchronous approach for database replication,” in Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer Int. Publishing, 2018, pp. 45–56. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-02828-2_4

[10] R. Goel, “DynamoDB performance: A technical exploration,” Amer. J. Comput. Archit., vol. 11, no. 5, pp. 59–61, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.5923/j.ajca.20241105.01

[11] А. В. Миргородський, О. В. Романюк та О. Н. Романюк, “Аналіз динамічних моделей забезпечення узгодженості даних у розподілених системах керування базами даних”, Measuring Comput. Devices Technolog. Processes, № 3, с. 285–292, 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-35

УДК 004.4’42:004.75

ЄДИНЕ ДЕВ-СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ WINDOWS/MACOS/LINUX: DOCKER DEV CONTAINERS, DOCKER COMPOSE І MULTI-ARCH ОБРАЗИ ЯК БАЗИС УНІФІКАЦІЇ

Михайленко Д. В., Михайленко С. В. (mismartconfig@gmail.com, newsklog@gmail.com),
Національний університет "Одеська політехніка" (Україна)

Анотація. *У роботі розглянуто проблему уніфікації середовищ розробки для різних операційних систем та запропоновано підхід на основі Docker Dev Containers, Docker Compose і multi-arch образів. Проаналізовано основні виклики, з якими стикаються команди розробників при роботі в гетерогенних середовищах, та описано механізми їх вирішення за допомогою контейнеризації.*

Постановка проблеми. Сучасна розробка програмного забезпечення характеризується високою гетерогенністю робочих середовищ. Розробники в межах однієї команди можуть використовувати різні операційні системи: Windows, macOS або Linux, що створює значні труднощі для забезпечення однорідності конфігурацій та відтворюваності результатів. Проблема «у мене працює, а в тебе ні» стає критичною перешкодою для ефективної командної роботи та швидкої інтеграції нових членів команди.

Традиційні підходи до вирішення цієї проблеми включають детальне документування інструкцій зі встановлення, використання менеджерів залежностей або віртуальних машин. Однак документація швидко застаріває, менеджери залежностей не вирішують проблему системних відмінностей між операційними системами, а віртуальні машини вимагають значних ресурсів та складні в управлінні. Відсутність єдиного стандартизованого підходу призводить до втрати часу на налаштування середовищ, ускладнює процес онбордингу нових розробників та збільшує ймовірність виникнення помилок, пов'язаних з відмінностями в конфігураціях.

Вступна частина. Контейнеризація останніми роками стала активно використовуватися не тільки для продакшн-середовищ, але й для локальної розробки. Docker надає інструменти для створення ізольованих, відтворюваних середовищ, що працюють однаково на будь-якій операційній системі. Концепція Development Containers розширює базові можливості Docker, пропонуючи стандартизований підхід до конфігурації середовищ розробки з інтеграцією в популярні IDE. Docker Compose дозволяє декларативно описувати багатоконтейнерні додатки та їх залежності, що важливо для мікросервісних архітектур. Підтримка multi-arch образів забезпечує використання однакових образів на різних апаратних архітектурах, таких як x86_64 та ARM64, що стало актуальним після появи Apple Silicon.

Мета роботи. Метою дослідження є аналіз можливостей створення єдиного уніфікованого середовища розробки для основних операційних систем за допомогою Docker Dev Containers, Docker Compose та multi-arch образів. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати особливості та переваги використання Dev Containers порівняно з традиційними підходами; розглянути механізми роботи Docker Compose для оркестрації багатоконтейнерних середовищ розробки; дослідити підтримку multi-arch образів та їх значення для забезпечення кросплатформеності; виявити обмеження та виклики, пов'язані з впровадженням такого підходу.

Основна частина. Docker Dev Containers базується на концепції контейнера як повноцінного середовища розробки. Конфігурація описується у файлі Dockerfile, який містить інформацію про базовий образ, встановлені потрібні утиліти, вказані порти та змінні оточення. Будь-який розробник може клонувати репозиторій і за кілька хвилин отримати готове середовище, ідентичне тому, що використовують інші члени команди.

Інтеграція Dev Containers з Visual Studio Code створює безшовний досвід розробки. Розробник працює з кодом як у локальному середовищі, але процеси виконуються всередині контейнера, що забезпечує ізоляцію та уникає забруднення хост-системи залежностями проекту. Docker Compose розширює можливості для складніших сценаріїв. Типове веб-застосування включає кілька сервісів: фронтенд, бекенд, базу даних, черги повідомлень. Compose дозволяє описати інфраструктуру у файлі docker-compose.yml, визначити залежності між сервісами та налаштувати мережі. Розробник може одною командою запустити весь стек локально, що наближає середовище розробки до продакшн-оточення.

Підтримка multi-arch образів вирішує проблему сумісності між архітектурами. Docker використовує маніфести образів, що дозволяють одному тегу посилатися на різні варіанти для різних платформ. Розробник на Apple Silicon автоматично отримує ARM64-версію образу, а на Windows або Linux з Intel - x86_64-версію, що прозоро для користувача.

Створення multi-arch образів здійснюється за допомогою Docker Buildx, що підтримує побудову для різних архітектур на одній машині завдяки емуляції QEMU. Це дозволяє підтримувати кросплатформеність без окремих білд-серверів.

Доцільність використання моделі. Уніфіковане середовище на основі Docker Dev Containers приносить відчутні переваги. Час онбордингу нових розробників скорочується з днів до годин, оскільки не потрібно вручну встановлювати залежності. Проблеми несумісності версій між операційними системами практично зникають, оскільки всі працюють в ідентичних контейнерах. Такий підхід полегшує підтримку legacy-проектів з застарілими версіями мов або бібліотек, які важко встановити на сучасних системах. Близькість середовища розробки до продакшн-оточення підвищує якість коду та зменшує кількість помилок, що виявляються на етапі розгортання.

Обмеження та виклики. Впровадження Docker-based середовищ має певні обмеження. По-перше, Docker вимагає достатньо потужного апаратного забезпечення, особливо оперативної пам'яті. На Windows і macOS Docker використовує віртуалізацію, що додає накладні витрати порівняно з нативним Linux. По-друге, існує крива навчання для розробників, які раніше не працювали з Docker. Потрібен час для освоєння базових концепцій контейнеризації, мереж та образів. Третім викликом є продуктивність файлової системи, особливо на macOS та Windows, де монтування директорій у контейнер може бути повільнішим порівняно з роботою безпосередньо у файловій системі..

Висновки. Docker Dev Containers у поєднанні з Docker Compose та multi-arch образами представляють потужне рішення для створення єдиного уніфікованого середовища розробки, що працює однаково на Windows, macOS та Linux. Цей підхід вирішує проблему гетерогенності робочих середовищ, забезпечуючи відтворюваність конфігурацій та спрощуючи онбординг нових розробників. Використання контейнерів наближає середовище розробки до продакшн-оточення, що підвищує якість коду та зменшує помилки на етапі розгортання. Підтримка multi-arch образів забезпечує справжню кросплатформеність для різних апаратних архітектур. Хоча впровадження вимагає початкових інвестицій у навчання команди, довгострокові переваги у вигляді підвищеної продуктивності та зменшення технічного боргу значно переважають витрати. В умовах сучасної розробки стандартизація середовищ через контейнеризацію стає необхідністю.

Список використаної літератури

[1] «Development Containers Specification (2024)» [Онлайн]. Available: https://containers.dev/ [Accessed: September 10, 2025].

[2] «Docker Documentation: Multi-platform images (2024)» [Онлайн]. Available: https://docs.docker.com/build/building/multi-platform/ [Accessed: September 19, 2025].

[3] «Docker Compose Overview (2024)» [Онлайн]. Available: https://docs.docker.com/compose/ [Accessed: September 29, 2025].

УДК 681.518.3:004.738.5:004.056.5

БРАУЗЕРНИЙ HMI БЕЗ ІНСТАЛЯЦІЙ: SPA + WEBSOCKET + JWT ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ПЛК

Михайленко С. В., Михайленко Д. В., Ядрова М. В.
(newsklog@gmail.com, mismartconfig@gmail.com, yadrova@op.edu.ua),
Національний університет "Одеська політехніка" (Україна)

Анотація. *У роботі розглядається підхід до створення веб-орієнтованого інтерфейсу людина-машина для віддаленого керування програмованими логічними контролерами (ПЛК) без встановлення спеціалізованого програмного забезпечення. Рішення базується на технологіях SPA, протоколу WebSocket для передачі даних у режимі реального часу та JWT-токенів для забезпечення безпеки. Особлива увага приділяється механізмам блокування небезпечних операцій та журналу дій користувачів.*

Постановка проблеми. Традиційні HMI-системи вимагають встановлення спеціалізованого програмного забезпечення на робочі станції операторів, що створює проблеми сумісності з різними операційними системами, ускладнює оновлення та обмежує доступ до системи лише з локальних комп'ютерів. Розвиток веб-технологій дозволяє створювати повноцінні HMI-системи безпосередньо в браузері, забезпечуючи доступ з будь-якого пристрою без додаткових інсталяцій. Інтерфейси людина-машина відіграють критичну роль у промисловій автоматизації, забезпечуючи взаємодію операторів з технологічним обладнанням, можливість моніторингу стану обладнання, оперативного реагування на зміни параметрів та отримання попереджень про критичні ситуації. Водночас виникають виклики, пов'язані з безпекою передачі даних, забезпеченням роботи в режимі реального часу та реалізацією механізмів захисту від помилкових дій.

Мета роботи. Розробка архітектури браузерного HMI-додатку для віддаленого керування ПЛК, що забезпечує відображення даних у реальному часі, безпечну аутентифікацію користувачів та механізми запобігання небезпечних операцій. Для досягнення мети необхідно визначити оптимальний стек технологій, розробити механізм двостороннього обміну даними, реалізувати систему розмежування прав доступу на основі JWT, створити механізм блокувань та забезпечити ведення журналу дій.

Основна частина. SPA-архітектура передбачає завантаження коду додатку при першому відкритті сторінки, після чого інтерфейс керується на стороні клієнта через JavaScript. Це забезпечує швидку роботу без перезавантажень сторінки. Сучасні фреймворки React, Vue.js або Angular надають інструменти для створення інтерактивних інтерфейсів з компонентним підходом. На відміну від традиційних веб-додатків з серверним рендерингом, які вимагають постійного опитування сервера, SPA-підхід критично важливий для систем керування, де оператор повинен постійно бачити актуальний стан обладнання.

Протокол WebSocket надає двосторонній обмін даними через постійне з'єднання. На відміну від HTTP-запитів, WebSocket дозволяє серверу самостійно передавати дані клієнту без попереднього запиту. Це ідеально підходить для відображення даних з ПЛК у реальному часі: зміни значень датчиків, станів механізмів, сигналів тривог миттєво передаються на підключені клієнтські додатки з затримкою лише кілька мілісекунд. Такий підхід дозволяє реалізувати панелі моніторингу, що миттєво оновлюються, або навіть візуальні цифрові твіни виробничих процесів.

JWT-токени забезпечують надійну систему аутентифікації без зберігання сесій на сервері. Після автентифікації користувач отримує підписаний токен з інформацією про права доступу. Токен передається при кожному запиті, дозволяючи серверу перевірити легітимність користувача. Важливою перевагою є встановлення часу життя токена та його автоматичне оновлення, що підвищує безпеку. Для промислових систем можливе поєднання JWT із апаратними методами авторизації, наприклад, двофакторною автентифікацією через USB-токен або QR-код з мобільного додатку.

Система блокувань (interlocks) реалізується на декількох рівнях. На рівні інтерфейсу елементи керування блокуються або приховуються залежно від стану системи та прав користувача. Наприклад, кнопка запуску двигуна буде недоступною без виконання передумов безпечного запуску. Візуальні індикатори показують оператору причини блокування. На рівні сервера команди проходять додаткову перевірку перед відправкою до ПЛК. Навіть, якщо зловмисник обійде клієнтські обмеження, серверна логіка блокує небезпечні операції. Сервер відстежує послідовність команд та запобігає конфліктним діям від різних операторів. Журнал дій фіксує всі операції з позначкою часу, імені користувача та результату виконання, забезпечуючи аудит та розслідування інцидентів.

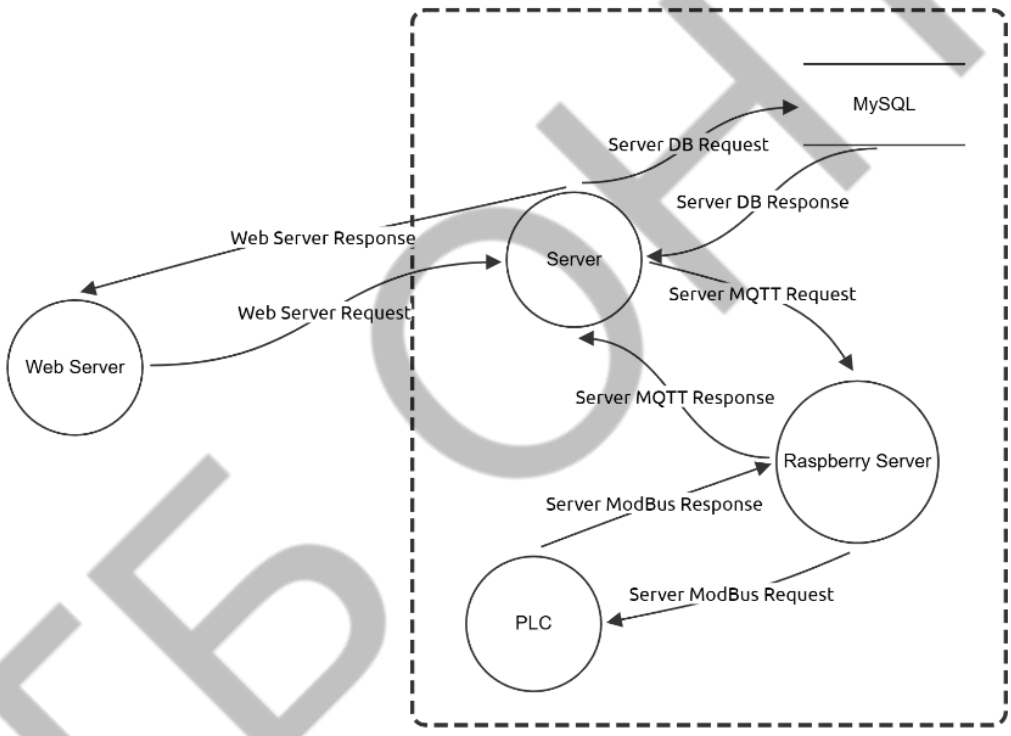


Рис. 1. Логічна структура системи віддаленого керування ПЛК із використанням SPA, WebSocket та MQTT

Додатковим аспектом є інтеграція з хмарними сервісами та системами SCADA. Використання стандартних API дозволяє відображати дані з ПЛК у корпоративних аналітичних панелях або мобільних додатках. Таким чином, браузерний HMI може стати частиною більшої екосистеми промислового Інтернету речей (IIoT), де дані з виробництва аналізуються в реальному часі для підвищення ефективності та прогнозування відмов.

Обмеження та виклики. Браузерні HMI-системи мають залежність від стабільності мережевого з'єднання. Втрата зв'язку призводить до неможливості керування системою, тому необхідні резервні канали та механізми автоматичного перепідключення. Безпека веб-додатків вимагає захисту від вразливостей XSS, CSRF, ін’єкцій, використання HTTPS для шифрування трафіку та регулярного оновлення залежностей. Продуктивність браузерів може обмежувати складні візуалізації з великою кількістю елементів, що оновлюються одночасно, тому необхідна оптимізація рендерингу та вибіркове оновлення змінених елементів.

Висновки. Браузерні HMI-системи на базі SPA, WebSocket та JWT представляють сучасний підхід до віддаленого керування промисловим обладнанням (зокрема, програмованими логічними

контролерами). Системи забезпечують гнучкість розгортання, не вимагають встановлення спеціалізованого ПЗ та дозволяють доступ з будь-якого пристрою. WebSocket забезпечує передачу даних у реальному часі з мінімальними затримками, JWT-токени надають надійну аутентифікацію. Багаторівневі механізми блокувань та журнал дій забезпечують безпеку для промислового застосування.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання контейнеризації (Docker) для швидкого розгортання HMI-серверів, застосування технологій WebRTC для потокового відео з виробничих камер, а також інтеграцію з системами штучного інтелекту для автоматичного аналізу поведінки обладнання. Таким чином, поєднання веб-технологій із промисловими стандартами відкриває нові можливості для створення гнучких, безпечних і масштабованих систем керування.

Список використаної літератури

[1] «WebSocket Protocol Specification (RFC 6455)» [Онлайн]. Available: https://tools.ietf.org/html/rfc6455 [Accessed: September 03, 2025].
[2] «JSON Web Token (JWT) Specification (RFC 751)» [Онлайн]. Available: https://tools.ietf.org/html/rfc7519 [Accessed: September 10, 2025].
[3] «Industrial Internet Consortium (2024). IIoT Security Best Practices» [Онлайн]. Available: https://www.iiconsortium.org/ [Accessed: September 17, 2025].
[4] «OWASP Top 10 Web Application Security Risks (2024)» [Онлайн]. Available: https://owasp.org/www-project-top-ten/ [Accessed: September 29, 2025].

УДК 004.9:656

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КАРШЕРИНГОВИМИ ПОСЛУГАМИ

Морохович В.С., Петрус В.М.
(vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua, petrus.vitalii@student.uzhnu.edu.ua)
ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (Україна)

Проблема ефективного управління каршеринговими послугами набуває особливої актуальності в умовах стрімкого зростання попиту на короткострокову оренду транспортних засобів у міських агломераціях. Метою дослідження є визначення та обґрунтування ключових особливостей проєктування інформаційної системи, здатної оптимізувати операційні процеси, підвищити якість обслуговування та забезпечити надійну взаємодію з користувачами. У тезах проаналізовано вимоги до такої системи, які включають геолокаційне відстеження та моніторинг стану автопарку в режимі реального часу, автоматизацію процесів бронювання та контролю доступу до автомобіля, а також інтеграцію з мобільними клієнтськими застосунками.

Стрімкий розвиток концепції спільного споживання зумовлює зростання популярності та економічної значущості каршерингових послуг, які трансформують традиційну модель володіння автомобілем [1]. Ефективне функціонування та масштабування каршерингових операторів критично залежить від наявності сучасної, надійної та гнучкої інформаційної системи (ІС), здатної інтегрувати складні бізнес-процеси – від бронювання та моніторингу транспортних засобів до розрахунку вартості поїздки та управління технічним обслуговуванням. Таким чином, проєктування такої ІС є багатоаспектним завданням, що вимагає врахування специфічних вимог галузі, які суттєво відрізняються від проєктування систем для традиційного автопрокату чи логістики.

Аналіз наявних аналогів світових лідерів ринку та локальних операторів (Zipcar, Getmancar, GO2GO) виявляє, що їхні системи характеризуються закритою, пропрієтарною архітектурою, а їхня ефективність часто залежить від використання застарілих або неоптимізованих рішень у сфері обробки потокових даних [2]. Наявні аналоги демонструють вразливості у швидкості обробки транзакцій та гнучкості масштабування, особливо при виході на нові ринки з різною регуляторною

базою та щільністю покриття мережі. Це вказує на необхідність розробки архітектури, орієнтованої на відкриті стандарти та хмарні технології.

Ключова особливість проєктування полягає у необхідності забезпечення роботи в режимі реального часу та підтримки високого рівня геопросторової інтеграції. Інформаційна система має безперервно отримувати, обробляти та відображати дані про місцезнаходження, стан (заряд акумулятора/рівень палива, технічні несправності) та статус зайнятості кожного автомобіля в автопарку. Це вимагає використання високодоступних баз даних, оптимізованих для просторових запитів, а також архітектури, що підтримує мікросервіси та асинхронну обробку даних для забезпечення миттєвої синхронізації між мобільним застосунком клієнта, бортовим телематичним обладнанням автомобіля та бекендом системи управління. Важливим елементом є інтеграція з IoT-пристроями (Internet of Things), які встановлюються в автомобілях і відповідають за віддалене блокування/розблокування дверей, запуск двигуна та передачу діагностичних даних. Проєктування має передбачати стандартизовані протоколи зв'язку для забезпечення надійної взаємодії з різними типами телематичного обладнання від різних виробників, що підвищує гнучкість при поповненні автопарку.

Іншим критичним аспектом є користувацький досвід (User Experience – UX) та проєктування інтерфейсів. Оскільки кінцевий користувач (клієнт) взаємодіє із системою переважно через мобільний застосунок, архітектура ІС повинна надавати високопродуктивне та інтуїтивно зрозуміле API для швидкого відображення доступних автомобілів на карті, виконання процесу верифікації (сканування документів), бронювання та завершення поїздки. Слід враховувати, що процес верифікації клієнтів є обов'язковою складовою і вимагає інтеграції з державними або сторонніми сервісами для перевірки дійсності водійського посвідчення, що піднімає питання безпеки даних та відповідності регуляторним нормам, зокрема GDPR та місцевим законам про захист персональних даних. З огляду на це, проєктування системи безпеки має бути багаторівневим, включаючи шифрування даних як під час передачі (TLS/SSL), так і під час зберігання, а також використання принципів нульової довіри для управління доступом.

Проєктування модуля управління автопарком є серцевиною внутрішньої роботи ІС. Цей модуль має підтримувати складні алгоритми динамічного ціноутворення, які враховують попит, час доби, локацію, рівень конкуренції та наявність автомобілів, що потребує інтеграції з модулями бізнес-аналітики та машинного навчання (ML). Крім того, ключова функція полягає в оптимізації процесів технічного обслуговування та ребалансування (переміщення автомобілів з районів низького попиту у райони високого попиту). Система повинна автоматично генерувати завдання для обслуговуючого персоналу (виїзд для дозаправки/зарядки, миття, ремонту) на основі прогностичних моделей, що аналізують дані телематики, мінімізуючи час простою автомобілів та максимізуючи їхню доступність. Це вимагає проєктування складних диспетчерських інтерфейсів із функціоналом геозонування та автоматизованої маршрутизації завдань.

Нарешті, ефективна інформаційна система каршерингу повинна мати високий рівень масштабованості та стійкості до відмов. Оскільки каршерингові послуги часто розгортаються у великих містах з інтенсивним трафіком користувачів, архітектура має бути хмарно-орієнтованою, використовувати контейнеризацію (наприклад, Docker та Kubernetes) та мікросервісний підхід, що дозволяє незалежно оновлювати та горизонтально масштабувати окремі компоненти. Проєктування має включати механізми автоматичного моніторингу продуктивності та навантаження (APM – Application Performance Monitoring) для завчасного виявлення та усунення «вузьких місць». Отже, особливості проєктування інформаційної системи управління каршеринговими послугами зосереджені на трьох ключових вимогах: оперативності в реальному часі з інтеграцією IoT та геопросторовими даними; безпеці та зручності користувача з акцентом на мобільний досвід та верифікацію; автоматизації управління автопарком за допомогою AI/ML для оптимізації ціноутворення та логістики технічного обслуговування. Комплексне та системне врахування цих особливостей є запорукою створення конкурентоспроможної та економічно життєздатної каршерингової платформи.

Список використаної літератури

[1] Дискіна А.А. (2017). Системні технології як елемент смарт-інновацій в контексті концепції смарт-сіті. Економічний журнал Одеського політехнічного університету, 2 (2), 70-76. Available: https://economics.net.ua/ejopu/2017/No2/70.pdf.

[2] Гайкова Т.В., Мороз О.В., Олексієнко С.Р. (2023). Аналіз перспектив розвитку проєкту каршерінгу. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 7 (38), ч. I, 229-235. doi: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.229-235.

УДК 004.738.5:332.8

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОРЕНДИ ЖИТЛА

Мотошин О.А., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В.
(noonna378@gmail.com, mathew@zp.edu.ua, gontar@zp.edu.ua, timenko.a@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

У роботі розроблено інформаційну систему у вигляді мобільного додатку для автоматизації процесів оренди житла. Система забезпечує ефективну взаємодію між орендодавцями та орендарями через інтегровану платформу з функціоналом пошуку, бронювання, оплати та управління об'єктами нерухомості. Реалізовано архітектуру на базі React Native для мобільного застосунку та Node.js з PostgreSQL для серверної частини. Функціонал включає інтелектуальний пошук житла за параметрами, систему онлайн-бронювання, інтеграцію платіжних систем та модуль управління договорами. Тестування з групою 25 користувачів показало високу швидкість обробки запитів (середній час пошуку 1.2 секунди) та задоволеність інтерфейсом (89% позитивних відгуків). Розроблена система оптимізує процес оренди житла та підвищує ефективність взаємодії учасників ринку нерухомості.

Ринок оренди житла характеризується постійним зростанням попиту, особливо в великих містах та туристичних регіонах. За даними дослідження ринку нерухомості, до 35% населення міст використовують орендоване житло як основне місце проживання [1]. Водночас традиційні методи пошуку та оформлення оренди вимагають значних часових витрат, супроводжуються ризиками шахрайства та не забезпечують прозорості угод.

Існуючі рішення на ринку часто мають фрагментований функціонал: одні платформи зосереджені лише на пошуку, інші - на оплаті, що змушує користувачів використовувати кілька сервісів одночасно. Крім того, багато систем не враховують специфіку довгострокової оренди, не забезпечують автоматизацію документообігу та не надають інструментів для моніторингу стану об'єктів [2].

Проблема автоматизації оренди житла охоплює кілька аспектів: відсутність єдиної платформи для всіх етапів орендних відносин, складність верифікації учасників угод, неефективність традиційного документообігу та відсутність прозорої системи відгуків. Розробка комплексної інформаційної системи дозволить вирішити ці проблеми та підвищить ефективність ринку оренди житла.

Мета роботи полягає у розробці інформаційної системи у вигляді мобільного додатку для автоматизації повного циклу процесів оренди житла, включаючи пошук, бронювання, оплату та управління орендними відносинами.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючі рішення на ринку та виявити їх недоліки, розробити архітектуру інформаційної системи з урахуванням вимог масштабованості та безпеки, реалізувати алгоритм інтелектуального пошуку житла з фільтрацією за множинними параметрами, спроектувати систему онлайн-бронювання та управління доступністю об'єктів, інтегрувати платіжні системи для автоматизації фінансових операцій, а також провести тестування системи та оцінити її ефективність.

Для реалізації інформаційної системи використано комплекс сучасних методів та технологій розробки програмного забезпечення.

Методи дослідження: системний аналіз існуючих платформ оренди житла, порівняльний аналіз алгоритмів пошуку та ранжування, метод об'єктно-орієнтованого проектування для розробки архітектури системи, UML-моделювання для візуалізації бізнес-процесів.

НТБОНТУ

Алгоритмічні методи: для реалізації пошуку використано алгоритм повнотекстового пошуку з геопросторовою індексацією, що забезпечує швидкий підбір об'єктів за координатами та радіусом пошуку. Система ранжування результатів базується на багатокритеріальному аналізі з урахуванням рейтингу об'єкта, відповідності критеріям пошуку та відстані від заданої точки [3].

Технологічний стек: для розробки мобільного додатку обрано React Native, що забезпечує кросплатформеність та нативну продуктивність на iOS та Android. Серверна частина реалізована на Node.js з використанням Express.js фреймворку для побудови RESTful API. База даних побудована на PostgreSQL з розширенням PostGIS для обробки геопросторових даних, що критично важливо для функціоналу пошуку за локацією.

Для забезпечення безпеки реалізовано JWT-аутентифікацію, шифрування персональних даних та двофакторну верифікацію користувачів. Інтеграція з платіжними системами здійснена через Stripe API, що забезпечує PCI DSS відповідність.

Процес бронювання житла реалізовано з використанням транзакційної моделі для забезпечення цілісності даних. Блок-схема алгоритму бронювання представлена на рисунку 1.

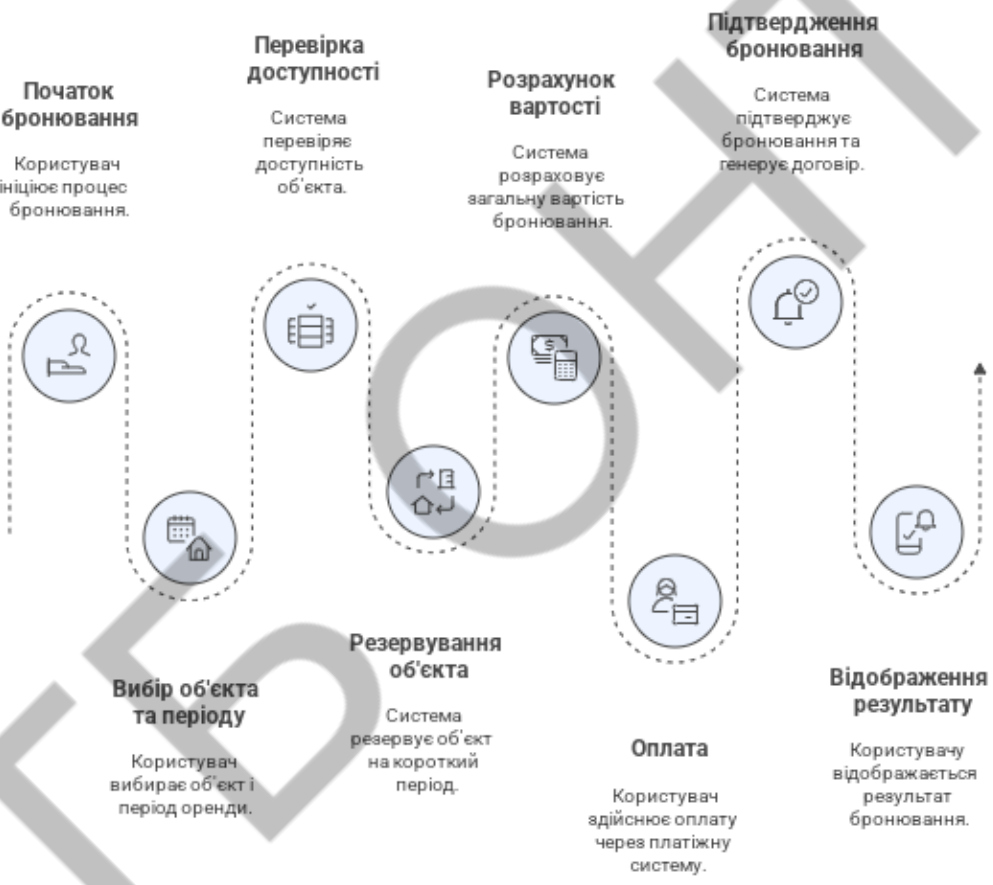


Рисунок 1 - Алгоритм процесу бронювання житла

У результаті виконання роботи розроблено функціональну інформаційну систему, яка включає наступні основні компоненти та можливості, узагальнені в табл. 1.

Система пройшла комплексне тестування з використанням тестової групи з 25 користувачів. За результатами встановлено, що 89% користувачів оцінили інтерфейс як інтуїтивно зрозумілий, середній час виконання пошукового запиту становить 1.2 секунди, а успішність завершення процесу бронювання досягає 94%.

У роботі розроблено комплексну інформаційну систему для автоматизації процесів оренди житла у вигляді мобільного додатку. Система забезпечує ефективну взаємодію між орендодавцями та орендарями через інтегровану платформу з повним циклом функціоналу.

Основні результати включають розроблений алгоритм інтелектуального пошуку житла з геопросторовою індексацією та багатокритеріальним ранжуванням, що забезпечує високу релевантність результатів. Спроектовано масштабовану архітектуру системи з використанням

сучасних технологій мобільної розробки. Імплементовано систему безпечного бронювання з транзакційним контролем та інтеграцією платіжних систем.

Таблиця 1 - Основні функціональні можливості системи

Модуль	Функціональність	Вхідні дані	Вихідні дані
Аутентифікація	Реєстрація та авторизація користувачів	Email, пароль, телефон, документи	Профіль користувача, токен доступу
Пошук житла	Інтелектуальний пошук з геофільтрацією	Локація, ціна, тип житла, параметри	Список релевантних об'єктів
Управління об'єктами	Створення та редагування оголошень	Опис, фото, ціна, умови, координати	Опубліковане оголошення
Бронювання	Резервування та підтвердження оренди	Об'єкт, період, контактні дані	Підтверджене бронювання, договір
Платежі	Обробка онлайн-платежів	Дані картки, сума, призначення	Підтвердження оплати, квитанція
Повідомлення	Чат між орендодавцем та орендарем	Текст, медіафайли	Історія переписки
Відгуки	Система рейтингів та коментарів	Оцінка, текст відгуку	Оновлений рейтинг об'єкта
Аналітика	Статистика для орендодавців	Історичні дані об'єкта	Графіки завантаженості, прибутку

Тестування системи підтвердило її працездатність, надійність та високу швидкість роботи. Розроблений додаток може бути корисним для широкої аудиторії користувачів: орендодавців, які прагнуть ефективно управляти своєю нерухомістю, та орендарів, які шукають зручне житло.

Перспективами подальшого розвитку системи є впровадження машинного навчання для персоналізованих рекомендацій житла на основі історії пошуків користувача, інтеграція з системами розумного дому для автоматизації доступу до об'єктів, а також впровадження блокчейн-технологій для забезпечення прозорості угод та захисту від шахрайства.

Список використаної літератури

[1] M. Zhang, L. Wang, and J. Chen, "Smart rental platform: An intelligent system for real estate leasing management," Journal of Housing and the Built Environment, vol. 38, no. 2, pp. 445-463, Jun. 2023, doi: 10.1007/s10901-022-09982-4.

[2] S. Kumar and P. Sharma, "Digital transformation in real estate: A comprehensive review of rental automation systems," International Journal of Information Management, vol. 67, Art. no. 102584, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2022.102584.

[3] A. Rodriguez, K. Thompson, and M. Anderson, "Geospatial indexing and multi-criteria ranking algorithms for property search optimization," ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems, vol. 9, no. 1, pp. 1-28, Mar. 2023, doi: 10.1145/3568683.

[4] Y. Li, X. Zhang, and H. Wang, "Mobile application architecture for real-time property management and rental automation," IEEE Access, vol. 11, pp. 15234-15247, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3245678.

УДК 004.9

ЕВОЛЮЦІЯ SEARCH ENGINE OPTIMIZATION (SEO) В КЛІЄНТСЬКИХ ДОДАТКАХ З КЛІЄНТСЬКИМ РЕНДЕРИНГОМ

Насенок К.О., Войцеховська М.М.
(kaboo.bear@gmail.com, m.voitsekhovska@stu.cn.ua)
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)

В тезах розглядається еволюція підходів до Search Engine Optimization (SEO) у клієнтських додатках із клієнтським рендерингом, зокрема зміни в індексації контенту пошуковими системами та розвиток підтримки JavaScript з боку Googlebot. Проаналізовано основні етапи —

від початкових проблем із відображенням динамічних сторінок до впровадження сучасних метрик Core Web Vitals і гібридних стратегій рендерингу, що поєднують продуктивність та високу видимість у пошуку.

Search Engine Optimization залишається ключовим фактором видимості та успішності вебдодатків. Проте розвиток фронтенд-технологій і перехід від класичних статичних сторінок до Single-Page Applications (SPA) із клієнтським рендерингом (CSR) поставили нові виклики для індексації контенту пошуковими системами. Традиційні пошукові роботи розраховані на отримання вже сформованого HTML-вмісту, тоді як сучасні CSR-додатки формують сторінки динамічно, використовуючи JavaScript. Це змінило підхід до SEO та спричинило появу нових технологій оптимізації. Мета цієї роботи — проаналізувати еволюцію SEO у клієнтських додатках, показати обмеження традиційного CSR-підходу, розглянути способи покращення індексації та визначити актуальні напрямки розвитку.

До появи Single-Page Aplication додатків, більшість вебсайтів будувалася на сервері. Сервер формував повноцінну HTML-сторінку, а браузер лише відображав її. Це полегшувало індексацію: пошукові системи одразу отримували потрібний контент. З поширенням фреймворків на кшталт Angular, React, Vue у 2010-х роках веб почав зміщуватися до CSR, коли сторінки рендеряться безпосередньо в браузері після завантаження JavaScript-бандлу. Це покращило швидкість взаємодії з користувачем та UX, але ускладнило SEO, адже пошукові боти не завжди виконують складний JavaScript та Час до появи контенту збільшився через завантаження скриптів.

Етапи розвитку SEO клієнтських додатків з клієнтським рендерингом, та підтримка гугл-ботом:

Перші роки (2010)

У традиційній веб-розробці сервер генерував та повертав повноцінний HTML файл, і Googlebot міг одразу витягти та обробити його контент, посилання та метадані. З появою SPA на базі фреймворків AngularJS, React та Vue ситуація змінилася

- Googlebot у той час майже не виконував JavaScript: він завантажував початковий HTML, який часто містив лише стартовий тег та JS-бандл.
- Метадані title та description формувалися динамічно, але бот їх не бачив.
- В результаті CSR-додатки часто виглядали для індексації як порожні сторінки, що сильно шкодило SEO.

Це спонукало до використання сторонніх рішень, таких як пререндеринг статичних версій або розділення версії для ботів та користувачів

Рендеринг у два етапи (2014)

Google оголосив про обмежену підтримку JavaScript в 2014 році. З того часу індексація проходила у два етапи:

- Initial Crawl - бот завантажував HTML та індексував доступний контент
- Second Wave Rendering - сторінка потрапляла в чергу на рендеринг за допомогою рушія, схожого на Chrome, який називається Web Rendering Service. Лише тоді виконувалися скрипти та з’являвся контент.

Проблемами даного підходу є Затримка, адже друга хвиля рендерингу могла відбутися через дні або тижні, а також обмеженість ресурсів через що не всі сторінки проходили JS-рендеринг. Розробники почали активно застосовувати Prerender.io, Rendertron та інші сервіси для генерації статичних версій сторінок спеціально для ботів.

Перехід на сучасний рендеринг Googlebot (2019)

У 2019 році Google офіційно оголосив, що Googlebot завжди працює на останній стабільній версії Chromium. Це стало поворотним моментом, тому що бот почав повноцінно виконувати сучасний JavaScript, підтримуючи EcmaScript 6, Fetch API, Intersection Observer та інші браузерні функції, зменшилася затримка між першою індексацією та рендерингом JS. Проте ресурсні обмеження залишилися: якщо додаток має великий бандл, складну логіку або вимагає автентифікації для контенту - то Googlebot може не дочекатися завантаження.

Це вирішило частину проблем, але не усунуло потреби в оптимізації часу рендерингу та розміру JS.

Core Web Vitals (2021)

У 2021 Google запровадив Core Web Vitals як фактор ранжування для таких показників як Largest Contentful Paint, First Input Delay, Cumulative Layout Shift. Для CSR-додатків це стало викликом, тому що великі бандли JS уповільнювали час через який користувач може побачити найбільший елемент сторінки (Largest Contentful Paint), Довгий час до інтерактивності (First Input Delay) знижував оцінки UX, Пошуковик міг бачити сторінку, але користувачі мали поганий досвід, що впливало на позиції. Це стимулювало розробників до імплементації код-сплітинг, лінивого завантаження контенту, який не потрібен для першої інтеракції користувача, попереднє завантаження критичного контенту та повернення до гібридних рішень.

Великої популярності набули фреймворки, які дозволяли застосовувати серверний рендеринг або статичний рендеринг сторінок, такі як Next, Nuxt та Remix.

Найбільш популярні підходи:

- Static Site Generation (SSG) - HTML створюється під час білду.
- Incremental Static Regeneration (ISR) - сторінки оновлюються по мірі потреби.
- Server-Side Rendering (SSR) - початковий HTML формується на сервері для швидкої індексації.
- React Server Components - зменшують обсяг JS для клієнта, прискорюючи рендеринг.

Сучасний розвиток SEO для клієнтських додатків визначається поєднанням нових технічних можливостей та вимог до продуктивності. Після того як Googlebot навчився виконувати сучасний JavaScript, основна увага зосередилася не стільки на базовій індексації, скільки на швидкості завантаження та якості взаємодії користувача. Поява метрик Core Web Vitals змістила акцент із простої доступності контенту на комплексний користувацький досвід, що змушує розробників оптимізувати час відображення найбільшого елемента сторінки, мінімізувати затримки взаємодії та уникати несподіваних зрушень макета при завантаженні.

У відповідь на ці виклики активно розвиваються фреймворки, що інтегрують різні стратегії рендерингу: від статичної генерації сторінок під час побудови до інкрементального оновлення контенту та серверного рендерингу на запит. Середовище виконання коду поступово переміщується ближче до користувача завдяки edge-інфраструктурі, що скорочує затримки й дає змогу швидко повертати оптимізовані HTML-версії навіть для додатків зі складною логікою. Паралельно з цим автоматизація та штучний інтелект стають важливими інструментами для створення й оновлення метаданих, формування структурованої розмітки та персоналізації контенту.

Таким чином, майбутні рішення все більше поєднуватимуть гнучкі підходи до рендерингу, продуктивність на рівні ядра додатка та інтелектуальні механізми оптимізації контенту. Це дає можливість розробникам створювати динамічні, інтерактивні системи, які залишаються добре видимими в пошуку й відповідають вимогам сучасного вебу.

Список використаної літератури

[1] “Rendering on the Web,” *web.dev*, 2020. [Online]. Available: https://web.dev/articles/rendering-on-the-web?hl=en [Accessed: Sep. 29, 2025].

[2] “How Google handles JavaScript throughout the indexing process,” *Vercel*, Jul. 31, 2024. [Online]. Available: https://vercel.com/blog/how-google-handles-javascript-throughout-the-indexing-process [Accessed: Sep. 29, 2025].

[3] “Understanding Core Web Vitals and Google search results,” *Google Search Central*, 2025. [Online]. Available: https://developers.google.com/search/docs/appearance/core-web-vitals?hl=en [Accessed: Sep. 29, 2025].

[4] “Client-side rendering of HTML and interactivity” *web.dev*, 2023. [Online]. Available: https://web.dev/articles/client-side-rendering-of-html-and-interactivity?hl=en [Accessed: Sep. 29, 2025].

ІТ ОНТУ

УДК 004.04

ІНТЕГРАЦІЯ МОДУЛІВ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ У ВЕБОРІЄНТОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ORACLE APEX

Небога С.В.,
(sneb1111@gmail.com)
Державний податковий університет (Україна)

У тезах розглядається інтеграція модулів збору, передачі та аналізу даних у веборієнтованих інформаційних системах на базі Oracle APEX та Oracle ADW. Пропонована архітектура забезпечує передачу поведінкових даних від клієнта до ADW з подальшою обробкою в Oracle Machine Learning та візуалізацією в APEX для підтримки прийняття рішень. Висновки підкреслюють ефективність запропонованого підходу для забезпечення цілісності даних, оперативної аналітики та створення масштабованих інтелектуальних рішень у вебсистемах.

Постановка проблеми. Обсяги даних, що генеруються користувачами під час взаємодії з вебплатформами та онлайн-сервісами, стрімко зростають. Ці дані охоплюють широкий спектр поведінкових шаблонів – від навігації сторінками до прийняття рішень про купівлю або використання послуг. Ефективність сучасних бізнес-процесів дедалі більше залежить від здатності підприємств застосовувати програмні засоби інтелектуального аналізу даних для виявлення закономірностей та прогнозування потреб користувачів. Інтелектуальні програмні рішення дозволяють створювати персоналізовані стратегії взаємодії з користувачами, що сприяє зростанню рівня задоволеності клієнтів, оптимізації маркетингових кампаній та підвищенню прибутковості бізнесу. Особливої актуальності даний підхід до ведення бізнесу набуває в умовах високої конкуренції на ринку, де ключову роль відіграє швидкість і якість прийняття рішень на основі даних [1]. Для цього важливо забезпечити узгоджену інтеграцію між модулями збору поведінкових даних на клієнтській стороні та аналітичними інструментами серверної частини.

Перелік вирішених завдань. В межах дослідження було розроблено комплекс технічних рішень, спрямованих на побудову наскрізного процесу передачі даних між клієнтською частиною вебзастосунку та аналітичними інструментами бази даних Oracle. Основним завданням стала реалізація стабільного каналу комунікації між JavaScript-трекером, що функціонує у браузері користувача, та хмарною інфраструктурою Oracle Autonomous Data Warehouse (ADW). Було впроваджено механізм автентифікованого з'єднання через віртуальний «гаманець» (wallet), який забезпечує безпечну передачу даних у реальному часі без необхідності ручного втручання або проміжних серверів. Всі події користувача, зокрема переходи між сторінками, взаємодія з елементами інтерфейсу чи пошукові запити автоматично фіксуються JS-трекером, перетворюються у структурований формат JSON і надсилаються безпосередньо до Oracle ADW. У базі даних реалізовано механізми прийому, валідації та збереження отриманих записів, що дозволяє мінімізувати втрати даних і забезпечити узгодженість форматів. Наступним етапом передбачено інтеграцію з аналітичними модулями Oracle Machine Learning, які використовують передані дані для виявлення закономірностей у поведінці користувачів, кластеризації сесій, побудови прогнозних моделей та подальшої візуалізації результатів у середовищі Oracle APEX. Таким чином, створено єдиний ланцюг обробки інформації – від збору та безпечної передачі до аналізу і представлення аналітичних результатів у зручній для користувача формі.

Суть дослідження. Дослідження спрямоване на проєктування та реалізацію архітектури інтегрованої системи збору, передачі та аналітичної обробки даних, яка функціонує у межах хмарного середовища Oracle Autonomous Data Warehouse (ADW). Основна мета – забезпечити безперервний і захищений потік даних від клієнтської частини вебзастосунку до серверної аналітичної платформи з мінімальними затримками та без втрати достовірності.

Архітектура системи, представлена на рисунку 1, охоплює три ключові етапи. На першому (клієнтському) етапі встановлюється JavaScript-трекер, який фіксує поведінкові події користувачів – перегляди сторінок, натискання елементів, пошукові запити тощо. Зібрані дані перетворюються у формат JSON, який оптимізований для подальшої обробки у системах з великою кількістю одночасних транзакцій.

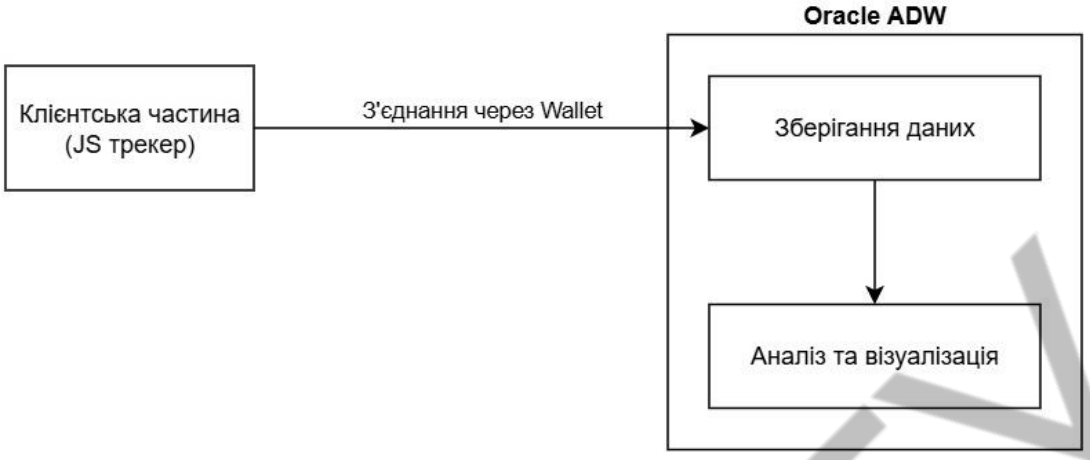


Рис. 1. Архітектура передачі та обробки даних в Oracle ADW

Наступний етап – передача даних. Для реалізації прямого каналу комунікації між сервером вебсайту та базою даних Oracle ADW використано механізм безпечного з'єднання Oracle Wallet – спеціальний набір криптографічних сертифікатів, що гарантують автентифікацію, шифрування та захист переданих даних. Такий підхід усуває потребу у проміжному сервері, зменшуючи навантаження на інфраструктуру та ризик компрометації даних. Передача здійснюється через REST-запити, які надсилають інформацію безпосередньо у сховище ADW.

В ADW відбувається приймання, валідація та обробка даних. Дані з REST-запитів автоматично потрапляють у тимчасові таблиці, після чого проходять перевірку на коректність структури, часові відмітки, унікальність сесій і відсутність дублікатів. Далі інформація переміщується у постійні таблиці поведінкових подій, що формують базу для аналітичного аналізу. PL/SQL-процедури реалізують автоматизовані сценарії очищення, нормалізації та агрегації даних, забезпечуючи підготовку інформації до подальшої обробки.

Заключний (аналітичний) етап базується на використанні Oracle Machine Learning (OML). Після надходження даних у структурованому вигляді запускаються моделі машинного навчання для сегментації користувачів, виявлення поведінкових патернів, аналізу шляхів навігації та прогнозування подальших дій. OML дозволяє безпосередньо виконувати алгоритми кластеризації (наприклад, k-means), пошук тенденцій та закономірностей без необхідності експорту даних за межі Oracle ADW, що підвищує швидкість обчислень та безпеку [2].

Платформа Oracle APEX дозволяє на основі даних, оброблених у Oracle ADW, створювати комплексні вебдодатки, що поєднують збір, зберігання, обробку та візуалізацію інформації в єдиному середовищі. Окрім цього, Oracle APEX інтегрується з аналітичними модулями Oracle Machine Learning, що дозволяє автоматично відображати результати кластеризації, прогнозування та інших моделей машинного навчання без необхідності додаткового коду або зовнішніх інструментів [3]. Це дозволяє у режимі реального часу спостерігати ключові показники: кількість сесій, середню тривалість відвідувань, взаємодію з контентом та інші метрики.

Запропонована архітектура створює єдиний аналітичний контур, у якому дані не лише збираються, а й одразу перетворюються на знання, що мають практичну цінність для прийняття управлінських рішень. Така модель може бути адаптована для будь-яких веборієнтованих систем, які потребують відстеження дій користувачів і швидкого аналізу потоків подій.

Висновки. Розроблена система забезпечує безпечну та безперебійну передачу даних від клієнтського вебінтерфейсу до Oracle ADW, що дозволяє оперативно їх зберігати, обробляти та аналізувати. Використання JavaScript-трекера, REST-з'єднання через wallet і інструментів Oracle Machine Learning формують повний цикл – від збору подій до інтерактивної візуалізації результатів у Oracle APEX. Запропонована архітектура підвищує точність аналітики, скорочує затримки передачі даних і створює основу для масштабованих інтелектуальних рішень у веборієнтованих системах.

Список використаної літератури

[1] S. J. Miah, “Impact of business analytics and decision support systems on e-commerce in SMEs,” arXiv preprint arXiv:2212.00016, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2212.00016 [Accessed: October 18, 2025].

[2] “Benefits of Machine Learning”, Oracle Help Center, 12.10.2025. [Online]. Available: https://docs.oracle.com/en/database/oracle/machine-learning/omlov/benefits-machine-learning.html [Accessed: October 20, 2025].

[3] “Welcome to Oracle APEX in Oracle Cloud”, Oracle Help Center, 20.08.2025. [Online]. Available: https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/apex/gsadd/welcome-to-oracle-apex-in-oracle-cloud.html#GUID-289965E4-9319-44FE-8402-65A79EBC125D [Accessed: October 20, 2025].

УДК 004.89

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО МІГРАЦІЇ КОРИСТУВАЦЬКОГО КОДУ SAP ABAP

Поздняков О. А., Пархоменко А. В.
(oleg.pozdnyakov.ua@gmail.com, parhom@zntu.edu.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі розглядається проблема обмеженості статичних знань великих мовних моделей (LLM), донавчених для міграції користувацького коду SAP ABAP. Фіксована природа знань таких моделей становить суттєву проблему в контексті екосистеми SAP, що перебуває у стані безперервного розвитку, де регулярно публікуються нові версії мови програмування, списки спрощень (Simplification List) та обов'язкові до виконання SAP Notes. Постійне донавчання моделі для підтримки її актуальності є економічно недоцільним та ресурсомістким процесом.

У статті пропонується гібридний підхід, що поєднує можливості спеціалізованої донавченої моделі щодо розуміння синтаксису ABAP з механізмом динамічного доступу до актуальної документації через архітектуру Retrieval-Augmented Generation (RAG). Запропонована архітектура використовує донавчену модель Qwen 2.5 Coder 14B для аналізу та міграції користувацького коду, тоді як компонент RAG забезпечує вилучення релевантної інформації з векторної бази знань, що містить актуальну документацію SAP. Такий підхід дозволяє генерувати не лише синтаксично коректний, але й семантично актуальний код, що відповідає останнім рекомендаціям SAP.

Вступ. Архітектурні рішення, що базуються на локально розгорнутих LLM, показали перспективність у вирішенні проблем, пов'язаних з обмеженнями стандартних інструментів міграції SAP, таких як ABAP Test Cockpit [1].

У попередньому дослідженні було запропоновано використання донавчання LLM для задачі міграції користувацького коду SAP ABAP [2]. Однак такий підхід має обмеження, відоме як «зріз знань» (knowledge cut-off) [3]. Знання моделі статичні та обмежені даними, на яких вона навчалася. В контексті екосистеми SAP, що перебуває у стані безперервного розвитку, це стає критичною проблемою. Компанія SAP регулярно випускає нові версії платформи SAP S/4HANA, оновлює синтаксис мови ABAP, публікує обов'язкові до виконання SAP Notes та списки спрощень, які безпосередньо впливають на правила рефакторингу коду. Використання моделі зі статичними знаннями може призвести до генерації коду, який, будучи синтаксично вірним, є застарілим, неоптимальним або навіть несумісним з останніми оновленнями системи. Постійне донавчання моделі для кожного оновлення є ресурсомістким та економічно недоцільним рішенням.

Постановка проблеми. Основна задача полягає в подоланні обмеження статичності знань донавченої LLM, яке проявляється у неможливості моделі оперативно адаптуватися до змін в екосистемі SAP. Специфіка міграційних процесів у середовищі SAP вимагає врахування не лише синтаксичних правил мови ABAP, але й безперервно оновлюваних регуляторних документів, серед яких критично важливими є SAP Notes, що містять обов'язкові до виконання виправлення та

рекомендації, Simplification List [4], який визначає застарілі конструкції та їх сучасні аналоги, а також офіційна документація щодо нових можливостей платформи SAP S/4HANA.

Використання моделі зі статичними знаннями створює ризик генерації коду, який може бути синтаксично коректним, проте семантично застарілим або несумісним з найновішими версіями системи. Більше того, відсутність механізму верифікації джерел, на основі яких здійснюється трансформація коду, ускладнює процес валідації результатів міграції та знижує довіру до автоматизованих рішень з боку розробників та архітекторів систем.

Мета роботи полягає в розробці архітектури, яка дозволить моделі при генерації коду враховувати найактуальнішу інформацію з офіційної документації SAP у режимі реального часу. Рішення має бути гнучким, легко оновлюваним без потреби у ресурсомісткому перенавчанні моделі, та забезпечувати високу точність генерованого коду з можливістю його верифікації через прозорі посилання на джерела інформації. Така архітектура має мінімізувати ризики, пов'язані з використанням застарілої інформації та забезпечити економічну доцільність підтримки системи в актуальному стані протягом тривалого періоду експлуатації.

Матеріали та методи. Для вирішення поставленої задачі пропонується гібридний підхід, що поєднує сильні сторони донавченої LLM та методу Retrieval-Augmented Generation (RAG) [5-7]. RAG є методом, за якого LLM перед генерацією відповіді отримує доступ до зовнішньої бази знань для вилучення релевантної інформації. Запропонована архітектура (Рис. 1) візуалізує повний цикл міграції коду з вихідної системи SAP ERP до цільової SAP S/4HANA.

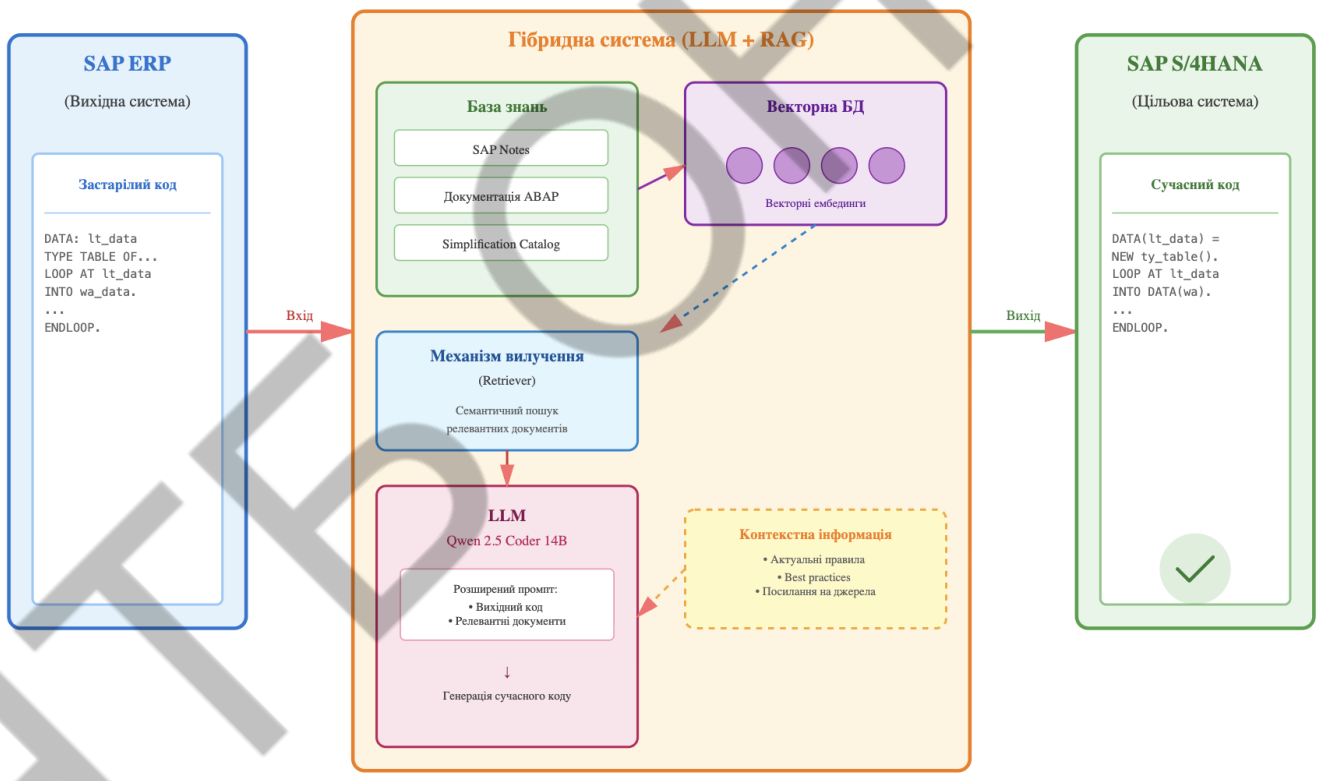


Рисунок 1 - Архітектура гібридного рішення для міграції коду SAP ABAP

Вихідна система містить застарілий користувацький код, який є вхідними даними для процесу міграції. У центрі архітектури розміщена гібридна система, що складається з кількох взаємопов'язаних компонентів.

Спеціалізована LLM представлена донавченою моделлю Qwen 2.5 Coder 14B, яка володіє глибоким розумінням синтаксису та структур мови ABAP, а також правилами міграції коду зі старої версії на нову. Її основна роль полягає не у збереженні фактів, а у здійсненні міркувань та застосуванні контексту до задачі перетворення коду.

База знань являє собою набір документів, що містить актуальну технічну інформацію, зокрема SAP Notes, офіційну документацію щодо нових версій ABAP, Simplification List та

посібники з найкращих практик міграції коду. Для забезпечення ефективного пошуку база знань перетворюється на векторні ембедінги та завантажується у спеціалізовану векторну базу даних, що дозволяє здійснювати швидкий семантичний пошук релевантної інформації.

Механізм вилучення відіграє ключову роль у процесі обробки застарілого коду. Отримавши фрагмент коду, система формує запит до векторної бази даних для пошуку найбільш релевантних документів. Після цього спеціалізована модель отримує розширений промпт, що включає вихідний застарілий код, завдання на перетворення та фрагменти релевантних документів. На основі цього збагаченого контексту модель генерує сучасний код, який надходить до цільової системи SAP S/4HANA у вигляді перетвореного користувацького коду, готового до розгортання.

Запропонований підхід демонструє низку суттєвих переваг порівняно з використанням виключно донавченої моделі. По-перше, база знань легко оновлюється шляхом додавання нових документів по мірі їх появи, що є значно дешевшим та швидшим рішенням порівняно з повним або частковим донавчанням моделі з великою кількістю параметрів. По-друге, спостерігається зниження ефекту «галюцинацій» та підвищення точності генерованого коду, оскільки модель обґрунтовує свою відповідь на конкретних даних з вилучених документів, а не лише на внутрішніх параметрах. Це робить результат більш точним і знижує ймовірність генерації невірного коду.

Додатковою перевагою є можливість верифікації результатів, оскільки система може вказувати конкретні джерела, такі як SAP Notes або розділи документації, на основі яких було виконано перетворення коду. Це дозволяє розробнику швидко перевірити обґрунтованість запропонованих змін та забезпечує прозорість процесу міграції. Крім того, база знань може бути легко розширена не тільки офіційною документацією SAP, а й внутрішніми стандартами розробки конкретної компанії, що підвищує гнучкість та адаптивність системи до специфічних вимог організації.

Висновки. Використання виключно донавченої LLM для міграції коду ABAP є ефективним, але обмеженим рішенням через статичність її знань. Запропонований гібридний підхід, заснований на архітектурі RAG, вирішує цю проблему, поєднуючи глибоке розуміння моделлю синтаксису ABAP з динамічним доступом до актуальних правил та найкращих практик міграції. Така система є більш стійкою, економічно ефективною та надійною в довгостроковій перспективі, оскільки її актуальність підтримується шляхом простого оновлення бази знань, а не дорогого перенавчання LLM.

Список використаної літератури

[1] P. Hardy, Migrating Custom Code to SAP S/4HANA. Boston: Rheinwerk Publishing Inc., 2020.

[2] О.А. Поздняков, А.В. Пархоменко, “Архітектурне рішення на основі LLM для міграції користувацького коду”, *Наукові праці Другої міжнародної НПК «Штучний інтелект та інформаційні технології»* (*АІІТ-2025*), Київ, Україна, 2025, с. 70-71.

[3] C. Ling et al., “Domain specialization as the key to make Large Language Models disruptive: A comprehensive survey”, 29.03.2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2305.18703v7 [Accessed: October 22, 2025].

[4] SAP SE, “Simplification list for SAP S/4HANA 2023 initial shipment, Feature Pack Stack 1-3”, 25.02.2025. [Online]. Available: https://help.sap.com/doc/c34b5ef72430484cb4d8895d5edd12af/2023/en_US/SIMPL_OP2023.pdf [Accessed: Oct. 22, 2025].

[5] P. Lewis et al., “Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 33, 2020, pp. 9459-9474.

[6] Y. Gao et al., “Retrieval-augmented generation for Large Language Models: A survey*”,* 27.03.2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2312.10997v5 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[7] W. Gu et al., “What to retrieve for effective retrieval-augmented code generation? An empirical study and beyond”, 26.03.2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2503.20589v1 [Accessed: Oct. 22, 2025].

УДК 004.624

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МЕТАПРОГРАМУВАННЯ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПЛАТФОРМІ .NET

Позур М.Ю., Войтко В.В.
(mixalchik545@gmail.com, dekanfki@i.ua)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Розглянуто використання методів метапрограмування в процесі розробки програмного забезпечення на платформі .NET. Зокрема, розглянуто використання метапрограмування для реалізації концепту traits в .NET. Для цього використовується інструмент Incremental Source Generators. Для позначення типів даних як типаж та класів, які включають відповідний типаж, використовуються атрибути метаданих. Для реалізації композиції типажу в клас пропонується генерувати часткове (partial) об'явлення класу, яке містить члени відповідного типажу. Методом також пропонується низка механізмів для вирішення конфліктів імен. Реалізація traits дозволить покращити можливості повторного використання програмних компонентів при розробці програмного забезпечення на платформі .NET та мові програмування C#.

Вступ

Метапрограмування – це парадигма програмування, основним фокусом якої є аналіз та модифікація програмного забезпечення [1]. Методи метапрограмування часто використовують для автоматичної генерації як вихідного коду, так і генерації іншої додаткової інформації (наприклад, документації). Це є можливим завдяки тому, що метапрограмування працює з метаданими програми (інформацією про структуру, функції, типи даних, тощо) [1]. Проте сценарії застосування метапрограмування не обов'язково обмежуються генерацією шаблонних елементів. Наприклад, платформа .NET у межах .NET Compiler Platform SDK надає доступ до інструменту метапрограмування Source Generators, який є вбудованим у процес статичного аналізу коду та компіляції. Таким чином, цей інструмент має інформацію про вихідний код на рівні компілятора. Це дозволяє створення механізмів, які реалізують функціонал, що є притаманним для мови програмування, без необхідності внесення змін у специфікацію самої мови та компілятора.

Використання методів метапрограмування для реалізації traits в .NET

Платформа .NET та мова програмування C# базуються на об'єктно-орієнтованій парадигмі програмування. Таким чином, основним механізмом забезпечення повторного використання коду (code reuse) є наслідування. І платформа .NET, і мова програмування C# підтримують лише одинарне наслідування, що забезпечує гірші показники code reuse у порівнянні з множинним наслідуванням. Проте з множинним наслідуванням також виникають деякі проблеми, які потребують складних компромісів для вирішення [2]. Через це в галузі програмної інженерії активно велися обговорення використання композиції в якості альтернативи або доповнення наслідування.

Композиція, на відміну від наслідування, передбачає включення членів певного елементу до класу або структури, що дозволяє будувати клас з ряду менших структурних одиниць, кожна з яких відповідає за той чи інший функціонал. Одним із основних концептів, що опирається на композицію є traits. Traits (типажі) – це структурні одиниці, які не є частиною ієрархії наслідування та не можуть бути інстаціонованими [3]. Оригінальною моделлю концепту було передбачено, що типаж може реалізовувати лише поведінку (методи), проте деякими дослідниками було розглянуто можливість реалізації станів (змінних) [4]. Типажі можна включати до класів, цим самим розширюючи їх функціонал. Таким чином, типажі дозволяють отримати можливості для code reuse схожі до множинного наслідування, але уникаючи при цьому основних недоліків, які воно породжує. Про ефективність такого концепту говорять не лише дослідження [5], а й те, що типажі реалізовані у відомих мовах програмування (PHP, Scala, Rust).

Traits можуть бути реалізованими в рамках платформи .NET та мови програмування C# з використанням інструменту Incremental Source Generators [6]. Це є можливим завдяки тому, що Incremental Source Generators спрацьовують при змінах у коді, а не лише на етапі компіляції, та дозволяють здійснювати генерацію відносно частини коду, в якій відбулися зміни. Також мова програмування C# дозволяє використовувати часткові (partial) об'явлення типів даних, що дозволить відокремлювати згенерований код.

Сама методологія полягає в генерації часткових об’явлень класів, які міститимуть члени відповідного типажу (див. рисунок 1). Для цього спочатку необхідно визначитися з методом позначення типів як trait та клас, який включає trait. Зручним тут буде використання атрибутів метаданих. В якості вимог до типу даних, що відповідає за об’явлення типажу, найдоречнішим є абстрактний клас, адже він дозволяє об’явлення полів та непублічних членів. Важливою вимогою до такого абстрактного класу є те, що він не має бути частиною ієрархії наслідування.

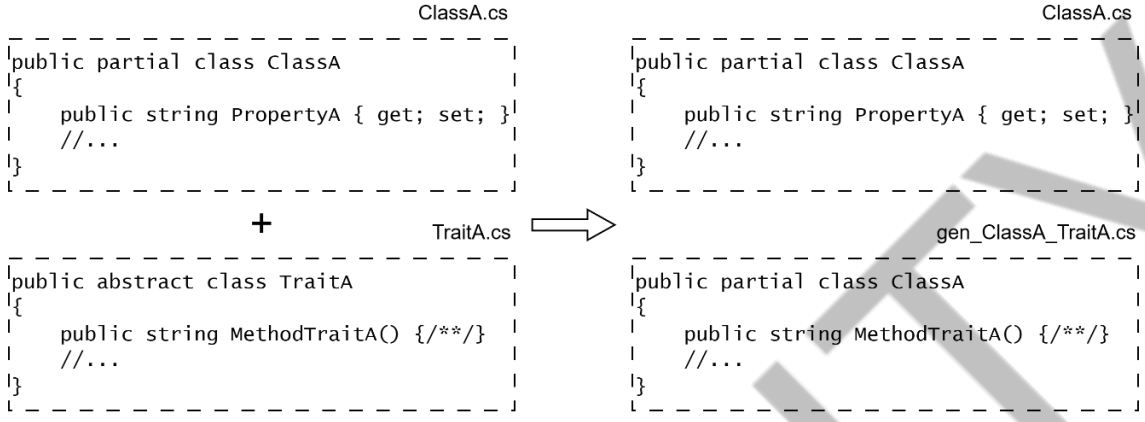


Рисунок 1 – Композиція типажу в клас

Таким чином, метод передбачає копіювання членів типажу до відповідного класу за рахунок генерації часткового об’явлення такого класу, яке й міститиме ці члени. Такий метод потребує низки механізмів для вирішення конфліктів імен. Основним методом вирішення конфліктів імен методів є перевантаження. Члени типажу можуть бути відмічені як такі, що можуть бути перевантаженими при включенні у клас. Якщо клас вже має такий метод, то його не буде включено. Для типажів, що імплементують інтерфейс, можна використовувати явну імплементацію інтерфейсів для вирішення конфліктів імен. Методом також передбачена можливість визначення «локальних» членів у типажі. Такі члени за замовчування мають бути приватними. Ідентифікатори таких членів обфусковуються при включенні до класу таким чином, щоб вони були унікальними, що дозволяє запобігти конфліктам імен.

Важливою особливістю traits є можливість визначення у типажі членів, які мають бути в класі, що включає цей типаж. Для цього методом передбачено два різних способи. Перший полягає у використанні явних контрактів за допомогою інтерфейсів. Другий полягає у використанні атрибутів метаданих для відмічення відповідних членів, які мають бути реалізованими у класі.

Сама ж генерація реалізується з використанням Incremental Source Generators. Конвеєр перетворень генератора побудований таким чином, щоб генерація відбувалася лише при змінах у визначенні типажу або класу, який включає в собі хоча б один типаж. Це дозволить значно зменшити витрати на генерацію коду, особливо для проєктів великих масштабів.

Висновки

Розроблено метод реалізації traits в .NET та мові програмування C#, що опирається на використання інструменту Incremental Source Generators. Запропонований метод дозволить покращити можливості для повторного використання програмних компонентів при розробці програмного забезпечення з використанням платформи .NET та мови програмування C#. Також це говорить про те, що методи метапрограмування можна використовувати для реалізації функціоналу рівня мови програмування.

Список використаної літератури

[1] J. Bock та K. Hazzard, *Metaprogramming In .NET*. Manning Publ. Co. LLC, 2012.

[2] F. Albalooshi та A. Mahmood, “A Comparative Study on the Effect of Multiple Inheritance Mechanism in Java, C++, and Python on Complexity and Reusability of Code”, *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, т. 8, № 6, 2017.

[3] N. Schärli, S. Ducasse, O. Nierstrasz та A. P. Black, “Traits: Composable Units of Behaviour”, у *ECOOP 2003 – Object-Oriented Programming*. Berlin, Heidelberg: Springer Berl. Heidelb., 2003, с. 248–274.
[4] P. Tesone, S. Ducasse, G. Polito, L. Fabresse та N. Bouraqadi, “A new modular implementation for stateful traits”, *Sci. Comput. Program.*, т. 195, с. 102470, верес. 2020.
[5] D. Cassou, S. Ducasse та R. Wuyts, “Traits at work: The design of a new trait-based stream library”, *Comput. Lang., Syst. & Struct.*, т. 35, № 1, с. 2–20, квіт. 2009.
[6] J. Owens, “Dotnet Source Generators in 2024”, *Medium*, 1 жовт. 2024. [Онлайн]. Доступно: https://posts.specterops.io/dotnet-source-generators-in-2024-part-1-getting-started-76d619b633f5

УДК: 004.4

ПРОЄКТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ З ТЕКСТОВИМИ ДАНИМИ НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ C#

Поліщук Д.С., Собко О.В., Залуцька О.О.
(dimvpolisuk@gmail.com, olenasobko.ua@gmail.com, zalutska.olha@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

У роботі розглянуто процес проєктування алгоритмів для роботи з текстовими даними мовою програмування C#. Основну увагу приділено побудові алгоритмів збереження, відкривання та перевірки правопису текстових файлів у середовищі .NET. Запропоновані рішення базуються на використанні потоків введення-виведенн„ діалогових вікон вибору файлів та методів лексичної перевірки з використанням словникових структур.

Одним із ключових завдань сучасного програмування є ефективна організація роботи з текстовими даними [1], що включає збереження, відкриття, редагування та перевірку правопису. Проблема полягає у розробленні оптимальних алгоритмів, які забезпечують швидке виконання операцій з текстовими файлами [2] при мінімальних витратах ресурсів і збереженні цілісності даних.

Метою дослідження є проєктування та реалізація алгоритмів для роботи з текстовими файлами у програмному застосунку мовою C#.

Для досягнення мети поставлено такі завдання: розробити алгоритми збереження текстового файлу з контролем шляху запису, відкривання текстового файлу з перевіркою доступності ресурсу, перевірки правопису з використанням лексичного словника, а також виконати програмну реалізацію запропоноваих алгоритмів.

Поставлені у дослідженні завдання передбачається реалізувати на прикладі розробленого текстового редактора, який виступає об’єктом практичної апробації проєктованих алгоритмів. Алгоритм збереження файлу реалізується через послідовність логічних дій, що починається з ініціації користувачем команди «Зберегти» або «Зберегти як» (рисунок 1).

Програма перевіряє, чи існує файл із вказаною назвою, і залежно від результату виконує або первинне збереження через діалогове вікно вибору шляху, або перезапис за раніше визначеною адресою. У разі відсутності імені файлу система генерує виняткову ситуацію, сповіщаючи користувача про необхідність заповнення обов’язкових полів. Такий алгоритм забезпечує цілісність даних і запобігає втраті інформації під час запису.

НТБОНТУ

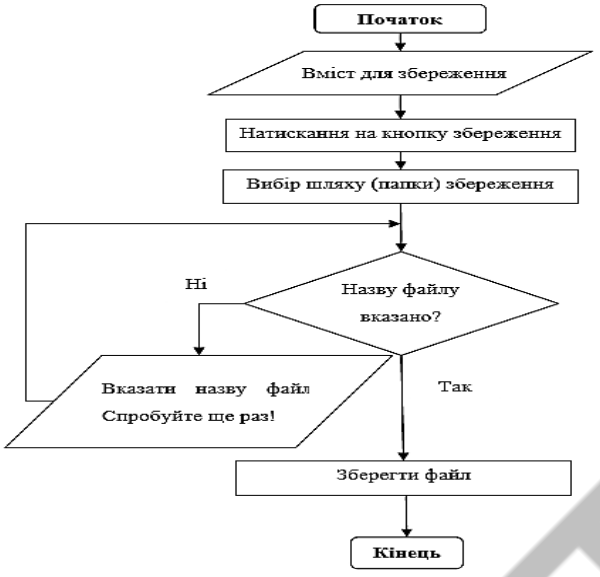


Рисунок 1 – Алгоритим збереження тектового файлу

Аналогічні принципи застосовуються при відкриванні файлу: після натискання на кнопку «Відкрити» програма за допомогою діалогового вікна зчитує вибраний користувачем файл, визначає його тип і сумісність із системою. Алгоритм подано на рисунку 2.

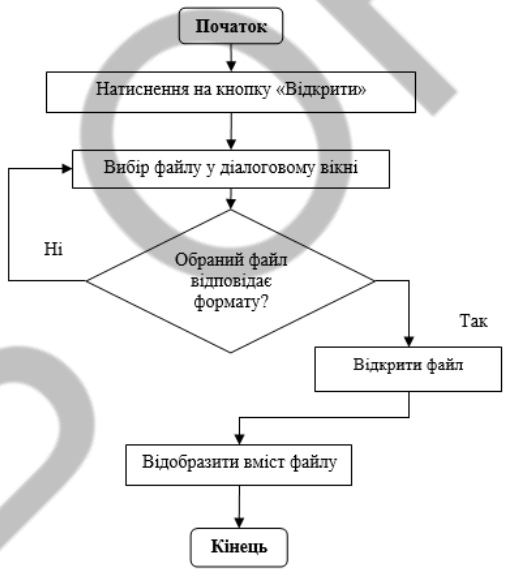


Рисунок 2 – Алгоритим відкривання тектового файлу

У випадку з текстовими файлами з розширенням .txt здійснюється пряме відображення вмісту, тоді як формати .doc, .docx або .rtf відкриваються з урахуванням структурованих параметрів шрифту, кольору та форматування. Це дозволяє зберігати цілісність документів і підтримувати можливість їх подальшого редагування.

Важливою складовою функціональності редактора є перевірка правопису, що виконується в реальному часі під час набору тексту (рисунок 3). Для цього текстовий редактор використовує вбудований словник, з яким порівнює кожне введене слово. У разі невідповідності слово підсвічується червоною лінією або іншим маркером, а користувачеві може бути запропоновано варіант виправлення чи синонім. Така система не лише підвищує якість текстового матеріалу, але й автоматизує процес редагування, роблячи його зручним та інтуїтивно зрозумілим.

Усі наведені алгоритми, реалізовані мовою програмування C# у середовищі .NET, формують основу роботи текстового редактора.

НТБОНТУ

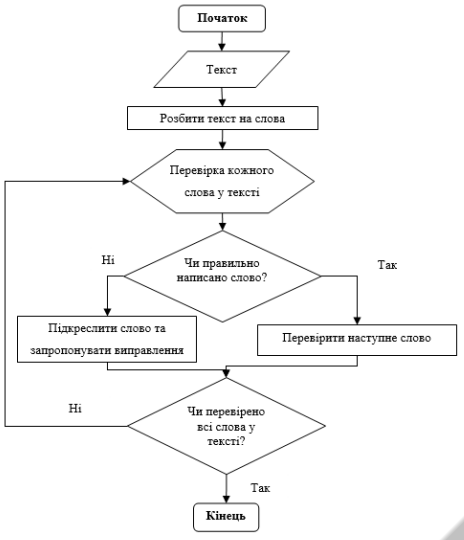


Рисунок 3 – Алгоритим вперевірки правопису у текстовому файлі

Рисунок 4 – Програмна реалізація текстового редактора

У результаті проведеного дослідження було спроєктовано та описано основні алгоритми роботи з текстовими даними мовою програмування C#, що охоплюють процеси збереження, відкривання та перевірки правопису текстових файлів. Реалізація цих алгоритмів на прикладі текстового редактора підтвердила їх ефективність і коректність функціонування.

Список використаних джерел

[1] N. Ostapchenko, O. Tyschenko, B. Denysenko, and O. Mazurets, “Semantic search of relevant images using vector databases,” Khmelnytskyi National University Institutional Repository, 2025. [Online]. Available: https://elar.khmnu.edu.ua/items/deafefe1-b21c-41df-9668-a3476a39e0ae [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] О. В. Мазурець, О. В. Ковальчук, В. О. Слободзян, «Використання спеціалізованих програмних розширень для автоматизації роботи з цифровими документами навчальних матеріалів», Інституційний репозитарій Хмельницького національного університету, 2018. [Online]. Available: https://elar.khmnu.edu.ua/items/5ebf8fb3-495e-4302-a15d-127634697766 [Accessed: Oct. 22, 2025].

НТБОНТУ

УДК 004.8:004.67

МУЛЬТИМОДАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ КОЛЕКЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ МАСШТАБОВАНИХ СИСТЕМ

Попершняк Д.І
(spopereshnyak@gmail.com)
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)

Робота присвячена інтелектуальним підходам до аналізу, класифікації та рекомендацій у системах управління колекціями, що функціонують у цифрових і гейміфікованих середовищах. Мета дослідження — підвищити ефективність роботи з різнорідними даними шляхом інтеграції мультимодальних векторних подань, композитних метрик подібності, механізмів дедуплікації та гібридних рекомендаційних моделей. Запропонована архітектура забезпечує зменшення надлишковості, зростання точності класифікації й релевантності рекомендацій, водночас зберігаючи масштабованість системи. Результати свідчать про універсальність підходу та його придатність для освітніх, медіа- та корпоративних застосувань.

Постановка проблеми. У сучасних умовах кількість цифрових даних зростає експоненційно. Вони охоплюють текстові документи, числові записи, категоріальні ознаки та мультимедійний контент (зображення, аудіо, відео). Традиційні системи управління колекціями (бібліотечні, архівні, корпоративні бази) орієнтовані на зберігання та пошук, але погано справляються з аналізом подібності, класифікацією та рекомендаціями. Це призводить до дублювання об’єктів, ускладнення доступу до інформації та обмеження масштабованості.

Метою роботи є розробка моделі та методів мультимодальної класифікації колекційних даних, що забезпечують коректне групування та ідентифікацію об’єктів у масштабованих інформаційних системах, де одночасно використовуються різні типи ознак (числові, текстові, категоріальні та мультимедійні).

Завдання дослідження:

1. Формалізувати модель об’єктів колекції з урахуванням багатомодальних характеристик (текст, числа, зображення тощо).
2. Розробити уніфіковану метрику подібності, що дозволяє порівнювати гетерогенні дані в єдиному просторі ознак.
3. Реалізувати методи багатоміткової класифікації, здатні одночасно відносити об’єкти до кількох категорій.
4. Оцінити масштабованість та точність класифікації на великих масивах даних (реальних та синтетичних).
5. Порівняти різні підходи до класифікації (традиційні ML-методи, глибинні моделі, ансамблі) та визначити їх переваги для мультимодальних даних.

Суть дослідження. У сучасному інформаційному середовищі обсяг цифрових колекційних даних зростає надзвичайно швидкими темпами. Йдеться не лише про класичні бібліотечні фонди чи приватні архіви, а й про мультимедійні сховища, корпоративні бази та наукові репозиторії, що можуть налічувати сотні тисяч і навіть мільйони об’єктів. Особливістю таких систем є різнорідність даних: одні з них представлені числовими ознаками (наприклад, рік видання чи розмір файлу), інші — категоріальними (жанр, тип документа, мова), значну частку становлять текстові дані (анотації, ключові слова, метадані), а дедалі важливішими стають візуальні та мультимедійні характеристики (зображення обкладинок, аудіо- чи відеофрагменти). Така гетерогенність істотно ускладнює завдання організації, пошуку та класифікації.

Традиційні підходи часто оперують лише однією модальністю, що призводить до неповних або нерелевантних результатів. Запропонована в роботі модель мультимодальної класифікації інтегрує всі типи ознак в єдиний формалізований простір. Для цього кожен об’єкт подається у вигляді вектора:

$$x_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}),$$

де a_{ik} – значення k-ої ознаки об’єкта x_i.

Оцінювання подібності між двома об’єктами c_i та c_j здійснюється за композитною метрикою:

$$d(c_i, c_j) = \sum_{k=1}^{m} w_k \cdot d_k(a_{ik}, a_{jk}),$$

де d_k − локальна відстань для конкретного типу ознак, а w_k − ваговий коефіцієнт значущості.

Для різних типів даних застосовуються різні метрики:

- числові ознаки − нормована різниця (евклідова чи мангеттенська відстань);
- категоріальні ознаки − функція збігу (0 – різні, 1 – однакові);
- текстові дані − косинусна близькість у векторних просторах (TF–IDF, BERT);
- зображення − відстань у просторах ознак, отриманих CNN/ResNet.

Таким чином, модель дозволяє оцінювати подібність комплексно, а не лише в межах однієї модальності.

Багатоміткова класифікація та виявлення дублікатів

Важливою складовою є підтримка багатоміткової класифікації, коли об'єкт може одночасно належати до кількох категорій. Формально це подається як відображення:

$$f: C \to 2^K,$$

де C − множина об'єктів, а K − множина можливих категорій.

Для усунення надлишковості використано метод комбінованої кластеризації на основі DBSCAN із пороговою фільтрацією подібності, що дозволяє виявляти не лише точні дублікати, а й близькі за структурою об'єкти (наприклад, різні видання однієї книги).

Результати порівняння метрик

У ході експериментів було проведено оцінку різних метрик подібності для текстових, візуальних та змішаних наборів даних. Результати подано у таблиці 1.

Табл. 1. Порівняння ефективності різних метрик подібності

Тип даних	**Косинусна міра**	**Евклідова відстань**	**Джаккарда**
Текстові описи	0,88	0,74	0,69
Зображення	0,82	0,85	0,61
Змішані набори	0,86	0,80	0,65

Як видно, для текстових даних найкращою є косинусна близькість, для зображень — евклідова відстань, тоді як для змішаних наборів оптимальною є комбінована метрика. Це підтверджує ефективність запропонованої композитної формули, яка враховує специфіку різних типів ознак.

Система була перевірена на вибірках від 1 000 до 50 000 об'єктів. Середній час відповіді зростав майже лінійно: від 0,02 с (1 000 об'єктів) до 0,15 с (50 000 об'єктів). Це свідчить про здатність архітектури зберігати продуктивність навіть у масштабованих середовищах, що є критично важливим для реальних застосунків у бібліотеках, архівах та наукових інфраструктурах.

Висновки. У ході дослідження було формалізовано модель об'єктів колекцій із урахуванням мультимодальних характеристик. Запропоноване представлення у вигляді векторного простору дозволило поєднати числові, текстові, категоріальні та візуальні ознаки, що забезпечує комплексне порівняння об'єктів.

Розроблена композитна метрика подібності продемонструвала ефективність у роботі з гетерогенними даними. Її особливістю є поєднання різних локальних метрик (евклідова відстань для числових ознак, функція збігу для категоріальних, косинусна міра для текстів, просторові ознаки CNN для зображень) з ваговими коефіцієнтами, що дозволяє адаптувати модель під конкретні колекції.

Реалізовані методи багатоміткової класифікації дали змогу відносити об'єкти одночасно до кількох категорій, що відповідає реальним вимогам бібліотечних та мультимедійних систем, де категорії часто перетинаються або мають ієрархічну структуру.

Проведено експериментальну перевірку масштабованості й точності класифікації. Показано, що система зберігає прийнятний час відповіді навіть за умови значного зростання кількості об'єктів (до 50 тисяч), що підтверджує її придатність для масштабованих інформаційних середовищ.

НТБОНТУ

Окремо було порівняно різні підходи до класифікації: класичні методи машинного навчання, ансамблеві алгоритми та глибинні моделі. Результати засвідчили, що прості алгоритми є достатніми для невеликих вибірок, тоді як для великих та різнорідних колекцій найбільш ефективними виявилися глибинні нейронні мережі та гібридні ансамблеві підходи.

Таким чином, поставлені завдання дослідження виконано повністю: створено модель мультимодальної класифікації, розроблено метрику подібності, реалізовано багатоміткову класифікацію та проведено її оцінку на масштабних наборах даних. Отримані результати підтверджують практичну цінність і наукову новизну роботи для побудови сучасних систем управління колекціями.

Список використаної літератури

[1] R. Kaur, A. Singh, and P. Singh, “Data deduplication techniques for efficient cloud storage management: A systematic review,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 80, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2016.12.019.

[2] L. Ogiela and M. R. Ogiela, “Cognitive security paradigm for cloud computing applications,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 32, no. 8, e5316, 2020, doi: 10.1002/cpe.5316.

[3] A. Roy, “Recommender systems: Algorithms, challenges, and trends,” *Journal of Big Data*, vol. 9, no. 1, pp. 1–32, 2022, doi: 10.1186/s40537-022-00592-5.

[4] M.-L. Zhang and Z.-H. Zhou, “A review on multi-label learning algorithms,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 26, no. 8, pp. 1819–1837, 2014, doi: 10.1109/TKDE.2013.39.

[5] F. Ricci, L. Rokach, and B. Shapira, Eds., *Recommender Systems Handbook*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2015, doi: 10.1007/978-1-4899-7637-6.

УДК 004.7

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ СЕРВІСНОГО ПІДПРИЄМСТВА (НА ПРИКЛАДІ КАВ'ЯРНІ «ЕСПРЕСО-ТОЧКА»)

Почуєв Д. С, Рувінська В. М., Тройніна А.С.
(dmytro.pochuiev@gmail.com, iolnlen@te.net.ua, anastasiyatroinina@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У роботі продемонстровано комплексний підхід до системного аналізу діяльності малого сервісного підприємства. Послідовно застосовано методи моделювання «чорної скриньки», аналізу вимог та ієрархічної декомпозиції для виявлення проблемних ситуацій та створення детальної структурної моделі бізнес-процесів кав'ярні. Результати дослідження є аналітичною основою для подальшої оптимізації та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

В умовах насиченого ринку та високої конкуренції у сфері громадського харчування, ефективне управління бізнес-процесами стає ключовим фактором фінансової стійкості та сталого розвитку. Багато малих підприємств, таких як кав'ярні, функціонують на основі інтуїтивних рішень, що часто призводить до неефективного використання ресурсів та втрати конкурентних переваг. Застосування інструментів системної інженерії дозволяє перейти від інтуїтивного до науково обґрунтованого управління, формалізувати опис діяльності, виявити приховані проблеми та створити базу для прийняття стратегічних рішень [1]. Постановка проблеми полягає в необхідності створення формалізованої моделі діяльності малого сервісного підприємства для діагностики його функціонування та виявлення прихованих неефективностей. Метою даної роботи є демонстрація поетапного системного аналізу на прикладі кав'ярні «Еспресо-Точка».

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

- побудовано концептуальну модель системи за принципом «чорної скриньки» для ідентифікації її меж, входів, виходів та ключових систем навколишнього середовища;
- проведено аналіз вимог до системи з боку зовнішнього оточення та внутрішніх підсистем, на основі якого виявлено та формалізовано критичні проблемні ситуації;

- розроблено детальну ієрархічну модель внутрішньої структури системи та створено змістовний опис її ключових підсистем.

Суть дослідження полягала у послідовному застосуванні трьох методів системного аналізу. На першому етапі система розглядалася як «чорна скринька» - об'єкт, що аналізується з точки зору його входів та виходів без знання про внутрішню структуру [2]. Було визначено, що система кав'ярні взаємодіє з такими зовнішніми системами, як Споживачі, Постачальники, Держава та Конкуренти. На рис. 1 зображено схему взаємодії системи з навколишнім середовищем.

Ця модель «чорної скриньки» дозволила чітко окреслити межі системи та візуалізувати її як відкриту, повністю залежну від свого оточення. Кожен ідентифікований зв'язок є не просто потоком ресурсів, а джерелом специфічних вимог та обмежень. Наприклад, взаємодія зі «Споживачами» генерує вимоги до якості продукту та швидкості сервісу, тоді як зв'язок з «Постачальниками» вимагає фінансової дисципліни та чіткої логістики.

Саме ідентифікація цих зовнішніх стейкхолдерів стала основою для другого етапу – аналізу вимог.

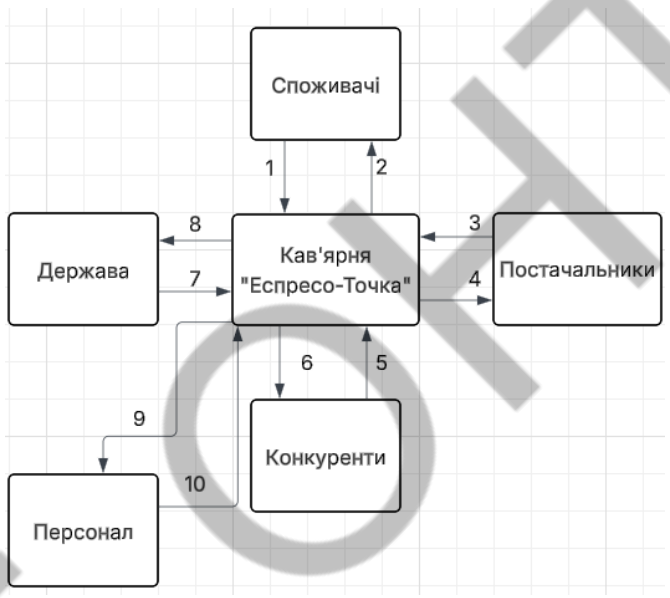


Рисунок 1 – Схема взаємодії системи з навколишнім середовищем

Як ілюструє табл. 1, кожна система довкілля формує чіткі, переважно кількісні, обмеження для функціонування кав'ярні. Ці показники є формалізованими критеріями успіху та задають цільові параметри для бізнес-процесів.

Таблиця 1 – Аналіз вимог систем довкілля

Система Довкілля	Вимога (Обмеження)	Тип параметра
Споживачі	Швидкість обслуговування: Час очікування одного напою не повинен перевищувати 3 хвилин у пікові години.	Кількісний
Керівництво (Фінанси)	Рентабельність: Середня рентабельність продажу (ROS) має становити не менше 15% щоквартально.	Кількісний
Постачальники	Своєчасна оплата: Оплата за поставлену сировину (кава, молоко) має надходити протягом 5 робочих днів після виставлення рахунку.	Кількісний
Держава	Фіскальна відповідність: Щомісячний показник списання сировини не повинен перевищувати 5% від загальної закупівлі.	Кількісний

Наприклад, вимога «Споживачів» до швидкості (≤ 3 хв) безпосередньо визначає якість операційної діяльності, тоді як вимоги «Керівництва» (рентабельність ≥ 15%) та «Постачальників» (оплата ≤ 5 днів) встановлюють жорсткі рамки фінансової ефективності та дисципліни. Проблемні ситуації, діагностовані раніше, виникають саме тоді, коли фактичні показники діяльності системи демонструють критичне відхилення від цих ключових вимог.

На третьому етапі було проведено ієрархічну декомпозицію - підхід до управління складністю, за якого система розбивається на ієрархію менших, більш керованих підсистем (рис. 2) [4]. Ця структурна модель має ключове значення, оскільки вона візуально розділяє основні процеси, що створюють цінність для клієнта (група «Основне виробництво»), від внутрішніх підтримуючих функцій («Забезпечуюче виробництво» та «Управлінська діяльність»). Саме такий поділ дозволяє чітко локалізувати проблеми, виявлені на другому етапі. Наприклад, проблему низької швидкості обслуговування (з табл. 1) тепер можна точно віднести до підсистеми «Обслуговування клієнтів» та її компонентів «Приготування їжі/напоїв» і «Прийом замовлень».

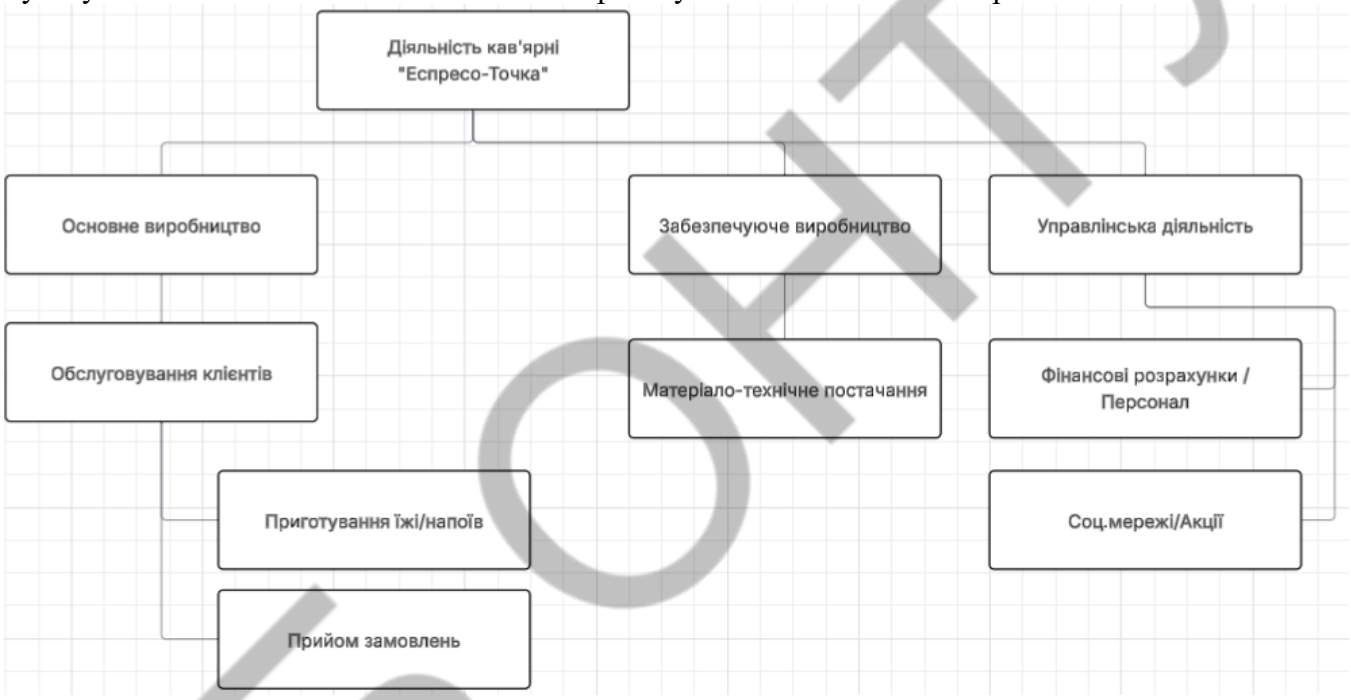


Рисунок 2 – Ієрархічна декомпозиція діяльності кав’ярні

Висновки. Проведене дослідження продемонструвало ефективність комплексного системного підходу. Перехід від моделі «чорної скриньки» до аналізу вимог і подальшої ієрархічної декомпозиції дозволив не лише описати систему, але й діагностувати її ключові проблеми та детально вивчити внутрішню структуру. Побудовані моделі дозволяють чітко локалізувати виявлені на етапі аналізу проблеми у конкретних бізнес-процесах та їх елементах (наприклад, зв’язати низьку швидкість обслуговування з підсистемою «Приготування напоїв»). Таким чином, отримані результати є міцною аналітичною основою для подальшої оптимізації, прийняття обґрунтованих управлінських рішень та проектування інформаційних систем для автоматизації діяльності.

Список використаної літератури

[1] C. S. Wasson, System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices. 2005. doi: https://dl.acm.org/doi/book/10.1002/0471728241

[2] A. Dennis, B. H. Wixom, and R. M. Roth, Systems Analysis and Design. 2015. doi: https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/1524120

[3] R. Guidotti, A. Monreale, S. Ruggieri, F. Turini, F. Giannotti, and D. Pedreschi, "A Survey of Methods for Explaining Black Box Models," ACM Comput. Surv., vol. 51, no. 5, pp. 1–42, Oct. 2018. doi: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3236009

[4] J. O. Grady, System Requirements Analysis. Burlington, MA: Academic Press, 2006. doi: https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/1197848

УДК 004.92

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ РЕНДЕРИНГУ

Романюк О.Н., Завальнюк Є.К., Мельник А.В., Стахов О.Я. (rom8591@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Розглянуто архітектурні особливості програмних систем рендерингу, що забезпечують формування тривимірних зображень на основі фізично коректних моделей освітлення та відбиття. Проаналізовано структуру основних підсистем — сцени, матеріалів, обчислювального ядра, керування ресурсами та введення-виведення з урахуванням вимог до масштабованості, сумісності та якості візуалізації.

Архітектура програмних систем рендерингу [1-15] є складною багаторівневою структурою, яка поєднує математичні методи обчислювальної графіки, апаратні можливості сучасних GPU [4] і програмні засоби управління обчислювальними ресурсами. Такі системи забезпечують формування зображення на основі тривимірних моделей, даних освітлення та матеріальних властивостей об’єктів. Їхня побудова визначається вимогами до якості, швидкодії, відтворюваності результатів та можливості масштабування.

На верхньому рівні архітектури зазвичай розташовується система подання сцени. Вона описує геометрію, камери, джерела світла, властивості поверхонь, а також взаємозв’язки між об’єктами. У сучасних системах для цього застосовують узагальнені формати опису, які дозволяють об’єднувати дані з різних джерел і забезпечують їх подальше відтворення у процесі візуалізації [11]. Подібна модульна структура дає змогу відокремити логіку редагування сцени від розрахункових процедур рендерингу, що підвищує гнучкість системи.

Важливою частиною є підсистема опису матеріалів. Вона відповідає за відображення фізичних властивостей поверхонь, зокрема відбиття, розсіяння та поглинання світла. У сучасних системах використовуються стандартизовані описи матеріалів, які дозволяють точно відтворювати взаємодію світла з різними типами поверхонь. Це забезпечує узгодженість між різними програмними середовищами [8, 9].

Обчислювальне ядро системи є центральним компонентом архітектури рендерингу. Його завдання полягає у виконанні математичних розрахунків для формування зображення. В архітектурі рендер-систем розрізняють два основних напрямки: растровий та трасувальний. Перший орієнтований на швидке формування зображення шляхом послідовного перетворення об’єктів у пікселі, другий — на моделювання фізично точного поширення світлових променів у просторі [1, 3]. У сучасних реалізаціях часто поєднуються обидва методи, що дозволяє досягати балансу між якістю та швидкодією.

Оскільки інтенсивність кольору розраховується для кожного пікселя зображення, важливим є використання високопродуктивних виразів нормалізації векторів [16, 17] нормалей, відбиття та падіння світла. Такі вирази забезпечують більш швидкий розрахунок оберненого кореня для нормалізації векторів, зберігаючи високу якість зображення.

Низькорівневий шар архітектури включає механізми керування пам’яттю, обробку буферів, організацію обчислювальних потоків і синхронізацію ресурсів. Завдяки цьому забезпечується ефективне використання можливостей графічних процесорів, що працюють паралельно з центральним процесором [5]. Високий ступінь деталізації зображень потребує ретельного управління пам’яттю та багаторівневого кешування даних. Тому в архітектуру закладаються спеціальні алгоритми розподілу ресурсів і їхнього автоматичного очищення.

У системах високої якості особливу роль відіграє підсистема побудови структур прискорення — спеціальних дерев або ієрархій, що дозволяють швидко знаходити перетин променів із геометрією сцени. Такі структури значно зменшують кількість обчислень і забезпечують масштабування рендерингу для великих обсягів даних. Для цього використовуються бібліотеки, оптимізовані під сучасні інструкційні набори процесорів [12].

Важливим аспектом є узгодження між підсистемами. Для цього архітектура передбачає проміжні рівні — графи виконання, які описують порядок обробки даних у межах кадру. Кожен етап, від обробки геометрії до формування зображення, представлений як окрема операція з чітко визначеними вхідними й вихідними даними. Такий метод дає змогу автоматично оптимізувати послідовність виконання, скорочуючи час обчислень [13].

Підсистема керування обчисленнями забезпечує розподіл завдань між процесорами. Вона формує черги обчислень, синхронізує їх виконання та контролює баланс навантаження. У разі використання декількох графічних або центральних процесорів система підтримує паралельну обробку частин сцени, що забезпечує прискорене формування зображень [6].

Окремий компонент архітектури становить підсистема введення та виведення даних. Вона реалізує зчитування та збереження текстур, моделей, проміжних буферів, а також забезпечує роботу з великою кількістю графічних форматів. Сучасні програмні засоби мають власні модулі для перетворення кольорових просторів, побудови ієрархічних рівнів деталізації та обробки зображень із високим динамічним діапазоном [10].

Архітектура сучасного рендерингу також передбачає засоби контролю якості та точності обчислень. Вони реалізуються через модулі перевірки похибок, системи тестування стабільності та інструменти порівняння результатів із еталонними зображеннями. Завдяки цьому можна забезпечити повторюваність результатів навіть за різних умов виконання [1].

Важливим напрямом розвитку є інтеграція рендерингу у хмарні обчислювальні середовища. Це дає змогу виконувати складні сцени на розподілених системах, використовуючи декілька обчислювальних вузлів. Архітектура повинна гарантувати незалежність від апаратного забезпечення та забезпечувати однаковий результат [11].

У традиційних рендер-системах шейдери організовані за стадіями обробки графічного потоку: обробка геометрії, визначення кольору, розрахунок освітлення, формування текстур та післяобробка. Кожна стадія має власний тип шейдерів — вершинний, фрагментний, геометричний, тіньовий, обчислювальний тощо. Архітектура системи передбачає модуль керування шейдерними програмами, який відповідає за їх компіляцію, завантаження, зв’язування з буферами даних і узгодження параметрів матеріалів. Модуль забезпечує динамічний вибір шейдерів залежно від типу об’єкта, освітлення, апаратних можливостей.

Важливим аспектом є стандартизація мови опису шейдерів і забезпечення їхньої переносності між різними платформами. У сучасних рендер-системах для цього застосовують узгоджені формати опису матеріалів, що автоматично перетворюються у відповідний шейдерний код під час побудови сцени. Це дозволяє художникам і розробникам працювати з єдиною системою параметрів, не залежачи від конкретного графічного інтерфейсу або типу графічного процесора. Наприклад, за допомогою узагальнених матеріальних графів можливо формувати шейдерні дерева, де кожен вузол описує певну фізичну властивість — від блиску до прозорості чи підповерхневого розсіяння.

Важливою задачею архітектури управління шейдерами є оптимізація їх виконання. В умовах великої кількості однотипних об’єктів система застосовує спільні шейдери, мінімізуючи час компіляції та переключення між програмами. Крім того, здійснюється контроль за кількістю активних варіантів шейдерів, що зменшує використання пам’яті та підвищує стабільність виконання. Для цього використовуються методи кешування, попереднього аналізу залежностей і багаторівневого компілювання.

Особливу роль відіграє узгодження шейдерів із системою матеріалів. Під час виконання сцени підсистема матеріалів передає параметри текстур, кольорів, коефіцієнтів відбиття й показників прозорості безпосередньо у шейдери. Це відбувається через таблиці зв’язків, які автоматично оновлюються при зміні сцени. Таким чином, управління шейдерами стає частиною єдиної системи рендерингу, що гарантує правильність взаємодії між геометричними, світловими й колірними даними.

У сучасних графічних середовищах також реалізовано можливість динамічної генерації шейдерів — коли програма автоматично створює новий код залежно від конкретних умов відображення. Це дає змогу ефективно поєднувати різні моделі освітлення, використовувати спрощені версії шейдерів для далеких об’єктів, а також зменшувати навантаження на графічний процесор. Підсистема управління шейдерами контролює ці процеси, забезпечуючи рівновагу між якістю та швидкодією.

Загалом, архітектура програмних систем рендерингу формується на основі модульного принципу. До її складу входять: підсистема управління сценою, підсистема матеріалів, обчислювальне ядро, система керування ресурсами, модуль введення-виведення та засоби діагностики. Чітке розмежування функцій між цими компонентами дозволяє забезпечити

стабільність роботи, масштабованість, гнучке розширення функціональності. Розвиток галузі демонструє тенденцію до уніфікації форматів даних і використання відкритих бібліотек.

Список використаної літератури

[1] M. Pharr, W. Jakob, and G. Humphreys, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, 4th ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2023. ISBN 978-0-262-04802-6.

[2] T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, A. Pesce, M. Iwanicki, and S. Hillaire, *Real-Time Rendering*, 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018. ISBN 9781138627000.

[3] A. Marrs, P. Shirley, and I. Wald, Eds. *Ray Tracing Gems II: Next Generation Real-Time Rendering*. Berkeley, CA: Apress (Springer Nature), 2021. ISBN 978-1-4842-7185-8.

[4] O. Romanyuk, O. Romanyuk, O. Dudnyk, A. Snigur, O. Reyda, and S. Romanyuk, "Global Lighting Based on Functionally Defined Surfaces and Voxels in Real Time Using a GPU," in *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, September 2021, pp. 153–158.

[5] The Khronos Group. "*Vulkan 1.3 Specification*, Version 1.3.283.0". Registry.khronos.org. https://registry.khronos.org/vulkan/specs/1.3-extensions/html/ (accessed 18.10.2025)

[6] NVIDIA Corporation. "*OptiX 8.1 Programming Guide*". Nvidia.com. https://raytracing-docs.nvidia.com/optix8/guide/optix_guide.241022.A4.pdf (accessed 18.10.2025)

[7] Є. К. Завальнюк, та О. Н. Романюк, "Базові вимоги до програмних систем рендерингу," у *Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація - 2023»,* жовтень 2023, с. 434–437.

[8] "Open Shading Language Documentation, Version 1.13.12". Open-Shading-Language.readthedocs.io. https://open-shading-language.readthedocs.io (accessed 18.10.2025)

[9] MaterialX Working Group. "*MaterialX v1.38 Specification*".MaterialX.org. https://materialx.org/assets/MaterialX.v1.38.Spec.pdf (accessed 18.10.2025)

[10] OpenImageIO Project. "*OpenImageIO 3.2.0 Documentation*". OpenImageIO.ReadtheDocs.io. https://openimageio.readthedocs.io/en/latest/ (accessed 18.10.2025)

[11] OpenUSD Project. "*Universal Scene Description (USD)*".OpenUSD.org. https://openusd.org (accessed 18.10.2025)

[12] Intel Corporation. "*Embree: High-Performance Ray Tracing Kernels*, Release 4.4". Embree.org. www.embree.org (accessed 18.10.2025)

[13] NVIDIA GameWorks. "*Falcor Real-Time Rendering Framework.* Version 8.0*".* Github.com. https://github.com/NVIDIAGameWorks/Falcor (accessed 18.10.2025)

[14] О. Н. Романюк, О. В. Романюк та Р. Ю. Чехместрук, *Комп'ютерна графіка: навчальний посібник*. Вінниця: ВНТУ, 2023. ISBN 978-966-641-938-1.

[15] Є. К. Завальнюк, та О. Н. Романюк, "Застосування спеціалізованих програмних засобів для візуалізації моделей відбивної здатності поверхонь," у *Інформаційні технології - 2025»,* травень 2025, с. 41–43.

[16] O. Romanyuk, Y. Zavalniuk, P. Mykhaylov, R. Chekhmestruk, N. Titova, and S. Romanyuk, "Accelerated Vector Normalization for Rendering Tasks," in *2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, September 2024, pp. 640–644.

[17] O. Romanyuk, Y. Zavalniuk, O. Bobko, I. Arsenyuk, O. Romanyuk, N. Sachaniuk-Kavets'ka, L. Nykyforova, A. Kotyra, A. Kozbakova, and A. Kalizhanova, " Method of combined vector normalization of 3-D objects," in *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2024*, December 2024, Art. no. 134000O.

НТБОТІУ

УДК 004.032:004.056

ТАКСОНОМІЯ ТА МЕТРИКИ ОЦІНЮВАННЯ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рубан І.В., Ткачов В.М. (ihor.ruban@nure.ua, vitalii.tkachov@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У роботі подано систематизацію та порівняльний аналіз відомих підходів до забезпечення живучості інформаційних систем. Запропоновано узгоджену таксономію за рівнями організації (дані, процеси, ресурси), механізмами (маскування відмов, відновлення стану, адаптивна перебудова, ізоляція, різноманіття, виявлення відхилень), припущеннями щодо середовища (зв'язність, спостережуваність, синхронізація, ресурсні обмеження), часовим масштабом рішень та типами гарантій. Уніфіковано набір метрик (експлуатаційні, узгодженості даних, якості обслуговування, ризик-орієнтовані, просторово-часові, ресурсно-вартісні) й сформовано порівняльну матрицю. Результати виявляють сильні та слабкі сторони класів методів і окреслюють прогалини, пов'язані з переривчастою зв'язністю, частковою спостережуваністю та хвостовими ризиками, що слугує підґрунтям для подальшого інтегрування політик забезпечення живучості.

Сучасні інформаційні системи функціонують у середовищі високої невизначеності та збурень – від відмов компонентів і збоїв програмного забезпечення до навмисних впливів [1]. Це висуває підвищені вимоги до їх живучості – здатності зберігати цільову функціональність шляхом перебудови структури та зміни пріоритетів процесів у межах виконання основної функції [2-5]. Попри значний доробок у зазначеній предметній області, підходи до забезпечення живучості залишаються фрагментарними, оскільки спираються на несумісні припущення, різні рівні моделювання та неоднорідні критерії оцінювання.

Метою роботи є систематизація та порівняльний аналіз відомих моделей і методів забезпечення живучості інформаційних систем із побудовою уніфікованої схеми їх зіставлення. Методична основа охоплює класифікацію за рівнями організації (дані, процеси, ресурси), за типами загроз (відмови, збої, атаки, деградації) та режимами спостережуваності й зв'язності. Уніфікований набір показників для порівняння включає доступність, середній час відновлення, інваріанти причинно-часової узгодженості даних, а також ризик-чутливі метрики деградації сервісу.

Узагальнення відомих рішень доцільно виконувати за кількома ортогональними ознаками, що дозволяє зіставляти методи на спільній основі припущень, механізмів і гарантій. Пропонується наступна таксономія:

а) за рівнем організації системи:

– на рівні даних – надлишкове кодування, контроль цілісності, контрольні суми, інваріанти причинно-часової узгодженості, відкладене узгодження, буферизація;

– на процесному рівні – журналювання відновлення, реплікація виконання, керована деградація, дублювання маршрутів;

– на ресурному півні – резервування, перепланування та міграція навантаження, ізольовані середовища виконання, політики доступу до ресурсів;

б) за механізмом забезпечення:

– маскування відмов – надлишковість, кодова надлишковість;

– відновлення стану – контрольні точки, журналювання подій, селективне відновлення;

– адаптивна перебудова – перемикання режимів, самоналаштування параметрів, міграція компонентів, перепризначення ролей;

– ізоляція та обмеження поширення збурень – контейнеризація/віртуалізація, просторово-часова ізоляція, кордони поширення даних;

– захист від навмисних впливів – виявлення відхилень, динамічне укріплення конфігурацій, локалізація компрометованих компонентів;

в) за припущеннями щодо середовища:

– зв'язність – постійна, переривчаста, опортуністична;

– спостережуваність – повна; часткова; із затримками вимірювань;

– синхронізація – синхронні/квазі-асинхронні моделі часу;

– ресурсні обмеження – жорсткі та м’які;

г) за часовим масштабом прийняття рішень:

– реактивні локальні стратегії (швидкі правила реагування);

– прогнозно-орієнтовані (горизонт передбачення, оцінювання стану й навантаження);

– стратегічні (довгострокове планування ресурсів і конфігурацій);

ґ) за типом гарантій:

– жорсткі детерміновані (гарантовані межі часу/ресурсів, незмінні інваріанти);

– ймовірнісні (виконання з заданою довірою);

– середні (показники на середніх значеннях);

– хвостові ризик-чутливі (умовне сподівання перевищення для відмов і дефіцитів якості обслуговування);

д) за методами обґрунтування та перевірки:

– формальна верифікація властивостей і політик (інваріанти, досяжність, здійсненність);

– експериментальна валідація (полігон, цифровий двійник, відтворювані сценарії збурень);

– експлуатаційний моніторинг з аудитом подій і післядією.

Оцінювання живучості доцільно виконувати за узгодженим набором показників, згрупованих за змістом та масштабом вимірювання:

а) експлуатаційні показники – доступність (частка часу роботоздатності), середній час безвідмовної роботи, середній час відновлення, інтенсивність відмов, імовірність відмови на інтервалі;

б) структурно-логічні показники узгодженості даних – кількість і тривалість порушень інваріантів причинно-часової узгодженості, час перебування за межами допустимої області, відстань до «ядра живучості» (ступінь відновлення до множини допустимих станів);

в) якісні показники надання послуг – частка виконаних вимог до якості обслуговування, інтегральний дефіцит якості (площа відхилення нижче встановлених рівнів у часі), максимальна глибина деградації під збуреннями;

г) ризик-орієнтовані показники – ймовірність перевищення критичного відхилення, умовне середнє перевищення, що відображає «хвостовий» ризик рідкісних, але значних збоїв, довірчі межі для базових метрик;

ґ) просторово-часові показники локалізації – частка уражених компонентів, радіус поширення збурення, час локалізації та ізоляції, швидкість переходу до безпечної конфігурації; показник плавності деградації/відновлення (відсутність різких стрибків);

д) ресурсно-вартісні показники – рівень надлишковості, додаткове споживання ресурсів під час відновлення, коефіцієнт «ефект/вартість» для порівняння альтернативних політик.

У табл. 1 наводиться порівняльна матриця класів підходів до забезпечення живучості інформаційних систем за рівнем застосування, ключовим механізмом, ефективністю ($E = [0;3]$), вартістю ресурсів ($C = [0;3]$).

Для коректного зіставлення методів усі метрики нормують (наприклад, до інтервалу [0;1]), супроводжують набором даних (визначення, одиниці, спосіб вимірювання, інтервал довіри) та агрегують за вагами з урахуванням пріоритетів системи (критичні сервіси, обмеження часу/ресурсів). Це забезпечує об’єктивну порівняльну оцінку підходів у різних умовах.

Узагальнення показало низку системних вад наявних підходів. Зокрема, до таких вад відносяться: відсутність єдиного термінологічного поля та зіставних описів метрик, розрив між рівнями моделювання (дані – процеси – ресурси), що ускладнює композиційність політик, слабке врахування переривчастої зв’язності та часткової спостережуваності, нестача методів з гарантованими межами для рідкісних, але руйнівних подій (хвостові ризики); обмежена здатність до локалізації спільних причин відмов і стримування каскадних ефектів, відсутність процедур оперативної перевірки здійсненності рішень у заданих ресурсно-часових межах, невизначеність співвідношення «ефект/вартість» у реальному часі; брак інструментів для адаптивного синтезу політик та їх формальної верифікації у динамічних умовах.

Проведена систематизація окреслює узгоджену таксономію підходів до забезпечення живучості інформаційних систем і уніфікований набір метрик оцінювання. Порівняльний аналіз свідчить, що універсальних рішень не існує. Ефективність визначається поєднанням механізмів (ізоляція, надлишковість, відновлення, адаптивна перебудова, керована деградація) під конкретні припущення щодо зв’язності, спостережуваності та ресурсних обмежень. Найперспективнішими

виглядають багаторівневі стратегії з явними інваріантами причинно-часової узгодженості, локалізацією збурень і ризик-чутливими критеріями, що враховують хвостові події. Практична придатність таких стратегій залежить від наявності описових метрик, засобів моніторингу та відтворюваних сценаріїв випробувань.

Таблиця 1 – Порівняльна матриця класів підходів до забезпечення живучості

Клас підходу	Рівень застосування	Ключовий механізм	*E*	*C*
Маскування відмов	дані / процеси	надлишковість	3	3
Журналювання	процеси / дані	знімки стану, відкат	2	2
Реплікація виконання/даних	дані / процеси / комунікації	активна/пасивна, синхрон./асинхрон.	3	3
Адаптивна перебудова конфігурації	ресурсний	перемикання режимів, переналаштування	2	1
Перепланування та міграція	ресурсний	перерозподіл ресурсів	2	2
Ізоляція/віртуалізація	архітектурний / ресурсний	ізолюючі контури, «пісочниці»	2	1
Багатоверсійність	програмний / процеси	незалежні реалізації	2	3
Виявлення відхилень і локалізація	моніторинг / керування	порогові та статистичні правила	2	1
Керована деградація якості	процеси / сервіси	зміна пріоритетів, спрощення функцій	2	1
Кодова надлишковість даних	дані / комунікації	коди виправлення помилок	2	1

Отримані результати формують підґрунтя для побудови інтегрованих рішень, у яких політики синтезуються та перевіряються у межах заданих ресурсно-часових обмежень із забезпеченням прозорих гарантій якості функціонування.

Список використаної літератури

[1] Managing and Using Information Systems: A Strategic Approach. *Wiley Sons, Inc., John*, 2024.
[2] О.Г. Додонов, О.В. Никифоров, В.Г. Путятін, В.О. Додонов, С.А. Куценко, А.П. Германюк Територіально-розподілені інформаційні комп'ютерні системи у єдиному інформаційному просторі: базові поняття та визначення. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, т. 26, № 1, с. 89-112. DOI: https://doi.org/10.35681/1560-9189.2024.26.1.308647.
[3] О.Г. Додонов, Д.В. Ланде Мережева модель структурної живучості. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, т. 23, № 1, с. 15-22. DOI: https://doi.org/10.35681/1560-9189.2021.23.1.235075.
[4] С.М. Лисенко, В.С. Харченко, К.Ю. Бобровнікова, Р.В. Щука. Резильєнтність комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз: таксономія та онтологія. Радіоелектронні і комп'ютерні системи, № 1, с. 17-28. DOI: https://doi.org/10.32620/reks.2020.1.02.
[5] А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, В.М. Ткачов. Метод забезпечення живучості комп'ютерної мережі на основі VPN-тунелювання. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, т. 1, № 63, с. 90-95. DOI: https://doi.org/10.26906/sunz.2021.1.090.

UDC **004.41:658.8**

IDENTIFYING NON-FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR A CRM SYSTEM

Rudenko M.O., Sotnik S.V.
(maksym.rudenko@nure.ua, svetlana.sotnik@nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The article discusses the problem of defining non-functional requirements when designing CRM systems. The authors argue that the traditional approach to developing information systems often focuses primarily on functional requirements, while non-functional characteristics remain insufficiently

formalized. This leads to problems with stability, security, scalability, and user satisfaction. The paper identifies and describes in detail the main groups of non-functional requirements: performance, security, scalability, usability, reliability, and portability. For each group, specific metrics and examples of formalization of requirements are given, such as a 99 % system availability guarantee, a response time of no more than two seconds, a recovery time of no more than 15 minutes, and a recommendation for a three-step process for basic operations. The conclusion of the work is that the correct definition and implementation of non-functional requirements at the CRM system design stage ensures its longevity, security, reliability, and efficiency, contributing to improved customer service quality and enterprise competitiveness.

Problem Statement.

Defining non-functional requirements is a very important process for most information systems, including CRM (Customer Relationship Management) [1-5]. Often, technical specifications for the development of CRM systems describe only functional capabilities in detail, such as creating, editing, searching for customers, working with deals, etc. However, non-functional characteristics of the system, such as security, scalability, and interface ergonomics, remain superficially described or are not formulated at all and are considered self-evident. The consequences of this are:

– reduced system stability as the number of users increases;

– database overload and response delays;

– low level of protection of customers' personal data;

– complexity of software support and updates and reduced user satisfaction with the system.

As we can see, ignoring all of the above consequences is unacceptable if a business needs an effective CRM system that can significantly increase the company's revenue, security, productivity, and competitiveness. Therefore, it is necessary to define non-functional requirements for the CRM system at the design stage, which will ensure proper quality and efficiency of operation.

Essence of study.

Non-functional requirements are a set of characteristics that determine the quality of the system's performance, its operational properties, usability, and reliability. They do not describe specific functions, but rather define the limitations or criteria that the system must meet.

Unlike functional requirements, which describe specific operations or processes, non-functional requirements characterize the behavior of the system in terms of performance, reliability, security, usability, scalability, and portability. The main groups of non-functional requirements that require special attention are shown in Figure 1.

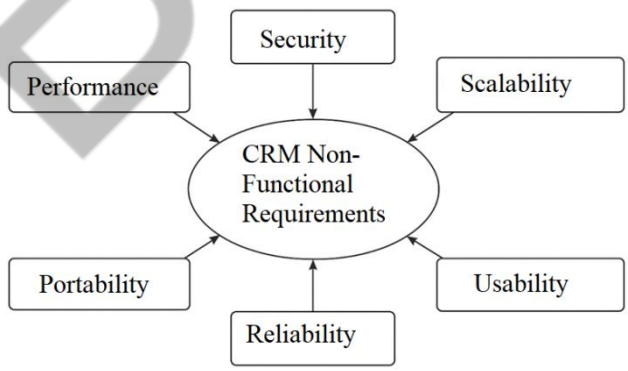


Figure 1. Main groups of non-functional requirements

Let's take a closer look at the main groups of non-functional requirements for a CRM system.

Let's start with system performance, which determines how quickly the software system or its individual parts respond to certain user actions under a given load. In most cases, this indicator explains how long a user has to wait before the target operation takes place, for example, a page is displayed, a transaction is processed, etc., taking into account the total number of users at the moment.

The security of a CRM system is another important aspect of non-functional requirements, as it contains confidential information about customers, financial transactions, contracts, and other business

data. Therefore, the system must implement multi-level protection, including data encryption and access rights management mechanisms.

Equally important is the scalability of the system, i.e., its ability to operate effectively as the number of users increases or the customer base expands. This is especially relevant for companies that are growing, opening new branches, or integrating CRM with other corporate services.

Usability is also a very important indicator of the system; it determines how intuitive, logically structured, and adapted the CRM interface is to different devices and the needs of different user categories, such as managers, administrators, and analysts.

Reliability is equally important, as it determines how likely it is that a system or its component will operate without failure for a specified period of time under predetermined conditions. Typically, when evaluating systems, this probability is expressed as a percentage.

Portability determines how a system or its component can be run in a given environment. It usually includes specifications for hardware, software, or other platforms of use. In simple terms, it determines how well the functions performed on one platform will perform on another.

In the next step, we will look at examples of formalizing non-functional requirements for a CRM system. Such systems usually operate with large amounts of data about customers, transactions, payments, and communication history. Therefore, high performance and availability are critical requirements. The system must ensure uninterrupted operation at least 99% of the time, as it is the heart of the company. The system response time should not exceed two seconds. This will allow users to quickly access information without delays or downtime.

Security is equally important, as CRM systems store confidential personal data of customers, commercial offers, and analytical information. Such data is protected through the use of modern cryptographic data transfer protocols, user authorization and authentication mechanisms, as well as action audit systems that allow tracking attempts at unauthorized access. Compliance with security requirements also contributes to compliance with international standards and regulations for personal data protection.

Another important feature is ease of use. Particular attention should be paid to reducing the number of steps required to perform typical operations, such as creating a new contact, recording a call, or generating a report. The number of steps required to perform basic operations should not exceed three. This will reduce the time users spend working with the system and increase their productivity.

It is also necessary to pay attention to the scalability of the CRM system at the beginning of development. It is very important to correctly assess how well the new system will be able to support expansion as the number of users and data increases or new company departments are connected. It is advisable to provide for a scalability reserve of at least two to three times the expected peak load during the first 1-2 years. This will prevent performance degradation as the number of users grows or the volume of data increases. It will also ensure stability during integrations or the addition of new features. If this is neglected, further reworking of the finished system can be very difficult and costly. It is often cheaper to develop a new solution than to modify an old one. Although refactoring outdated code is possible, sometimes the current architecture needs to be completely reworked to meet certain requirements.

Reliability cannot be overlooked. CRM must work stably even in cases of equipment failure or breakdown, which is achieved by backing up the database and implementing mechanisms for quick system recovery. The system recovery time should not exceed 15 minutes. Ease of maintenance allows developers to quickly fix bugs, update the program, and adapt it to changing business processes.

Conclusions

Therefore, non-functional requirements in CRM systems play a key role in ensuring stable, secure, and convenient user experience. For effective implementation of a CRM system, it is advisable to develop a set of quantitative metrics for establishing the necessary non-functional indicators at the development stage. Their correct definition and implementation create conditions for the effective use of the system at various business scales, contributing to improving customer service quality and the competitiveness of the enterprise, as well as reducing the risks of rapid system degradation and additional costs for updating the company's IT infrastructure. Thus, the study identified the main groups of non-functional requirements for a CRM system, which form the foundation for the development of a reliable, secure, and user-friendly system capable of effectively evolving alongside the business and ensuring high-quality customer service.

References

[1] S. V. Sotnik, et al., “Analysis of searching methods for explosive objects using information

technology and computer modeling," *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ*. 2024, pp. 20-22

[2] S. Sotnik, M. Rudenko, "Evaluating relational database scaling strategies in web engineering," *International Conference on Advanced Trends In Radioelectronics and Infocommunications (ATRIC-2025) (May 21–22, 2025), Lviv Polytechnic Publishing House, Lviv, Ukraine*. 2025, pp. 224-228

[3] A. Tverdokhlib, et al., "Intelligent tools for optimizing information and search engines," *Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26*. 2024, pp. 28-31

[4] V.G. Kaponkin, et al., "The role of big data in improving functionality of search engines," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain*. 2024, pp. 69-76

[5] С. Сотник, "Розробка автоматизованої інформаційно-пошукової системи вибору маніпулятора промислових роботів," *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2025, 1 (68), pp. 52-58

УДК 004.738.5:910.4

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ВІЗУАЛЬНИХ КАРТ СПОГАДІВ ТА ПОДОРОЖЕЙ

Сілін М.Ю., Голуб Т.В., Куликовська Н.А., Тіменко А.В.
(br_lucky9@ukr.net, golub.tv6@gmail.com, gontar@zp.edu.ua, timenko.a@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

У роботі розроблено інформаційну систему для автоматизованої генерації візуальних карт спогадів та подорожей на основі геолокаційних даних користувача. Система забезпечує інтеграцію фотографій, відео та текстових нотаток з інтерактивними картографічними сервісами для створення персоналізованих мультимедійних історій подорожей. Реалізовано архітектуру на базі React з використанням Mapbox GL JS для картографічної візуалізації та Node.js з MongoDB для серверної частини. Функціонал включає автоматичне вилучення геолокації з EXIF метаданих, алгоритм побудови оптимальних маршрутів подорожей, кластеризацію локацій за географічною близькістю та часовими інтервалами, а також генерацію анімованих візуалізацій переміщень. Тестування з групою 30 користувачів показало високу точність геолокації (96%), швидкість обробки 250 фотографій за 8 секунд та рівень задоволеності інтерфейсом 91%. Розроблена система дозволяє користувачам створювати інтерактивні цифрові спогади про подорожі з можливістю експорту та спільного використання.

Цифрові технології трансформували спосіб документування та збереження спогадів про подорожі. За даними досліджень, понад 65% мандрівників активно використовують цифрові пристрої для фіксації вражень під час подорожей, створюючи щорічно мільярди геотегованих фотографій та відео [1]. Водночас традиційні методи організації цифрових спогадів у вигляді хронологічних галерей не розкривають просторовий контекст подорожей та не забезпечують цілісного розуміння географічної історії переміщень.

Існуючі рішення для створення карт подорожей часто мають обмежений функціонал автоматизації, вимагають ручного введення локацій або не підтримують інтеграцію мультимедійного контенту. Комерційні платформи зазвичай орієнтовані на соціальний обмін та не надають повноцінних інструментів для персональної роботи з даними про подорожі [2].

Ключові проблеми включають відсутність автоматизованого вилучення просторово-часової інформації з мультимедійних файлів, складність побудови візуально привабливих та інформативних карт маршрутів, брак інструментів для аналізу географічних патернів подорожей та обмежені можливості персоналізації візуалізацій відповідно до естетичних переваг користувачів.

Розробка інформаційної системи для автоматизованої генерації візуальних карт спогадів дозволить користувачам ефективно документувати свої подорожі, створювати інтерактивні цифрові архіви з просторовим контекстом та отримувати аналітичні insights про свою географічну активність.

Мета роботи полягає у розробці інформаційної системи для автоматизованої генерації інтерактивних візуальних карт спогадів та подорожей на основі геолокаційних метаданих з мультимедійних файлів користувача з можливістю створення анімованих візуалізацій маршрутів та експорту готових карт.

Для реалізації інформаційної системи використано комплекс сучасних методів та технологій розробки програмного забезпечення.

Методи дослідження: системний аналіз існуючих рішень для картографічної візуалізації подорожей, порівняльний аналіз алгоритмів кластеризації геопросторових даних, метод об'єктно-орієнтованого проектування для розробки архітектури системи, юзабіліті-тестування для оцінки якості користувацького досвіду.

Алгоритмічні методи: для вилучення геолокації з медіафайлів використано парсинг EXIF/XMP метаданих з валідацією координат. Реалізовано алгоритм DBSCAN для кластеризації локацій за географічною близькістю та часовими інтервалами, що дозволяє автоматично групувати спогади за місцями відвідування [3]. Для побудови маршрутів застосовано алгоритм на основі Travelling Salesman Problem з евристикою найближчого сусіда для оптимізації послідовності точок. Анімація переміщень реалізована через інтерполяцію координат за кривими Безьє для плавності руху.

Технологічний стек: для розробки веб-додатку обрано React з TypeScript для забезпечення типобезпеки. Картографічна візуалізація реалізована на Mapbox GL JS, що забезпечує високопродуктивний рендеринг векторних карт та підтримку кастомних стилів. Серверна частина побудована на Node.js з Express.js фреймворком. База даних MongoDB використана для зберігання геопросторових даних з підтримкою GeoJSON та геопросторових індексів для швидкого пошуку локацій у заданому радіусі.

Для обробки медіафайлів інтегровано бібліотеку ExifReader для вилучення метаданих та Sharp для оптимізації зображень. Реалізовано інтеграцію з Nominatim (OpenStreetMap) для зворотного геокодування координат у читабельні адреси та назви місць.

Блок-схема алгоритму генерації візуальної карти подорожі представлена на рисунку 1. Алгоритм включає етапи завантаження медіафайлів, вилучення геолокаційних метаданих, кластеризації локацій, побудови оптимального маршруту та генерації інтерактивної карти з мультимедійними маркерами.

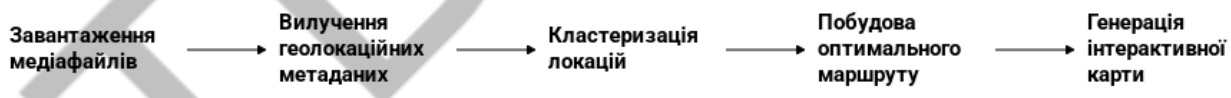


Рисунок 1 - Алгоритм генерації візуальної карти спогадів

У результаті виконання роботи розроблено функціональну інформаційну систему, яка включає наступні основні компоненти:

Модуль імпорту та обробки медіафайлів забезпечує пакетне завантаження фотографій та відео, автоматичне вилучення EXIF/GPS метаданих (координати, час зйомки, висота, напрямок), підтримку форматів JPEG, PNG, HEIC, MP4, MOV, валідацію та корекцію некоректних координат, генерацію оптимізованих превью для швидкого завантаження та визначення часових зон на основі координат.

Модуль геопросторового аналізу надає алгоритм кластеризації локацій за параметрами щільності та часу перебування, автоматичну ідентифікацію ключових локацій подорожі, розрахунок загальної відстані та тривалості подорожі, побудову оптимальних маршрутів між точками, зворотне геокодування координат в адреси та назви місць.

Модуль візуалізації реалізує інтерактивну карту з кастомними маркерами для фото, інтеграцію мініатюр фотографій у маркери локацій, анімовані траєкторії переміщень з контролем швидкості відтворення, теплові карти щільності відвідувань, підтримку множинних стилів карт

(satellite, streets, outdoors), 3D рельєф для гірських маршрутів та timeline-слайдер для часової навігації.

Модуль персоналізації включає вибір кольорових схем для маршрутів, налаштування стилю маркерів та іконок, додавання власних текстових нотаток до локацій, створення тематичних колекцій подорожей, встановлення приватності карт (публічна/приватна).

Модуль експорту та спільного доступу забезпечує генерацію статичних зображень карт у високій роякості, експорт анімованих GIF-візуалізацій маршрутів, створення інтерактивних HTML-карт для веб-публікації, експорт геоданих у форматі GPX/KML для GPS-пристроїв, генерацію унікальних посилань для спільного перегляду.

Система пройшла комплексне тестування з використанням тестової групи з 30 користувачів. Для оцінки використано набори фотографій різних обсягів: від коротких уїкендів (50-100 фото) до тривалих подорожей (500+ фото). За результатами тестування встановлено наступні показники ефективності:

Точність визначення локацій з EXIF метаданих становить 96%, причому 4% помилок пов'язані з некоректними даними у вихідних файлах. Середній час обробки 250 фотографій складає 8 секунд, що включає вилучення метаданих, кластеризацію та побудову маршруту. Швидкість рендерингу інтерактивної карти з 500 маркерами становить 60 FPS навіть на пристроях середньої продуктивності завдяки оптимізації Mapbox GL JS.

Юзабіліті-тестування показало високий рівень задоволеності: 91% користувачів оцінили інтерфейс як інтуїтивно зрозумілий, 88% відзначили корисність функції автоматичної кластеризації локацій, 94% користувачів успішно створили візуальну карту без допомоги інструкцій.

Проведено порівняльний аналіз з існуючими рішеннями: Google My Maps, Polarsteps та Wanderlog. Розроблена система демонструє переваги в автоматизації процесу створення карт, якості візуалізації анімованих маршрутів та гнучкості експорту в різні формати [4-5].

Таблиця 1 - Результати тестування продуктивності системи

Метрика	Результат	Benchmark
Точність визначення локацій	96%	Залежить від якості EXIF
Час обробки 250 фото	8 секунд	Intel i5, 8GB RAM
Час обробки 1000 фото	28 секунд	Intel i5, 8GB RAM
FPS рендерингу карти (500 маркерів)	60 FPS	Chrome, HD дисплей
Час кластеризації 1000 точок	1.2 секунди	DBSCAN алгоритм
Розмір експортованого PNG (Full HD)	2.5 MB	Середня компресія
Розмір HTML-експорту з 500 фото	15 MB	Включає мініатюри
Успішність автоматичної обробки	98%	Файли з коректними метаданими

У роботі розроблено інформаційну систему для автоматизованої генерації візуальних карт спогадів та подорожей з високим рівнем автоматизації та якісною картографічною візуалізацією. Система забезпечує комплексний підхід до створення інтерактивних цифрових спогадів з просторовим контекстом.

Основні результати роботи включають: розроблений алгоритм автоматичного вилучення та обробки геолокаційних метаданих з мультимедійних файлів; реалізований алгоритм інтелектуальної кластеризації локацій за географічною близькістю та часовими інтервалами; створену високопродуктивну систему інтерактивної картографічної візуалізації з підтримкою анімованих маршрутів; спроектований гнучкий модуль експорту в множинні формати для різних сценаріїв використання.

Список використаної літератури

[1] M. Rodriguez, K. Chen, and L. Wang, "Geotagged multimedia content analysis for travel memory visualization: A systematic review," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 25, pp. 3456-3472, Dec. 2023, doi: 10.1109/TMM.2023.3289456.

[2] S. Patel, A. Kumar, and J. Thompson, "Interactive travel mapping systems: User experience design patterns and implementation challenges," ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems, vol. 13, no. 2, Art. no. 18, Jun. 2024, doi: 10.1145/3625007.

[3] Y. Zhang, H. Li, and M. Anderson, "DBSCAN-based spatiotemporal clustering for travel pattern discovery from geotagged photos," Journal of Spatial Information Science, no. 27, pp. 89-112, 2023, doi: 10.5311/JOSIS.2023.27.245.
[4] T. Lee, R. Singh, and K. Yamamoto, "Automated travel route generation from photo collections: Algorithms and evaluation metrics," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 106, Art. no. 102039, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2023.102039.

УДК 004.032.26:004.8:332.8

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ОРЕНДИ НЕРУХОМОСТІ

Солом'яний О.М. (zylunzy@gmail.com)
Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)

В тезах розглядаються сучасні підходи до використання нейронних мереж у системах персоналізованих рекомендацій для веб-застосунків оренди нерухомості, їх принципи роботи та ключові методи машинного навчання. Актуальність дослідження зумовлена високою конкуренцією на ринку нерухомості та потребою в ефективній обробці великих обсягів даних користувачів для підвищення конверсії. Описуються основні методи ML для рекомендацій: колаборативна фільтрація, контентна фільтрація та гібридні моделі, а також специфічні архітектури нейронних мереж – автоенкодери для виявлення прихованих патернів, LSTM для аналізу послідовностей запитів, згорткові мережі для обробки зображень та трансформери для текстових даних. Наводиться практичний приклад впровадження гібридної системи на базі ML.NET з використанням матричної факторизації та ONNX-моделей, що забезпечила скорочення часу пошуку на 40% при відгуку до 500 мс. Висновок підтверджує ефективність нейронних мереж для персоналізації в сфері нерухомості та окреслює перспективи розвитку через інтеграцію графових нейронних мереж та розширення на мобільні платформи.

У сучасному цифровому середовищі, де ринок оренди нерухомості характеризується високою конкуренцією та великими обсягами даних, персоналізовані рекомендаційні системи відіграють ключову роль у підвищенні ефективності пошуку об'єктів. Актуальність теми зумовлена швидким розвитком технологій машинного навчання, зокрема нейронних мереж, які дозволяють аналізувати складні патерни в даних користувачів, таких як історія запитів, географічні вподобання та ринкові тенденції [1]. За даними досліджень, впровадження рекомендаційних систем на базі ML може підвищити конверсію у сфері електронної комерції, включаючи ринок нерухомості [2].

Метою цієї роботи є аналіз сучасних підходів до використання нейронних мереж у системах рекомендацій та їх застосування для розробки персоналізованої системи в веб-застосунку для оренди нерухомості на базі ML.NET. Завдання включають: огляд основних методів ML для рекомендацій, опис впровадження гібридної моделі з елементами нейронних мереж, оцінку ефективності системи на реальних даних та формулювання рекомендацій для оптимізації пошуку об'єктів нерухомості.

Сучасні системи рекомендацій базуються на кількох ключових підходах: колаборативній фільтрації, контентній фільтрації та гібридних моделях [3]. Нейронні мережі значно розширюють можливості цих методів, дозволяючи обробку нелінійних залежностей і великих масивів даних. Так, автоенкодери використовуються для зменшення розмірності даних і виявлення прихованих патернів у профілях користувачів [4], тоді як рекурентні нейронні мережі та їх варіанти, такі як LSTM, аналізують послідовності пошукових запитів для прогнозування вподобань [5]. У контексті рекомендацій для нерухомості, згорткові нейронні мережі можуть обробляти зображення об'єктів, а трансформери (як-от, BERT-подібні моделі) – текстові описи та відгуки.

У рамках кваліфікаційної роботи була розроблена система рекомендацій для веб-застосунку оренди нерухомості з використанням ML.NET – фреймворку Microsoft для машинного навчання

на платформі .NET. Система інтегрує гібридний підхід: колаборативну фільтрацію на базі матричної факторизації з елементами нейронних мереж через імпорт моделей ONNX (Open Neural Network Exchange). Це дозволяє враховувати критерії користувачів (ціна, площа, локація), історію запитів, географічні дані (як-от, відстань до інфраструктури) та контекстуальні фактори (сезонні тенденції ринку).

Процес впровадження включав:

– збір та підготовку даних: створення датасету з 10^4 записів про об’єкти нерухомості, включаючи векторизовані описи та користувацькі профілі;

– моделювання: використання ML.NET для тренування моделі з нейронними шарами (як-от, багатошаровий персептрон для класифікації вподобань);

– інтеграцію в вебзастосунок: розгортання моделі як API на .NET Core, з реальним часом відгуку до 500 мс для персоналізованих пропозицій;

– оцінку ефективності: тестування на симульованих користувачах показало скорочення часу пошуку на 40% порівняно з традиційними фільтрами.

Такий підхід демонструє, як нейронні мережі в ML.NET дозволяють адаптувати рекомендації до динамічного ринку нерухомості, враховуючи як явні (заявлені критерії), так і неявні (поведінкові) сигнали.

Як висновок, розроблена система рекомендацій на базі нейронних мереж і ML.NET підтверджує ефективність сучасних підходів машинного навчання для персоналізації пошуку в сфері оренди нерухомості. Результати показують покращення ключових метрик: точність, економію часу користувачів та підвищення конверсії. Перспективи розвитку включають інтеграцію з глибоким навчанням (як-от, графові нейронні мережі для аналізу мереж локацій) та розширення на мобільні платформи. Загалом, нейронні мережі відкривають нові можливості для інтелектуальних систем, роблячи їх більш адаптивними до індивідуальних потреб користувачів.

Список використаної літератури

[1] S. Zhang, L. Yao, A. Sun, and Y. Tay, "Deep learning based recommender system: A survey and new perspectives," ACM Comput. Surv., vol. 52, no. 1, Art. no. 5, Feb. 2019, doi: 10.1145/3285029.

[2] B. Alhijawi and Y. Kilani, "Recommender systems in the real estate market – A survey," Appl. Sci., vol. 11, no. 16, Art. no. 7502, Aug. 2021, doi: 10.3390/app11167502.

[3] X. He, L. Liao, H. Zhang, L. Nie, X. Hu, and T.-S. Chua, "Neural collaborative filtering," in Proc. 26th Int. Conf. World Wide Web (WWW '17), 2017, pp. 173–182, doi: 10.1145/3038912.3052569.

[4] F. Strub, R. Gaudel, and J. Mary, "Hybrid recommender system based on autoencoders," in Proc. 1st Workshop Deep Learn. Recomm. Syst. (DLRS 2016), 2016, pp. 11–16, doi: 10.1145/2988450.2988456.

[5] Y. Zhou, C. Huang, Q. Hu, J. Zhu, and Y. Tang, "Personalized learning full-path recommendation model based on LSTM neural networks," Inf. Sci., vol. 444, pp. 135–152, May 2018, doi: 10.1016/j.ins.2018.02.053.

УДК 004.4

ОПТИМІЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДОПОМОГИ ЗАСОБАМИ ІТ

Соломаха Є.Е., Лютенко І.В. (elezaveta.solomaxa@gmail.com, cherliv68@gmail.com)
Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)

У роботі досліджується трансформація традиційних бізнес-процесів надання інформаційної підтримки через впровадження автоматизованого веб-застосунку. Проаналізовано поточний стан процесів (AS-IS) та запропоновано оптимізовану модель (TO-BE) для підвищення ефективності обслуговування постраждалих від воєнних дій.

Актуальність дослідження. Воєнні конфлікти створюють масштабні гуманітарні кризи, що вимагають ефективних систем підтримки населення. В Україні кількість внутрішньо переміщених осіб перевищує кілька мільйонів людей [1], які потребують оперативного доступу до різних видів допомоги. Поточна модель обслуговування характеризується критичними недоліками: обов'язкова особиста присутність у центрах підтримки, ручна обробка документів та заявок, відсутність цифрових каналів зв'язку та неможливість онлайн-відстеження статусу звернень. Це створює значні бар'єри для доступу до послуг, особливо для людей з обмеженою мобільністю, та призводить до низької ефективності процесів.

Аналіз проблематики поточного процесу (AS-IS). Детальний аналіз існуючої моделі виявив, що процес починається лише після фізичного візиту заявника до центру підтримки, де фахівець з'ясовує характер потреб та приймає паперові документи. Критичною проблемою є ручна обробка всіх заявок – працівник переносить інформацію в електронну систему вручну, що займає значний час і супроводжується високим ризиком помилок. У випадку виявлення неточностей заявку повертають для виправлення, що змушує людину повторно відвідувати центр. Відсутність цифрових каналів означає, що заявники не можуть відстежувати стан розгляду онлайн і змушені приходити особисто для отримання інформації. Обмежений режим роботи центрів та географічна віддаленість створюють додаткові бар'єри для доступу до послуг.

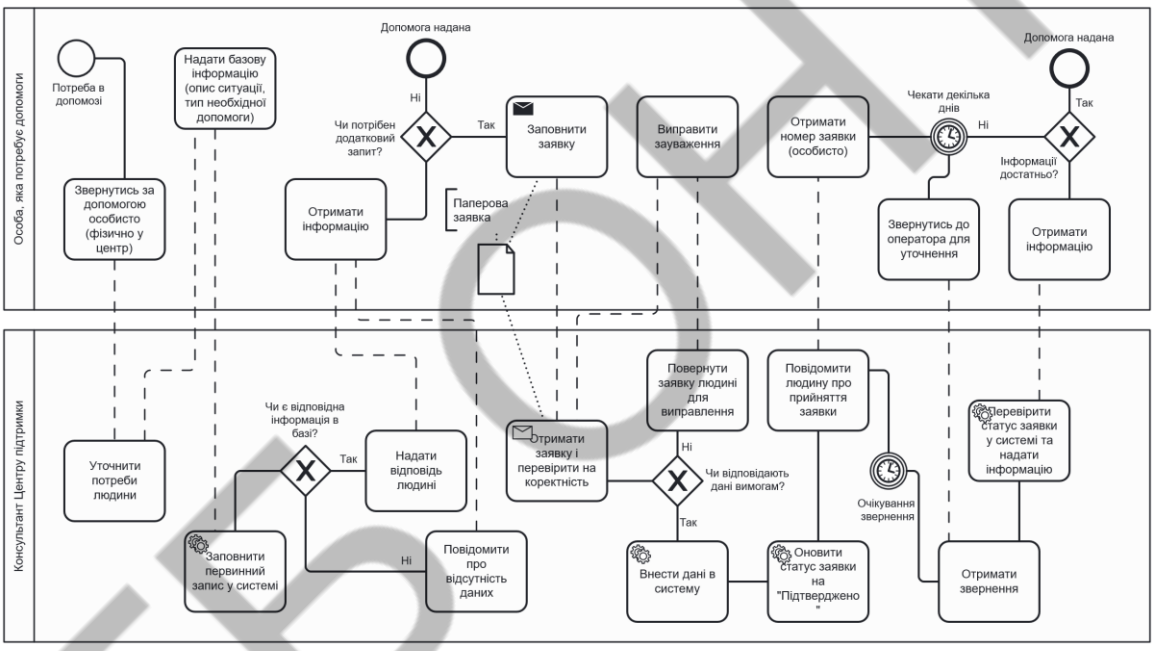


Рисунок 1 – Поточний стан (AS-IS) бізнес-процесу

Оптимізоване рішення TO-BE. Запропонована модель суттєво трансформує підхід до надання інформаційної допомоги через впровадження автоматизованого веб-застосунку. Система дозволяє користувачам отримувати доступ до всіх послуг дистанційно через онлайн-платформу. Процес починається з відкриття користувачем веб-інтерфейсу, де він обирає категорію допомоги та заповнює електронну форму. Система автоматично валідує дані, перевіряє коректність заповнення та відповідність документів вимогам.

Ключовою перевагою є автоматичне відстеження стану заявок – система регулярно оновлює статус та надсилає сповіщення користувачам про зміни. Це забезпечує повну прозорість процесу без необхідності додаткових звернень. Технічна реалізація базується на клієнт-серверній архітектурі з підтримкою трьох рівнів доступу та використанням алгоритмів кешування для оптимізації продуктивності під високим навантаженням [2].

Результати оптимізації. Впровадження автоматизованої системи надає можливість значного покращення ефективності. Час обробки стандартної заявки скоротився з кількох днів до кількох годин завдяки автоматичній валідації. Система забезпечує цілодобову доступність послуг та усуває необхідність фізичної присутності для більшості операцій. Автоматизація процесу

дозволяє обробляти більшу кількість звернень одночасно без пропорційного збільшення персоналу, що особливо критично в умовах зростаючого попиту на послуги.

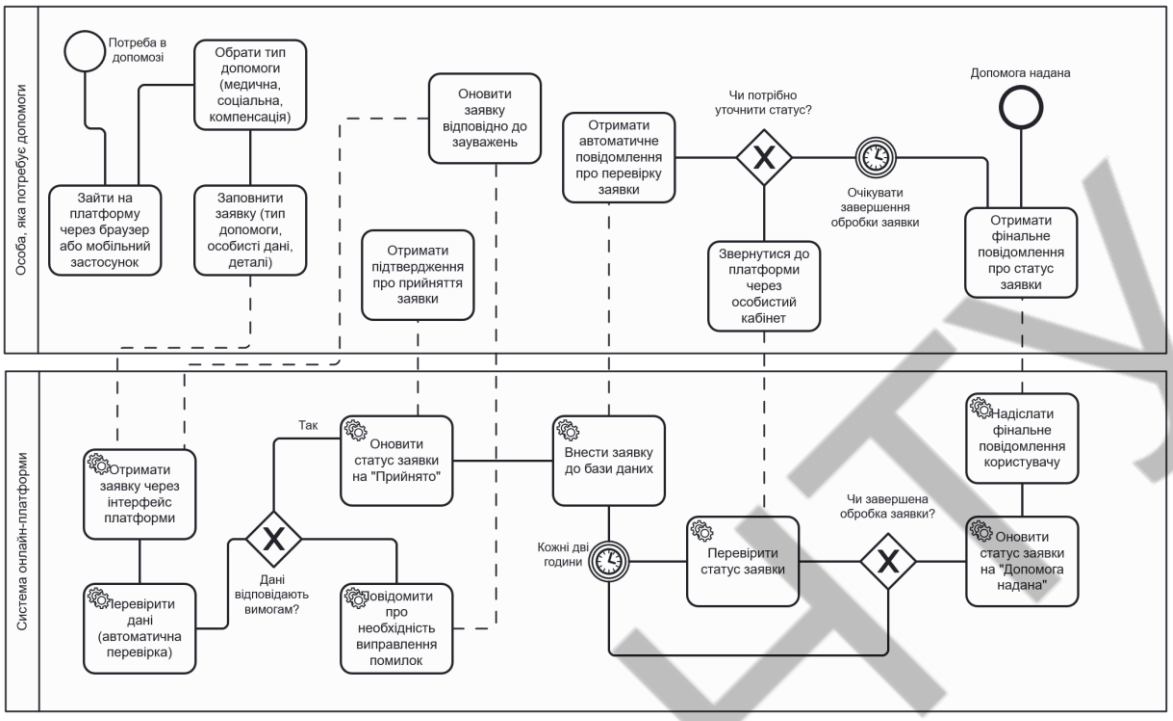


Рисунок 2 – Майбутній стан (TO-BE) бізнес-процесу

Функціональні вимоги до системи. Веб-застосунок передбачає трирівневу систему доступу з диференційованим функціоналом для кожної категорії користувачів, що забезпечує гнучкість та безпеку роботи.

Режим «Гість» забезпечуватиме базові можливості: перегляд та пошук оголошень, використання онлайн-калькулятора компенсацій, можливість донату та запису для донорства крові, реєстрацію облікового запису.

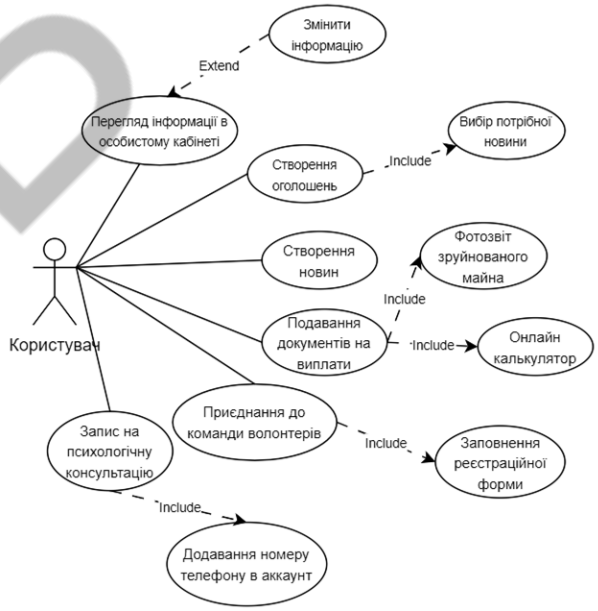


Рисунок 3 – Діаграма варіантів використання для ролі «Користувач»

Режим «Клієнт» розширює функціональність: створення та редагування оголошень, подання документів на виплату, реєстрація на психологічні консультації, подання заявки для волонтерів, управління особистим кабінетом.

Режим «Модератор» надаватиме адміністративні повноваження: перевірка та видалення оголошень, перегляд інформації про користувачів, доступ до бази даних заявок, пошук за різними параметрами.

На рисунку 3 представлено діаграму варіантів використання для авторизованого користувача, що демонструє взаємодію клієнта з основними функціональними модулями системи. Така архітектура забезпечує масштабованість відповідно до потреб користувачів.

Висновки. Трансформація традиційного бізнес-процесу через впровадження ІТ-рішень демонструє значний потенціал для підвищення ефективності соціальних служб. Автоматизація дозволяє усунути основні недоліки попередньої моделі: необхідність фізичної присутності, ручну обробку документів, відсутність зворотного зв'язку та високий ризик помилок. Нова система покращує доступність послуг для вразливих категорій населення та оптимізує використання ресурсів організацій. Масштабована архітектура дозволяє легко адаптувати систему до зростаючих потреб та інтегрувати додаткові сервіси, що робить її перспективним рішенням для широкого впровадження у сфері надання соціальної підтримки.

Список використаної літератури

[1] ООН про кількість ВПО в Україні, 07.02.2023 [Online]. Available: https://www.dw.com/uk/oon-blizko-vosmi-miljoniv-ukrainciv-utekli-vid-vijni/a-64628526. [Accessed: Sep. 24, 2025]

[2] Isaac Tonyloi, “Advanced data caching techniques for high-performance systems,” Medium, 13.11.2024 [Online]. Available: https://datascienceafrica.medium.com/advanced-data-caching-techniques-for-high-performance-systems-32048a65c80e. [Accessed: Sep. 25, 2025]

УДК 004.9:37.091.3

ВЕБДОДАТОК «ЛІСОВА АБЕТКА»

Ткаченко О. Е. (oleksii.tka4enko@gmail.com)
Сумський державний університет (Україна)

Сучасна дошкільна освіта потребує ефективних цифрових інструментів для формування мовленнєвої компетентності дітей. У тезах розглядається розробка інтерактивного вебзастосунку "Лісова абетка" для навчання української абетки дітьми 4-5 років з урахуванням інклюзивності та принципів UX/UI дизайну. Застосунок реалізовано на основі клієнт-серверної архітектури з використанням React, FastAPI та PostgreSQL. Проведено аналіз існуючих програмних продуктів-аналогів, визначено їхні недоліки та запропоновано шляхи покращення. Розроблено функціональний прототип із системою авторизації, інтерактивними завданнями, тестуванням знань та адміністративною панеллю для управління контентом.

.

За останні роки дослідження в галузі дошкільної освіти все частіше схиляються до інтеграції цифрових інструментів у навчальний процес. Дослідження, опубліковані у 2023 році в журналі "Paediatrics & Child Health" та Центром дітей та сімей у Флоридському міжнародному університеті, підтвердили, що правильно розроблені інтерактивні програми позитивно впливають на розвиток мовленнєвих і когнітивних навичок дітей раннього віку [1, 2]. У контексті українських реалій, дослідження Національної академії педагогічних наук України виявило, що веб-додатки з урахуванням національних стандартів освіти сприяють не лише освітньому розвитку, а й формуванню національної ідентичності у дітей дошкільного віку [3].

Проведений аналіз існуючих програмних продуктів-аналогів виявив спільні недоліки: відсутність системи відстеження прогресу користувачів, обмежена різноманітність навчальних матеріалів, недостатній функціонал для розвитку практичних навичок письма. Виявлені обмеження стали основою для формулювання технічного завдання на створення вебзастосунку "Лісова абетка".

Метою проекту є розроблення вебзастосунку для навчання дітей 4-5 років української мови з урахуванням інклюзивності та сучасних вимог до UX/UI дизайну. Основні вимоги включають: виконання вправ для запам'ятовування написання літер, формування асоціацій через візуальні

образи предметів довкілля, звукові репліки з текстовим дублюванням для дітей із порушеннями слуху, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та перевірку правильності виконання завдань.

Для проєктування системи використано методологію IDEF0 [4] та діаграми варіантів використання в нотації UML, що дозволило чітко визначити функціональну структуру застосунку та типи акторів системи: відвідувач, користувач, адміністратор та база даних.

Архітектура вебзастосунку побудована за клієнт-серверною моделлю. Клієнтська частина реалізована на React [5] із Vite та патерном MVP (Model-View-Presenter). Серверна частина використовує FastAPI [6] завдяки його продуктивності та автоматичній генерації документації. Для зберігання даних обрано PostgreSQL [7] як потужну об'єктно-реляційну СУБД з підтримкою складних запитів та індексації. База даних спроєктована з трьома основними таблицями: Users (інформація про користувачів з ролями admin/user), Lesson (дані про уроки з літерами, навчальними матеріалами та шляхами до медіафайлів) та Progress (фіксація прогресу користувачів у проходженні уроків з унікальною комбінацією user_id та lesson_id). Безпека забезпечується через JWT-токени, шифрування паролів та захист від типових загроз.

Функціональні можливості застосунку включають систему реєстрації з валідацією даних, інтерактивну сторінку уроків з анімацією літер та озвученням вимови, систему тестування з автоматичною перевіркою відповідей. Адміністративна панель дозволяє створювати уроки та завантажувати медіаконтент. Інтерфейс адаптований для різних пристроїв за допомогою Tailwind CSS, враховує вікові особливості аудиторії та оформлений у стилі лісової галявини з дружніми персонажами. Система тестування реалізована у формі інтерактивних вікторин по 10 запитань для кожної літери з миттєвим зворотним зв'язком. Контентне наповнення базується на класичних методичних підходах, зокрема посібнику "Букварик для дошкільнят" [8], адаптованих до цифрового середовища. Кожен урок містить опис літери, тренувальний блок, три ілюстрації об'єктів, аудіофайл з вимовою та віршик.

Практичне значення роботи полягає у створенні основи для цифрового навчального середовища для дошкільнят. Застосунок може використовуватись у закладах дошкільної освіти та сімейному навчанні. Перспективи подальших досліджень включають тестування із цільовою аудиторією, удосконалення адміністративної панелі, реалізацію адаптивного навчання та розширення функціоналу для батьків і вихователів.

Розроблений вебзастосунок "Лісова абетка" демонструє ефективність поєднання сучасних веб-технологій з педагогічними методиками. Клієнт-серверна архітектура забезпечує масштабованість системи, інклюзивний підхід робить застосунок доступним для дітей з особливими потребами, а інтуїтивний інтерфейс відповідає віковим особливостям дошкільнят.

Список використаної літератури

1. Use of interactive digital media and child development [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу: https://academic.oup.com/pch/article/28/3/184/7163632
2. Apps As Learning Tools: A Systematic Review [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу: https://publications.aap.org/aapbooks/book/781/PediatricCollections-Digital-Media-Part-3-Use-of
3. ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОСВІТИ: ПЕДАГОГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу: https://naps.gov.ua/ua/press/about_us/2545/
4. МЕТОДОЛОГІЯ IDEF0 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/87184/ekonomika/metodologiya_idef0
5. LEARN REACT [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу https://react.dev/learn
6. Sebastián Ramírez (creator of FastAPI) — FastAPI Documentation [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу https://fastapi.tiangolo.com/
7. PostgreSQL 16.3 Documentation [Електронний ресурс] – Доступ до ресурсу https://www.postgresql.org/docs/current/tutorial.html
8. Малярчук А. Буквар для дошкільнят / А. Малярчук. — Тернопіль: Підручники і посібники, 2018. — 64 с.

ITBOHTY

УДК 004.912

ПРОЕКТ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ КОРПУСІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ

Тулісов В. А., Рудніченко М. Д.(tylisovvlad@gmail.com, nickolay.rud@gmail.com)
Міжрегіональна академія управління персоналом (Україна)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі представлено проект програмного застосунку, призначений для порівняльного кластерного аналізу корпусів текстових даних. Автор описує логіку побудови системи, яка поєднує попередню обробку текстів, векторизацію та реалізацію трьох алгоритмів кластеризації. У статті висвітлено архітектуру застосунку, що складається з модулів управління даними, очищення, векторизації, кластеризації, оцінювання та візуалізації. Проведено експерименти на кількох корпусах різних жанрів, що дало змогу порівняти ефективність K-means, агломеративної кластеризації та DBSCAN. Результати оцінено за силуетним коефіцієнтом і коефіцієнтом Девіса–Болдіна, що дозволило виявити сильні й слабкі сторони кожного підходу. Особлива увага приділена гнучкості архітектури, яка дає змогу адаптувати систему до різних дослідницьких задач. Публікація підкреслює перспективність подальшої інтеграції глибинних ембеддінгів і вебінтерфейсу для розширення функціональності застосунку..

Сучасні дослідницькі практики в галузі обробки природної мови потребують інструментів, здатних не лише опрацьовувати великі корпуси текстових даних, а й виявляти приховані структурні відношення між документами [1]. Порівняльний кластерний аналіз відіграє ключову роль у тематичному групуванні текстів, ідентифікації семантичних подібностей, розмежуванні стилістичних варіантів та вивченні еволюції дискурсивних практик. Незважаючи на наявність низки загального призначення програмних рішень, брак спеціалізованих засобів для одночасного опрацювання кількох корпусів обмежує можливості дослідника [2]. Постає потреба у розробленні застосунку, який забезпечить інтегроване завантаження корпусів, їхню попередню обробку, застосування різних алгоритмів кластеризації, а також порівняльну візуалізацію та оцінку результатів. У цьому дослідженні представлено проєкт програмного застосування, спрямованого на реалізацію саме таких можливостей [3]. У центрі уваги перебуває побудова архітектури, модульна структура компонентів та експериментальне порівняння трьох кластеризаційних алгоритмів [4]. Робота має на меті продемонструвати ефективність інтеграції методів обробки тексту та аналізу даних у системі, здатній до масштабування та адаптації під різні дослідницькі сценарії.

Запропонований програмний застосунок орієнтовано на роботу з кількома корпусами текстів, які можуть різнитися жанром, мовою, часом створення або тематикою. Первинна ідея полягає у створенні середовища, де користувач здатний імпортувати дискретні набори документів, здійснювати автоматизоване попереднє очищення, векторизацію та кластеризацію, а також отримувати оцінки якості згрупованих даних для різних алгоритмічних підходів. У центрі проєкту перебуває уніфікована модель представлення документа, яка дає змогу поєднувати корпуси, формувати вибірки та проводити міжкорпусні порівняння за узгодженими методологічними принципами. Застосунок підтримує базові операції нормалізації тексту включно зі зниженням регістру, видаленням стоп-слів та пунктуації, лематизацією, а також можливістю налаштовувати набір засобів для кожної мови окремо. Ця гнучкість дозволяє дослідникові адаптувати процес до особливостей корпусу без потреби модифікувати код. Одним із важливих елементів реалізації стало впровадження механізму векторизації з використанням TF-IDF, word2vec або sentence-transformers. Кожен із цих методів доступний у вигляді змінюваного параметра. Після побудови векторних подань система надає змогу застосовувати кілька алгоритмів кластеризації, а саме K-means, агломеративну кластеризацію та DBSCAN. Порівняльний аналіз здійснюється на основі оцінок силуетного коефіцієнта, коефіцієнта Девіса–Болдіна та, за потреби, ручної інтерпретації сформованих кластерів. Серед додаткових можливостей передбачено візуалізацію двовимірних проєкцій через методи зниження розмірності, включно з t-SNE та PCA.

Архітектура проєкту побудована на основі модульної багаторівневої організації, де кожен компонент виконує чітко визначені функції. Центральну частину становить модуль управління даними, який забезпечує завантаження документів з локальних директорій або зовнішніх джерел,

їх збереження у внутрішньому форматі та синхронізацію з базою метаданих. Цей модуль містить засоби роботи з форматами txt, csv, json та xml, а також інтеграцію з бібліотеками для вилучення тексту з pdf. До основної логіки належить модуль попередньої обробки, що містить підмодулі токенізації, нормалізації, стемінгу й лематизації. Завдяки розподілу на підрівні можливо комбінувати різні стратегії очищення тексту. Модуль векторизації впроваджено як окремий шар. Він представляє вибраний метод перетворення тексту у векторний простір. Внутрішня реалізація побудована з урахуванням інтерфейсів, сумісних із подальшими етапами аналізу, що зменшує кількість залежностей між компонентами. Модуль кластеризації об'єднує реалізації трьох алгоритмів, кожен з яких представлено як клас із методами ініціалізації, навчання та отримання результатів. Передбачено узагальнений інтерфейс, що забезпечує використання алгоритмів з будь-якими векторними поданнями, а також гнучкі налаштування параметрів. Важливе місце займає модуль оцінювання, який обчислює показники якості та формує звіти для кожного алгоритму. Він включає засоби статистичного узагальнення й генерації текстових описів результатів. Для інтерактивної роботи створено модуль візуалізації. Він використовує двовимірні проєкції векторних просторів та відображає належність документів до кластерів з урахуванням кольорового кодування або підписів. Завершує архітектуру інтерфейсний шар, який у базовому вигляді представлено консольним режимом, але може бути розширений до вебінтерфейсу. Система розпізнає конфігураційні файли, що дозволяє запускати обробку пакетно або повторно відтворювати експерименти.

У ході експериментальної апробації застосунок протестовано на трьох корпусах: новинні статті, науково-популярні тексти та збірка блогових дописів. Кожен із корпусів оброблено окремо та в комбінації для міжкорпусного аналізу. Для векторизації використано TF-IDF одночасно для всіх експериментів, щоб уникнути впливу різних методів на порівнюваність результатів. Для алгоритму K-means зафіксовано кількість кластерів у діапазоні від 5 до 10 залежно від корпусу. Найвищого силуетного коефіцієнта досягнуто для корпусу новин при 8 кластерах.

Показник сягнув приблизно нуль цілих сімдесяти сотих. Корпус блогів продемонстрував помірну однорідність з показником близько 0,5 тоді як науково-популярні тексти розподілилися менш груповано із середнім силуетним коефіцієнтом у межах 0,35. Коефіцієнт Девіса–Болдіна у випадку корпусу новин був найменшим і становив близько 0,75. Агломеративна кластеризація продемонструвала цікаву динаміку. При використанні евклідової відстані та методу повного зв'язування силуетний коефіцієнт для новин сягнув 0,66, що дещо поступається результату K-means. Для блогу середній показник становив 0,43, а для науково-популярних текстів 0,32.

Коефіцієнт Девіса–Болдіна для агломеративного методу засвідчив тенденцію до схожих значень порівняно з K-means, однак на одному з корпусів зафіксовано дещо вищі значення, що вказує на перекриття окремих кластерів. Алгоритм DBSCAN показав мінливі результати залежно від налаштувань параметрів. Для корпусу новин виявлено чітке розмежування зон густини, але частка документів, що позначені як шуми, виявилась вищою.

Силуетний коефіцієнт для новин не перевищував 0,5 одиниці, для блогів наближався до нуль цілих сорока сотих, а для науково-популярних текстів становив близько нуль цілих двадцяти восьми сотих. Водночас перевагою DBSCAN стало виявлення дрібних підкластерів і виняткових документів, що традиційні методи групування в певних випадках ігнорували. Порівняльний аналіз міжкорпусного підходу продемонстрував, що об'єднання корпусів створює додаткові виклики для усіх трьох алгоритмів через зростання варіативності лексики. Проте K-means залишився відносно стабільним з середнім силуетним коефіцієнтом у межах 0,45, тоді як агломеративна кластеризація продемонструвала незначне зниження до 0,38. DBSCAN у цьому випадку створював менше кластерів із великою часткою документів, позначених як шуми.

Розроблений програмний застосунок довів здатність ефективно опрацьовувати різні корпуси текстових даних, забезпечуючи попередню обробку, векторизацію та порівняльне застосування кількох алгоритмів кластеризації в узгодженому середовищі. Архітектура системи, що базується на модульному підході, продемонструвала гнучкість, масштабованість та придатність до адаптації за умов зміни дослідницьких потреб.

Упровадження уніфікованих інтерфейсів між компонентами спростило перенесення або розширення окремих модулів. Порівняння трьох алгоритмів кластеризації показало, що K-means загалом забезпечує найвищу однорідність кластерів для корпусу новин, тоді як агломеративна кластеризація виявила себе корисною для блочного групування з мінімальними параметричними

вимогами. DBSCAN засвідчив переваги в ідентифікації шумових документів й дрібних тематичних ніш, хоча загальний рівень силуетного коефіцієнта для деяких корпусів виявився нижчим.

Отримані дані свідчать, що немає універсально кращого алгоритму, натомість вибір залежить від структури корпусів, розподілу тематичних полів та бажаного рівня деталізації. Подальший розвиток проєкту може бути зосереджений на впровадженні методів глибинного навчання для ембеддінгів, побудові вебінтерфейсу, оптимізації параметрів шляхом автоматичного пошуку і створенні інструментів для статистичного порівняння корпусів за кластерними профілями. Практична цінність застосунку полягає у можливості гнучкого дослідницького аналізу текстів із підтримкою різних алгоритмічних стратегій, що розширює потенціал сучасної лінгвістики, інформаційної аналітики та цифрових гуманітарних студій.

Список використаної літератури

[1] "Foundations of Statistical Natural Language Processing", C. D. Manning, H. Schütze, Cambridge, 1999. [Online]. Available: https://nlp.stanford.edu/fsnlp/ [Accessed: September 22, 2025].

[2] "Data Mining: Concepts and Techniques", J. Han, M. Kamber, J. Pei, Waltham, 2012. [Online]. Available: https://www.cs.uiuc.edu/~hanj/bk3/ [Accessed: September 28, 2025].

[3] "Speech and Language Processing", D. Jurafsky, J. H. Martin, London, 2023. [Online]. Available: https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ [Accessed: September 02, 2025].

[4] "Text Mining and Analysis: Practical Methods, Examples, and Case Studies Using SAS", G. Miner, J. Elder, A. Fast, T. Hill, R. Nisbet, Cary, 2012. [Online]. Available: https://support.sas.com/en/books/text-mining-and-analysis.html [Accessed: September 30, 2025].

УДК 004.4:004.62:004.75

АЛГОРИТМИ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

Федорченко О.Д. (xmmmir@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

Сучасні гібридні системи керування базами даних функціонують у розподіленому середовищі, де поєднуються локальні, хмарні та периферійні вузли. Це підвищує ризик зовнішніх впливів — від збоїв каналів зв'язку до перевантаження серверів, що негативно позначається на доступності та узгодженості даних. У роботі запропоновано адаптивний алгоритм підвищення живучості гібридних СКБД на основі динамічного розпаралелювання транзакцій та прогнозування станів вузлів. Модель використовує метрики доступності, затримки та пропускної здатності каналів, що дозволяє оцінювати ризики деградації системи в реальному часі. Результати імітаційного моделювання показали, що застосування запропонованого підходу зменшує середній час відновлення після відмов на 40–45% і підвищує загальну доступність системи до 98–99%. Модель може бути інтегрована у сучасні середовища гібридного зберігання даних і платформи контейнеризації.

Постановка проблеми. Сучасні системи керування базами даних (СКБД) функціонують у гібридних обчислювальних середовищах, що поєднують локальні, хмарні та розподілені ресурси. У таких умовах зростає ризик зовнішніх впливів — збоїв у мережевих каналах, перевантаження обчислювальних вузлів, затримок у синхронізації реплік, що безпосередньо впливають на доступність і цілісність даних.

Традиційні підходи до забезпечення живучості СКБД — резервування, періодичне відтворення даних або статичне балансування навантаження — не забезпечують достатньої стійкості в умовах динамічної зміни топології та нерівномірного навантаження.

Отже, актуальним є розроблення алгоритмів підвищення живучості гібридних СКБД, що поєднують методи розпаралелювання, прогнозування відмов і динамічного переналаштування компонентів системи.

Метою дослідження є підвищення живучості гібридних систем керування базами даних шляхом розроблення алгоритмів адаптивного розпаралелювання процесів обробки даних, які забезпечують стійкість системи до зовнішніх впливів і мінімізують втрати продуктивності при збоях.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати сучасні підходи до забезпечення живучості СКБД та визначити їхні обмеження в умовах гібридних архітектур.
2. Визначити фактори, що впливають на стійкість та продуктивність системи при дії зовнішніх збурень (затримки, перевантаження, часткові відмови).
3. Розробити алгоритми розпаралелювання обчислень і маршрутизації транзакцій, спрямовані на підтримку безперервності функціонування бази даних.
4. Створити модель оцінювання живучості СКБД на основі метрик доступності, часу відновлення та узгодженості даних.
5. Провести експериментальну перевірку ефективності алгоритмів у симульованому середовищі, порівнявши їх із класичними підходами до відмовостійкості.

Суть дослідження. Живучість системи керування базами даних (СКБД) визначається її здатністю продовжувати коректне функціонування у разі часткових відмов компонентів або деградації середовища. У гібридних інфраструктурах, що поєднують локальні сервери, хмарні вузли та периферійні обчислення, виникає проблема асиметрії ресурсів і затримок синхронізації, що ускладнює забезпечення цілісності даних і стабільності транзакцій. Підхід до підвищення живучості базується на паралельній обробці запитів і динамічному перенесенні навантаження між вузлами залежно від стану мережі, доступності ресурсів і прогнозу ризику відмов.

Наведемо формалізований опис моделі живучості. Нехай система складається з множини вузлів $N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$, що спільно обробляють множину транзакцій $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$.

Для кожного вузла визначаються такі параметри (табл. 1):

Таблиця 1.Основні параметри моделі живучості гібридної СКБД

Позначення	Параметр	Опис	Одиниця вимірювання
a_i	Доступність вузла	Імовірність готовності до обробки запиту	відн. од.
r_i	Пропускна здатність	Кількість транзакцій за одиницю часу	транз./с
d_i	Затримка доступу	Середній час відгуку вузла	мс
$f_i(t)$	Функція стану	Ознака працездатності вузла в момент часу ttt	{0,1}
P_{ij}	Імовірність успішного обміну між вузлами	Визначає надійність каналу зв’язку	відн. од.

Живучість системи L_{sys} можна оцінити як добуток доступності вузлів на коефіцієнт узгодженості їхньої роботи:

$$L_{sys} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} a_i \cdot P_{ij} \cdot f_i(t).$$

Падіння цього показника нижче порогу L_{crit} є сигналом для активації механізмів адаптації: реплікації, балансування чи часткового відключення проблемного сегмента.

Розглянемо алгоритм адаптивного розпаралелювання, що передбачає динамічне перенаправлення транзакцій у підмножину вузлів з мінімальною сумою затримок і найвищою доступністю. Для кожного запиту формується цільова функція оптимізації:

$$\min_{n_i \in N} F(n_i) = \alpha \cdot d_i + \beta \cdot (1 - a_i) + \gamma \cdot \left(1 - P_{ij}\right),$$

де коефіцієнти α, β, γ задають вагу критеріїв швидкодії, доступності та надійності.

Після обчислення функції $F(n_i)$ для всіх вузлів запит перенаправляється до вузла з мінімальним значенням. Якщо прогнозований рівень доступності системи $L_{sys}(t+1)$ нижчий за допустимий, алгоритм виконує **реплікацію активних транзакцій** на резервні вузли.

Проведемо імітаційне моделювання. Для перевірки ефективності алгоритму побудовано симуляційне середовище, яке імітує гібридну інфраструктуру з трьома основними вузлами (локальний сервер, хмарний вузол, edge-вузол). Зовнішні впливи моделювалися як стохастичні відмови зв'язку та зміни пропускної здатності каналів.

Результати експериментів наведено у табл. 2.

Таблиця 2.Порівняння ефективності алгоритмів

Алгоритм	**Середній час відновлення, с**	**Доступність системи, %**	**Втрати продуктивності, %**
Статичне резервування	42	93,4	12,5
Реплікація без прогнозу	30	96,2	8,4
Запропонований адаптивний алгоритм	19	98,7	5,2

Отримані результати демонструють, що використання адаптивного розпаралелювання та прогнозування доступності дозволяє скоротити час відновлення на 45% і зменшити втрати продуктивності більш ніж удвічі порівняно з традиційними підходами.

Практичне застосування. Розроблені алгоритми можуть бути інтегровані у системи управління даними підприємств, що використовують гібридні архітектури (наприклад, PostgreSQL + Kubernetes або Oracle Hybrid Cloud). Їх застосування підвищує стійкість транзакційних процесів, забезпечує безперервний доступ до даних і знижує ризики втрати інформації при аварійних ситуаціях.

Висновки. Розроблений підхід до підвищення живучості гібридних систем керування базами даних забезпечує комплексне управління надійністю, продуктивністю та узгодженістю даних в умовах динамічних змін топології.

Адаптивне розпаралелювання транзакцій і використання прогнозних моделей станів вузлів дозволяють зменшити час реакції на відмови та забезпечити безперервність обробки запитів без суттєвого зниження продуктивності.

Практичне впровадження таких алгоритмів можливе у корпоративних і державних інформаційних системах, що працюють у гібридному середовищі, а подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію механізмів машинного навчання для прогнозування відмов та автоматичного перерозподілу навантаження..

Список використаної літератури

[1] Chen, X., Zhang, Y., & Wang, J. Adaptive fault-tolerant mechanisms for distributed database systems in hybrid cloud environments // *Future Generation Computer Systems.* – 2023. – Vol. 146. – P. 456–468. – DOI: 10.1016/j.future.2023.03.017.

[2] Kumar, R., & Singh, A. Resilience-aware query optimization for hybrid database management systems // *Journal of Cloud Computing.* – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 1–15. – DOI: 10.1186/s13677-022-00345-4.

[3] Поперешняк С. В. Інтеграція фізичних, віртуальних сенсорів і серверних IoT-даних у багатопоточному середовищі. *Проблеми прикладної математики та моделювання (Херсонський держ. ун-т)*, 2024, № 30, с. 120–127.

[4] Li, J., He, L., & Zhao, T. Dynamic replica placement and consistency optimization in distributed database systems // *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems.* – 2021. – Vol. 32, No. 12. – P. 3021–3034. – DOI: 10.1109/TPDS.2021.3089482.

УДК 004.42

КАТЕГОРНО-ФУНКТОРНА МОДЕЛЬ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ВИМОГ ДО ПРИВАТНОЇ ХМАРНОЇ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Цвіркун О.А., Євланов М.В. (*oleksandr.tsvirkun@nure.ua, maksym.ievlanov@nure.ua*)
Харківський національний університет радіоелектроінки (Україна)

У роботі запропоновано категорно-функторну модель формального опису вимог до приватної хмарної ІТ-інфраструктури медичних інформаційних систем з урахуванням вимог. Введено категорії вимог R, конфігурацій ІТ-інфраструктури С та станів S, а також функтори F та G, які забезпечують трасування від вимог до фактичних станів системи. Композиція функторів дозволяє автоматизовано виявляти невідповідності та ініціювати коригувальні дії. Розглянуто практичний приклад застосування моделі. Результати забезпечують основу для побудови адаптивних медичних інформаційних систем з автоматизованим контролем відповідності нормативним вимогам.

У сучасних умовах цифровізації сфери охорони здоров'я медичні інформаційні системи (МІС) відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності, безпеки та якості медичних послуг. Впровадження хмарних технологій у медичних установах дозволяє автоматизувати бізнес-процеси, оптимізувати управління ресурсами, забезпечити інтеграцію з національних платформами (E-Helath) та підвищити доступність медичних даних як для пацієнтів так і для лікарів.

В той же час, використання хмарних сервісів у сфері медицини супроводжується низкою нормативних, організаційних та технічних обмежень. Зокрема, стандарти Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA), General Data Protection Regulation (GDPR), комплексна система захисту інформації (КСЗІ) та інші, як національні так і міжнародні, вимагають суворого контролю над зберіганням, обробкою та передачею медичних даних, що унеможливлює використання публічних хмар для критичних компонентів МІС [1]. Особливо, це стосується зберігання великих обсягів даних медичних зображень, наприклад, рентгенівських знімків, які є ключовими для медичних установ, що спеціалізуються на патологіях хребта та суглобів.

Проєктування МІС орієнтованих на використання приватної хмари супроводжується низкою суперечливих вимог. З одного боку, необхідно забезпечити масштабованість, доступність, інтеграцію з іншими системами, а також підтримку автоматизованих засобів обробки інформації. З іншого боку, організаційні та нормативні обмеження, зокрема HIPAA, вимагають локального (в межах установи) розміщення даних, суворого контролю та аудиту. Це ускладнює автоматизацію процесів управління конфігурацією ІТ-інфраструктури та потребує формалізованого підходу до опису та перевірки вимог в тому числі до хмарних інфраструктурних компонентів МІС. Існуючі методи управління конфігурацією ІТ-інфраструктури, такі як Infrastructure as a Code (IaaC) не забезпечують формального трасування від нормативних вимог до фактичних станів ІТ-інфраструктури. Це призводить до порушень відповідності конфігурації ІТ-інфраструктури вимогам та неможливості автоматизованої верифікації системи на етапі проєктування та експлуатації [2].

Оскільки множини вимог, архітектурних описів і специфікацій не є повністю еквівалентними чи тотожними, необхідно розробити модель, яка формалізує єдиний механізм трасування між цими рівнями, який гарантує ізоморфність і логічну відповідність елементів системи незалежно від різниці мов чи нотацій, використаних під час її проєктування.

Метою дослідження є розробка категорно-функторної моделі формалізації вимог до хмарних інфраструктурних компоінентів МІС, яка дозволить:

– формалізувати нормативні, організаційні та технічні вимоги у вигляді категорії;

– відобразити ці вимоги у простір конфігураційних рішень приватної хмари;

– забезпечити автоматизовану перевірку узгодженості та виявлення суперечностей між вимогами на етапі проєктування та експлуатації.

Пропонується використання теорії категорій для формалізації процесу управління вимогами та конфігураціями [3]. Введено наступні категорії:

– категорія вимог *R:* об'єкти – формалізовані представлення вимог, політик та правил, що описуються структурованими множинами, які містять множину атрибутів, відношень та обмежень

для кожного елемента (вимоги, політики, правила тощо); морфізми – відображення та зв'язки між формально представленими вимогами;

– категорія *C:* об'єкти – компоненти інфраструктури (ізольоване сховище, Virtual Private Network (VPN), Firewall, Identity and Access Management (IAM), сервери збору логів, метрик, трейсів тощо); морфізми –зв'язки між цими компонентами (наприклад, *"Firewall" → "Storage"*);

– функтор F: $R \to C$ – відображає кожну вимогу у відповідний набір конфігураційних рішень, зберігаючи структуру залежностей; зберігає композицію морфізмів – якщо між вимогами існує залежність, то у конфігураційному просторі вона відображається у відповідну технічну залежність між компонентами;

– категорія станів *S*: об'єкти – поточний стан реалізації компонентів (фактична конфігурація сховища, активні політики шифрування, стан журналів аудиту, налаштування IAM, стан фізичного захисту тощо); морфізми – переходи між станами (оновлення політики, активація нової ролі користувача, зміна конфігурації сховища тощо);

– функтор G: $C \to S$ – відображає кожен компонент конфігурації у відповідний поточний стан реалізації (наприклад, модулі шифрування $c_2 \to$ активні політики шифрування s_2); довзволяє автоматично перевіряти відповідність фактичних станів вимогам, якщо $G(c_i) \neq s_i$, то це вказує на невідповідність, що потребує коригування;

– композиція функторів H: $G \circ F$ – забезпечує трасування від вимог до фактичного стану систему, якщо $H(r_i) \neq s_i$, то це означає, що реалізація не відповідає вимозі та вимагає коригування.

Для підвищення структурованості та глибини моделі доцільно розбити категорію вимог *R* на підкатегорії відповідно стандарту HIPAA та особливостей MIC. Це дозволяє деталізувати функтор *F* і забезпечити більш точне трасування вимог у конфігураційний простір.

Розглянемо елементи сценарію проєктування MIC для медичної установи.

Крок 1. Формулювання вимог.

Технічні вимоги:

a.r_{T1} – всі медичні дані повинні бути зашифровані за стандартом AES-256 у стані спокою та TLS 1.3 під час передачі;

b.r_{T2} – доступ до даних лише через багатофакторну автентифікацію (Multi-Factor Authentication, MFA) та контроль доступу на основі ролей (Role-based Access Control RBAC);

c.r_{T3} – всі дії користувачів повинні логуватися та зберігатись протягом мінімум 6 років відповідно до вимог HIPAA.

Морфізми (залежності між вимогами):

- $f_{T1,T2}$ – шифрування даних залежить від коректної ідентифікації користувача (ключі шифрування видаються після автентифікації);
- $f_{T2,T3}$ – всі дії автентифікованих користувачів повинні логуватися.

Крок 2. Відображення у конфігурації (функтор F: R → C).

Функтор *F* відображає кожну вимогу у відповідний конфігураційний компонент:

- $F(r_{T1}) = c_{T1}$: розгортання Hardware Security Module (HSM) для управління ключами шифрування, налаштування AES-256 для сховищ, сертифікати TLS 1.3;
- $F(r_{T2}) = c_{T2}$: система IAM з підтримкою RBAC, інтеграція з MFA-провайдером (наприклад, Google Authenticator);
- $F(r_{T3}) = c_{T3}$: централізований сервер логів, налаштуванния політики зберігання логів 6+ років.

Збереження морфізмів:

- $F(f_{T1,T2})$: HSM інтегрується з IAM – ключі шифрування видаються лише після успішної MFA;
- $F(f_{T2,T3})$: IAM передає всі події автентифікації до лог-сервера.

Крок 3. Реалізація та моніторинг станів (функтор G: C → S).

Функтор *G* відображає конфігурації у фактичні стани системи:

- $G(c_{T1}) = s_{T1}$: HSM активний, сертифікати дійсні до 15.03.2026, шифрування увімкнено на всіх сховищах;
- $G(c_{T2}) = s_{T2}$: IAM налаштовано, активні ролі: «Лікар», «Медсестра», «Адміністратор», MFA увімкнено для всіх користувачів;

– $G(c_{T3}) = s_{T3}$: лог-сервер збирає 150 000 подій на добу, журнали зберігаються 3 років.

Крок 4. Перевірка узгодженості (композиція $H = G \circ F$).

Перевіряємо, чи відповідає фактичний стан вимогам:

– $H(r_{T1}) = s_{T1}$: шифрування реалізовано відповідно до вимог;

– $H(r_{T2}) = s_{T2}$: MFA та RBAC налаштовано коректно;

– $H(r_{T3}) = s_{T3}$: логи зберігаються 3 років (менше ніж мінімум 6), що не відповідє вимозі.

Виявлена невідповідність: логи зберігаються менше 6 років.

Дія: система сповіщає системного адміністратора про невідповідність.

Отже, запропонована категорно-функторна модель дала змогу формалізувати вимоги та обмеження до проєктування MIC у приватних хмарних середовищах у вигляді математично узгоджених категорій об’єктів і морфізмів, що усуває неоднозначність на етапах формування вимог.

Таким чином, розроблена категорно-функторна модель формалізації вимог до хмарних інфраструктур MIC забезпечує математично обґрунтовану основу для автоматизованого управління конфігураціями IT-інфраструктури. Її застосування дозволяє здійснювати перевірку узгодженості, своєчасно виявляти невідповідності між вимогами та фактичним станом системи і мінімізувати ризики виникнення розбіжностей у конфігурації системи.

Список використаної літератури

[1] A. Pesqueira, M. J. Sousa, and R. Pereira, “Individual dynamic capabilities and artificial intelligence in health operations: Exploration of innovation diffusion,” Intelligence-Based Medicine, vol. 11, p. 100239, 2025. DOI: 10.1016/j.ibmed.2025.100239

[2] R. Wan, “Research on Application Configuration Management Technology of Distributed Cloud Platform,” IEEE Access, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.9836624. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9836624/

[3] C. Dickerson and M. Wilkinson, “Architecture, analysis and design of systems using extensions of category theory,” IEEE Open Journal of Systems Engineering, pp. 1–14, 2024, DOI: 10.1109/OJSE.2024.3432570.

УДК 004.05

АЛГОРИТМІЧНІ ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБРОБКИ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗАПИТІВ В REST API ВЕБЗАСТОСУНКАХ

Чередниченко М. Є. Літвінова Ю. С. (maksym.cherednychenko@cs.khpi.edu.ua, uliya.litvinova@khpi.edu.ua)

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

У тезах розглядається проблема обробки великої кількості запитів авторизованих користувачів у вебзастосунках, що призводить до перевантаження серверів і зниження продуктивності. Пропонується покращення принципів проєктування REST API шляхом їх розширення для підвищення ефективності обробки користувацьких запитів.

В умовах зростання кількості користувачів вебзастосунків важливою проблемою стає збільшення кількості одночасних запитів. Це створює проблему перевантаження серверів, збільшення затримок та блокування ресурсів на тривалий час. Зокрема, коли запити користувачів потребують авторизації й охоплюють значні обсяги даних, система змушена витрачати ресурси на постійну перевірку доступу до даних користувачів, що негативно впливає на загальну продуктивність і стабільність роботи.

Для ефективного вирішення цієї проблеми пропонується розширити принципи REST API [1], впровадивши два додаткових принципи, які допомагають оптимізувати обробку запитів і знизити навантаження на серверну частину.

REST API описує ресурси та їх обробку і передбачає принцип безстанового оброблення запитів (stateless), коли сервер не зберігає стан користувача між запитами, і кожен запит містить всю необхідну інформацію для своєї обробки [2]. Для цього REST допускає використання токенів,

ключів API або інших методів контролю доступу, ці підходи залишаються поза стандартом і реалізуються переважно на рівні конкретної системи. У результаті сервер часто витрачає ресурси на перевірку прав доступу навіть для операцій, які могли б бути безпечними і публічними. З огляду на це було розроблено два додаткових принципи.

Перший запропонований додатковий принцип визначає чітке розділення публічних та приватних ресурсів. Якщо ресурс є публічним, доступ до нього повинен бути відкритим без токенів або авторизаційних механізмів. Авторизація застосовується лише для приватних або персоналізованих даних. Серверна частина не повинна перевіряти авторизацію без потреби.

Застосування цього принципу дозволяє значно знизити навантаження на серверну частину та підвищити швидкодію системи, адже кількість складних перевірок доступу суттєво зменшується. Також розділення запитів підвищує прозорість архітектури, оскільки розробники та адміністратори чітко визначають, які частини даних є загальнодоступними, а які потребують захисту.

Другий принцип визначає порядок обробки запитів користувачів і може базуватися на класифікації запитів з попереднього. При проєктуванні API запити повинні оброблятися з урахуванням їх критичності для користувача та системи. Критичні запити (наприклад, доступ до актуальних публічних або приватних даних) отримують вищий пріоритет, тоді як менш важливі або ресурсоємні запити обробляються відкладено або з обмеженнями. Впровадження такого принципу дозволяє забезпечити більш ефективне управління ресурсами сервера і покращити досвід користувачів за рахунок зменшення затримок для критичних операцій.

Зростаюча актуальність проблеми перенавантаження серверів вимагає обов'язкових дій щодо її вирішення. Розширення принципів REST API за рахунок чіткого розділення публічних і приватних ресурсів та пріоритизації запитів дозволяє зменшити навантаження на сервери і скоротити час обробки великої кількості критичних запитів. Таким чином, доповнені принципи REST формалізують обов'язкові правила роботи з даними та створюють основу для більш ефективного та керованого оброблення запитів користувачів у сучасних вебзастосунках.

Список використаної літератури

[1] "What is REST API?" visual-paradigm.com. Available: https://www.visual-paradigm.com/guide/development/what-is-rest-api/ [Accessed: October 03, 2025].
[2] L. Richardson and S. Ruby, RESTful Web Services. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2007, pp. 79-106.

УДК 519.87

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ "ВИСОКООРГАНІЗОВАНОГО" БОЮ З ГРУПОВИМ УРАЖЕННЯМ ЦІЛІ В СТОХАСТИЧНІЙ ПОСТАНОВЦІ У PYTHON

Черновол Н.М., Бобрицька Г.С., Фурсенко О.К.
(n.n.chernovol@gmail.com, bogalina31@ukr.net, Olfursenko@ukr.net)
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба (Україна)

Побудована комп'ютерна модель "високоорганізованого" бою з урахуванням умови: одним влучним пострілом по цілі вражається декілька бойових одиниць противників бойового протистояння. Ця модель представлена алгоритмом розв'язання задачі в стохастичній постановці за допомогою мови програмування Python.

Дослідження моделей бойових дій, обгрунтованих математично, почалось з роботи Ф. Ланчестера [1]. По сьогоднішній день ці моделі застосовуються авторами інших наукових робіт. Причому ускладнення постановок задач або доведення задачі до кінцевих розрахунків привело до застосування комп'ютерних пакетів або програм, наприклад в публікаціях [2,3]. Автори в своїх роботах для реалізації методу динамічного програмування в задачах моделювання бойових дій оптимізаційного характеру застосовують пакет Mathematika [4], мову програмування Python [5]; для реалізації розв'язання задачі в стохастичній постановці використовують Matlab [6].

НТБОНТУ

Дана робота в зв'язку зі складністю її розв'язання, а саме по причині стрімкого зростання кількості диференціальних рівнянь в системі зі збільшенням кількості бойових одиниць обох сторін бойового конфлікту та методу поступового розв'язання рівнянь в системі, коли розв'язок попереднього рівняння підставляється в наступне, теж потребує застосування комп'ютера.

В даному дослідженні розглядається "високоорганізований" бій двох супротивників з додатковою умовою: одним влучним пострілом обидві сторони конфлікту вражають ще декілька бойових одиниць противника, тобто присутнє групове враження цілей. Вхідними даними є кількості бойових одиниць сторін конфлікту N_1, N_2, ефективні скорострільності сторін α_1, α_2, кількості бойових одиниць сторін, які вражаються одним влучним пострілом, k_1, k_2. Бойові одиниці супротивників знищуються групами, тому для підрахунку кількості цих груп вводяться числа n_1 – ціла частина від ділення N_1 на k_2, d_1 – залишок від цього ділення і аналогічно числа n_2 – ціла частина від ділення N_2 на k_1, d_2 – залишок від останнього ділення. Наводимо відповідну частину коду в Python (Рис.1).

```
N1,N2 = map(int,input('N1=,N2= ').split(','))
α1,α2 = map(float,input('α1=,α2= ').split(','))
k1,k2 = map(int,input('k1=,k2= ').split(','))
n1=N1//k2
d1=N1%k2
n2=N2//k1
d2=N2%k1
print('n1=', n1, ' d1=', d1, ' n2=', n2, ' d2=', d2)
```

Рис. 1 Початок алгоритму розв'язання в Python

Метою задачі є знаходження середньої кількості бойових одиниць, що залишаться неушкодженими в кінці бою, з відповідними ймовірностями цих подій.

Дві сторони конфлікту – це система, стан якої на момент часу t характеризується числом груп бойових одиниць противників, що залишилися неураженими. В системі протікає марківський процес з дискретною множиною станів і неперервним часом. Отже, можна побудувати граф станів груп з відповідними інтенсивностями. Кінцевими станами системи вважаються ті, в яких у однієї сторони нуль неуражених груп бойових одиниць. Для розв'язання задачі необхідно і достатньо розглянути чотири випадки: 1) $d_1 \neq 0, d_2 \neq 0$; 2) $d_1 \neq 0, d_2 = 0$; 3) $d_1 = 0, d_2 \neq 0$; 4) $d_1 = 0, d_2 = 0$. В кожному з цих випадків свій граф і відповідна своя система диференціальних рівнянь Колмогорова. Кількість рівнянь в системах не співпадає і залежить від кількості груп бойових одиниць. У програмній реалізації усіх чотирьох випадків із застосуванням операторів "if", "elif", "else" враховано відмінність відповідних формул і різну кількість рівнянь в системах. Тому далі наведемо частини коду, що відповідають лише випадку 1) (Рис.2-4).

```
if d1 != 0 and d2!=0:
    λ=N1*α1
    λ_=N2*α2
    t = sp.Symbol('t')
    y = sp.Function('y')
    ode = sp.Eq(y(t).diff(t) + (λ+λ_)*y(t), rhs: 0)
    ics = {y(0): 1}
    P = sp.dsolve(ode, y(t), ics=ics)
    sp.pprint(P, use_unicode=True)
    rhs1 = P.rhs * λ
    rhs2 = P.rhs * λ_
    QQ=[]
    for j in range(n2,0,-1):
        λ = N1*α1
        λ_ = ((j-1)*k1+d2)*α2
        ode = sp.Eq(y(t).diff(t) + (λ + λ_) * y(t), rhs1)
        ics = {y(0): 0}
        P = sp.dsolve(ode, y(t), ics=ics)
        sp.pprint(P, use_unicode=True)
        rhs1 = P.rhs * λ
        rhs3 = P.rhs * λ_
        QQ.append(rhs3)
    rr1=rhs1
```

Рис. 2 Продовження алгоритму розв'язання в Python для випадку 1).

В цій частині коду розв'язується перше рівняння відповідної системи диференціальних рівнянь, воно відповідає першому стану системи, враховуючи його зв'язок з двома наступними станами, причому λ і інтенсивності переходу від стану груп до наступного стану груп відповідно по рядку і стовпцю в графі. Далі в циклі по j розв'язуються рівняння системи, рухаючись по рядку в графі без останнього стану (він є кінцевим). Формується масив QQ для запам'ятовування знайдених ймовірностей станів для передачі в наступний цикл по розв'язанню рівнянь, рухаючись по стовпцю в графі без останнього стану. Реалізацію цього циклу з запам'ятовуванням обчислених ймовірностей станів груп для передачі в наступні цикли не наводимо, він аналогічний попередньому циклу. Тепер в подвійному циклі поступово розв'язуємо рівняння системи, що відповідають побудованому графу без врахування його крайніх рядків і крайніх стовпців (Рис. 3). Масив DD формується для передачі відповідних ймовірностей в наступний цикл коду.

```
DD = []
for i in range(n1,0,-1):
    PP[n1 - i] = RR[n1 - i]
    λ = ((i - 1) * k2 + d1) * a1
    for j in range(n2, 0, -1):
        λ_ = ((j - 1) * k1 + d2) * a2
        ode = sp.Eq(y(t).diff(t) + (λ + λ_) * y(t), QQ[n2-j]+PP[n1-i])
        ics = {y(0): 0}
        P = sp.dsolve(ode, y(t), ics=ics)
        sp.pprint(P, use_unicode=True)
        rhs5 = P.rhs * λ
        PP[n1-i]=rhs5
        rhs6 = P.rhs * λ_
        QQ[n2-j]=rhs6
    DD.append(rhs5)
```

Рис. 3 Продовження алгоритму розв'язання в Python для випадку 1).

Тепер в циклі по і поступово розв'язуються рівняння, що відповідають правому стовпцю побудованого графу, знаходяться границі кінцевих станів однієї сторони конфлікту, їх називають кінцевими ймовірностями цієї сторони. На основі кінцевих ймовірностей підраховуються ймовірність успіху першої сторони P_1 і математичне сподівання кількості її уцілілих бойових одиниць в кінці бою M_1 (Рис. 4). Нарешті, в аналогічній частині коду до рис. 4 знаходяться ймовірність успіху другої сторони конфлікту P_2 і математичне сподівання кількості її уцілілих бойових одиниць в кінці бою M_2.

```
P1 = 0
M1 = 0
DD.insert( _index: 0,rr1)
for i in range(n1+1,0,-1):
    λ = ((i - 1) * k2 + d1) * a1
    ode = sp.Eq(y(t).diff(t)+0*y(t), DD[n1-i+1])
    ics = {y(0): 0}
    P = sp.dsolve(ode, y(t), ics=ics)
    sp.pprint(P, use_unicode=True)
    L=sp.limit(P.rhs, t, sp.oo)
    P1=P1+L
    M1=M1+((i - 1) * k2 + d1)*L
```

Рис. 4. Закінчення алгоритму розв'язання в Python для випадку 1).

Побудовано алгоритм ймовірнісного розв'язання розглянутої задачі, який дає змогу робити прогноз бою щодо успіху кожної сторони конфлікту та підрахунку математичного сподівання кількості уцілілих бойових одиниць супротивників в кінці бою. Більше того, алгоритм дає змогу у разі більшого успіху противника керувати наслідком бою, змінивши для цього деякі вхідні дані.

Список використаної літератури

1. F. Lanchester, *Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm.* London: Constable and Co, 1916.

2. С.В. Вовчук та О.І. Удодова, «Модель А високоорганізованого бою в системі Mathematica,» *Modern research in world science*: *зб. тез доп. XI міжнар. наук.-практ. конф.,* Львів, 2023, С. 513-514.

3. О.О. Машкін, Особливості чисельного вирішення диференціальних рівнянь моделей ланчестерського типу у стохастичній постановці. *Системи обробки інформації,* № 1(160). С. 67-72, 2020.

4. О.К. Фурсенко, Н.М. Черновол та Г.М. Антоненко, Математичне моделювання бойових дій на двох ділянках зіткнення з використанням динамічного програмування і пакета символьної математики Wolfram Mathematica. *Військово-технічний збірник*, Випуск 29, С. 71-81, 2023.

5. О.К. Фурсенко та Н.М. Черновол, Математичне моделювання бойових дій при обороні двох опорних пунктів із застосуванням мови програмування Python. *Системи обробки інформації*, № 4(175), С. 97-103, 2023.

6. Г.С. Бобрицька та Н.М. Черновол, Інтегроване заняття з математичного моделювання Марковського процесу з використанням моделі Ланчестера та її розв'язання в MATLAB. *Фізико-математична освіта*, Т. 39, № 5, С. 7–13, 2024.

УДК 004.6

РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ DATA LAKE У СУЧАСНИХ АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Чорний О. В., Романюк О. В. (geckblack05@gmail.com, romaniukoksanav@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У роботі розглянуто роль технології Data Lake у сучасних аналітичних системах та її еволюцію до архітектури Lakehouse. Показано, що Data Lake забезпечує зберігання структурованих і неструктурованих даних у первинному вигляді, створюючи основу для побудови гнучких і масштабованих систем аналітики. Разом із тим, відсутність транзакційності та контролю якості даних обмежує ефективність класичних сховищ типу Data Lake. З цією метою сформувалася концепція Lakehouse, яка поєднує гнучкість Data Lake із надійністю та структурованістю Data Warehouse.

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємств спостерігається стрімке зростання обсягів даних, що генеруються з різноманітних джерел – корпоративних інформаційних систем, сенсорів Інтернету речей, соціальних мереж, мобільних застосунків та відкритих платформ. За даними аналітичних звітів компанії IDC, узагальненими платформою Statista, загальний обсяг даних, створених, переданих і спожитих у світі, демонструє стабільне зростання: якщо у 2024 році цей показник становив близько 149 зеттабайт, то до 2028 року прогнозується його збільшення більш ніж до 394 зеттабайт [1]. Така динаміка пояснюється зростанням цифрової активності користувачів, переходом бізнес-процесів в онлайн-середовище, а також наслідками пандемії COVID-19, яка спричинила різке підвищення попиту на дистанційне навчання, роботу з дому та використання онлайн-розваг.

Ці дані різняться за структурою, форматом і частотою оновлення і як наслідок традиційні сховища даних (Data Warehouse) стають обмеженими в масштабуванні та гнучкості, що породжує проблему ефективної інтеграції даних із різних джерел у межах єдиного аналітичного простору. Одним із ключових елементів сучасних аналітичних екосистем став Data Lake – сховище даних, здатне акумулювати інформацію в її первинному, необробленому вигляді.

На відміну від традиційних сховищ даних, які вимагають попереднього структурування та суворої схеми, Data Lake дозволяє зберігати як структуровані, так і неструктуровані дані, забезпечуючи універсальність у подальшій аналітичній обробці. Це створює умови для реалізації підходів, орієнтованих на дослідження даних, машинне навчання та штучний інтелект, де попередня гнучкість структури відіграє вирішальну роль.

У межах аналітичних систем Data Lake часто виступає базовим шаром у так званій медальйонній архітектурі (Medallion Architecture), що передбачає послідовне вдосконалення якості даних – від сирих (Bronze Layer), через очищені (Silver Layer), до аналітично готових (Gold Layer)

[2]. Такий підхід забезпечує поступове перетворення даних і дозволяє аналітикам працювати з актуальною та перевіреною інформацією без втрати контексту джерел.

Використання Data Lake також сприяє зниженню витрат на інтеграцію різнорідних джерел даних, адже він усуває необхідність складних ETL-процесів до моменту аналітичної обробки. Замість цього застосовуються принципи ELT (Extract-Load-Transform), що дозволяють виконувати обчислення безпосередньо у середовищі аналітичної платформи, наприклад, у Azure Data Lake, Amazon S3 або Google Cloud Storage.

У хмарних екосистемах Data Lake тісно інтегрується з аналітичними сервісами, такими як Microsoft Fabric, Azure Synapse Analytics, Databricks та BigQuery. Це поєднання створює єдину інфраструктуру для обробки великих даних (Big Data), гнучкого масштабування ресурсів і побудови систем бізнес-аналітики та прогнозування.

Водночас із розвитком технологій виникла потреба у вдосконаленні Data Lake, який, хоча й забезпечує масштабованість і гнучкість роботи з різнорідними даними, має низку обмежень, пов’язаних із відсутністю транзакційності, узгодженості та гарантій цілісності даних. Ці недоліки ускладнювали використання Data Lake як єдиного джерела істини (Single Source of Truth) для критично важливих аналітичних процесів та бізнес-рішень.

У відповідь на ці виклики сформувалася концепція Lakehouse – гібридної архітектури, що поєднує гнучкість Data Lake із структурованістю та надійністю Data Warehouse. Основна ідея Lakehouse полягає у збереженні даних у відкритих форматах (наприклад, Parquet, ORC) з одночасною підтримкою транзакційних властивостей ACID, управління схемами та можливістю виконання SQL-аналітики безпосередньо над файлами [3]. Це дозволяє уникнути дублювання даних між сховищами та аналітичними платформами, зменшує затримки під час оновлення і спрощує процеси побудови моделей машинного навчання.

До ключових технологій, що реалізують підхід Lakehouse, належать Delta Lake (Databricks), Apache Iceberg (Netflix, Apple, Snowflake) та Apache Hudi (Uber) [4][5]. Вони забезпечують підтримку зберігання версій даних, інкрементальні оновлення, оптимізацію читання та запису великих обсягів даних, а також інтеграцію з сучасними інструментами обробки – такими як Apache Spark, Databricks, Trino, Presto чи Microsoft Fabric. Це робить Lakehouse універсальною платформою для виконання як оперативної, так і аналітичної обробки даних (OLTP та OLAP) у межах єдиної архітектури. Ці технології формують основу сучасних високопродуктивних систем зберігання, які поєднують гнучкість Data Lake із надійністю традиційних баз даних.

Сучасним етапом еволюції концепції Lakehouse є поява інтегрованих архітектур нового покоління, які поєднують елементи Data Fabric та Data Mesh [6]. Вони розширюють можливості Lakehouse за рахунок розподіленого управління метаданими, політиками доступу та каталогами даних, створюючи більш гнучке, децентралізоване середовище обміну інформацією. У таких системах кожен домен або бізнес-підрозділ організації може володіти власним “міні-лейкхаусом”, інтегрованим у спільну корпоративну екосистему. Подібний підхід сприяє підвищенню автономності команд, ефективності масштабування аналітичних рішень та побудові єдиного інформаційного простору підприємства, який підтримує принципи data democratization і governance-by-design.

Проведений аналіз дає змогу зробити висновок, що Data Lake відіграє ключову роль у сучасних аналітичних системах як базовий компонент інфраструктури зберігання та обробки різнорідних даних. Його архітектурна гнучкість і масштабованість створюють основу для побудови багаторівневих систем аналітики, зокрема в межах медальйонної архітектури (Medallion Architecture). Разом із тим, зростання вимог до якості, узгодженості та доступності даних зумовило еволюцію цього підходу в напрямі Lakehouse, який об’єднує переваги Data Lake і Data Warehouse.

Lakehouse забезпечує підтримку транзакційних властивостей (ACID), управління схемами, підтримку зберігання версій даних та SQL-аналітику безпосередньо над файловими форматами, що робить його ефективним інструментом для побудови комплексних аналітичних і машинно-навчальних рішень. Подальший розвиток концепції проявляється у створенні інтегрованих підходів, таких як Data Fabric і Data Mesh, які сприяють децентралізованому управлінню даними та формуванню єдиного інформаційного простору підприємства.

Таким чином, роль Data Lake у сучасних аналітичних системах полягає не лише у зберіганні великих обсягів даних, а й у створенні фундаменту для гнучкої, масштабованої та узгодженої

аналітичної екосистеми, що підтримує прийняття рішень на основі достовірних і своєчасних даних.

Список використаної літератури

[1] “Data growth worldwide 2010-2028| Statista.” Statista. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/ [Accessed: October 18, 2025]

[2] “What is a medallion architecture?” Databricks. [Online]. Available: https://www.databricks.com/glossary/medallion-architecture [Accessed: October 18, 2025]

[3] “Lakehouse: A new generation of open platforms that unify data warehousing and advanced analytics.” CIDR. [Online]. Available: https://www.cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021_paper17.pdf [Accessed: October 18, 2025]

[4] “What is delta lake in databricks?” Databricks documentation | Databricks on AWS. [Online]. Available: https://docs.databricks.com/aws/en/delta/ [Accessed: October 18, 2025]

[5] “Building a modern data platform based on the data lakehouse architecture and cloud-native ecosystem - Discover Applied Sciences.” SpringerLink. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-025-06545-w [Accessed: October 20, 2025]

[6] S. Sarkar. “Data Lakehouse vs. Data Fabric vs. Data Mesh | IBM.” IBM. [Online]. Available: https://www.ibm.com/think/topics/data-lakehouse-vs-data-fabric-vs-data-mesh [Accessed: October 20, 2025]

УДК 004.41

АНАЛІЗ ВИТРАТ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕННЯ РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ

Шведа М. О., Зіноватна С.Л.
(mshveda28@gmail.com, zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В роботі представлено результати дослідження особливостей діяльності з проведення рекламних кампаній. Надано опис варіантів класифікації витрат в різних аспектах загального бухгалтерського обліку. Запропонована класифікація витрат для спеціалізованого розгляду, що дозволяє в подальшому виконувати аналіз витрат з метою покращення керування рекламними кампаніями. Визначені стани задач, які складають рекламну кампанію, та правила переходів між ними в розрізі бюджетних витрат на виконання таких задач. Визначені вимоги до програмної системи аналізу проведення рекламних кампаній.

Реклама впливає на людей, формуючи їхнє відношення до товарів, послуг або ідей. Вона формує позитивні або негативні асоціації із брендом, істотно впливаючи на почуття й рішення людей щодо взаємодії з рекламованим контентом [1]. «Реклама – це структурована форма комунікації, що наводить мости між бізнесом і його аудиторією. Це мистецтво й наука не тільки демонструвати продукт або послугу, але й установлювати емоційний контакт із цільовою аудиторією, спонукуючи її до дії» [2]. Рекламні кампанії відіграють ключову роль у просуванні товарів і послуг, підвищенні впізнаваності бренда й ефективному охопленні цільової аудиторії. Завдяки грамотно розробленим кампаніям організації можуть викликати інтерес, стимулювати продажу й створювати конкурентну перевагу на ринку. Ефективні рекламні кампанії дозволяють компаніям залишатися в центрі уваги потенційних клієнтів і зберігати свою актуальність у швидко мінливому ринковому середовищі [3].

Очікується, що з 2026 року ринок цифрової реклами буде рости на 12,8%, досягши до 2031 року вражаючих 1793,6 млрд доларів США [3]. Однак, як зазначено в [3], сучасні рекламні технології роздроблені й хаотичні. У міру росту числа каналів і виникнення кросплатформових бар'єрів між окремими рішеннями масштабна конвертація клієнтів стає практично неможливою. Численні команди обмежені інструментами соціальної реклами, розробленими спеціально для кожного каналу, які припускають ручні процеси, обмежену інтеграцію й розрізненість звітності.

Таким чином, актуальною є задача розробки програми для обліку рекламних кампаній в організаціях.

Метою роботи є зменшення часу на аналіз витрат на проведення рекламних кампаній за рахунок виконання автоматизованого аналізу даних.

Відповідальний за проведення рекламних кампаній має множину обов'язків [4]: розробка концепції кампанії, установлення її мети; визначення часових рамок заходу й установлення строків виконання підзадач; визначення й розподіл підзадач між групами й окремими особами; створення й/або затвердження матеріалів кампанії (цільові сторінки й дизайн); зв'язок з фахівцями з маркетингу й командами, що беруть участь у кампанії; контроль строків, забезпечення своєчасного запуску й безперебійної роботи кампанії; моніторинг і аналіз результатів кампанії; оцінка кампанії, підготовка звітів для зацікавлених осіб; визначення кроків по підвищенню успішності майбутніх кампаній.

Зараз для більшості підприємств актуальною є потреба у класифікації (групуванні) витрат за різними критеріями та напрямами. Така класифікація має відповідати завданням управління та не вимагати від менеджерів та керівників додаткової аналітичної обробки [5].

Категоризація витрат, основна практика фінансового менеджменту, припускає впорядковану класифікацію витрат, понесених компанією або приватною особою, що дозволяє проводити структурований аналіз витрат, полегшує складання бюджету й сприяє прийняттю стратегічних рішень. Підхід до категоризації витрат включає кілька загальних методів: ручна категоризація (співробітник розподіляє витрати по категоріях на основі квитанцій або рахунків, може зайняти багато часу й привести до помилок); автоматизовані програмні рішення (багато програм для бухгалтерського обліку й керування витратами пропонують автоматизовану категоризацію на основі визначених правил або алгоритмів штучного інтелекту; метод заощаджує час і знижує ймовірність людських помилок); гібридні підходи (деякі підприємства можуть вибирати сполучення ручних і автоматизованих методів, щоб збалансувати точність і ефективність) [6].

Одним з найважливіших об'єктів у системі керування підприємством є облік операційних витрат у цілому й у розрізі видів, цілей, періодів виникнення. Незалежно від галузевої приналежності підприємства, форми власності й інших факторів витрати є ключовими елементами діяльності підприємства, оскільки прямо впливають на його прибутковість і подальший розвиток [7]. В [8] описані різні види класифікації витрат, однак всі види мають прив'язку саме до підприємств, які роблять деяку продукцію. Також варіанти класифікації витрат наведені в [9], однак розглядаються в рамках складання особистого бюджету.

Можна зробити висновок, що існує багато робіт, присвячених класифікації витрат саме в розрізі бухгалтерського обліку. Але відсутні пропозиції класифікації витрат для окремих видів діяльності, таких, як проведення рекламних кампаній.

Пропонується наступна класифікація витрат для подальшого аналізу ефективності проведення рекламних кампаній:

– за місцем витрат: внутрішні та зовнішні;
– за необхідністю дофінансування: достатні та недостатні;
– за статтею витрат: рекламні матеріали, оплата роботи, оплата каналу;
– за можливістю перерозподілу: гнучкі та фіксовані.

Перелічені групи класів можуть перетинатися між собою.

На рис. 1 зображено зміну стану задачі в рамках рекламної кампанії з точки зору витрат на виконання задачі.

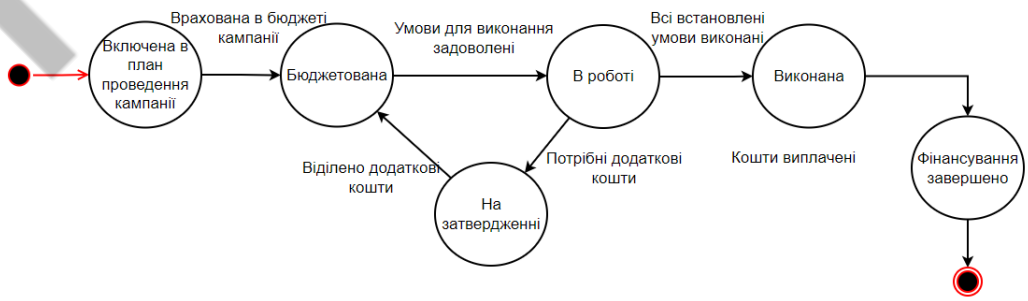


Рис. 1. Стани задачі кампанії відповідно витратам

Основними зацікавленими сторонами для програмної системи аналізу проведення рекламних кампаній є маркетологи, фінансисти, керівники компанії; аналітики.

На рис. 2 представлено діаграму варіантів використання, яка відображає функціональні вимоги до програми та розподіл прав доступу між користувачами.

Для функціональних вимог, які описані у вигляді варіантів використання, розроблено детальні сценарії. Також визначені нефункціональні вимоги, які охоплюють такі аспекти, як продуктивність, зручність користування, безпека, сумісність, масштабованість, надійність та супроводжуваність системи. Наприклад, вимоги до безпеки є такими: доступ до системи повинен здійснюватися через авторизацію з використанням пароля; всі дані про витрати повинні зберігатися в зашифрованому виді; передача даних по мережі повинна бути захищена (HTTPS); система повинна передбачати розмежування прав доступу (адміністратор, фінансист, керівник, аналітик, маркетолог). Вимоги до підтримуваності є такими: код програми повинен бути документований не менш, чим на 80%; система повинна мати модульну побудову для спрощення внесення змін; можливість відновлення системи без зупинки її роботи (поетапні відновлення).

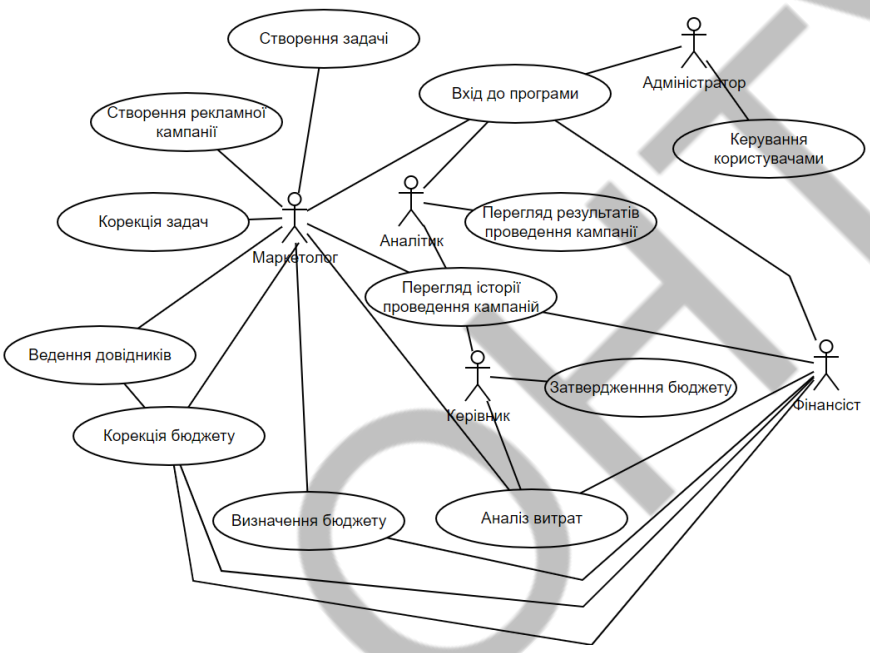


Рис. 2. Варіанти використання та користувачі

Сценарії варіантів використання є основою для проєктування, оскільки допомагають розроблювачам спроєктувати інтерфейси й класи, необхідні для реалізації поводження. На базі сценаріїв формуються тест-кейси, де кожний крок може бути перевірений. Також сценарії спрощує спілкування між замовником, аналітиком, розроблювачем і тестувальником, оскільки описують поводження системи простою й зрозумілою мовою. Нефункціональні вимоги формують основу якості програми, визначають її технічні характеристики та рівень користувацького досвіду, що є важливим для успішного впровадження і подальшого використання програмної системи.

Список використаної літератури

[1] Advertising Campaign : Importance, Types, Objectives and Tips. 2025. [Online]. Available: https://blog.geeksvillage.com/importance-of-business-and-its-role-in-the-society/ [Accessed: September 01, 2025].

[2] Sharma A. Importance of Advertising in Business: Key Benefits and Insights. [Online]. Available: https://www.youngurbanproject.com/importance-of-advertising/ [Accessed: August 28, 2025].

[3] Singh A. Advertising campaigns. [Online]. Available: https://www.sprinklr.com/cxm/advertising-campaigns/ [Accessed: September 12, 2025].

[4] Marketing Hub. [Online]. Available: https://www.taboola.com/marketing-hub/marketing-campaign-management/ (дата звернення: 02.09.2025).

[5] Чорній Б. І. Класифікація витрат підприємства як інструмент управління. “Інтернаука”. Серія: “Економічні науки”. 2024. №2. С. 1–34 DOI: 10.25313/2520-2294-2024-2-9518.

[6] Expense categorisation. [Online]. Available: https://navan.com/uk/resources/glossary/what-is-expense-categorisation [Accessed: September 05, 2025].

[7] Grytsay O., Pankiv M., Kut D., Wojtan G. Analysis of the enterprise operating expenses and ways of improvement of their accounting. Economics, Entrepreneurship, Management. . Vol. 8. P. 43-58. DOI: 10.23939/eem2021.01.043.

[8] Altynbekov M. A., Aitkhozhina A. E., Mikhailina I. N. The Concept of Costs In Management Accounting and the Importance of Cost Classification. SHS Web Conf. 2025. Vol. 212. P. 01018. DOI: https://doi.org/10.1051/shsconf/202521201018.

[9] Expense Categories. [Online]. Available: https://fastercapital.com/topics/expense-categories.html/1 [Accessed: September 01, 2025].

УДК 004.588

РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ШКІДНИКІВ

Шевченко А. Є., П'ятикоп О. Є.
(shevchenko_a_y@students.pstu.edu, piatykop_o_ye@pstu.edu)
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)

Дослідження спрямоване на розв'язання проблеми ідентифікації сільськогосподарських шкідників шляхом створення мобільного застосунку, що використовує моделі згорткових нейронних мереж. Проведено аналіз сучасних підходів до розпізнавання шкідників із використанням глибоких нейронних мереж, зокрема моделей сімейства YOLO, серед яких обрано YOLOv11-N як базову. На основі цієї моделі створено інтелектуальну систему ідентифікації, що включає серверну частину на базі FastAPI і клієнтський мобільний застосунок, розроблений засобами Kotlin та Jetpack Compose. Розроблена система демонструє ефективність в ідентифікації шести видів шкідників і має потенціал для розширення функціоналу та практичного застосування у польових умовах.

Однією з важливих цілей сталого розвитку є подолання голоду та розвиток сільського господарства. Беручи до уваги сучасні виклики цієї галузі, зокрема кліматичні зміни та втрату біорізноманіття [1], все більшою загрозою стають сільськогосподарські шкідники. Сучасні дослідження показують, що навіть застосування найновіших засобів контролю шкідників, наприклад, нанопестицидів, є шкідливими в довготривалій перспективі [2]. Натомість, більш ефективним за витратами часу та коштів виявляються превентивні методи ідентифікації шкідників. Дедалі актуальнішою стає задача розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для ідентифікації сільськогосподарських шкідників.

Перед розробкою системи постало питання створення моделі ідентифікації шкідників. Для цієї задачі частіше за все використовують моделі на основі нейронних мереж – залишкових з увагою [3], згорткових [4], глибоких згорткових [5], а також їх комбінацій із зоровими трансформерами [6].

З великою ефективністю застосовується сім'я моделей YOLO. В дослідженні [7] проводиться порівняння різних версій моделі YOLO, де найкращою за параметрами точності виділення об'єктів та кількістю параметрів стала YOLOv8-M. Сплетіння зображень та додавання випадкових точок дозволило покращити точність розпізнавання маленьких шкідників. В роботі [8] описується застосування методів покращення зображень шкідників та виділення ознак для подолання проблем оклюзії та перекриття. В результаті було отримано модель Pest-YOLO, що досягла 77.71% чутливості. В статті [5] використання модулів перехресних часткових мереж CSPResNeXt-50 та VoVGSCSP дозволило досягти чутливості 77.3%, при цьому зберігаючи швидкість ідентифікації.

На основі проведеного аналізу було прийнято рішення створити модель на основі найновішої версії YOLOv11. Проблеми чутливості, оклюзії та перекриття вирішено подолати за допомогою попередньої трансформації тренувальних даних та розширення різноманітності вибірки. В якості тренувальної вибірки було взято заздалегідь розмічену вибірку зображень шкідників з шістьма видами, що містить 3899 тренувальних та тестових зображень [9]. В якості

базової моделі використано YOLOv11-N для того, щоб пришвидшити тренування моделі та розробку системи.

Далі було проведено власне розробку системи. Для мобільного застосунку було обрано мову програмування Kotlin та фреймворк Jetpack Compose як найсучасніші інструменти розробки для ОС Android. В застосунку реалізовані функції авторизації та реєстрації користувача, збереження та перегляду історії та відображення даних про ідентифікованих шкідників. Для цього використано платформу Firebase, в якій зберігаються бази даних користувачів, історії, та даних про шкідників. Для кожного шкідника була сформована база даних, в якій зберігається його науковий вид, опис, способи виведення, а також відносна шкідливість.

Для розробки серверної частини використано два різних середовища: для серверу застосунку – node.js з бібліотекою express та мовою TypeScript, для сервісу моделі – фреймворк FastAPI та мову Python, оскільки він і запускає модель. Для запитів була реалізована логіка валідації файлового розширення та розміру зображень.

Для розгортання серверної частини було використано технологію контейнеризації Docker та платформу Google Cloud Run, що дозволяє запускати сервіси та адаптувати кількість запущених сервісів відповідно до навантаження системи. На рисунку 1 показано вигляд розробленого застосунку:

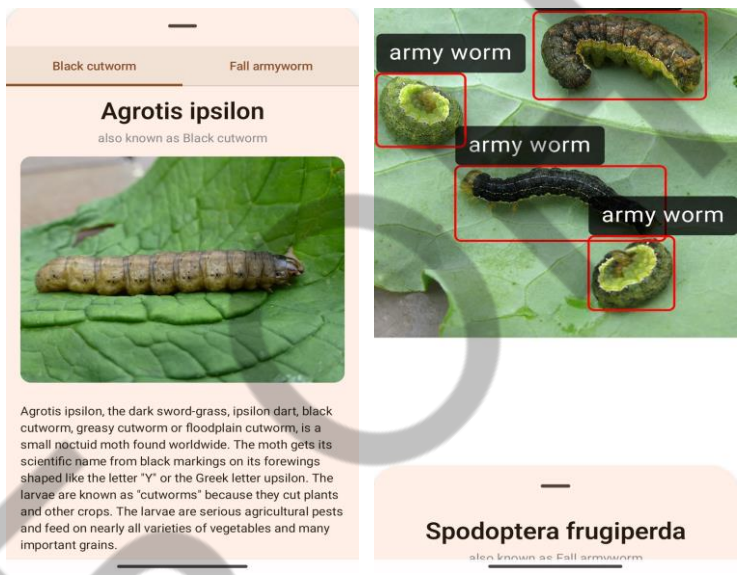


Рис. 1– Приклад екранів розробленого мобільного застосунку.

В результаті була створена система підтримки прийняття рішень, яка використовує модель машинного навчання на базі YOLOv11-N для ідентифікації шести видів сільськогосподарських шкідників з серверною та клієнтською частинами. Використання хмарних технологій дозволяє цій системі бути стійкою до збільшення навантаження, при цьому підтримуючи можливість постійного тренування та оновлення моделі.

Подальшими кроками в розробці цієї системи є: розширення кількості класів шкідників; оптимізація моделі; додавання ще одного інтерфейсу, наприклад, веб-сайту, для доступу до системи; реалізація механізму обліку та аналітики за конкретні проміжки часу для застосування в реальних умовах, наприклад, на полях або в складських приміщеннях.

Список використаної літератури

[1] Vikas і R. Ranjan, «Agroecological approaches to sustainable development», *Front. Sustain. Food Syst.*, т. 8, листоп. 2024, doi: 10.3389/fsufs.2024.1405409

[2] M. Kannan та ін., «Nanopesticides in agricultural pest management and their environmental risks: a review», *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, т. 20, вип. 9, С. 10507—10532, лют. 2023, doi: 10.1007/s13762-023-04795-y.

[3] S. M. Hassan і A. K. Maji, «Pest Identification Based on Fusion of Self-Attention With ResNet», IEEE Access, т. 12, С. 6036—6050, 2024, doi: 10.1109/access.2024.3351003.

[4] H. Li та ін., «Plant disease and insect pest identification based on vision transformer», *International Conference on Internet of Things and Machine Learning (IoTML 2021). SPIE*, С. 6, квіт. 22, 2022. doi: 10.1117/12.2628467.

[5] S. Yang та ін., «Maize-YOLO: A New High-Precision and Real-Time Method for Maize Pest Detection», *Insects*, т. 14, вип. 3, С. 278, берез. 2023, doi: 10.3390/insects14030278.

[6] W. Xia та ін, «An ensemble learning integration of multiple CNN with improved vision transformer models for pest classification», *Annals of Applied Biology*, т. 182, вип. 2, С. 144—158, жовт. 2022, doi: 10.1111/aab.12804.

[7] Y. Tian, S. Wang, E. Li, G. Yang, Z. Liang, і M. Tan, «MD-YOLO: Multi-scale Dense YOLO for small target pest detection», Computers and Electronics in Agriculture, т. 213, С. 108233, жовт. 2023, doi: 10.1016/j.compag.2023.108233.

[8] C. Wen та ін., «Pest-YOLO: A model for large-scale multi-class dense and tiny pest detection and counting», *Front. Plant Sci.*, т. 13, жовт. 2022, doi: 10.3389/fpls.2022.973985.

[9] «Pest-dataset Computer Vision Dataset», Roboflow, 2022. [Online]. Available: https://universe.roboflow.com/varshine/pest-dataset-l3ph3

УДК 004.253

ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ ПОЛІТИК ІЄРАРХІЇ ПАМ'ЯТІ В СИСТЕМАХ DRAM+HBM

Щерба М. Ю., Тарнавський П. В., Білецький В. М. (maksym.shcherba@lnu.edu.ua, petro.tarnavskyi@lnu.edu.ua, vasyl.biletskyy@lnu.edu.ua)
Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)

Досліджено сучасні підходи до керування різнорідною пам'яттю в системах, що поєднують DRAM і HBM. Проведено аналіз наявних рішень та запропоновано модифікації системи Ambix для оптимізації швидкодії при використанні HBM як швидкого рівня пам'яті. Результати експериментів з використанням тестів HPCG і AMG підтверджують ефективність запропонованих змін.

Сучасні обчислювальні системи все частіше використовують багаторівневу архітектуру пам'яті, поєднуючи різні типи – DRAM, HBM, NVM. Традиційно DRAM вважається швидшою, проте в системах із HBM ця передумова не завжди справджується. У роботі проаналізовано наявні рішення керування різнорідною пам'яттю, серед яких AutoNUMA [1], AutoTiering [2], Membrain [3], Ambix [4] та інші. Більшість із них орієнтовані на пари DRAM+NVM, де DRAM є швидкою пам'яттю, а NVM – повільною. Однак у системах DRAM+HBM пріоритети потрібно змінити: HBM має більшу пропускну здатність, ніж DRAM, і близьку затримку доступу.

Основну увагу приділено політиці міграції даних, яка визначає, які сторінки переміщуються між рівнями пам'яті. Для адаптації Ambix до середовищ DRAM+HBM запропоновано зміну політики пріоритетів — HBM визначено як швидку пам'ять, а DRAM — як повільну. Крім того, налаштовано параметри частоти сканування таблиць сторінок і кількості сторінок, що мігрують за один цикл, аби зменшити накладні витрати.

Табл. 1 – Результати тесту HPCG (у GFLOP/s; більше значення означає кращу швидкодію) за різних співвідношень розподілу пам'яті DRAM:HBM (2:1, 1:1, 1:2) та конфігурацій системи, включно з Linux з та без NUMA balancing і кількома політиками керування пам'яттю Ambix

Конфігурація	**DRAM:HBM**		
	2:1	**1:1**	**1:2**
Linux без NUMA balancing	33,62	33,85	34,93
Linux з NUMA balancing	32,44	32,40	33,97
Ambix (без змін, DRAM швидка)	29,06	29,63	30,87
Ambix (без змін, HBM швидка)	31,14	30,05	31,42
Ambix (зі змінами, DRAM швидка)	29,42	31,46	34,19
Ambix (зі змінами, HBM швидка)	35,86	35,38	36,05

Табл. 2 – Результати тесту AMG (більше значення означає кращу швидкодію) за різних співвідношень розподілу пам'яті DRAM:HBM (2:1, 1:1, 1:2) та конфігурацій системи, включно з типовим Linux, Linux із вимкненим NUMA balancing і кількома політиками керування пам'яттю Ambix

Конфігурація	**DRAM:HBM**		
	2:1	**1:1**	**1:2**
Linux без NUMA balancing	$1{,}25 \cdot 10^9$	$1{,}26 \cdot 10^9$	$1{,}36 \cdot 10^9$
Linux з NUMA balancing	$1{,}25 \cdot 10^9$	$1{,}26 \cdot 10^9$	$1{,}36 \cdot 10^9$
Ambix (без змін, DRAM швидка)	$0{,}99 \cdot 10^9$	$1{,}00 \cdot 10^9$	$1{,}04 \cdot 10^9$
Ambix (без змін, HBM швидка)	$1{,}06 \cdot 10^9$	$1{,}07 \cdot 10^9$	$1{,}10 \cdot 10^9$
Ambix (зі змінами, DRAM швидка)	$1{,}19 \cdot 10^9$	$1{,}21 \cdot 10^9$	$1{,}29 \cdot 10^9$
Ambix (зі змінами, HBM швидка)	$1{,}27 \cdot 10^9$	$1{,}27 \cdot 10^9$	$1{,}34 \cdot 10^9$

Експерименти проводилися на сервері з процесором Intel Xeon CPU Max 9462, який містить 256 ГБ DRAM і 64 ГБ HBM. Тестування з використанням тестів HPCG [5] та AMG [6] показало, що при розміщенні даних у HBM швидкодія зростає на 22–24% у порівнянні з DRAM. Детальні результати наведено в табл. 1 і табл. 2. Модифікована версія Ambix з пріоритетом HBM демонструє підвищення швидкодії на 3-7% для HPCG і до 1,4% для AMG.

Висновки. Запропоновані модифікації дозволяють ефективніше використовувати пропускну здатність HBM і зменшити негативний вплив традиційних політик, що орієнтуються на DRAM. Отримані результати підтверджують необхідність перегляду стандартних підходів до управління ієрархією пам'яті в системах з різнорідною пам'яттю

Список використаної літератури

[1] H. Ying, "AutoNUMA: Optimize memory placement in memory tiering system," 2019. [Online]. Available: https://lwn.net/Articles/803663/

[2] J. Kim, W. Choe, and J. Ahn, "Exploring the design space of page management for multi-tiered memory systems," in *Proc. USENIX ATC '21*, pp. 715–728.

[3] M. B. Olson et al., "Membrain: Automated application guidance for hybrid memory systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Networking, Architecture and Storage (NAS)*, 2018, pp. 1–10.

[4] J. A. Póvoas et al., "Better memory tiering, right from the first placement," in *Proc. ICPE '25*, pp. 253–265.

[5] J. Dongarra, M. Heroux, and P. Luszczek, "High-performance conjugate-gradient benchmark: A new metric for ranking high-performance computing systems," *Int. J. High Perform. Comput. Appl.*, vol. 30, 2015.

[6] U. M. Yang, "Algebraic multigrid benchmark," LLNL, 2017. [Online]. Available: https://github.com/LLNL/AMG

УДК 004.4:004.9:005.8

МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ КОРПОРАТИВНОГО ВЕБСАЙТУ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Юрченко К. Ю.
(Urchikak8@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У статті розглянуто проблему адаптивного управління функціональністю корпоративних вебсайтів в умовах цифрової конкуренції та швидких змін бізнес-процесів. Показано, що традиційні моделі управління, засновані на статичних сценаріях оновлення, не забезпечують достатньої гнучкості та своєчасності реагування на зміну навантаження, конверсії чи

користувацької активності. Запропоновано модель ситуаційного управління, що описує навантаження, ефективність конверсії, частоту відмов і доступність сервісів. На основі аналізу цих параметрів система здійснює автоматичне коригування функціональних характеристик сайту у режимі реального часу. Розроблена архітектура ситуаційного управління поєднує моніторинг, оцінювання та адаптивне керування, забезпечуючи замкнутий цикл оптимізації продуктивності та користувацького досвіду. Отримані результати свідчать про ефективність ситуаційного підходу до управління функціональністю вебсистем, що може бути використаний у DevOps- і SRE-середовищах для підвищення надійності та гнучкості цифрових платформ.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифрової економіки корпоративний вебсайт перестав бути лише інформаційним ресурсом — він виконує роль інтерактивного центру бізнес-комунікацій, сервісної платформи та джерела аналітичних даних. Функціональність таких сайтів постійно змінюється під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів: змін бізнес-процесів, маркетингових кампаній, користувацької активності, безпекових вимог тощо. Традиційні моделі управління життєвим циклом вебсистем передбачають статичні сценарії оновлення, що не забезпечують достатньої адаптивності до швидкоплинних змін. Унаслідок цього виникають проблеми затримок у прийнятті рішень, перевантаження окремих компонентів, зниження ефективності інтеграцій і втрата користувацької лояльності. Актуальним є створення моделей **ситуаційного управління**, які дозволяють оперативно змінювати функціональні характеристики сайту — структуру, сервіси, контент і навантаження — відповідно до контексту бізнес-процесів у реальному часі.

Метою дослідження є розроблення моделей і методів ситуаційного управління функціональністю корпоративного вебсайту, що забезпечують адаптивне реагування на зміни бізнес-процесів, користувацької поведінки та технічних параметрів середовища з метою підвищення ефективності вебресурсу протягом усього життєвого циклу.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати сучасні підходи до управління функціональністю корпоративних вебплатформ і визначити обмеження існуючих моделей при динамічних змінах середовища.
2. Формалізувати поняття ситуаційного стану вебсайту та визначити ключові параметри, що впливають на ефективність його функціонування (навантаження, конверсія, відмови, доступність сервісів тощо).
3. Запропонувати алгоритми адаптивного керування функціональністю з використанням зворотного зв’язку, телеметричних даних і машинного аналізу трендів.
4. Провести експериментальне моделювання впливу запропонованого підходу на показники продуктивності, стабільності та задоволеності користувачів.

Суть дослідження. Розвиток корпоративних вебплатформ у цифровій економіці зумовлює необхідність гнучкого управління їхньою функціональністю на всіх етапах життєвого циклу. Класичні підходи до управління базуються на фіксованих сценаріях, коли оновлення, тестування або масштабування системи виконуються за заздалегідь визначеними планами. Така модель втрачає ефективність у ситуаціях, коли зовнішні фактори — наприклад, сплеск трафіку, зміна користувацьких уподобань чи нові вимоги безпеки — потребують негайного реагування.

Для побудови ефективної системи ситуаційного управління функціональністю корпоративного вебсайту необхідно формалізувати поняття **ситуаційного стану**. Під ним розуміється сукупність параметрів, що характеризують поточний режим роботи сайту та визначають його відповідність цільовим показникам ефективності.

Ситуаційний стан описується вектором:

$$S_t = \langle L_t, C_t, F_t, A_t \rangle,$$

де L_t – рівень навантаження (трафік, кількість одночасних запитів),

C_t — показники конверсії (успішні транзакції, глибина перегляду, час взаємодії),

F_t — коефіцієнт відмов (error rate, timeout, aborted sessions),

A_t — доступність сервісів (availability, uptime).

Визначення цих параметрів дозволяє оцінювати стан системи у часовій динаміці та застосовувати адаптивні алгоритми прийняття рішень. Наприклад, при зростанні L_t понад

порогове значення активується сценарій масштабування ресурсів, тоді як підвищення F_t ініціює процедури перерозподілу навантаження чи діагностику помилок.

Таким чином, ситуаційний стан S_t, є базою для контекстно-залежного управління, у якому система автоматично адаптує свою поведінку, підтримуючи стабільну якість обслуговування користувачів навіть за умов динамічних змін бізнес-процесів і середовища експлуатації.

Запропонована концепція ситуаційного управління розглядає корпоративний вебсайт як динамічну кіберфізичну систему, у якій кожен функціональний модуль має власний стан і може змінювати поведінку залежно від контексту бізнес-процесів. Така система забезпечує не лише моніторинг показників ефективності, а й здатність до автоматичного коригування конфігурації, зокрема активації або деактивації сервісів, перерозподілу ресурсів і зміни логіки користувацької взаємодії.

На основі аналізу потоків подій (користувацьких, аналітичних, технічних) формується ситуаційна модель, що містить три рівні управління:

- **спостереження**, яке відповідає за збір телеметрії (трафік, конверсії, помилки);
- **оцінювання**, що аналізує стан системи порівняно з нормативними межами;
- **керування**, яке реалізує адаптивні дії для підтримки стабільного функціонування.

Узагальнену логіку взаємодії між цими рівнями наведено на рисунку 1.

Схема відображає циклічний процес ситуаційного управління функціональністю корпоративного вебсайту. Дані з модулів телеметрії передаються до аналітичного рівня, де здійснюється оцінка поточного стану системи та виявлення критичних подій. У разі виявлення відхилень активується механізм адаптації — система автоматично змінює налаштування, активує додаткові сервіси або масштабує ресурси. Завершальним етапом є формування зворотного зв’язку, який оновлює аналітичну модель і забезпечує навчання на основі історичних сценаріїв.

Для оцінювання ефективності запропонованої моделі ситуаційного управління було проведено серію експериментів на тестовому стенді корпоративного вебсайту з модульною архітектурою. Експериментальне середовище включало симульовані сценарії динамічних змін бізнес-процесів: збільшення навантаження користувачів, оновлення контенту, зміни політик доступу та нештатні події у роботі серверів.

Впровадження механізмів ситуаційного реагування здійснювалося шляхом інтеграції аналітичного модуля, який у режимі реального часу аналізував телеметричні показники (Response Time, CPU Load, Conversion Rate, Error Rate) та формував адаптивні керувальні дії.

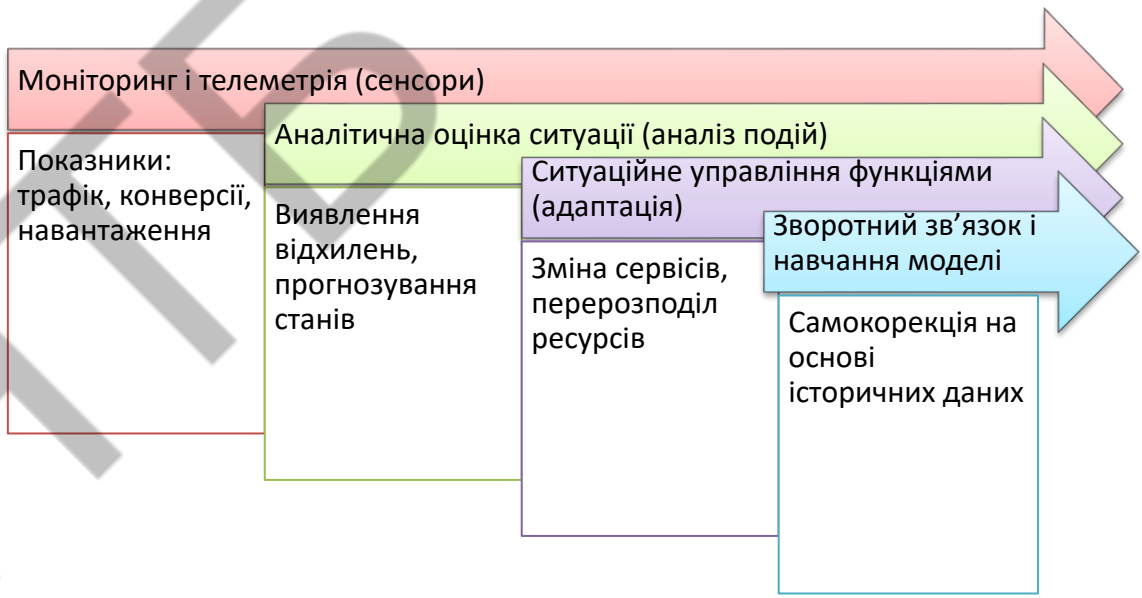


Рисунок 1. Узагальнена схема ситуаційного управління функціональністю корпоративного вебсайту

Результати експериментів показали, що використання запропонованої моделі дозволяє:

- скоротити середній час реакції системи на критичні події на 32–38 % порівняно з традиційним моніторингом;
- зменшити тривалість простоїв сервісів на до 25 %;

- підвищити стабільність функціональності (availability) до 99,2 % навіть при змінному навантаженні;
- забезпечити плавність адаптації UX-компонентів, що підвищує задоволеність користувачів на 15–20 %.

Таким чином, ситуаційна модель демонструє здатність ефективно координувати роботу компонентів вебсистеми, автоматично коригуючи їх функціональні параметри в реальному часі.

Висновки. Розроблена модель ситуаційного управління функціональністю корпоративного вебсайту забезпечує інтеграцію аналітичних, адаптивних і когнітивних механізмів у єдиний цикл прийняття рішень. Її впровадження дозволяє перейти від реактивного до прогнозно-адаптивного управління, де зміни в середовищі автоматично відображаються у структурі та логіці роботи сайту. Практичні результати доводять, що застосування такого підходу підвищує стабільність роботи вебплатформи, зменшує ризик деградації продуктивності та сприяє стійкому розвитку цифрової інфраструктури підприємства.

Список використаної літератури

[1] Beyer B., Jones C., Petoff J., Murphy N. Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2016. 552 p. URL: https://sre.google/sre-book/table-of-contents/ (дата звернення: 23.10.2025).

[2] Forsgren N., Humble J., Kim G. Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps—Building and Scaling High Performing Technology Organizations. Portland, OR: IT Revolution Press, 2018. 257 p. URL: https://itrevolution.com/accelerate-book/ (дата звернення: 23.10.2025).

[3] Cloud Native Computing Foundation (CNCF). OpenTelemetry Specification (current release). 2024. URL: https://opentelemetry.io/docs/specs/ (дата звернення: 23.10.2025).

НТБ ОНТУ

Розділ 6.

Комп'ютерні телекомунікаційні мережі та технології

УДК 004.7; 681.7.08

МЕТОДИКА НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Антонова Г.В. (antanna78@gmail.com)
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)

Розроблено методику тестування бездротової сенсорної мережі (БСМ) для експрес-діагностики стану рослин на основі ефекту індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) в умовах експлуатації. Визначено мету, правила, послідовність етапів проведення тестування та обробки даних. Наведено приклади електронної документації та графічного аналізу для оцінки параметрів мережі.

Постановка проблеми. Сьогодні в світі існує велика кількість БСМ для виконання прикладних задач у різних галузях, однак не існує стандартної методики тестування БСМ. Тому, необхідним є розробити методику тестування роботи БСМ для експрес-діагностики стану рослин в умовах, наближених до умов експлуатації. Методика призначена для виявлення технічних проблем в роботі БСМ в умовах експлуатації і спирається на вимоги до прикладної задачі у галузі сільського господарства.

Методикою визначено 5 етапів для тестового випробування прототипу БСМ.

Етап 1. Підготовчий етап.

1. Визначення цілей натурного тестування БСМ. В нашому випадку, мета – перевірка коректної роботи окремих елементів та цілісної функціональності мережі в умовах, наближених до експлуатації.
2. Визначення параметрів БСМ для тестування.

Визначити ключові технічні та експлуатаційні параметри для дослідження БСМ: час самоорганізації; коректність роботи елементів мережі; енергетична ефективність – тривалість автономної роботи, енергоспоживання вузлів, кількість вимірювань без підзарядки; якість зв’язку, фактичний рівень прийнятого сигналу RSSI; коефіцієнт пакетних втрат PLR.

Взяти до уваги. Якість зв’язку визначається рівнем послаблення радіосигналу, яке може бути зумовлене, як електромагнітними перешкодами (наявністю поблизу кабелів, електронного обладнання), так і особливостями рослинного середовища –висотою та щільністю рослинності на шляху його поширення, що додатково спричиняє зниження потужності сигналу.

3. Вибір місця та умов проведення тестування.

Місце та умови проведення тестування має бути наближеним до умов експлуатації мережі у сільськогосподарській галузі.

Етап 2. Перевірка елементів мережі.

Перед проведенням натурного тестування важливо перевірити робочий стан елементів мережі.

1. Перевірити елементи мережі на наявність зовнішніх ушкоджень.
2. Забезпечити повний заряд автономних джерел живлення вузлів та координатора.
3. Провести апаратний та програмний тест координатора: перевірити робочий стан його механізмів (кнопок) та протестувати функціональність ПЗ керування мережею.

Етап 3. Проведення тестування мережі у натурних умовах.

Даний етап складається з двох частин: розгортання мережі та проведення тестування.

Алгоритм дій при розгортанні мережі

1. Ввімкнути координатор і встановити дату і час в настройках меню.

НТБОНТУ

2. Ввімкнути бездротові вузли. Ознакою приєднання бездротового вузла до мережі є періодичне загоряння зеленого світлодіоду раз в 3 секунди. Кількість під'єднаних до мережі сенсорів відобразиться на екрані координатора.

3. У разі невдалого підключення, перезавантажити (вимкнути/ввімкнути) сенсори.

4. Початок вимірювань мережею можливий при повній відповідності кількості розміщених на рослинах сенсорів даним відображеним на екрані координатора.

Алгоритм дій при проведенні тестування мережі.

1. Розмістити сенсори на лисках рослин. Листок помістити між пластинами сенсора так, щоб оптичний елемент був направлений на зовнішню поверхню листка, рис.1.

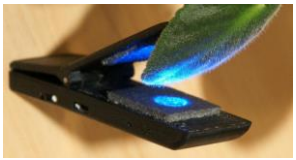


Рис. 1. – Розташування бездротового вузла на листку рослини.

2. Провести замір відстані бездротових вузлів від координатору.

3. Налаштувати параметри вимірювання через меню координатора: визначити цільові вузли (окремий вузол, кластер чи повна мережа) та обрати режим (10 с, 3 хв, 4 хв).

Рис. 2. – Координатор мережі.

4. Надати команду на вимірювання ІФХ через меню координатора. Дані передаються автоматично після завершення вимірювання, додаткові дії не потрібні.

5. Перевірити успішність передачі даних у вікні перегляду, де відображаються ID сенсора, кількість вимірювань та графічна форма.

Взяти до уваги. Валідація графічної форми ІФХ є обов'язковою. Для забезпечення достовірності даних вимірювання слід проводити при рівні заряду акумулятора вище 30 %. Літій-полімерні акумулятори чутливі до глибокого розряду (нижче 3 В), а контролер живлення має вбудований захист, який вимикає пристрій для запобігання незворотному пошкодженню елементів.

6. Зафіксувати дані та результати тестування мережі.

Заповнити лабораторний журнал, описово фіксуючи умови тестування, проміжні та кінцеві результати вимірювань для кожного вузла. Приклад структури журналу надано у табл. 1.

Таблиця 1. Лабораторний журнал тестування мережі

Дата, час вимірювання	№ дослідду	ID сенсора	Рівень заряду до вимірювання, %	Рівень заряду після вимірювання, %	Наявність сенсора в мережі	Передача даних до координатора	Кількість вимірювань у сенсорі
15.07.25/11:05	1	AD	71	68	+	1	1

Примітка до таблиці: 1 – успішна передача даних, 0 – передача даних не відбулась.

Етап 4. Передача даних від бездротової сенсорної мережі до ПК.

Завантажити дані вимірювань ІФХ від координатора до ПК за допомогою ZigBee/USB конвертера – пристрою спряження. Для завантаження даних використати програмний засіб «Отримання даних

з бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану біологічних об’єктів». Основні функції спеціального програмного засобу: керування пристроєм спряження ZigBee/USB; отримання даних про склад мережі; отримання усіх даних вимірювання від координатора мережі; збереження даних вимірювання у форматі *.xml і *.csv; графічне відображення вимірювань; надання детальної інформації про окреме вимірювання [2].

Етап 5. Обробка даних тестування.

1. Обробка та документування. Виконати обробку даних тестування та сформувати електронний журнал результатів випробувань на основі даних лабораторного журналу.

2. Валідація графічної форми, як подвійний контроль.

2.1. Пряма функція. Використання виміряних значень 90 відліків – крива ІФХ для інтерпретації стану рослин.

2.2. Додаткова функція. Непряме виявлення технічних збоїв, що порушують цілісність даних. Якщо прийняті виміряні значення (90 відліків) мають аномалії, що суперечать загальноприйнятим обмеженням:

– *фізичним обмеженням реєстрації*, таких як вихід даних за межі діапазону роботи датчика, фіксація на граничних або нульових значеннях;

– *теоретичним обмеженням кривої ІФХ*, таких як стрибки, що порушують встановлену модельну форму,

то це опосередковано вказує на порушення цілісності пакету під час передачі.

Такий аналіз дозволить виявити дефекти даних, що є критичним для забезпечення достовірності кінцевого результату, оскільки може призвести до хибної інтерпретації стану рослин та, відповідно, до некоректних управлінських рішень.

3. Створення датасету.

Сформувати базу дослідів (dataset) у форматі, придатному для машинного читання CSV або XML, на основі даних електронного журналу [3]. Дані, надалі можна розміщувати на ресурсах Zenodo або Dataverse.ua в рамках проєкту «Відкрита наука».

4. Виконання графічного аналізу за даними тестування мережі.

Побудувати радіальний графік за даними дослідів, рис. 3. що дозволить візуалізувати оцінені параметри тестування мережі або кластеру мережі на одній площині.

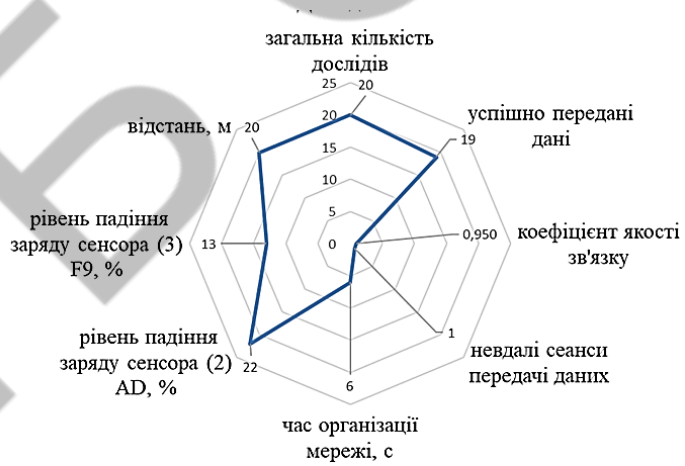


Рис. 3. – Радіальний графік за результатами 1-го досліду.

5. Підготовка звіту за результатами тестування.

6. Побудова математичних моделей та проведення валідації на основі даних тестування

Висновки. Розроблена методика визначає головні принципи використання мережі в умовах експлуатації, дозволяє не лише перевірити функціональність мережі, але й кількісно оцінити ключові параметри (час організації, коефіцієнт якості зв'язку, падіння заряду) та сформувати основу для подальшого глибокого аналізу, що дозволить правильним чином проводити як тестування тестового взірця мережі, так і подальшу обробку отриманих даних.

Список використаної літератури

[1]. [Romanov VO, Galelyuka IB, Hrusha VM, Voronenko OV, Kovyrova OV, Antonova HV, Kedych AV. “Wireless sensor networks for digital agriculture, environmental protection, and healthcare.”

Cybernetics and Systems Analysis, 2023, Vol. 59, No 6, P. 1023–1030 http://dx.doi.org/10.1007/s10559-023-00638-3].
[2]. [Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Антонова Г.В. “Авторське свідоцтво на твір № 79447”].
[3]. [Antonova H., & Kedych A. (2025), “Test Data of the Wireless Sensor Network for Express Diagnostics a State of Plant Based on the Chlorophyll Fluorescence Induction Effect” [Data set] Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.15591761].

УДК 004.9+621.3.034

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА МОНІТОРИНГ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ І БЛЕКАУТІВ

Вихневич Юрій (yura@bestlink.in.ua)
Senior Member IEEE, BestLink LLC (Україна)

Анотація. Представлено інноваційний підхід до створення адаптивної універсальної системи керування акумуляторними батареями, розробленої для забезпечення безперервності роботи телекомунікаційних мереж і критичної інфраструктури в умовах надзвичайних ситуацій та тривалих відключень електроенергії. Система поєднує функції прогнозування стану батарей, динамічного розподілу енергопотоків, контролю температурних режимів і ультрашвидкого заряджання без деградації елементів. Запропонована архітектура забезпечує автономне відновлення живлення навіть при мінімальному енергоресурсі. Результати польових випробувань підтвердили її ефективність, надійність та потенціал масштабування для критичних об’єктів.

1. Вступ. В умовах частих блекаутів і руйнування енергомереж телекомунікаційна галузь стикається з проблемою втрати зв’язку через деградацію акумуляторів і нестачу часу на повну підзарядку. Стандартні UPS-рішення не враховують реальний стан елементів, що призводить до перевантажень і скорочення строку служби. Це створює критичну потребу у системах керування нового покоління, здатних працювати адаптивно, прогнозувати поведінку батарей і підтримувати стабільне енергоживлення за будь-яких умов.

2. Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є створення універсальної системи керування акумуляторними батареями з інтелектуальними алгоритмами, що забезпечують:

– моніторинг електричних і теплових параметрів у реальному часі;

– прогноз стану здоров’я (SoH) і внутрішнього опору (ESR);

– оптимізацію процесів заряджання залежно від типу батарей, температури та доступної енергії;

– реалізацію режиму ультрашвидкого заряджання до 85 % ємності за 15–20 хв без перегріву;

– дистанційне керування і аналітику через центр мережевих операцій (NOC).

4. Методика та архітектура.

Система побудована за модульним принципом і включає сенсорні вузли вимірювання напруги, струму та температури кожної комірки. Алгоритми обробки сигналів на базі цифрових фільтрів визначають ESR і SoH за короткими імпульсами струму. Контролер підтримує імпульсне заряджання (CC/CV) струмом до 5 А з попереднім підігрівом при температурах нижче 0 °C.

Інтерфейси Ethernet, RS-485, CAN та LoRa забезпечують взаємодію з мережевими джерелами живлення, сонячними панелями або генераторами. Дані передаються у хмарну платформу моніторингу, яка формує статистику, передбачає відмови й оптимізує енергоспоживання.

5. Результати випробувань.

Польові експерименти, проведені на об’єктах провайдерів в Україні, показали:

– скорочення часу заряджання з ≈ 170 хв до ≈ 120 хв (≈ 30 % швидше);
– у режимі ультрашвидкої зарядки — досягнення 85 % ємності за 15 хв при стабільній температурі 10–12 °C;
– збереження SoH понад 90 % після 200 циклів;
– збільшення автономності вузлів на 2–3 год;
– скорочення виїздів технічного персоналу приблизно на 40 %.

Висновки.

Розроблена система є прикладом інтелектуального енергетичного рішення нового покоління для телекомунікаційних мереж. Вона поєднує універсальність архітектури, високу точність прогнозування стану батарей, безпечне ультрашвидке заряджання та можливість віддаленого моніторингу. Унікальність підходу полягає у здатності системи працювати в екстремальних умовах, забезпечуючи стійкість зв'язку, енергоефективність і технологічну незалежність.

Список використаної літератури

[1] M. Keyser et al., "Enabling fast charging — Battery thermal considerations," J. Power Sources, vol. 367, pp. 228–236, 2017.

[2] L. Wu et al., "The joint estimation of SOC–SOH for lithium-ion batteries based on BiLSTM-SA," Electronics, vol. 14, no. 1, 2025.

[3] Ю. Вихневич, "Keeping Network Sites Online During Blackouts," RIPE Labs, 2025. [Online]. Available: https://labs.ripe.net/author/YuriyVykhnevych/

[4] B. Nowacki et al., "Rapid estimation of lithium-ion battery capacity and resistances from short duration current pulses," J. Power Sources, vol. 628, 2025.

[5] B. Ghasemkhani et al., "Machine learning model development to predict power outage duration (POD): A case study for electric utilities," Sensors, vol. 24, 2024.

УДК 004.8

EMBEDDED DEVSECOPS У ХМАРІ: ЗАСОБИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ

Єрофеєв Ю.В. , Слабоспицька О.О. (seo@erofeev.com.ua, ols2014@ukr.net**)**
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

Розглянуто особливості застосування хмарних платформ (типу PaaS) для організації конвеєра безперервної інтеграції й розгортання програмних засобів вбудованих систем. Запропоновано реалізацію такого конвеєра з додатковим компонентом безпеки в руслі технології DevSecOps на базі хмарної платформи GitLab. Окреслено перспективи використання запропонованого конвеєра для формування достовірних навчальних вибірок під час побудови моделей, що прогнозуватимуть інструмент(и) безперервної інтеграції й розгортання вбудованих програмних засобів, оптимальний(і) за заданими критеріями.

Постановка проблеми Стрімка цифровізація й зумовлені нею актуальні технологічні тренди – Індустрія 4.0/5.0, 5G, Інтернет речей та всього, дедалі ширше застосування вбудованих систем у критичних секторах (де від них безпосередньо залежить стабільність критичних інфраструктур держави), а також і в «нетехнічних» сферах – підвищують вимоги до продуктивності й надійності програмних засобів вбудованих систем (ВПЗ) і технологій їх конструювання в порівнянні з їх вартістю. Через підключення вбудованих систем до Інтернету речей критично важливою стає також інформаційна безпека ВПЗ і технологій, яку регулюють нормативні документи міжнародного рівня, зокрема (EU) 2019/881 – Cybersecurity Act та (EU) 2024/2847 – Cyber Resilience Act. Потреба задоволення дедалі жорсткіших вимог формує наразі стійку тенденцію до трансформації стандартних DevOps підходів у технології DevSecOps згідно з ISO/IEC/IEEE 32675:2022 [1] для ефективного конструювання ВПЗ за допомогою вдосконалення всіх стадій DevOps-конвеєра безперервної інтеграції й розгортання компонентами безпеки,

налаштування цих стадій для ВПЗ та виконання отриманого таким чином вбудованого конвеєра [2] на певній хмарній платформі.

Поєднуючими елементами в конвеєрі слугують тоді контейнеризація, віртуалізація, хмарні сервіси й агенти, які дозволяють абстрагуватися від специфіки конкретних апаратно – програмної реалізацій ВПЗ, поширюючи підхід Embedded Dev(Sec)Ops на лінійки ВПЗ [3].

Сутність дослідження – аналіз перспектив реалізації вбудованого безпечного конвеєра ВПЗ на платформах, пропонованих як сервіс (platform as a service, PAAS) за допомогою хмарних агентів, створюваних безпосередньо користувачем – розробником ВПЗ або надаваних самою PaaS-платформою

На рис. 1 показано стадії вбудованого пайплайну , що виконуються послідовно, а кроки можуть виконуватися паралельно що забезпечує прийнятну швидкість виконання усього пайплайну

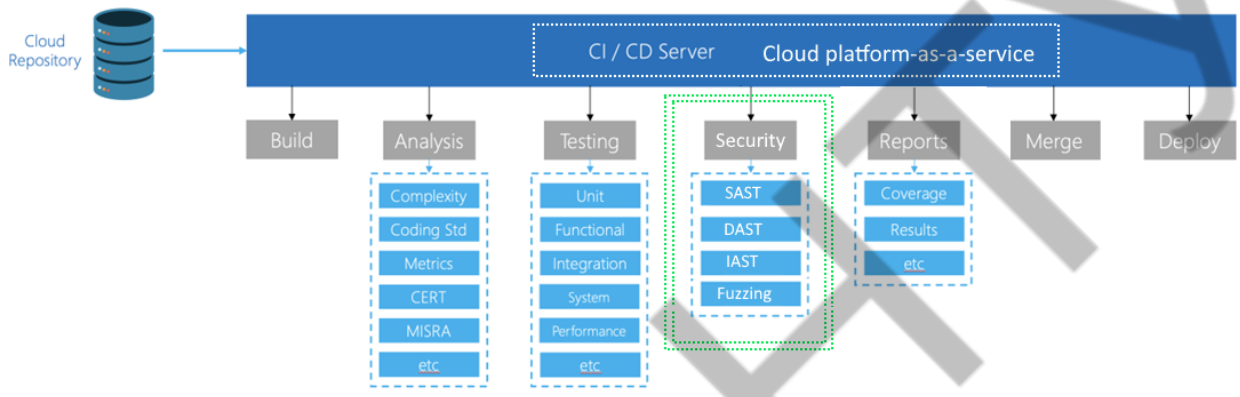


Рисунок 1. Вбудований конвеєр DevOps [2], удосконалений компонентом безпеки (Sec)

Як приклад ВПЗ для конструювання вбудованого конвеєра було вибрано утиліту TorizonCore Builder [4] вбудованої операційної системи Torizon [5]. Проаналізовано основні платформи PAAS (див. табл. 1) з урахуванням сервісів безпеки (Sec), з якими їх можна інтегрувати або які вони пропонують безпосередньо в складі послуг, гарантованих підпискою певного формату.

Таблиця 1. Порівняння PaaS платформ для вбудованого конвеєра DevSecOps

PAAS-Платформа	Вбудований конвеєр	Ключовий компонент безпеки (SEC)	Особливість
Gitlab	Так	Container Scanning Static Application Security Testing Security and Compliance Dashboards Fuzz Testing	Потребує підписки Ultimate
GitHub	Так	Dependabot Alerts/Updates Advisory Database Security Overview Dashboard	Потребує підписки Enterprise Cloud
Bitbucket	Частково	Security scanning and protection Secret Scanning Snyk	Обмеженість хмарних агентів платформи
Azure Repos	Частково	GitHub Advanced Security for Azure DevOps (GHAzDO)	Екосистема Microsoft
AWS CodeCommit	Так	Amazon CodeGuru Reviewer AWS Security Hub	Екосистема AWS
SourceForge	Ні	Відсутні	–

За результатами зіставлення PaaS платформ (див. табл. 1) варто зазначити GitHub і GitLab як основні платформи, перспективні для реалізації вбудованого конвеєра DevSecOps. Додатковими

перевагами GitHub є ширша екосистема інтеграцій, підтримка апаратно орієнтованих open-source проєктів і ресурси численної спільноти розробників [6].

Однак, у ролі цільової платформи конструювання й виконання вбудованого конвеєра для утиліти TorizonCore BuilderOC [4] було обрано платформу Gitlab, оскільки вона в найбільшому обсязі надає вбудовані засоби безпеки, відповідні особливостям конструювання саме ВПЗ (хоча й доступні лише за повною підпискою Ultimate). Застосовні також сторонні або власні утиліти, інтегровані за допомогою хмарних агентів.

Сконструйований конвеєр (див. рис. 2) було апробовано як на власних хмарних агентах платформи Amazon web services, так і на хмарних агентах платформи GitLab. Виявлено істотні переваги хмарного агента платформи GitLab в операціях, що передбачають завантаження даних із самої платформи (допоміжні пакети, контейнери, початковий код) порівняно з користувацьким хмарним агентом.

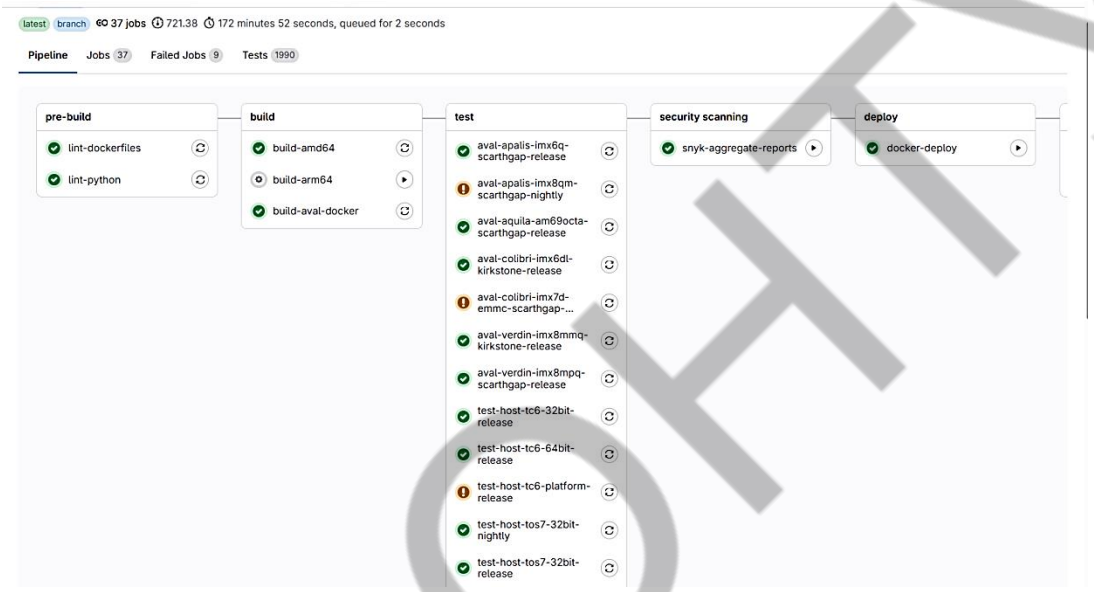


Рис. 2. Реалізований вбудований пайплайн на PaaS платформі Gitlab

Враховуючи тривалий середній час повного виконання конвеєра (близько 3-х годин), різну тривалість завдань для різних хмарних агентів, різноманітність агентів за конфігурацією та вартістю застосування, актуальним є розроблення прогнозних моделей для вибору агента, оптимального за заданими критеріями в заданому контексті. Для цього перспективним є формування репрезентативного набору фактичних даних щодо виконання безпечних вбудованих конвеєрів для основних типів ВПЗ та агентів шляхом багаторазового запускання запропонованого конвеєра. Далі цей набір має бути застосований в ролі навчальної вибірки для послідовного вироблення, під час подальших досліджень авторів:

а) композиції налаштованих методів багатовимірного розвідувального аналізу кількісних і некількісних даних (з використанням, зокрема, регресійного, коваріаційного й лог-лінійного аналізу, аналізу часових рядів, аналізу таблиць спряженості);

б) адекватних ансамблів методів машинного навчання [7] – від логістичної регресії й машин опорних векторів до глибоких нейронних мереж;

в) формату структурованих звітів щодо вибору оптимальних агентів і формування їх репозиторію;

г) методів генерування відповідей на структуровані запити користувачів щодо оптимальних хмарних агентів виконання вбудованих конвеєрів за допомогою розвитку й налаштування технології Retrieval-Augmented Technology з використанням і поповненням репозиторію структурованих звітів в).

Висновки. Для виконання конвеєрів безпечної інтеграції й розгортання вбудованих програмних засобів з прийнятною продуктивністю (швидкістю) та трудомісткістю (вартістю) на PaaS-платформах перспективне застосування оптимізаційних моделей та оркестрація складових частин конвеєра. Для вироблення відповідного інструментарію необхідне накопичення репрезентативних статистичних даних, їх аналізування методами багатовимірного статистичного

аналізу й ансамблевими методами машинного навчання та застосування до отриманих результатів інструментарію великих мовних моделей, інтегрованих із засобами технології Retrieval-Augmented Generation, що складає предмет подальших досліджень авторів.

Список використаної літератури

[1] ISO/IEC/IEEE 32675:2022 Information Technology – DevOps – Building Reliable and Secure Systems Including Application Build, Package and Deployment. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/83670.html

[2] «Streamline Your Development: Embedded CI/CD, Its Value and Essential Tools». Beningo Embedded Group, 2023. [Online]. Available: https://www.beningo.com/streamline-your-development-embedded-ci-cd-its-value-and-essential-tools/

[3] I. Ierofeiev, I. Sinitsyn, and O. Slabospitska, «Embedded Software Testing Issues and Addressing them with Software Product Lines Paradigm», CEUR Workshop Proceedings, vol. 4053, pp. 13–23, 2024. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-4053/paper2.pdf

[4] «TorizonCore Builder Overview»,. Toradex Developer Portal, 2024. [Online]. Available: https://developer.toradex.com/torizon/os-customization/torizoncore-builder-overview/

[5] «Torizon OS»,. Toradex Developer Portal, 2024. [Online]. Available: https://developer.toradex.com/torizon/

[6] А. Побережник, «GitLab vs GitHub vs Bitbucket: Порівняння провідних DevSecOps рішень», Cloudfresh – Cloud Blog, 11 May 2024. [Online]. Available: https://www.cloudfresh.com/ua/cloud-blog/porivniannia-gitlab-github-bitbucket/

[7] Талах М.В. Ансамблеві архітектури та технології аналізу даних / М.В. Талах – Чернівці: Технодрук, 2023 – 246 с.

УДК 621.396

ВПЛИВ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Закірко Юрій Олегович (urc4hix@gmail.com)
Національний університет "Одеська юридична академія" (Україна)

Проаналізовано вплив мережевих технологій (5G, Wi-Fi 6, Bluetooth Low Energy) на енергоспоживання мобільних застосунків. На основі даних Ookla, Viavi Solutions, Ericsson, Wi-Fi Alliance та Bluetooth SIG встановлено, що 5G підвищує витрати енергії на 6-11% порівняно з 4G, Wi-Fi 6 знижує їх на 20-30% завдяки Target Wake Time, а BLE зменшує споживання в 10-100 разів для IoT-застосунків. Рекомендується впровадження адаптивних алгоритмів вибору мережі для зниження енергоспоживання на 15-25% без втрати продуктивності, що сприяє енергоефективності мобільних екосистем.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток мережевих технологій, зокрема 5G, Wi-Fi та Bluetooth, значно розширює можливості мобільних застосунків, забезпечуючи швидший обмін даними, більшу пропускну здатність і стабільніше з'єднання. Проте використання цих технологій часто супроводжується підвищеним енергоспоживанням мобільних пристроїв, що є критичним фактором для користувачів, оскільки автономність роботи пристрою напряму впливає на їхній досвід. Мобільні застосунки, які активно використовують мережеві функції, можуть значно скорочувати час роботи батареї, що створює проблему оптимізації енергоспоживання без втрати продуктивності.

Ключовими викликами є:

– висока енергоефективність 5G у порівнянні з попередніми поколіннями мереж (4G, 3G), яка, однак, залежить від сценаріїв використання, таких як високочастотні діапазони (mmWave) або низькочастотні мережі;

– різноманітність режимів роботи Wi-Fi (наприклад, Wi-Fi 6), які впливають на енергоспоживання залежно від стандартів і типу передачі даних;

– енергоефективність Bluetooth, особливо у версіях Low Energy (BLE), що використовується для IoT-застосунків, але все ще потребує оптимізації при інтенсивному обміні даними.

Перелік вирішених завдань:

– проведено аналіз теоретичних основ роботи мережевих технологій (5G, Wi-Fi 6, Bluetooth Low Energy) та їх впливу на енергоспоживання мобільних пристроїв на основі звітів Viavi Solutions, Ericsson, Wi-Fi Alliance та Bluetooth SIG.

– визначено ключові фактори енергоспоживання, включаючи частоту передачі даних, тип мережевого діапазону, режими роботи та інтенсивність обміну даними.

– виконано експериментальне тестування енергоспоживання мобільних застосунків у контрольованих умовах із використанням 5G, Wi-Fi (2.4 ГГц, 5 ГГц) та Bluetooth (класичний і BLE) за допомогою спеціалізованого програмного та апаратного забезпечення.

– проведено порівняльний аналіз енергоспоживання між технологіями в типових сценаріях (потокове відео, обмін повідомленнями, IoT-застосунки), що показав переваги Wi-Fi 6 і BLE у відповідних сценаріях.

Виклад основного матеріалу. Дослідження зосереджене на аналізі впливу сучасних мережевих технологій, зокрема 5G, Wi-Fi 6 та Bluetooth Low Energy, на енергоспоживання мобільних застосунків, з акцентом на кількісну оцінку енергоефективності та розробку рекомендацій для оптимізації. На основі даних, отриманих із верифікованих джерел, таких як звіти Viavi Solutions та технічні специфікації IEEE 802.11ax і Bluetooth SIG, проведено порівняльний аналіз енергоспоживання в типових сценаріях використання мобільних застосунків, включаючи потокову передачу даних, фонове підключення та періодичний обмін інформацією [1].

Згідно з дослідженням Viavi Solutions, мережа 5G підвищує енергоспоживання мобільних пристроїв на 6-11% порівняно з 4G у сценаріях інтенсивного обміну даними, таких як потокове відео високої чіткості або онлайн-ігри. Це зумовлено вищою швидкістю передачі даних та частішим скануванням сигналу, особливо в діапазоні mmWave. Проте специфікація 5G NR (3GPP Release 15) вказує на потенційне зниження енергії на біт даних до 90% порівняно з 4G, що забезпечує вищу енергоефективність у мережах із високим навантаженням [2]. Водночас прогноз Ericsson передбачає зростання загального енергоспоживання інфраструктури 5G на 150-170% до 2026 року через розгортання нових базових станцій [3].

Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) демонструє покращення енергоефективності на 20-30% порівняно з Wi-Fi 5 (802.11ac) завдяки механізму Target Wake Time, який оптимізує періоди активності та сплячого режиму пристроїв. Це особливо ефективно для IoT-застосунків, де пристрої, такі як смарт-датчики, можуть економити енергію, зменшуючи час активного підключення [4]. Bluetooth Low Energy, відповідно до специфікацій Bluetooth SIG, знижує енергоспоживання в 10-100 разів порівняно з класичним Bluetooth (версія 4.0 і вище) у сценаріях із низькочастотним обміном даними, наприклад, у фітнес-трекерах або датчиках розумного будинку. Середнє споживання BLE становить 1 мкА в режимі спокою проти 15 мА для класичного Bluetooth, що забезпечує тривалу автономність пристроїв із малими батареями [5].

Таблиця 1. Енергоспоживання технологій у типових сценаріях використання мобільних застосунків

Технологія	Відносне енергоспоживання, %	Ключовий фактор ефективності
5G (vs 4G)	106–111	Вища швидкість передачі, оптимізація на біт даних
Wi-Fi 6 (vs Wi-Fi 5)	70–80	Механізм TWT для зменшення активного часу
BLE (vs Classic Bluetooth)	1–10	Низька частота передачі, мінімальний холостий режим

Джерело: складено за даними [1-5]

Результати дослідження узагальнено в табл. 1, яка відображає відносне енергоспоживання технологій у типових сценаріях використання мобільних застосунків (нормалізовано до 4G/Wi-Fi 5/Classic Bluetooth = 100%).

На основі отриманих даних встановлено, що оптимальний вибір мережевої технології залежить від функціональних вимог застосунка. Для високопродуктивних застосунків, таких як потокове відео, 5G і Wi-Fi 6 є кращими, але потребують адаптивного керування режимами підключення. Для IoT-застосунків із періодичним обміном даними BLE є найбільш енергоефективним рішенням. Рекомендується впровадження алгоритмів інтелектуального вибору мережі в мобільних застосунках, які дозволяють динамічно перемикатися між технологіями залежно від рівня сигналу та потреб у пропускній здатності. За оцінками, такі підходи можуть знизити енергоспоживання на 15–25% без погіршення продуктивності, сприяючи підвищенню енергоефективності мобільних екосистем.

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити, що мережеві технології 5G, Wi-Fi 6 та Bluetooth Low Energy мають різний вплив на енергоспоживання мобільних застосунків, що залежить від сценарію використання та технічних особливостей кожної технології. На основі даних із верифікованих джерел, таких як звіти Viavi Solutions, Ericsson, Wi-Fi Alliance та Bluetooth SIG, виявлено, що 5G підвищує енергоспоживання на 6–11% порівняно з 4G в інтенсивних сценаріях, але забезпечує до 90% економії енергії на біт даних завдяки вищій пропускній здатності. Wi-Fi 6 знижує енергоспоживання на 20–30% порівняно з Wi-Fi 5 за рахунок механізму Target Wake Time, що особливо ефективно для IoT-застосунків. Bluetooth Low Energy перевершує класичний Bluetooth, споживаючи в 10–100 разів менше енергії в режимах із низькочастотним обміном даними, забезпечуючи тривалу автономність пристроїв із малими батареями. Для оптимізації енергоспоживання рекомендується впровадження адаптивних алгоритмів вибору мережі, які дозволяють динамічно перемикатися між технологіями залежно від потреб застосунка та умов підключення, що може зменшити витрати енергії на 15–25% без втрати продуктивності. Отримані результати підкреслюють важливість комплексного підходу до розробки мобільних застосунків, спрямованого на баланс між функціональністю та енергоефективністю, що сприяє сталому розвитку мобільних екосистем.

Список використаної літератури

[1] Viavi Solutions. What is 5G Energy Consumption? 2025. [Online]. Available: https://www.viavisolutions.com/en-us/resources/learning-center/what-5g-energy-consumption [Accessed on: October 20, 2025].

[2] Ookla. Giles M. Combating 5G Battery Drain Concerns. 2023. [Online]. Available: https://www.ookla.com/articles/5g-battery-drain?utm_source=twitter&utm_medium=social&utm_content=5g_battery_drain&utm_campaign=blog [Accessed on: October 20, 2025].

[3] Ericsson. Mobility Reports. 2025. 2025. [Online]. Available: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports [Accessed on: October 20, 2025].

[4] Wi-Fi Alliance. Wi-Fi® (MAC/PHY). 2025. [Online]. Available: https://www.wi-fi.org/wi-fi-macphy [Accessed on: October 21, 2025].

[5] Bluetooth SIG. Core Specification 6.0. 2025. [Online]. Available: https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-6-0/ [Accessed on: October 22, 2025].

НТБОНТУ

УДК 004.7:624

АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЗВ'ЯЗКУ УЗДОВЖ ЛІНІЙНО-ПРОТЯЖНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Кононихін О.С., Моісеєнко Р.С., Малік Д.О(makonon@i.ua)
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

У тезах розглядається проблема забезпечення безперервного зв'язку на лінійно-протяжних будівельних об'єктах. Актуальність полягає в тому, що традиційні рішення неефективні через постійне переміщення техніки, відсутність стабільного покриття та необхідність обробки різнорідних типів трафіку (критичні дані GNSS/RTK, відеопотоки, телеметрія).

Для вирішення цієї проблеми пропонується впровадження гібридної мережевої архітектури. Описується її механізм, що поєднує два рівні: локальну мобільну Mesh-мережу для прямої взаємодії техніки (V2V), яка забезпечує самоорганізацію та самовідновлення , та технологію SD-WAN для інтелектуального управління зовнішніми каналами зв'язку (мобільні, супутникові).

Проєктування мережевої інфраструктури для дорожньо-будівельних організацій має унікальну специфіку: об’єкт будівництва є не статичною спорудою, а динамічною, лінійно-протяжною зоною, де ключові елементи постійно переміщуються. У таких умовах традиційні рішення зв’язку виявляються неефективними через відсутність стабільного покриття мобільних операторів, обмеження дротового доступу та різнорідність типів трафіку.

Мета статті – підвищити надійність зв’язку за рахунок впровадження архітектури гібридної мережі, яка поєднує мобільну **Mesh-мережу** для локальної взаємодії та **SD-WAN** для інтелектуального управління зовнішніми каналами зв’язку [1].

Це забезпечить безперервність комунікацій, підвищіть відмовостійкість і оптимізує використання наявних ресурсів.

Дорожньо-будівельні проєкти характеризуються високою мобільністю персоналу й техніки, розтягнутістю території та відсутністю фіксованих точок підключення. Ділянка дороги протяжністю у десятки кілометрів не має єдиного центру — мобільний офіс у вигляді пересувного вагончика та важка техніка для виконання задач постійно змінюють своє розташування.

У таких умовах традиційна схема підключення (наприклад, 4G-модем у вагончику виконроба) створює лише ізольовану ділянку зв’язку, не здатну забезпечити комунікацію з технікою, розташованою навіть за кілька кілометрів. У результаті мережа набуває фрагментованого характеру з чергуванням ділянок покриття та "мертвих зон".

Мережеве навантаження на будівельному об’єкті є багатокомпонентним і охоплює різні типи даних, кожен із яких має власні вимоги до затримки, стабільності та пропускної здатності. До критичних належать дані GNSS/RTK-корекцій, для яких навіть незначна затримка, що перевищує одну секунду, може призвести до втрати точності позиціонування та помилок у роботі будівельної техніки. Паралельно з цим у мережі циркулює високопріоритетний трафік, представлений відеопотоками з камер безпеки та систем контролю процесів, таких як укладання асфальту. Окрему категорію становить фоновий трафік, який включає телеметрію численних сенсорів, оновлення програмного забезпечення, передавання службових журналів і звітів. Така різнорідність даних потребує гнучкого, диференційованого підходу до маршрутизації, що враховує затримки, обмеження пропускної здатності та вартість використання каналів зв’язку [1-2].

Ефективним способом вирішення цієї задачі є побудова гібридної архітектури, заснованої на поділі мережевої інфраструктури на два взаємопов’язані рівні. Перший — локальний, або Vehicle-to-Vehicle (V2V), — відповідає за безпосередню взаємодію між мобільними об’єктами на майданчику без залежності від зовнішніх операторів. Другий — глобальний, або Vehicle-to-Cloud (V2C), — забезпечує передавання агрегованих даних до центрального офісу або хмарної інфраструктури. Реалізація цієї концепції відбувається через інтеграцію Mesh-мережі та SD-WAN, які разом утворюють стійку, самоорганізовану систему зв’язку, здатну підтримувати безперервність комунікацій навіть у складних умовах польового середовища [1-3].

Мобільна Mesh-мережа у цій архітектурі виконує роль “нервової системи” будівельного майданчика, з’єднуючи всі елементи в єдину інформаційну структуру. Кожна одиниця техніки, зокрема асфальтоукладальники, котки чи екскаватори, обладнується захищеними вузлами, що одночасно виконують функції клієнтів і ретрансляторів. Завдяки цьому мережа здатна до

самоорганізації, автоматично визначаючи оптимальні маршрути передавання даних, і до самовідновлення — у випадку виходу з ладу або переміщення одного з вузлів трафік миттєво спрямовується альтернативним шляхом. Критично важливі локальні дані при цьому не покидають межі майданчика, що забезпечує мінімальні затримки та незалежність від зовнішніх каналів. Навіть за відсутності мобільного сигналу основні робочі процеси, які потребують синхронізації між машинами, продовжують функціонувати без перерв.

Технологія SD-WAN, що відповідає за глобальний рівень архітектури, виконує роль центру керування системи та забезпечує адаптивне підключення будівельного об'єкта до зовнішніх мереж. Основні вузли Mesh-системи, такі як вагончик виконроба або спеціалізована комунікаційна машина, обладнуються SD-WAN-шлюзами, які агрегують усі доступні зовнішні канали — мобільні SIM-карти різних операторів, зокрема 5G і LTE, супутниковий термінал, наприклад Starlink, а в окремих випадках і фіксований радіоканал базового табору. Централізований контролер SD-WAN у хмарі постійно моніторить якість кожного каналу, аналізуючи показники затримки, втрат пакетів та пропускної здатності. На основі заданих політик система інтелектуально розподіляє трафік: дані RTK-корекцій прямують через канал із найменшою затримкою, відеопотоки — через супутниковий або резервний LTE-канал, а телеметричні дані — через найдешевший стабільний маршрут. У разі погіршення якості сигналу система автоматично виконує безшовне перемикання між каналами, забезпечуючи безперервність з'єднання та збереження активних сесій [4].

Ключова технічна перевага запропонованої гібридної архітектури полягає у взаємодоповненні функціональних можливостей двох рівнів — локального (Mesh) та глобального (SD-WAN). Така інтеграція забезпечує стійкість і безперервність зв'язку навіть за умов часткової або повної втрати мобільного покриття. Наприклад, у ситуації, коли екскаватор виконує роботи в низинній зоні без доступу до операторської мережі, передавання телеметричних даних відбувається через Mesh-топологію до найближчого вузла, який має активне підключення до SD-WAN-шлюзу, розташованого, наприклад, на транспортному засобі у зоні стабільного сигналу. Цей шлюз виконує роль проміжного вузла маршрутизації, що забезпечує двосторонній обмін даними між локальною інфраструктурою майданчика та хмарним середовищем [4].

Завдяки такій організації інженерно-технічний персонал може здійснювати доступ до корпоративних інформаційних ресурсів (зокрема BIM-моделей, цифрових журналів робіт, систем диспетчеризації тощо) через Wi-Fi-з'єднання будь-якої машини, інтегрованої у Mesh-мережу. Це дозволяє підтримувати безперервну взаємодію із цифровими системами управління будівництвом навіть у повній відсутності зв'язку з базовими станціями операторів мобільного зв'язку.

З позиції інформаційної безпеки архітектура орієнтована на дотримання принципів конфіденційності, цілісності та доступності даних. Автентифікація вузлів у Mesh-мережі реалізується за допомогою сертифікатів X.509, що забезпечує унікальну ідентифікацію кожного пристрою, а шифрування трафіку виконується на рівні протоколу WPA3-Enterprise із використанням динамічного керування ключами. На глобальному рівні SD-WAN реалізує централізоване управління політиками доступу та сегментацію мережевого простору, що дозволяє ізолювати трафік різних типів — телеметричний, відео або службовий — відповідно до рівня критичності. Для міжвузлової взаємодії застосовуються IPSec-тунелі з апаратним прискоренням шифрування, що забезпечує високу пропускну здатність при збереженні криптографічної стійкості.

Додатковим елементом підвищення надійності системи є впровадження інтелектуального моніторингу мережевих ресурсів, який здійснює постійне спостереження за станом каналів зв'язку, навантаженням вузлів та параметрами якості сервісу (QoS). У разі виявлення деградації з'єднання або виходу вузла з мережі система автоматично генерує сповіщення для оператора та, за потреби, ініціює реконфігурацію маршрутів у реальному часі, що мінімізує ризики простою критичних сервісів.

Запропонована гібридна архітектура, що поєднує мобільну Mesh-мережу та SD-WAN, створює мобільну, масштабовану та відмовостійку мережеву інфраструктуру для лінійно-протяжних будівельних об'єктів. Вона усуває критичні точки відмови, забезпечує автономну взаємодію на майданчику і безперервний зв'язок із глобальними ресурсами. Незважаючи на складність реалізації (рухомі вузли, динамічна топологія, вимоги до безпеки), це рішення є одним із найбільш дієвих для сучасних будівельних організацій в умовах польового середовища.

Список використаної літератури

1. C. Fu, B. Wang, W. Wang, «Software-Defined Wide Area Networks (SD-WANs): A Survey», *Electronics*, vol. 13, no. 15, 2024, p. 3011. [Online]. Available: DOI:10.3390/electronics13153011. [Accessed: October 20, 2025]

2. «2020 State of the Network: SD-WAN, edge networking and security are hot», *Network World*, 2020. [Online]. Available: https://www.networkworld.com/article/968614/state-of-the-network-sd-wan-edge-networking-and-security-issues-heat-things-up.html [Accessed: October 20, 2025]

3. «Survey finds SD-WANs are hot, but satisfaction with telcos is not», *Network World*, 2019. [Online]. Available: https://www.networkworld.com/article/967447/survey-finds-sd-wans-are-hot-but-satisfaction-with-telcos-is-not.html [Accessed: October 20, 2025]

4. Cisco Systems, "Cisco SD-WAN for Critical Networks Infrastructure White Paper," Jul. 11 2025 [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise/design-zone-branch-wan/sd-wan-for-critical-networks-infrastructure-wp.html [Accessed: October 20, 2025]

УДК 004.9:629.7.052

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ БПЛА

Ластівка О.І. (2450626@stud.kai.edu.ua)
Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)

У роботі досліджується роль інформаційних технологій у забезпеченні ефективного управління життєвим циклом безпілотних літальних апаратів. Розглянуто ключові етапи життєвого циклу. Показано, що використання сучасних IT-рішень — систем моделювання, цифрових двійників, хмарних платформ та технологій обробки великих даних — сприяє підвищенню надійності, оптимізації витрат і створенню умов для інтеграції БпЛА в інтелектуальні системи управління.

Сучасні безпілотні літальні апарати (БпЛА) є складними технічними системами, що потребують інтеграції інженерних рішень та інформаційних технологій. Ефективність їх застосування залежить від здатності керувати всіма етапами життєвого циклу, починаючи від проєктування і закінчуючи утилізацією. У цьому контексті інформаційні технології виступають ключовим інструментом, який забезпечує автоматизацію, точність прогнозування, швидке прийняття рішень та підвищення якості експлуатації.

Основна частина. Одним з недоліків у розвитку вітчизняних БпЛА є відсутність чіткої та загальновизнаної структури їхнього життєвого циклу (ЖЦ).

Розглянемо перспективні методи та технології реалізації етапів ЖЦ БпЛА, який представлений на рис. 1. Необхідність таких засобів визначається тим, що використовувані в наш час вітчизняними розробниками засоби локальної автоматизації проектно-конструкторських робіт не дозволяють досягти різкого скорочення часу розробки БпЛА з одночасною оптимізацією сформованих проектних рішень.

Обов'язковою умовою отримання таких рішень є розробка математичних моделей, методів та алгоритмів теорії оптимального проектування БпЛА.

На етапі проєктування та конструкторської розробки інформаційні технології забезпечують можливість створення цифрових моделей апаратів, використання CAD/CAE-систем для аналізу аеродинамічних характеристик, віртуальних випробувань та моделювання польотів. Широкого застосування набувають цифрові двійники, які дають змогу перевіряти конструктивні рішення у віртуальному середовищі ще до виготовлення прототипу. Це дозволяє завчасно виявити слабкі місця конструкції та знизити витрати на подальші випробування.

У виробництві БпЛА інформаційні технології допомагають координувати процеси постачання й виготовлення, інтегрувати ERP- та MES-системи, контролювати якість складальних операцій і випробувань. Використання 3D-друку й адитивних технологій у поєднанні з цифровими

НТУ ХПІ

моделями значно пришвидшує створення прототипів та адаптацію конструкцій під конкретні завдання.

Рис.1. Етапи ЖЦ БпЛА

Експлуатаційний етап є одним із найбільш критичних у життєвому циклі БпЛА, адже він пов'язаний із безпекою польотів, стійкістю до зовнішніх факторів та ефективністю виконання місій. Тут інформаційні технології забезпечують збір і зберігання телеметричних даних у хмарних середовищах, аналіз великих обсягів інформації за допомогою Big Data та методів машинного навчання, а також прогнозування можливих відмов і оптимізацію маршрутів. Поєднання з геоінформаційними системами дозволяє виконувати завдання картографування, моніторингу довкілля та розвідки з високою точністю.

Не менш важливою складовою є модернізація БпЛА, яка забезпечується завдяки інформаційним технологіям віддаленого оновлення програмного забезпечення, аналітичним платформам для обґрунтування технічних рішень та моделюванню можливих сценаріїв удосконалення. Таким чином, навіть апарати, що вже перебувають в експлуатації, можуть отримувати нові функціональні можливості й відповідати актуальним вимогам.

На завершальних етапах життєвого циклу — утилізації та повторного використання — інформаційні технології сприяють побудові ефективних логістичних схем, аналізу придатності компонентів до подальшої експлуатації, а також формуванню баз знань для наступних поколінь безпілотних систем. Це дозволяє не лише мінімізувати витрати, а й зробити процес утилізації більш екологічним та раціональним.

Висновки. Інформаційні технології є фундаментальним чинником, що забезпечує ефективне управління життєвим циклом БпЛА. Вони дозволяють скоротити витрати на проєктування та експлуатацію, підвищити надійність апаратів, забезпечити їх гнучку інтеграцію у складні інформаційні системи. У майбутньому застосування цифрових двійників, великих даних та штучного інтелекту стане основою для розвитку інтелектуальних безпілотних систем нового покоління.

Список використаної літератури

6. Кашкевич С.О., Ластівка О.І. Аналіз дестабілізуючих чинників в каналах управління та передачі даних в безпілотних літальних апаратів. II Міжнародна науково-практична конференція «Integration of science and practice as a mechanism of effective development», 10-13 вересня 2024 р, Копенгаген, Данія. Р. 230-336

7. Кашкевич С.О., Ластівка О.І., Дегтяр Ю.В. Аналіз методів прогнозування сигнальнозавадової обстановки в системах мімо безпілотних авіаційних комплексів. III

Міжнародна науково-практична конференція «Modern trends in the development of science and information technologies», 17-20 вересня 2024 р. Софія, Болгарія. P. 244-248.

8. Ластівка О.І., Кашкевич С.О. Загальні принципи побудови телекомунікаційних систем на базі висотних аероплатформ. VI International Scientific and Theoretical Conference «Modernization of science and its influence on global processes» 20.09.2024. Bern, Switzerland. P. 93-95.

9. Журавський Ю.В., Становська І.І., Ластівка О.І. "Розробка методу оцінки з використанням комбінованого алгоритму зграї котів". XIII наукова конференція «Наукові підсумки 2024 року». Збірка наукових тез. – Харків, х.: технологічний центр, 2024 –87. С. 54.

10. Ластівка О.І., Кашкевич І.Ф-Ф. "Інтеграція програмних засобів для управління БпЛА". «Сучасні тенденції розвитку системного програмування», науково-практична конференція, 21-24 листопада 2024 р.: тези доп. – К., 2024. С. 65.

11. Shyshatskyi, A., Romanov, O., Shknai, O., Babenko, V., Koshlan, O., Pluhina, T., Biletska, A., Stasiuk, T., Kashkevich, S., & Kryvosheiev, V. (2023). "Development of a solution search method using the improved emperor penguin algorithm". Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6, 4 (126), 6–13. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291008.

12. Volodymyr Koval, Olena Nechyporuk, Andrii Shyshatskyi, Oleksii Nalapko, Oleh Shknai, Yevhen Zhyvylo, Viktor Yerko, Borys Kreminskyi, Oleksandr Kovbsiuk, Anton Bychkov. (2023). Development of a method of complex analysis and multidimensional forecasting of the state of intelligence objects. Eastern-european Journal of Enterprise Technologies, pp. 31−41. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276168.

13. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 202. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9.

УДК 004.77

ЗБІР ТА ОБРОБКА КОНФІГУРАЦІЙ ГІБРИДНИХ ХМАР

Малініч І. П., Іванчук Я. В.
(malinich@vntu.edu.ua, ivanchuck@vntu.edu.ua)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

При проведенні досліджень гібридних хмар необхідно зібрати різні хмарні конфігурації та переформатувати їх в уніфікований формат. Це можуть бути як складні конфігурації Google Anthos, Azure Arc, Rancher та Terraform, так і статті чи навіть зображення на веб-сайтах Інтернету. Якщо до появи загальнодоступних LLM-моделей їх було складно знаходити, обробляти та конвертувати в уніфікований формат, то тепер це стало набагато простіше зробити. В процесі пошуку можна знайти різні джерела використовуючи пошукову базу таких сервісів як GitHub, Google та можливості ChatGPT deep research. Для конвертації конфігурацій в уніфікований формат можна використати API-доступ до LLM-моделі OpenAI GPT-4.1. Іншим інструментом за допомогою якого зі картинок статей можна отримати більше структурних даних є Google Vertex AI Vision.

Для успішних досліджень у сфері гібридних хмар необхідно знайти та підготувати якісні початкові дані об'єкта дослідження – гібридних хмар [1, 2]. Найпростіший спосіб їх знайти – це виконати пошук сценаріїв розгортання Rancher, Terraform, Google Anthos чи Azure Arc [3] на сервісі онлайн-репозиторіїв GitHub, що власне і було зроблено при початку роботи над інформаційною базою дослідження. Серед знайдених сценаріїв було обрано лише ті, що мають стосунок до гібридних хмар та мультихмарного розгортання. Для видобування даних з джерел у вигляді сценаріїв розгортання, статей, форумів та зображень використано зв'язку хмарних інструментів з LLM-моделей та машинного зору (рис. 1). Часто в подібних матеріалах структура гібридної хмари не описана явно у вигляді взаємозв'язної структури яку можна просто переформатувати.

НТБОНТУ

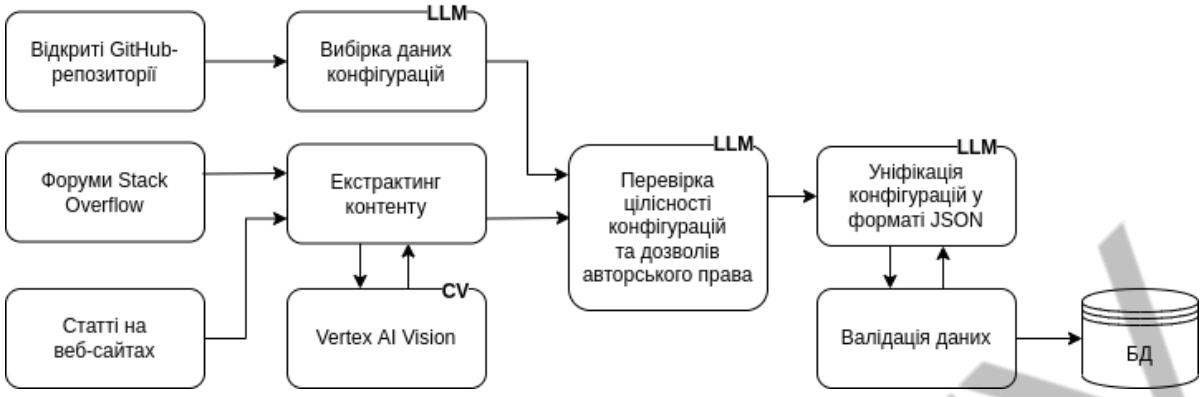


Рисунок 1 – Зв’язка хмарних інструментів штучного інтелекту для видобування

В статтях та обговореннях можуть бути описані різні сервіси, зв’язки між ними, їх функціонал, а також в якій частині гібридної хмари вони знаходяться. Для екстракції основного контенту із сторінки сайту використано бібліотек Readability від Mozilla, яка дозволяє відсіяти вторинне наповнення сторінки та залишити лише основний контент. Даний інструмент застосовується у браузері Mozilla Firefox для активації режиму читання, прибираючи сторонні елементи веб-сайту. Іншою проблемою є те в самій статті може не бути детально описано структуру хмари, а сама структура може бути зображена на картинках, як до прикладу це зроблено у статті блогу [4]. Сервіс розпізнавання Vertex AI Vision дозволяє виокремити окремі об’єкти на зображенні та виявити між ними зв’язки у вигляді ліній чи стрілок [5]. Також він може розпізнати текстові підписи під об’єктами за допомогою OCR. На жаль даний сервіс не орієнтується у семантиці хмарних структурних діаграм, тому у зв’язці з ним необхідно використовувати LLM-модель, яка зможе інтерпретувати виявлені Vertex AI Vision об’єкти та пояснити компоненти і типи з’єднань [5].

Наступним чином потрібно проводити перевірку кожного екстрактованого матеріалу з текстового та/або графічного контенту на предмет наявності в ньому цілісного опису хмарної інфраструктури, а також на відсутність обмежень авторського права на повторне використання чи обробку засобами штучного інтелекту. У різних матеріалах може бути різний рівень абстракції хмарної інфраструктури. Дане дослідження зосереджує фокус на платформному та сервісному рівнях абстракції хмар, в той час як інфраструктурних рівень хмар не містить корисних даних для даного дослідження. Тому при застосуванні LLM-моделей для відбору матеріалів для подальшої обробки необхідно задати інструкції для виявлення хмарних сервісів, виявлення між ними зв’язків та належності до приватної чи публічної частини хмари.

Незважаючи на простоту перевірки їх цілісності, обробка сценаріїв Terraform також є досить складним завданням, оскільки різні процеси сценарію розгортання можуть бути роззосереджені по різним файлам. Але виявлення зв’язків між сервісами може бути менш очевидним, оскільки в коді сценаріїв розгортання може не бути описано характеру зв’язків, а виявлені вони можуть бути лише в процесі виконання. Потенційними ознаками зв’язку може слугувати визначення змінних оточення для того чи іншого сервісу, яких описуються параметри з’єднання з іншими сервісами, оскільки у Docker та Kubernetes зв’язки задаються через змінні оточення. При розгортанні створюються контейнери, які отримують певне визначене сценарієм розгортання ім’я на внутрішньому DNS-сервері кластеру [6]. Наприклад при розгортанні веб-додатку є чотири складові: фронтенд, бекенд, база даних та кеш, кожна складова має своє ім’я. Фронтенд матиме відповідні змінні для зв’язку із бекендом та кешем, бекенд у свою чергу матиме зв’язок із базою даних за наперед визначеними параметрами доступу. Таким чином можна встановити зв’язки між ними із зазначенням залежностей. Виявлення таких зв’язків може бути визначено у вигляді окремої інструкції для LLM-моделей, що працюватимуть з git-репозиторіями. Крім того навіть у такому випадку може порушуватись зв’язність між окремими сервісами. Для встановлення відсутніх зв’язків у випадку появи острівних сервісних осередків можуть бути використані можливості більш складних LLM-моделей для їх з’єднання. При перевірці цілісності варто ввести абстракції таких об’єктів як хмарні сервіси, зв’язки між ними (залежності), мережі, а також

мережеві шлюзи та екрани як їх складові, які після збору та обробки даних будуть структуровані у вигляді наборів даних JSON (рис. 2).

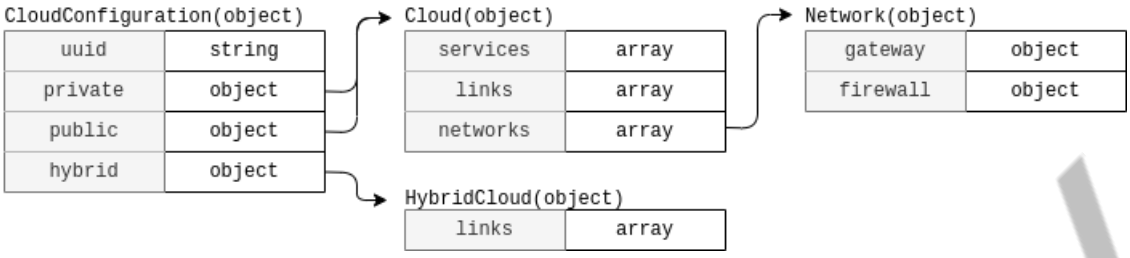


Рисунок 2 – Ієрархія об’єктів набору даних JSON

Іншою стороною застосування LLM-моделей для уніфікації хмарних конфігурацій є ризик спотворення даних – як внаслідок галюцинацій [7] та ігнорування контексту [8], так і прикладних помилок, наприклад створення помилкових залежностей або конфліктуючих налаштувань. Крім того та чи інша модель LLM-модель може покладатись на певні шаблони із своїх навчальних даних і таким чином може ускладнити хмарну конфігурацію при її уніфікації. Це можна виправити на етапі роботи алгоритму валідації даних (рис. 1). Для кожної помили можна створити набір інструкцій для LLM-моделей, які дозволять їх виправити.

Висновок. В результаті дослідження в Інтернеті знайдено 401 хмарну конфігурацію, які задовільняли базові вимоги вибірки. З них було відкинуто 31 конфігурацію через ліцензійні обмеження. Зібрано структуровані дані про 158 хмарних конфігурацій, в яких сумарно знаходяться дані про 1207 хмарних сервісів. Решта 212 хмарних конфігурації на момент написання публікації не мали достатньої цілісності для подальшої роботи. Метадані та джерела хмарних конфігурації розміщено у репозиторії GitHub [9]. В подальших дослідженнях планується виконати більш

Список використаної літератури

[1]І. П. Малініч та Я. В. Іванчук, "Особливості розміщення мікросервісів систем управління навчанням у гібридних хмарах," System technologies, no. 3(158), 2025, pp. 157-170.

[2]І. П. Малініч та Я. В. Іванчук, “Показники оцінки мережевої доступності та зв’язності інформаційних систем у обчислювальних хмарах,” у Матеріали 2-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні системи та технології: результати і перспективи», Київ, Україна, 5 березня 2025 р. – Київ: ФІТ КНУТШ, 2025, с. 248-251.

[3]C. Luca, "Architecture of Multi-Cloud Kubernetes Environments," Preprint, Mar. 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/388527469_Architecture_of_Multi-Cloud_Kubernetes_Environments [Accessed: Apr. 16, 2025].

[4]B. Downey, "Building a Kubernetes Hybrid Cloud with Terraform," ITNEXT. [Online]. Available: https://itnext.io/building-a-kubernetes-hybrid-cloud-with-terraform-fe15164b35fb [Accessed: June 9, 2025].

[5]G. S. Manikanta, D. Likitha, B. Hareesh, G. Ajay Kamal, and A. Subha, "Object Detection Using Vertex AI AutoML," International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, vol. 14, no. 4, pp. 9304–9312, 2025.

[6]M. Waseem, A. Ahmad, P. Liang, M. A. Akbar, A. A. Khan, I. Ahmad, M. Setälä, and T. Mikkonen, "Containerization in Multi-Cloud Environment: Roles, Strategies, Challenges, and Solutions for Effective Implementation," arXiv preprint arXiv:2403.12980, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2403.12980 [Accessed: Sep. 26, 2025].

[7]A. Yarovyi, D. Kudriavtsev, S. Baraban, V. Ozeranskyi, L. Krylyk, A. Smolarz, and G. Karnakova, “Information technology in creating intelligent chatbots,” Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019, Art. no. 1117627, doi: 10.1117/12.2537415.

[8]A. Yarovii, D. Kudriavtsev, and P. Olena, “Improving the accuracy of text message recognition with an intelligent chatbot information system,” in Proc. 2020 IEEE 15th Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. (CSIT), Zbarazh, Ukraine, 2020, pp. 76–79, doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9322036.

[9]Hybrid Cloud Configurations Metadata Collection. GitHub repository [Online]. Available: https://github.com/linuxation/hybrid-scan/ [Accessed: Sep. 26, 2025].

УДК 621.391.8

ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ СИГНАЛУ У ПРИМІЩЕННІ НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Михалевський Д.В., Бриль Д.Р. (adotq@ukr.net)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

В тезах розглядається особливості сучасних нейронних мереж та їх застосування для аналізу, прогнозування й оцінювання параметрів безпровідних каналів корпоративних телекомунікаційних мереж. Подаються результати обробки експериментальних досліджень у приміщенні із використанням основних типів нейронних мереж.

Розвиток сучасних безпровідних технологій 5G/Wi-Fi потребує вирішення складних завдань проектування інфокомунікаційних корпоративних мереж та оптимізації їх ресурсів. Це досягається за рахунок використання моделювання, аналізу та прогнозування характеристик каналів передачі інформації, особливо безпровідних, які характеризуються високою динамікою зміни параметрів у часі, характеристиками затухання, інтерференцією та багатьма іншими факторами впливу [1]. Забезпечення стабільного та передбачуваного рівня якості сеансів передачі кадрів й оптимальне використання ресурсів мережі потребують точного оцінювання поточного стану каналу та передбачення його поведінки у майбутньому [2]. Традиційні підходи до оцінювання та прогнозування параметрів каналів зазвичай використовують математичні моделі, такі як лінійна регресія, авторегресійні процеси, фільтри Калмана, ARIMA, MMSE та ін. і мають ряд обмежень, особливо в умовах нестандартних або швидко змінних параметрів та характеристик, а також потребують точних значень параметрів [3]. Мінімізація такого недоліку передбачає використання машинного та глибинного навчань. На основі цього, широкого поширення набули нейронні мережі, здатні працювати із великими обсягами даних й автоматично виявляти складні нелінійні закономірності між параметрами каналів передачі інформації та характеристиками мережі. Нейронні мережі мають свою класифікацію, зокрема для задач аналізу і прогнозування найчастіше застосовують такі типи: згорткові нейронні мережі (CNN), які використовуються для визначенні просторових та локальних закономірностей флуктуацій параметрів сигналу; рекурентні нейронні мережі (RNN) призначені для обробки послідовностей даних і особливо ефективні у роботі із параметрами каналу які змінюються в часі [4]. Мережі типу LSTM (із довгою короткочасною пам'яттю) й GRU (рекурентний блок із вентилями) дозволяють враховувати довготривалі залежності, що важливо при прогнозуванні характеристик безпровідних каналів. Особливо можна відмітити так звані «трансформери», які мають механізм самоуваги, що дозволяє нейронній мережі визначати вагомі значення історії сигналу під час створення прогнозу [5]. Такі структури значно покращують точність при обробці довгих послідовностей та дозволяють ефективно розпаралелювати навчання, що відкриває шлях до застосування у режимі реального часу на сучасних корпоративних телекомунікаційних мережах.

Застосуємо можливості вказаних нейронних мереж для оцінювання поширення сигналу у приміщенні для безпровідних телекомунікаційних мереж стандарту Wi-Fi. Для цього проведемо аналіз експериментальних досліджень для приміщення, за методикою як у роботі [6], але із застосуванням вказаних типів моделей, які реалізовано за допомогою засобів Python. Результати аналізу наведено на рис. 1.

Як видно із результатів на рис. 1, аналіз та прогнозування поверхні поширення сигналу мають відмінності відповідно до типу застосованої нейронної моделі. Тоді, додатково можна провести оцінювання ефективності на основі середньоквадратичної помилки (RSME) та коефіцієнту детермінації R^2. Результати наведено на рис. 2.

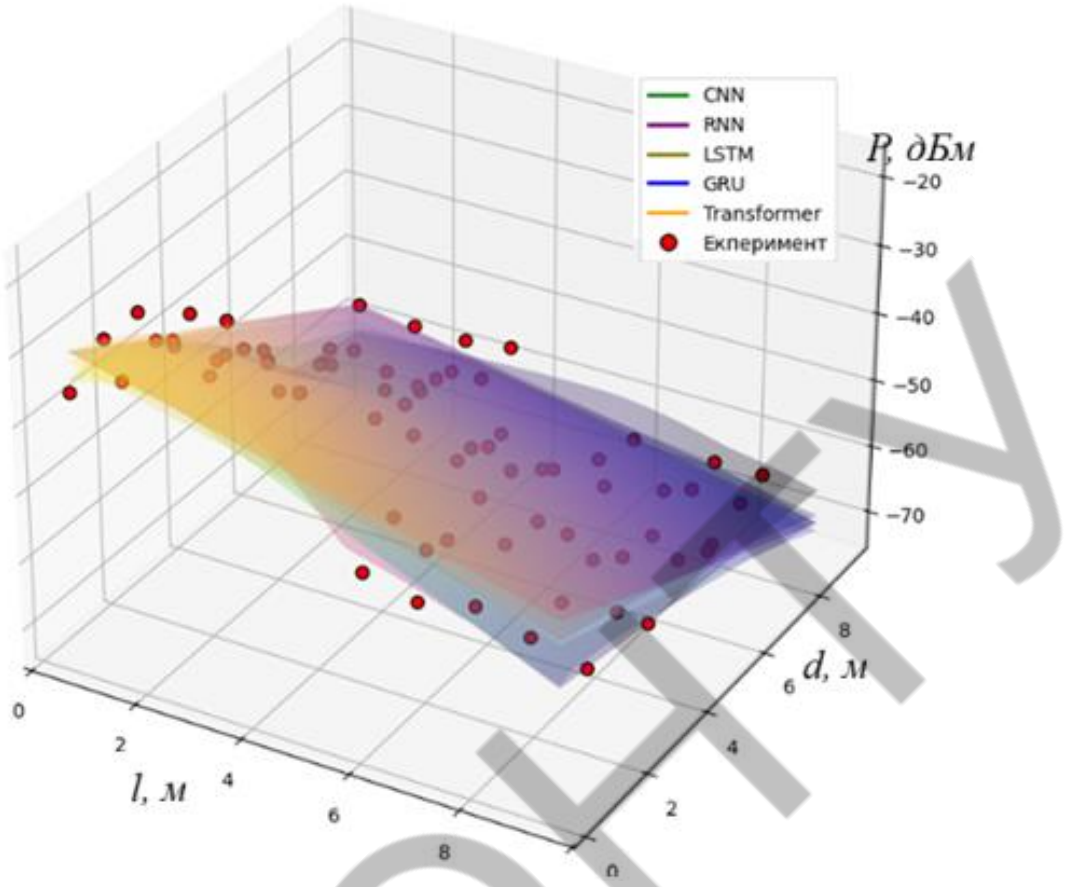


Рис. 1. Результати аналізу результатів вимірювань за допомогою нейронних мереж

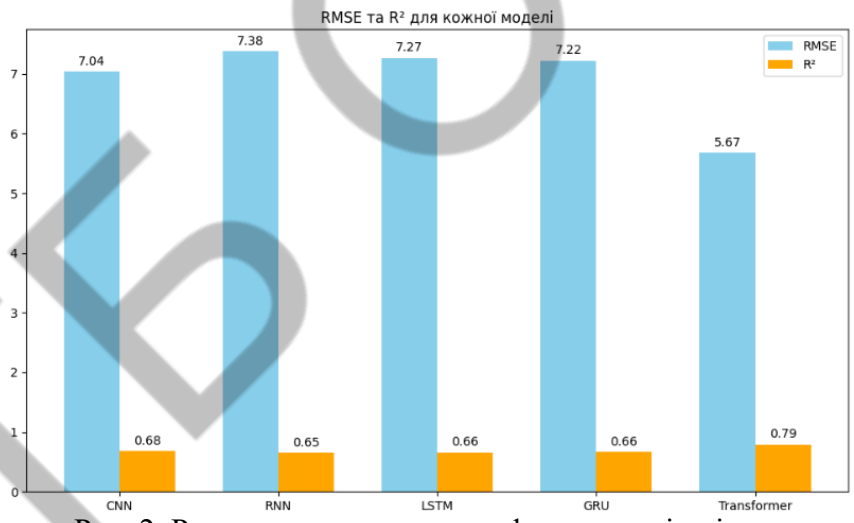


Рис. 2. Результати розрахунку ефективності оцінювання

Як видно із результатів досліджень, класичні нейронні мережі показують схожість результатів оцінювання, на відміну від трансформера. В результаті використання технології самоуваги дозволяє ефективніше виконувати аналіз та прогнозування поверхні поширення сигналу при меншому рівні помилки, що дозволяє використовувати трансформер для операцій оцінювання на значних періодах роботи каналу із існуванням значної кількості факторів впливу.

Таким чином, при проведенні операцій оцінювання та прогнозування поширення сигналу у приміщенні для корпоративних телекомунікаційних мереж за допомогою нейронних мереж досягається значне спрощення, але при цьому спостерігаються обмеження, які полягають в наступному: потреба у великих тренувальних базах вимірювальних значень, що безпосередньо впливає на точність; складність реалізації нейронних мереж, особливо трансформерів, що потребують значних обчислювальних ресурсів; складність пояснення поведінки та поява галюцинацій.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] Mykhalevskiy D. V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band. Latvian journal of physics and technical sciences. 2019. № 1. Pp. 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.

[2] Mykhalevskiy D. V., Kychak V. M. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard. Latvian journal of physics and technical sciences. 2019. № 2. Pp. 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.

[3] Li, B., Zheng, Q., Tian, X., Tian X., Yang M., Gui G., Jiang W., Lei H., Jiang J., Feng Shu F., Elhanashi A., Saponara S. A Survey of Artificial Intelligence Enabled Channel Estimation Methods: Recent Advance, Performance, and Outlook. Artif Intell Rev 58, 187 (2025). https://doi.org/10.1007/s10462-025-11202-0.

[4] Dong P., Zhang. H., Li G. Y., Gaspar I. S., Alizadeh N. N. CNN-Based Channel Estimation for mmWave Massive MIMO Systems. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2019. Vol 13. I. 5. **Pp.** 989 – 1000. **DOI:** 10.1109/JSTSP.2019.2925975

[5] Dong P., Thompson J. Attention Based Neural Networks for Wireless Channel Estimation. arXiv:2204.13465v1. 2022. Pp 1-5. DOI: 10.48550/arXiv.2204.13465

[6] Mykhalevskiy D., Vasylkivskiy N., Horodetska O. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. Easten-European Journal of Enterprise Technologies 2017. №4/9 (88). Pp. 38–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.

УДК 004.7+004.722

ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ В БЕЗДРОТОВИХ САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ

Нєнов О. Л., Гришковець Є. П. (anotnew@gmail.com, zhenjagryshkovets@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглянуто теоретичні моделі оцінювання зв'язності в бездротових самоорганізованих мережах (WSN, MANET, IoT). Наведено аналітичні співвідношення для порогів зв'язності та k-зв'язності в різних топологіях — випадкових геометричних, сіткових і масштабно-інваріантних. Проаналізовано вплив відмов вузлів і зв'язків, щільності розміщення та радіусу зв'язку на глобальну зв'язність. Сформульовано напрями подальших теоретичних і емпіричних досліджень.

1. Постановка проблеми

Самоорганізовані бездротові мережі є ключовою технологічною основою для сучасних систем інтернету речей, розумного міста, мобільних сенсорних систем, військових комунікацій тощо. Одним із фундаментальних питань їх побудови є забезпечення глобальної зв'язності при мінімальних витратах енергії та обмежених ресурсах.

Зв'язність визначає, чи існує шлях між будь-якими двома вузлами мережі, і безпосередньо пов'язана з її надійністю, відмовостійкістю та здатністю до самоорганізації [1]. На відміну від традиційних фіксованих мереж, топологія самоорганізованих систем є динамічною, що потребує статистичних та аналітичних методів оцінювання.

2. Теоретичні основи моделювання зв'язності

Найпоширенішою моделлю для теоретичного аналізу є випадковий геометричний граф (*Random Geometric Graph, RGG*), в якому n вузлів рівномірно розподілено в області площі A, а зв'язок між вузлами існує, якщо відстань між ними не перевищує радіуса зв'язку r.

Ймовірність зв'язності мережі $P_c(n, r)$ визначається як ймовірність того, що всі вузли належать одній компоненті зв'язності.

У роботах [2] та [3] доведено, що існує порогове значення радіуса зв'язку r_c, при якому ймовірність зв'язності різко переходить від 0 до 1, аналогічно до явища фазового переходу: $r_c \sim \sqrt{\frac{\ln n + c}{n}}$, де c — константа, що залежить від бажаного рівня гарантії зв'язності.

Важливим аспектом дослідження зв'язності самоорганізованих мереж є вплив топології на зв'язність. У сенсорних мережах розгортання часто є випадковим (*Random Deployment*). Зв'язність тут визначається лише щільністю вузлів і радіусом зв'язку. Збільшення r або n підвищує степінь кожного вузла $d \approx \pi n r^2$ і, відповідно, ймовірність зв'язності. Показано, що для надійної зв'язності в середньому необхідно, щоб виконувалася умова $d \geq \ln n$.

Якщо вузли розміщено на регулярній решітці (сіткова топологія, *Grid*), поріг зв'язності нижчий. У таких мережах можливо досягти дво- або трикратної надмірності шляхів (2- або 3-зв'язність) навіть при менших радіусах зв'язку. Аналітично це виражається через мінімальну кількість сусідів $k_{\min}$, за якої граф залишається зв'язним.

Для самоорганізованих мереж, де ймовірність з'єднання залежить від степеня вузла, виникає неоднорідна, так звана масштабно-інваріантна (*Scale-Free*) структура: більшість вузлів мають низький степінь, а меншість — високий. Такі топології є більш стійкими до випадкових відмов, але вразливими до цілеспрямованих атак [4].

Для оцінювання стійкості до відмов вузлів вводиться поняття k-зв'язності: мережа залишається зв'язною після видалення будь-яких $k-1$ вузлів. Поріг для k-зв'язності у випадковій топології визначається як $r_c \approx \sqrt{\frac{\ln n + (k-1)\ln\ln n + c}{n}}$. Таким чином, для двозв'язної мережі ($k=2$) необхідне збільшення середнього ступеня приблизно на $\ln\ln n$ порівняно з базовим порогом. Наявність декількох незалежних шляхів між вузлами істотно підвищує ймовірність збереження глобальної зв'язності при відмовах або втраті окремих зв'язків між вузлами.

Теоретичні моделі лягають також в основу алгоритмів топологічного контролю, які дозволяють вузлам самостійно регулювати радіус зв'язку, зберігаючи глобальну зв'язність при мінімальному енергоспоживанні. Типовими підходами є:

- алгоритми на основі степеня (*degree-based*) — вузол підтримує фіксовану кількість сусідів;
- алгоритми на основі відстані (*distance-based*) — потужність передавання зменшується, доки мережа залишається зв'язною;
- енергетично-збалансовані схеми, що підтримують 2-зв'язність із мінімумом надлишкових ребер [6].

Теоретичні моделі дозволяють аналітично визначати граничні умови таких схем — наприклад, мінімальний середній степінь або ймовірність, за якої мережа залишається двозв'язною з імовірністю не менше 0,95.

Висновки

Теоретичне оцінювання зв'язності бездротових самоорганізованих мереж базується на апараті випадкових графів і теорії порогових процесів. Основні висновки:

- зв'язність має пороговий характер — існує критичне значення радіуса зв'язку, при якому ймовірність глобальної зв'язності зростає стрибком;
- k-зв'язність забезпечує резервування шляхів і підвищує відмовостійкість без значного збільшення енергоспоживання;
- тип топології (випадкова, сіткова, масштабно-інваріантна) визначає чутливість мережі до відмов і її здатність до самоорганізації;
- аналіз впливу випадкових і цілеспрямованих відмов дозволяє визначити межі стабільності мережі.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на верифікацію теоретичних оцінок методом імітаційного моделювання та побудову узагальненої моделі, що враховує одночасно топологічні, енергетичні та часові фактори.

Список використаної літератури

[1] P. Santi, "*Topology control in wireless ad hoc and sensor networks"*, ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 37, Issue 2, pp. 164–194, 2005.

[2] M. D. Penrose, "*Random Geometric Graphs"*, Oxford University Press, 2003. 344 p.

[3] F. Xue and P. R. Kumar, "The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks," *Wireless Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 169–181, 2004.

[4] R. Albert, H. Jeong, and A.-L. Barabási, "Error and attack tolerance of complex networks," *Nature*, vol. 406, pp. 378–382, 2000.

[5] Y. Huang, J.-F. Martínez, J. Sendra, L. López, “Resilient Wireless Sensor Networks Using Topology Control: A Review,” *Sensors*, vol. 15 (10), 24735-24770, 2015.

[6] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, R. Morris, “Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks,” *Wireless Networks*, vol. 8, pp. 481–494, 2002.

УДК 004.4:004.7:621.391

ФУНКЦІОНАЛЬНА АЛГЕБРА ПОЛІТИК І FRP ДЛЯ СТАБІЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ ТЕЛЕМЕТРІЇ В NB-IOT ТА LORAWAN

Ніконоров А.О. (ponchikd97@gmail.com)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У роботі запропоновано формальний підхід до адаптивної телеметрії у вузькосмугових IoT-мережах (NB-IoT, LoRaWAN), який трактує налаштування частоти, формату та надійності передачі як композицію чистих перетворень над потоками повідомлень. Поєднання функціональної алгебри політик з функціональним реактивним програмуванням (FRP) дає можливість описати динаміку RTT, втрат і duty-cycle через сигнальні функції та обґрунтувати контрактні оновлення параметрів. Визначено закони переписування для оптимізації конвеєра (Encode, Delta, Batch, Throttle, QoS, Guard, Choose, Timeout) і наведено ескізи доведень стабільності на основі дрейфу Ляпунова та теореми Банаха про стискальні відображення.

Вступ. Сучасні LPWAN-технології (NB-IoT, LoRaWAN) поєднують великий радіус дії з низьким енергоспоживанням, але накладають суворі обмеження на пропускну здатність, ефірний час і затримки. Статичні схеми на кшталт фіксованих інтервалів, текстових JSON-навантажень і жорстко заданих рівнів QoS часто призводять до зривів SLO та розбалансування черг. Роботи з оцінювання надійності MQTT-систем у нестійких каналах підкреслюють потребу в систематичних підходах до робастності, але зазвичай не пропонують мов чи алгебр для доведень і оптимізації [1]. Паралельно з’являються способи пріоритизації трафіку в MQTT, проте вони зосереджені на механіках чергування, а не на композиційних моделях адаптації [2]. Формальні роботи з мережевих політик (зокрема NetKAT) ілюструють переваги екваціональних методів для верифікації й оптимізації, що мотивує перенесення подібних ідей до телеметрії IoT [3].

Мета дослідження. Сконструювати компактну алгебру політик і реактивну модель каналу, які дозволяють задати адаптацію як чисті композиційні перетворення, гарантувати стабільність (обмеженість черг, відсутність осциляцій, збереження backpressure) та узгодити її з механізмами MQTT v5 без модифікації брокерів.

Основний текст. Алгебра політик складається з операторів Encode, Delta, Batch, Throttle, QoS, Guard, Choose, Timeout. Їхня денотаційна семантика формулюється як відображення над потоками повідомлень, тоді як операційна семантика наводиться через відповідники в MQTT v5 (Receive Maximum, Maximum Packet Size, Topic Alias, Message Expiry). Ключові закони переписування: (i) ідемпотентність Batch-агрегації у межах часових вікон; (ii) умовна комутативність Encode і Batch для розмірно-монотонних кодеків; (iii) монотонність черг за параметрами r, w і W. Реактивну модель каналу побудовано в парадигмі FRP: RTT, втрати та duty-cycle описуються сигнальними функціями; параметри політик оновлюються контрактно, що унеможливлює осциляції та гарантує збіжність до фіксованої точки. Підхід узгоджено з практиками раннього виявлення критичних подій, де пріоритети й термін дії повідомлень відіграють ключову роль [4]. Додатково враховано особливості тестування IoT-застосунків у модельованих мережах, що забезпечує відтворюваність експериментів [5].

У вузькосмугових каналах зв’язку ключовим завданням є не лише формалізація базових операторів керування, а й забезпечення їх динамічного коригування відповідно до змін стану мережевого середовища. Позначимо через S_t вектор показників якості обслуговування (SLI), який

містить експоненційно згладжені значення затримки (RTT), імовірності втрат пакетів та глибини черги.

Поточний набір параметрів політики можна подати у вигляді $u_t = (r, w, W, k, fmt)$, де r — швидкість передавання даних, w — розмір вікна пакетування, W — гранична кількість активних повідомлень, k — рівень якості обслуговування (QoS), а *fmt* — формат серіалізації.

Щоб запобігти нестабільності або осциляціям під час адаптації системи, використовується контрактивний механізм оновлення параметрів, який обмежується умовою Ліпшиця:

$$u_{t+1} = F(u_t, S_t),$$

де

$$\| F(u,S) - F(u',S') \| \leq L \cdot (\| u - u' \| + \| S - S' \|), 0 < L < 1.$$

Це забезпечує поступове, згладжене коригування політик без перевищення порогів чутливості, що гарантує збіжність процесу налаштування та виключає виникнення коливань у поведінці системи.

Результати та обговорення. Аналітично показано, що за умови допустимого навантаження каналів і обмеження кількості «in-flight» повідомлень політикою Throttle, дрейф Ляпунова для сумарної довжини черг від'ємний, що обмежує буфери навіть за великих RTT. Контрактні оновлення параметрів із коефіцієнтом Ліпшиця $\lambda<1$ забезпечують монотонне відновлення та відсутність коливань після деградацій. Поєднання Encode+Delta+Batch зменшує bytes-on-wire, що критично важливо для duty-cycle у LoRaWAN; одночасно механізми QoS і Message Expiry запобігають накопиченню застарілих даних у NB-IoT.

Для оцінювання ефективності запропонованого підходу розроблено методологію експериментів, яка поєднує емуляційні середовища, реальні LPWAN-стеки та набір відтворюваних сценаріїв навантаження. У таблиці наведено ключові параметри середовищ та типи трафіку, які застосовувалися для навантажувального тестування(табл. 1).

Таблиця 1. Тестові середовища та сценарії навантаження

Середовище	**Опис**
NB-IoT	Емуляція за допомогою Linux tc netem, параметри затримки RTT 1–10 с, стохастичні втрати пакетів (bursty loss).
LoRaWAN	Експерименти на базі ChirpStack та The Things Stack (EU868), з урахуванням duty-cycle.
Типи навантаження	• Періодична телеметрія: інтервали 1 / 5 / 60 с • Імпульсні події: 10 повідомлень за 1 с • Потоки стану (state-delta): часткові зміни 5–20% полів

Таким чином, обрані середовища дозволяють змоделювати як граничні умови роботи каналів (високі затримки, втрати), так і типові сценарії використання IoT-телеметрії.

Висновки. Запропонована алгебра з реактивною моделлю створює основу для SLO-керованої телеметрії у LPWAN, дозволяє проводити екваціональні оптимізації конвеєрів і забезпечує формальні гарантії стабільності. Подальші роботи включатимуть розширення набору операторів (пріоритезація, семплінг) і формальну верифікацію у TLA+ / Coq на реальних трасах.

Список використаної літератури

[1] B. Jesus, F. Lins, and N. Laranjeiro, "An approach to assess robustness of MQTT-based IoT systems," Internet of Things, vol. 31, no. 4, art. no. 101590, 2025, doi: 10.1016/j.iot.2025.101590.

[2] P. Akshatha, S. Divyashree, and S. Dilip Kumar, "Priority-enabled MQTT: A robust approach to emergency event messaging," Journal of Engineering and Applied Science, vol. 71, p. 67, 2024, doi: 10.1186/s44147-024-00400-2.

[3] C. J. Anderson, N. Foster, and A. Silva, "NetKAT: Semantic foundations for networks," in Proc. POPL, 2014, pp. 113–126, doi: 10.1145/2578855.2535862.

[4] N. Uchida, S. Endo, T. Ishida, H. Yuze, and Y. Shibata, "Enhanced MQTT method with IoT data priority controls for scalability and reliability on early landslide warning system," in Int. Symp. on Mobile Internet Security, 2022, pp. 257–267, doi: 10.1007/978-981-99-4430-9_19.

[5] S. Popereshnyak, O. Suprun, O. Suprun, and T. Wieckowski, “IoT application testing features based on the modelling network,” in 2018 XIV-th Int. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), 2018, pp. 127–131, doi: 10.1109/MEMSTECH.2018.8365717.

УДК 004.7

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ РЕСУРСИ КОМПОНЕНТІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Окунцов Д.К., Сіренко О.І (4Donic@gmail.com, olexandr.sirenko@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

В тезі розглядається тема сучасної проблеми збільшення обсягу інформації, що генерується кожен день та створює навантаження на елементи мережі Інтернету Речей. Були проведені дослідження для визначення найбільш важливих ресурсів обчислювального пристрою прийому та передачі даних з сенсорів до серверу.

Постановка проблеми.

Інтернет речей (IoT), як одна з найбільш активно зростаючих галузей у сучасному IT просторі, породжує великий обсяг трафіку, що нерівномірно навантажує обчислювальні ресурси - процесори (CPU), оперативну пам’ять (RAM), дискові операції (IOPS) та мережеві ресурси. Ускладнює презентовану ситуацію ще й варіативність запитів та різнорідність архітектур в яких обробляються дані, таких як Edge, Fog, Mist та Cloud. Це потребує формалізованої класифікації запитів, системи моніторингу ресурсів та інструментів оптимізації розподілу навантаження. Ця робота буде фокусуватися на другій з цих опцій, розглядуючи та аналізуючи існуючі аналоги моніторингу та оптимізації обчислювальних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З публікацій на тему цієї проблеми було вибрано чотири, що приведені у списку літератури. У публікації "IoT Workload Emulation for Data Centers” [1] автори представвили метод емуляції IoT-навантажень на основі шаблонів запитів, що дозволяє точно моделювати навантаження в ЦОД (Центру Обробки Даних). Це допоможе з тестуванням нових методів моніторингу.

У "Monitoring Framework for the Performance Evaluation of an IoT Platform" [2] запропоновано систему моніторингу IoT-платформи з використанням ELK (Elasticsearch, Logstash, Kibana) для оцінки реального навантаження по ключовим метрикам. Це дасть один з варіантів начальної бази для роботи.

У роботі, отриманої з політехнічного університету Валенції "An Evaluation Process for IoT Platforms in Time-Sensitive Domains" [3] описано поетапну процедуру оцінки продуктивності IoT-платформ у часово-чутливих системах, що допоможе зрозуміти, наскільки розроблена IoT-платформа є підходящою для конкретних випадків виористання.

У "A refined Greylag Goose optimization method for effective IoT service allocation in edge computing systems" [4] модифіковано алгоритм «GGO», у результаті чого ними було розроблено алгоритм «MGGO» для ефективного розподілу IoT-запитів між вузлами з метою зменшення затримки, енергоспоживання та оптимізації навантаження. Використання цього алгоритму допоможе оптимізувати навантаження за час емуляцій.

Формулювання мети дослідження.

Метою цієї роботи є аналіз та дослідження теоретичних підходів до оцінки навантаження IoT-систем та розробка методики моніторингу обчислювальних ресурсів (CPU, RAM, IOPS тощо) у IoT-архітектурах задля подальшого покращення виявлення ефекту «вузького місця» на кожному рівні системи. Це допоможе знайти у архітектурі найбільш критичні точки зі сторони уповільнення усієї системи.

НТБОНТУ

Основний матеріал дослідження.

Аналіз літератури та дослідження апаратури (за об'єкти дослідження було взято мікроконтролер «Raspberry Pi 5» та його технічні характеристики [5] та сенсор термопари MAX31855 та його технічні характеристики [6]) дозволив виявити такі найбільш важливі компоненти та характеристики системи на базі архітектури інтернету речей Edge Computing, як:

- CPU (Центральний процесор мікроконтролеру) – Частота (Hz), кількість ядр.

o Центральний компонент навантаження Інтернету речей, обробляє отриману інформацію для подальшого зберігання та передачі. Один з перших компонентів, що може затримати всю систему.

- Мережеві ресурси – швидкість передачі інформації(B/s).

o Передача інформації на центральний сервер/Хмару. Потрібна достатня швидкість передачі для моніторингу статусів сенсорів у реальному часі.

- Дискові ресурси та дискові операції мікроконтролеру – ємність (GB), кількість операцій за секунду (I/OPS), метод запису (послідовний або випадковий запис).

o Зберігання інформації для подальшого відправлення на сервер/Хмару. Має мати достатньо ємності для зберігання усіх сенсорних показників за деякий час роботи усіх сенсорів, інакше буде загублення даних.

- RAM (Оперативна пам'ять мікроконтролеру) – ємність(GB)

o Допомога дисковим ресурсам за рахунок буферизації при перенавантаженні тих випадковими записами.

- Компонент передачі інформації сенсору – об'єм інформації(B), частота передачі (Hz).

o Вирішує об'єм інформації та кількість разів її відправлення до мікроконтролеру за період однієї секунди. Є джерелом навантаження.

Висновок.

У роботі було проаналізовано актуальні проблеми ефективного використання обчислювальних ресурсів в системах IoT, такими як CPU, RAM, дискові та мережеві ресурси. У подальшому в магістерській роботі планується інтеграція отриманих результатів у програмну модель, яка дозволить прогнозувати навантаження та активно спостерігати за використовуваними ресурсами IoT-систем у режимі реального часу.

Список використаної літератури

[1] Thomas Batz, Reinhard Herzog, Jon Summers, Kym Watson "IoT Workload Emulation for Data Centers", 2021.

[2] Gonzalo Calderon, Guillermo del Campo, Edgar Saavedra, Asunción Santamaría "Monitoring Framework for the Performance Evaluation of an IoT Platform". "Information Systems Frontiers", Volume 26, pages 2373–2389, 2024.

[3] Marisol García-Valls, Eva Palomar-Cosín "An Evaluation Process for IoT Platforms in TimeSensitive Domains" Polytechnic University of Valencia. 2022.

[4] Hossein Najafi Khosrowshahi, Hadi S. Aghdasi, Pedram Salehpour, "A refined Greylag Goose optimization method for effective IoT service allocation in edge computing systems". "Scientific Reports", volume 15, Article number: 15729, 2025.

[5] MAX31855 Datasheet. [Online]. Available: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max31855.pdf, Maxim Integrated Products, Inc., 2015.

[6] Raspberry Pi 5. 2024. [Online]. Available: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/.

НТБОНТУ

УДК 004.7

РОЗРОБКА АДАПТИВНОГО МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ В ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧЕНИХ МЕРЕЖАХ (SDN) З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Паламарчук О.О. (palamarcuks543@gmail.com),
Кічак Б.В. (ki4ack.bogdan@gmail.com)
Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)

В тезах було розглянуто проблеми забезпечення якості обслуговування (QoS) в сучасних телекомунікаційних мережах. Була наведена порівняльна характеристика традиційних підходів та архітектури програмно-визначених мереж (SDN), що дозволяє гнучко керувати потоками даних.

З кожним роком обсяги інтернет-трафіку зростають експоненційно. Інтерактивні додатки, такі як хмарний геймінг, відеоконференції у форматі Ultra HD, а також масове підключення пристроїв Інтернету речей (IoT), створюють безпрецедентне навантаження на мережеву інфраструктуру. Це вимагає не просто збільшення пропускної здатності, але й впровадження інтелектуальних механізмів управління. Для таких завдань найчастіше використовують традиційні методи управління трафіком, однак вони демонструють суттєві обмеження в умовах сучасних динамічних навантажень.

Такі методи, що базуються на статичних списках контролю доступу (ACL) та фіксованих політиках QoS, часто є негнучкими та вимагають складного ручного налаштування. Вони не можуть оперативно реагувати на миттєві зміни у топології мережі чи раптові сплески трафіку від непріоритетних додатків. Наприклад, пріоритезація трафіку в класичних мережах є складною в адмініструванні та не завжди гарантує належний рівень QoS для критичних додатків. Ця проблема є особливо актуальною, якщо потрібно забезпечити низьку затримку для IP-телефонії, але незручною, якщо мережа раптово перевантажується фоновими завданнями, як-от оновлення програмного забезпечення чи резервне копіювання. Проаналізувавши існуючі рішення та їх нездатність до швидкої адаптації, стало зрозумілим, що потрібно розробити систему, яка б динамічно аналізувала та адаптувала мережеві потоки в режимі реального часу.

На основі архітектури програмно-визначених мереж (SDN) був розроблений адаптивний механізм управління трафіком. Перевага SDN полягає у відокремленні площини управління (Control Plane) від площини передачі даних (Data Plane), що дозволяє централізовано керувати всією мережею з єдиного контролера. Запропонований механізм визначає основні показники якості обслуговування для кожного потоку індивідуально.

З технічного погляду, механізм впроваджено у вигляді окремого модуля для SDN-контролера (наприклад, OpenDaylight або RYU). Розробка здійснювалася із застосуванням мови Python та протоколу OpenFlow, який виступає стандартним інтерфейсом між контролером та комутаторами. Це сприяє швидкому збору деталізованої телеметрії (flow statistics) та аналізу стану мережевих потоків безпосередньо з обладнання в реальному часі.

Модуль здійснює автоматизований моніторинг завантаженості каналів, опитуючи комутатори про кількість переданих пакетів, байти, а також затримки. Отримані дані про трафік використовуються для побудови прогнозних моделей навантаження та класифікації потоків за рівнем пріоритетності. Завдяки впровадженню гнучких алгоритмів керування, система автоматично формує та проактивно надсилає на комутатори динамічні правила маршрутизації. Ці правила враховують не лише статичні параметри (IP-адреси, порти), але й поточні мережеві умови: пропускну здатність, затримку (latency), джиттер та відсоток втрати пакетів.

Можливість інтерактивно керувати потоками даних та застосовувати методи балансування навантаження сприяє швидкому виявленню "вузьких місць" (bottlenecks) у мережі. Це дозволяє не лише реагувати на вже існуючі проблеми, але й передбачати потенційні перевантаження, перенаправляючи менш критичний трафік на альтернативні маршрути. Такий підхід дозволяє підвищити загальну ефективність використання дорогих мережевих ресурсів.

На відміну від традиційних систем, де адміністратор бачить лише загальне завантаження портів, запропоноване технологічне рішення передбачає надання адміністраторам доступу до спеціалізованої панелі візуалізації (дашборду). В межах цієї панелі можна спостерігати агреговані

дані про стан мережі у реальному часі, відстежувати метрики QoS для окремих додатків чи користувачів, генерувати аналітичні вибірки та здійснювати порівняння ефективності до і після застосування нових політик.

Отримані висновки слугують підґрунтям для прийняття обґрунтованих рішень щодо оновлення мережевої політики, персоналізації правил QoS та впровадження індивідуальних гарантій сервісу для критичних бізнес-процесів. Таким чином, розроблений адаптивний механізм у складі SDN-контролера став важливим компонентом у підвищенні прозорості та об'єктивності управління трафіком. Він забезпечує перехід від реактивного до проактивного управління мережею, надаючи можливість ґрунтовної й детальної роботи з аналітикою QoS для мережевих інженерів.

Список використаної літератури

[1] “ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ SDN”. [Online]. Available: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b180d03f-f252-4495-9827-b634515e944a/content

[2] “АНАЛІЗ МЕТОДІВ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ”. [Online]. Available: https://journals.dut.edu.ua/index.php/sciencenotes/article/view/2754/2651

[3] “МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ SDN”. [Online]. Available: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/046e3931-abcc-44df-a937-aa9347a825d6/content

УДК 004.04; 621.396

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ КЛАСИФІКАЦІЇ

Папіровий Д.В (spopereshnyak@gmail.com)
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)

У роботі розглянуто проблему підвищення рівня безпеки бездротових мереж, зумовлену збільшенням кількості кібератак і ускладненням методів їх реалізації. Традиційні сигнатурні системи виявлення атак часто не здатні ефективно реагувати на нові загрози, тому запропоновано використання алгоритмів класифікації як основи інтелектуального аналізу мережевого трафіку.

Розроблено модель виявлення атак на базі методів дерева рішень, SVM та нейронних мереж, реалізовану в середовищі Java. Проведене тестування показало, що використання класифікаційних алгоритмів забезпечує високу точність розпізнавання (понад 95 %) і знижує кількість хибних спрацьовувань. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження алгоритмів класифікації у системи кіберзахисту для підвищення надійності бездротових мереж та раннього виявлення аномалій у трафіку.

Постановка проблеми. У сучасних умовах стрімкого розвитку бездротових технологій питання забезпечення їхньої інформаційної безпеки набуває особливої актуальності. Бездротові мережі є вразливими до різноманітних видів атак, що використовують недоліки протоколів обміну даними та автентифікації користувачів. Традиційні засоби захисту, орієнтовані на сигнатурні методи виявлення загроз, не завжди здатні ефективно реагувати на нові або модифіковані типи атак. Це зумовлює необхідність застосування інтелектуальних методів аналізу даних, які забезпечують адаптивність системи безпеки.

Метою роботи є підвищення рівня безпеки бездротових мереж шляхом використання алгоритмів класифікації для виявлення атак на основі аналізу мережевого трафіку. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

- – проаналізувати типові вразливості та види атак у бездротових мережах стандарту IEEE 802.11;

- – дослідити сучасні підходи до побудови систем виявлення атак (IDS) з використанням методів машинного навчання;
- – розробити модель класифікації, здатну відрізняти нормальний та аномальний трафік;
- – здійснити порівняльний аналіз ефективності різних алгоритмів класифікації для визначення найбільш придатного до практичного використання.

Суть дослідження. Створення та побудова класифікуючої моделі системи виявлення атак (СВА) відбувається на стадії навчання, для якого СВА потрібна навчальна вибірка (складається із записів про поточні бездротових мережевих з'єднаннях).

На основі методів ІАД: дерев прийняття рішень, методу опорних векторів, k-найближчих сусідів, а також нейронних мереж опираючись на висновки попереднього розділу про значну доцільність використовування в бездротових мережах інтелектуальних технологій виявлення атак, приведено розглянуті алгоритми побудови класифікуючої моделі, котрі являються в бездротовій системі виявлення атак ядром бази даних.

На рис.4 представлена схема побудови нейромережевої СВА.

Величина сумарної квадратичної помилки навчання (E) розраховується за формулою:

$$E = \sum_{i=1}^{l}\sum_{k=1}^{n}\left[\varepsilon_k^{(i)}\right]^2 = \sum_{i=1}^{l}\sum_{k=1}^{n}\left(y_k^{(i)} - S_k^{(i)}\right)^2,$$

$S_k^{(i)}$ — бажане значення сигналу -го нейрона згідно i-й сигнатурі,

де $y_k^{(i)}$ — вихідний сигнал -го нейрона при обробці i-й записи,

$\varepsilon_k^{(i)}$ — величина помилки -го нейрона вихідного шару нейронної мережі.

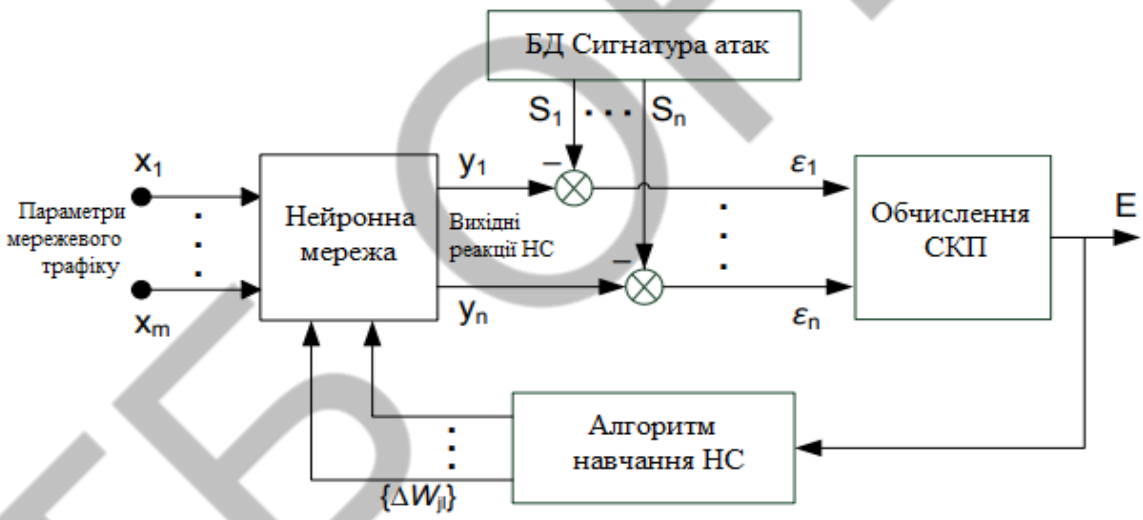


Рис. 1. Схема побудови нейромережевої СВА

Для зменшення квадратичної помилки застосовується алгоритм в ході якого кожен вага зв'язку між -м і j-м нейронами W_{jl} змінюється на ΔW_{jl} — градієнтного спуску, після одного циклу навчання n зі швидкістю навчання L:

$$W_{jl}(n+1) = W_{jl}(n) + \Delta W_{jl}(n) = W_{jl}(n) - L\left(\frac{\partial E}{\partial W_{jl}}\right)_n.$$

На мові Java представлено ПЗ з використанням набору бібліотек JDK-6u24, що складаються з програмних модулів, котрі представляє собою кілька взаємопов'язаних блоків, які реалізують дані алгоритми. ПЗ шляхом побудови безлічі кластерів з вихідного набору попередньо класифікованих примірників і подальшого виконання кластеризації нових об'єктів двома альтернативними методами використовується для навчання класифікатора. Данна модель ПЗ випробувана на атаках типу руткит і SYN-flood, переповнення буфера, результатом є доцільність використання розглянутих методів рішень.

На стадії навчання СВА переводиться в режим повнофункціональної роботи після побудови класифікуючої моделі і на входи сенсорів подається реальний мережевий трафік. При цьому відбувається донавчання СВА за допомогою виявлення підозрілої мережевої активності.

НТБОНТУ

Крім того, у вільному доступі немає бази даних сигнатур необхідна для навчання і тестування результативності застосування пропонованих алгоритмів атак на локальні бездротові мережі. З цього випливає представлена створена БД сигнатур і оцінка ефективності розглянутих алгоритмів, котрий проводиться за допомогою методів імітаційного моделювання.

З цього випливає, що в задачах виявлення атак на локальні бездротові мережі в доступній літературі відсутні роботи по застосуванню методів інтелектуального аналізу даних. У зв'язку з цим виникає проблема вибору оптимального вектора ознак, який являється специфічним для різних подій, які будуть використовуватися в ході класифікації в бездротових мережах.

Висновки. У процесі дослідження було розглянуто роботу таких алгоритмів машинного навчання, як дерево рішень, метод опорних векторів, алгоритм k-найближчих сусідів і багатошарова нейронна мережа. Для кожного алгоритму здійснено навчання моделі на основі наборів даних, що містять параметри мережевих з’єднань і мітки типів атак. Було сформовано вектор ознак, який описує характеристики мережевого трафіку: тривалість сесії, кількість пакетів, середній розмір, частоту помилок та інші параметри.

Результати експериментів показали, що найвищу точність класифікації забезпечує нейронна мережа, яка продемонструвала ефективність понад 95 % для більшості типів атак. Алгоритми дерева рішень і SVM виявилися оптимальними за співвідношенням точності та швидкодії, що робить їх придатними для використання у вбудованих системах моніторингу трафіку.

Таким чином, застосування алгоритмів класифікації у системах виявлення атак дає змогу суттєво підвищити рівень інформаційної безпеки бездротових мереж. Запропонована модель дозволяє автоматизувати процес виявлення аномалій у трафіку, адаптувати систему до нових типів загроз і зменшити кількість хибних спрацьовувань порівняно з традиційними методами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення механізмів самонавчання моделі та її інтеграцію у комплексні системи кіберзахисту.

Список використаної літератури

[1] D. Cirjulina, D. Pikulins, R. Babajans, M. Zeltins, D. Kolosovs, and A. Litvinenko, “Experimental Study on FM-CSK Communication System for WSN,” *Electronics*, vol. 11, no. 10, p. 1517, 2022, doi: 10.3390/electronics11101517.

[2] Z. Salah and E. Abu Elsoud, “Enhancing Network Security: A Machine Learning-Based Approach for Detecting and Mitigating Krack and Kr00k Attacks in IEEE 802.11,” *Future Internet*, vol. 15, no. 8, p. 269, 2023, doi: 10.3390/fi15080269.

[3] M. A. Talukder, M. Khalid, and N. Sultana, “A hybrid machine learning model for intrusion detection in wireless sensor networks leveraging data balancing and dimensionality reduction,” *Scientific Reports*, vol. 15, Art. no. 4617, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41598-025-87028-1 (accessed Sep. 18, 2025).

[4] L. Ogiela and M. R. Ogiela, “Cognitive security paradigm for cloud computing applications,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 32, no. 8, e5316, 2020, doi: 10.1002/cpe.5316.

[5] M.-L. Zhang and Z.-H. Zhou, “A review on multi-label learning algorithms,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 26, no. 8, pp. 1819–1837, 2014, doi: 10.1109/TKDE.2013.39.

УДК 004.588

КОМПРЕСІЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ В СИСТЕМАХ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦЗВ’ЯЗКУ

Радзієвський В.Ю., Пархоменко М.В.
(vitaradzievskij@gmail.com, maxpar76@gmail.com)

В тезах розглядаються сучасні методи компресії відеоінформаційного ресурсу в системах відеоконференцзв’язку та його актуальність. Порівняння найпоширеніших стандартів стиснення та аналіз їх алгоритмів. Також розглядається пропозиція щодо інтеграції алгоритму Адамара-Уолша у стандарт відеокомпресії. Висновок відповідає на питання актуальності використання відеоконференцзв’язку та важливість правильно обраного методу.

В умовах військових операцій швидкість та якість переданої інформації відіграє значну роль. Відеоконференцзв'язок дозволяє командуванню оперативно надавати накази, обговорювати стратегії та координувати дії підпорядкованих підрозділів у реальному часі, незалежно від географічного розташування. Відеоконференцзв'язок забезпечує можливість проведення тренувань і навчань для військовослужбовців, це знижує витрати на відрядження та збільшує доступність навчальних ресурсів, дозволяє ефективно координувати дії з партнерами з інших країн, швидко обговорювати спільні завдання та обмінюватися важливою інформацією. Основні напрямки інтеграції комплексів відеоконференцзв'язку (ВКЗ) до системи управління Збройних Сил України набули нового значення з появою оперативно-стратегічної категорії «інформаційна “перевага”. Ця концепція підкреслює необхідність розробки сучасних технологій, а також удосконалення процесів і процедур управління військами та озброєнням.

Розглянуто методи компресії відеоінформаційного ресурсу. Стандарт H.264/AVC Зображення формується на єкрані за допомогою пікселів, колір кожного пікселя задається за допомогою red-green-blue (RGB) моделі, комбінації 3-х основних кольорів, на кожен із них приходиться по 8 біт інформації із цього виходить, що для передачі пікселя необхідно 24 біт інформації. Якщо взяти для прикладу звичне зображення у full high definition (fullHD) форматі, то для передачі подібного зображення знадобиться білизько 50 Мбіт/с. Але розглядуючи відео, потрібно розуміти що відео – це усього лише послідовність збражень, саме звичане потокове відео містить 25 кадрів у секунду, таким чином об’єм надсилаємих данних збільшиться до 1.2 Гбіт. Без стискання відеопередача даних не є можливою. Тому для передачі відеоінформаційного ресурсу без затримки та у високій якості використовуються різні методи компресії. У кодуванні зображення, першим кроком завжди являється перетворення кольорової моделі з RGB на YCbCr. Після цього, повернтаючись до відео у fullHD форматі, для його передачі вже буде потрібна швидкість 622 Мбіт/с, що у два рази менше при використанні RGB, але це все ще доволі великий об’єм даних.

Для скорочення об’єму даних із збереженням якості, застосовують відеоенкодер. Одна секунда відео стисненого формату AVC (H.264) потребує швидкість 6-8 Мбіт/с. Принцип стиснення будь-якого енкодера полягає у передбачення кадрів, і передачі різниці між передбаченним та оригінальним кадром. Чим краще працює алгоритм передбачення, тим ефективніше стає процесс стиснення. А саме, якщо розглянути певну частину зображення (у стандарті AVC ця частина називається макроблоком), то з високою ймовірністю поблизу цієї ділянки в даному кадрі або в сусідніх кадрах знайдеться область, яка містить схоже зображення з незначними відмінностями за значеннями інтенсивності пікселів. Отже, для передачі інформації про зображення в цій ділянці достатньо передати тільки його відмінність від раніше закодованої схожої області.

Для подальшого збільшення рівня стиснення відеоданних буде розглядатись стандарт H.265/HEVC що є розвитком методів та алгоритмів стиснення відеоданих, які були закладені у H.264/AVC, та використовувати косинусне перетворення Фур’є. Перетворення Фур'є – це математичний інструмент, який дозволяє перетворити сигнал (наприклад, звук чи зображення) з часової або просторової області в частотну область. Цей процес допомагає зрозуміти, які частоти присутні в сигналі та в якій мірі. За допомогою нього на цьому єтапі визначаються найбільщ вагомі коефіцієнти значень частот, для скорочення об’єму даних необхідно відкинути значення, що найменше впливають на якість зображення. Тому, до значень матриць, що були сформовані під час перетворення Фур’є, застосовують квантування, ділення на ціле число, що називають квантом. В результаті матриця містить більшу кількість нулів, або близьких до нуля значень. Разом з цим зменшується розрядність коефіцієнтів. Відеоенкодер відкидує нульові значення, оскільки вони слабко впливають на якість зображення. При стисканні 8біт відео параметри квантування енкодера можуть приймати значення від 0 до 51, високі значення кванта призводять до сильного округлення коефіцієнтів ті більшому об’єму нульових та близьких до нуля значень, за допомогою параметру квантування, можна маніпулювати ступінню стиснення і якістю відео. На кінцевому етапі кодування набор квантованних спектральних коефіцієнтів піддаються ентропійному кодуванню, принцип кодування полягає у тому, щоб найбільш часто зустрічаємим у потоці значенням, поставити відповідно найбільш коротке кодове слово, для цього використовують алгоритми ентропійного кодування context-adaptive binary arithmetic coding (CABAC) або context-adaptive variable-length coding (CAVLC). CABAC має більшу ефективність та складність обчислень.

Принцип цих методів полягає у перетворенні вхідних даних в послідовність бітів (0 і 1). Після, для кожного біта CABAC аналізує контекст, де він з'являється. Контекст – це інформація про стан навколишніх бітів, яка допомагає визначити, які біти, ймовірно, з'являться. Коли контекст визначено, CABAC використовує арифметичне кодування стиснення даних. Це означає, що довга послідовність бітів кодується в одне дрібне число, використовуючи інформацію про ймовірності бітів. Після кодування CABAC оновлює контекст, щоб врахувати вже стислі дані, і продовжує аналізувати наступні біти, адаптуючись до частоти. В результаті роботи CABAC виходить стислий потік даних, який займає менше місця і може бути переданий або збережений ефективніше.

Отже, для забезпечення якісного відеозв'язку у військових системах доцільно застосовувати стандарт H.265 у поєднанні з перетворенням Уолша-Адамара. Це дозволяє знизити вимоги до пропускної здатності каналів, підвищити ефективність стиснення і стабільність відеопередачі при збереженні достатньої якості зображенн

Список використаної літератури

[1]William B. Pennebaker. JPEG: Still Image Data Compression Standard / William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell — 2004, 625 p.

[2]Iain E. G. Richardson. H.264 and MPEG-4 Video Compression / Iain E. G. Richardson — The Robert Gordon University, Aberdeen, UK, 2003. — 306 c.

[3]Jin-Yong Yu and Young-Gab Kim. Coding Unit-Based Region of Interest Encryption in HEVC/H.265 Video. IEEE Access (Volume:11). 2023. P. 47967-47978. https://ieeexplore.ieee.org/document/10124185.

[4]Debargha Mukherje, Jim Bankoski, Adrian Grange, Jingning Han, John Koleszar, Paul Wilkins, Yaowu Xu, Ronald Bultj. The latest open-source video codec VP9. Society of motion picture and television engineers annual technical conference. 2013. P. 111-129. https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6729645.

УДК 378.016

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Смирнова С.О. (sofiiasmyrnovawork@gmail.com)
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)

В тезах розглядається проблематика використання штучного інтелекту у підготовці фахівців в закладах вищої освіти в умовах цифрових трансформацій. Розглянено виклики, з якими стикаються академічні установи, щоб забезпечити студентам та співробітникам готовність використовувати штучний інтелект та дотримуватися єдиних етичних стандартів.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в академічні кола швидко змінює освітній ландшафт. Штучний інтелект більше не є віддаленою перспективою; це динамічна, трансформаційна сила. Покращуючи персоналізоване навчання, оптимізуючи дослідження та автоматизуючи адміністративні завдання, ШІ пропонує величезні можливості для поліпшення освітніх результатів. Водночас етичні виклики, які він ставить, особливо щодо академічної доброчесності та справедливості, вимагають продуманої політики та постійного діалогу між усіма зацікавленими сторонами. У міру того, як академічна спільнота освоює цю нову сферу, використання переваг ШІ та мінімізація його ризиків стануть необхідними для побудови майбутнього, в якому технологія та людська винахідливість змішані.

Вже скоро студенти університетів побачать, що інструменти ШІ органічно вплетені в їхній навчальний досвід, покращуючи можливості досліджень та надаючи персоналізовані навчальні посібники. Однак ці досягнення супроводжуються низкою викликів, з якими студенти повинні впоратися, щоб максимально використати переваги ШІ та мінімізувати його недоліки.

Одне з найбільш помітних наслідків застосування ШІ в академічному середовищі — це сфера навчання. Навчальні заклади все частіше впроваджують інструменти генеративного ШІ, такі

як ChatGPT і адаптивні системи навчання, для персоналізації навчання та підвищення залученості студентів. Наприклад, платформи тепер аналізують індивідуальні моделі навчання, щоб адаптувати контент і надавати зворотний зв'язок у режимі реального час. Ці інновації відкрили нові можливості для створення гнучких, орієнтованих на учнів середовищ, де студенти можуть скористатися індивідуальними планами уроків та інтерактивними віртуальними викладачами. [1]

Однак, хоча ці інструменти можуть підвищити продуктивність і підтримувати диференційоване навчання, викладачам також доводиться вирішувати проблеми забезпечення академічної чесності та збереження людського фактора в процесі навчання. У міру того, як викладачі починають інтегрувати ШІ у свої навчальні програми, професійний розвиток у галузі грамотності в області ШІ стає все більш важливим. [2]

Застосування ШІ в освіті вимагає доступу до великих масивів даних, які часто містять детальну особисту інформацію про студентів, викладачів та співробітників (Higher Ed Dive, 2024). Ці системи аналізують моделі навчання, відстежують академічну успішність і навіть контролюють активність в Інтернеті. Однак без надійних заходів безпеки та прозорих практик обробки даних існує значний ризик несанкціонованого доступу до даних, їх порушення або зловживання. Багато установ вважають, що їхні поточні політики захисту даних не повністю відповідають швидким темпам інновацій у сфері ШІ, що може призвести до прогалин у захисті приватного життя.

Оскільки студенти все більше покладаються на інструменти штучного інтелекту для навчання, існує ризик надмірної залежності від технологій. Дослідження вже показують, що така залежність може заважати розвитку критичного мислення та навичок вирішення проблем, які дуже цінуються роботодавцями. Студенти можуть надмірно покладатися на штучний інтелект у пошуку відповідей, замість того щоб глибоко занурюватися в матеріал або розвивати свої аналітичні здібності.

Використання ШІ в академічній сфері також викликає значні етичні занепокоєння. Такі питання, як упередженість алгоритмів ШІ, справедливість автоматизованих систем оцінювання та автентичність робіт студентів, є критично важливими сферами, які потребують вирішення. Студенти матимуть справу з цими етичними дилемами, забезпечуючи відповідність використання ШІ академічній доброчесності та справедливості.

У наукових дослідженнях інструменти ШІ революціонізують огляд літератури, аналіз даних і навіть початковий етап написання наукових статей. Зараз дослідники використовують ШІ для швидкого сканування величезних баз даних, генерування нових ідей для досліджень і навіть допомоги в написанні складних академічних текстів.

Ці виклики вимагають розробки чітких керівних принципів та надійної політики, що забезпечують баланс між інноваціями та справедливістю. Академічні установи повинні забезпечити, щоб студенти та співробітники були готові відповідально використовувати ШІ та дотримувалися єдиних етичних стандартів.

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту означає, що студенти повинні постійно оновлювати свої навички, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку праці. У різних галузях промисловості зростає попит на фахівців, які володіють навичками, пов'язаними зі штучним інтелектом. Університети повинні адаптувати свої навчальні програми, щоб надати студентам необхідні знання та навички для успішної кар'єри в світі, керованому штучним інтелектом.

Дослідження показують, що розвиток штучного інтелекту, поряд з автоматизацією та цифровою трансформацією, кардинально змінює ринок праці, створюючи подвійний виклик для роботодавців і працівників: попит на нові навички та необхідність перекваліфікації існуючої робочої сили. Однією з основних прогалин у навичках є сфера штучного інтелекту та грамотності в роботі з даними. Багато сучасних посад, незалежно від галузі, вимагають принаймні базового розуміння того, як працює штучний інтелект, як взаємодіяти з інтелектуальними системами та як аналізувати дані. Нездатність забезпечити працівників компетенціями, пов'язаними зі штучним інтелектом, становить серйозний ризик для організацій, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними в сучасній цифровій економіці. [3]

Щоб усунути ці прогалини, необхідні спільні зусилля освітніх систем, роботодавців та працівників. Роботодавці повинні інвестувати в програми підвищення кваліфікації, які надають працівникам інструменти, необхідні для досягнення успіху. Аналогічно, уряди та освітні установи

несуть відповідальність за оновлення навчальних програм та професійної підготовки, щоб краще підготувати майбутні покоління.

Поширення штучного інтелекту на робочому місці є сигналом до революції в області навичок. Якщо компанії та працівники не зможуть адаптуватися, вони ризикують відстати на ринку праці, що швидко змінюється. Заповнюючи прогалини в навичках за допомогою значних інвестицій в освіту та навчання, робоча сила може стати більш стійкою та готовою до майбутнього.

Штучний інтелект більше не є нішевою технологією, обмеженою технологічними гігантами — він швидко проникає в усі галузі та перетворює сучасне робоче місце. З інтеграцією таких інструментів штучного інтелекту, як ChatGPT та Microsoft Copilot, у повсякденну діяльність підприємств, роботодавці у всіх секторах стикаються з дефіцитом кваліфікованих кадрів. Багато працівників просто не мають цифрової грамотності та спеціалізованої підготовки, необхідних для ефективного використання цих потужних технологій.

У міру того як штучний інтелект стає основним елементом продуктивності, рутинні завдання — від аналізу даних до обслуговування клієнтів — все більше автоматизуються. Ця зміна не тільки обіцяє підвищення ефективності, але й вимагає від працівників адаптації до нових ролей, де людський контроль і креативність доповнюють можливості машин.

Університети вже починають діяти відповідно до цієї необхідності. Багато з них запроваджують спеціалізовані курси і навіть цілі програми навчання, орієнтовані на штучний інтелект і машинне навчання, з метою заповнити прогалину в талантах ще до того, як студенти вступлять на ринок праці (Higher Ed Dive, 2024). Однак для тих, хто вже працює, необхідність безперервного навчання є критично важливою. Роботодавці все частіше пропонують програми професійного розвитку, що зосереджуються на практичних навичках у сфері ШІ, таких як оперативне проектування, етичне використання даних та інтеграція інструментів ШІ в повсякденні робочі процеси. Без таких ініціатив компанії ризикують відстати на конкурентному ринку, де знання в галузі ШІ можуть бути вирішальним фактором успіху.

Список використаної літератури

1. The Wall Street Journal. (2024, August 5). Colleges race to ready students for the AI workplace. The Wall Street Journal. https://www.wsj.com/us-news/education/colleges-race-to-ready-students-for-the-ai-workplace-cc936e5b

2. Bessen, J. E. (2023). AI and the workforce: The challenge of skills gaps. Brookings Institution. Retrieved from https://www.brookings.edu/ai-and-the-workforceDeloitte. (2023). The future of work in the AI era.

3. Ifenthaler, D. (2024). Artificial intelligence in education: Implications for data privacy and security. Journal of Educational Technology & Society, 27(1), 42–55.

УДК 004.057.4

ПЕРЕДАЧА СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ У БЕЗДРОТОВІЙ МЕРЕЖІ EASY NET EVERYWHERE

Смірнов В.В, Смірновіа Н.В. (*swckntu@gmail.com)*
Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна)
Easy Net Everywhere Research Group (Україна)

В тезах розглядається рішення задачи спрощення обміну структурованими даними між вузлами бездротової мережі Easy Net Everywhere у діапазоні 2,4 ГГц. Представлене рішення забезпечує автоматичне зіставлення ідентифікаторів структурованих даних та їхнє перетворення без участі користувача, що знижує ймовірність помилок і підвищує ефективність систем управління та телеметрії.

Сучасні бездротові мережі потребують надійної синхронізації складних структур даних у процесі обміну з великою кількістю різнотипних користувацьких форматів. У відомих рішеннях під час створення керуючих програм користувач змушений здійснювати перетворення структурованих даних у лінійний масив та зворотне відновлення вручну, що часто призводить до помилок, знижує ефективність обміну та ускладнює розробку прикладних систем.

Постановка проблеми. Однією з ключових проблем є забезпечення коректної і швидкої передачі різнорідних структур даних між вузлами мережі без залучення користувача до процедур серіалізації та десеріалізації.

Постановка завдання. Розробити універсальний і прозорий для користувача механізм обміну даними з метою знизити ризик логічних помилок і підвищити продуктивність системи, що особливо важливо для IoT і промислових застосувань.

Виклад основного матеріалу. Запропоноване рішення відрізняється від відомих аналогів використанням механізму автоматичного визначення ідентифікаторів структур та блоків зберігання, які здійснюють перетворення структур у одномірні масиви і назад без участі користувача. Це забезпечує прозорий обмін даними і підтримку великої кількості різних структур у межах однієї мережі без зміни прикладного коду.

Дані, що передаються розміщуються у структурі з унікальним ідентифікатором, який використовується під час серіалізації та десеріалізації. Блок зберігання структур здійснює автоматичне перетворення структури в одномірний масив з урахуванням ідентифікатора. Після передавання через канал зв’язку та приймання іншим вузлом виконується зворотне перетворення в початкову структуру.

Такий принцип забезпечує «прозорий» обмін структурованими даними, оскільки користувач працює безпосередньо зі структурами без ручного кодування. Це особливо важливо для промислових та IoT-систем, де швидкість і надійність передавання мають критичне значення.

Крім того, запропонована архітектура дозволяє масштабувати систему без модифікації прикладного коду. Додавання нових типів даних або зміна існуючих структур потребує лише реєстрації у блоках зберігання структур, що забезпечує гнучкість і сумісність між різними версіями вузлів мережі.

Для практичної реалізації використовується таблиця дескрипторів, яка містить розміри, типи та ідентифікатори всіх зареєстрованих структур. На етапі компіляції формується індексний файл, що забезпечує швидку адресацію структури за її ідентифікатором. Це дозволяє мінімізувати навантаження на процесор та зменшити затрати часу на серіалізацію та десеріалізацію даних, що критично для мікроконтролерних систем.

При передаванні пакету додається мінімальний службовий заголовок із ідентифікатором структури та контрольною сумою, що забезпечує сумісність з існуючими засобами маршрутизації мережі Easy Net Everywhere та можливість інтеграції з іншими протоколами нижнього рівня.

Експериментальні випробування показали, що впровадження запропонованого підходу дозволяє:

– знизити ймовірність логічних помилок під час передачі даних;

– прискорити процес розробки і інтеграції нових пристроїв;

– підвищити стабільність, ефективність та масштабованість мережі;

– скоротити обсяг прикладного коду і час розробки нових форматів пакетів даних.

Висновки. Розроблена технологія автоматичного обміну структурованими даними підвищує надійність і зручність розробки розподілених систем, забезпечує масштабованість та прозорість обміну. У подальшому планується розширення функціоналу для підтримки динамічного створення структур у реальному часі та інтеграції з системами штучного інтелекту для оптимізації маршрутизації та обробки даних у мережі.

Список використаної літератури

[1] Смірнов В. В., Смірнова Н. В., “Практична реалізація безпровідної мережі «Easy Net Everywhere»,” *International Security Studios: managerial, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects*, Vol. I, NMBU Research and Education, Oslo, Kingdom of Norway, 2024, pp. 665–697. DOI: 10.5281/zenodo.10822120. [Online]. Available: https://zenodo.org/records/10832626 [Accessed: Oct. 14, 2025].

УДК – 621.311.6

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Солодка В.І., М.О, Білий Е.О., Федоришин М.В., Товкис Д.Р.
(valyaonas@gmail.com, apenixtoo@gmail.com, adultluda@gmail.com)
Державний університет інтелектуальних технологій та звя'зку (Україна)

У статті розглянуто методику дослідження електричних характеристик комп'ютерних блоків живлення із використанням багатофункціонального стенда та вимірювального обладнання. Проаналізовано вплив режимів навантаження на стабільність вихідних напруг і коефіцієнт корисної дії (ККД) джерела живлення. Визначено основні фактори, що впливають на енергетичну ефективність, зокрема схему перетворення, якість елементної бази та систему охолодження. Запропоновано підхід до оцінювання економічності роботи блока живлення на основі розсіюваної потужності та споживання енергії протягом тривалого періоду. Проведено порівняння отриманих результатів з нормативними вимогами стандартів ATX12V і 80 PLUS. Отримані результати можуть бути використані для підвищення енергоефективності комп'ютерних систем і вдосконалення конструкції сучасних джерел живлення.

Блоки живлення від 1000 Вт - надвисокої потужності зазвичай використовують для спеціалізованих завдань — тестових стендів, потужних робочих станцій для рендерингу, обчислень або розгону компонентів. Водночас іноді такі джерела живлення обирають просто для створення значного запасу потужності для наявної системи чи з розрахунком на майбутнє оновлення. Вартість подібних пристроїв може суттєво відрізнятися, що ускладнює вибір оптимальної моделі з найкращим співвідношенням ціни та якості. У цьому огляді ми розглянемо одне з доступних рішень на ринку.

Розглянемо блок живлення 1stPlayer NGDP потужністю 1000 Вт, який має сертифікат 80Plus Gold. Пристрій відповідає стандарту ATX 3.1 і здатний забезпечити живлення навіть дуже потужних сучасних відеокарт через 16-контактний роз'єм PCIe 5.1 (12V-2×6). Цікаво, що на корпусі передбачено два таких роз'єми, але в комплекті постачається лише один кабель[2].

Блок живлення оснащений активним коректором коефіцієнта потужності (Active PFC) та підтримує широкий діапазон вхідної напруги — від 100 до 240 В. Така особливість забезпечує стабільну роботу пристрою навіть за умов зниження напруги в електромережі нижче нормативних значень.

Конструкція блоку живлення відповідає сучасним інженерним стандартам. У його складі використано:

- активний коректор коефіцієнта потужності;
- синхронний випрямляч у каналі +12VDC;
- незалежні імпульсні DC/DC-перетворювачі для ліній +3.3VDC та +5VDC [3].

Високовольтні силові елементи змонтовані на декількох радіаторах різних розмірів, що сприяє ефективному відведенню тепла. Транзистори синхронного випрямляча розташовані на лицьовій стороні основної друкованої плати; окремі радіатори для них не передбачені, однак у зоні встановлення наявні тепловідвідні елементи.

Компоненти імпульсних DC/DC-перетворювачів для каналів +3.3VDC та +5VDC розміщені на додаткових вертикально встановлених платах.

У складі блоку живлення застосовано японські конденсатори торгових марок Nippon Chemi-Con та Rubycon, що гарантує високу надійність і тривалий термін служби пристрою.

Система охолодження представлена вентилятором Honghua HA1225M12F-Z типорозміру 120 мм з частотою обертання 2050 об/хв. Підключення вентилятора — двопровідне, через роз'єм. Конструкція вентилятора базується на гідродинамічному підшипнику (FDB), який забезпечує тривалий ресурс роботи та знижений рівень шуму під час експлуатації.

Під час дослідження електричних характеристик джерела живлення за допомогою багатофункціонального стенда та допоміжного вимірювального обладнання проводиться оцінка стабільності вихідних напруг.

Результати вимірювань інтерпретуються за величиною відхилення фактичних значень вихідних напруг від їхніх номінальних параметрів. Для наочності кожен діапазон відхилення

позначається певним кольором, що відповідає якісній оцінці роботи джерела живлення.

Якщо відхилення перевищує ±5%, робота оцінюється як незадовільна. При позитивному відхиленні: +5% — погано, +4% — задовільно, +3% — добре, +2% — дуже добре, +1% і менше — відмінно.

При негативному відхиленні: −2% — дуже добре, −3% — добре, −4% — задовільно, −5% — погано, більше ніж −5% — незадовільно.

Таким чином, чим менше відхилення вихідної напруги від номінального значення, тим вищою є якість стабілізації джерела живлення.

Першим етапом випробувань є робота блоку живлення при максимальному навантаженні протягом тривалого часу (рис. 1). Такий режим тестування дозволяє перевірити працездатність та надійність блоку живлення, а також переконатися у стабільності його електричних параметрів при тривалому функціонуванні на межі номінальної потужності.

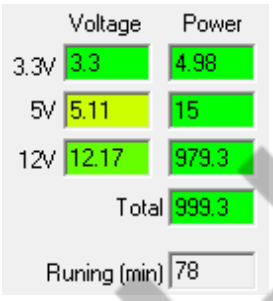


Рисунок 1 - Тестування блока живлення при максимальному навантаженны протягом тривалого часу

При оцінюванні ефективності комп’ютерного блока живлення можливі два підходи. Перший підхід полягає в аналізі блока живлення як окремого перетворювача електричної енергії, із подальшою спробою мінімізувати опір ліній передачі від блока живлення до навантаження, де безпосередньо вимірюються струм і напруга на виході[5]. Для цього блок живлення, як правило, підключається за допомогою всіх наявних роз’ємів. Однак це ставить різні моделі у нерівні умови, оскільки кількість і тип силових кабелів можуть суттєво відрізнятися навіть у блоків живлення однакової номінальної потужності.

У результаті такі вимірювання є коректними для кожного окремого пристрою, але не відображають реальних умов експлуатації, адже у звичайному системному блоці використовується лише частина роз’ємів. Тому більш логічним є визначення ефективності (економічності) блока живлення не лише при фіксованих значеннях потужності (з урахуванням її розподілу за каналами), а й при постійно визначеному наборі підключених роз’ємів для кожного режиму навантаження.

Традиційно ефективність блока живлення подається у вигляді коефіцієнта корисної дії (ККД) — відношення вихідної потужності до вхідної. Цей показник характеризує ефективність перетворення електроенергії[1, 4].

Для звичайного користувача значення ККД саме по собі малоінформативне, окрім загального розуміння, що вищий ККД означає менші втрати енергії та, умовно, більш якісний пристрій. Через це ККД набув маркетингової значущості, особливо у поєднанні з сертифікацією 80Plus.

Однак із практичного погляду ККД не впливає безпосередньо на продуктивність комп’ютера, рівень шуму чи температуру всередині корпусу. Це суто технічний параметр, який визначається рівнем розвитку промисловості та собівартістю конкретного виробу. Для користувача підвищення ККД, як правило, означає збільшення вартості блока живлення.

Для більш об’єктивного оцінювання економічності блока живлення доцільно розглядати абсолютні величини енергетичних втрат, а не лише відносне значення ККД.

Під економічністю розуміється втрата потужності при перетворенні енергії та її передачі до споживачів. Для цього визначається: розсіяна потужність — різниця між вхідною та вихідною потужністю; споживання електроенергії за певний період часу (день, місяць, рік тощо) при роботі з постійним навантаженням.

Такий підхід дозволяє оцінити реальні втрати електроенергії для різних моделей блоків

живлення і, за потреби, розрахувати економічну доцільність придбання більш ефективних, але дорожчих пристроїв.

Розсіяна потужність може бути легко переведена у кіловат-години (кВт·год) — саме їх фіксує побутовий електролічильник. Помноживши отримане значення на вартість кіловат-години, можна оцінити вартість електроенергії, спожитої системним блоком за рік безперервної роботи.

Хоча цей розрахунок є умовним, він дозволяє порівняти економічність експлуатації комп'ютера з різними блоками живлення протягом тривалого періоду (наприклад, трьох років і більше). За потреби користувач може скорегувати розрахунок, виходячи з реальної кількості годин роботи комп'ютера на добу.

Для уніфікації випробувань було визначено кілька типових рівнів потужності та відповідну кількість роз'ємів, що застосовується в кожному випадку[4]. Такий підхід дозволяє максимально наблизити умови тестування до реальних і забезпечити справедливе порівняння економічності різних моделей блоків живлення в однакових умовах експлуатації.

Список використаної літератури

1. Pressman, A. I., Billings, K., Morey, T. Switching Power Supply Design. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2009.
2. Erickson, R. W., Maksimović, D. Fundamentals of Power Electronics. 3rd ed. New York: Springer, 2020.
3. Intel Corporation. ATX12V Power Supply Design Guide. Version 2.53, 2023..
4. CLEAResult Consulting Inc. 80 PLUS Certification Program: Test Protocol for Internal Power Supplies. 2021.
5. Yokogawa Test & Measurement. Measuring Standby Power Accurately – IEC 62301 Explained. Technical Note, 2018.

УДК – 621.397:535.6

ІЄРАРХІЧНИЙ АЛГОРИТМ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ У ПРОСТОРІ ВЕЙВЛЕТІВ

Солодка В.І., Патлаєнко М.О, Білий Е.О., Федоришин М.В., Душкін Д. Ю.
(valyaonas@gmail.com, nick_msa@ukr.net, apenixtoo@gmail.com, adultluda@gmail.com)
Державний університет інтелектуальних технологій та звя'зку (Україна)

У роботі представлено розробку сучасних рекурсивних схем стиснення зображень у простору вейвлетів. Запропоновано вдосконалений алгоритм квадродерева та новий параметричний метод сегментації зображень із використанням ранжованих блоків, що дозволяє зменшити їх кількість. Для експерименту використано набір більше ста зображень квітів різних типів, знятих під різними кутами та за різного освітлення. За підсумками дослідження створено програмний застосунок для швидкого та ефективного стиснення даних.

Сучасні алгоритми стиснення телевізійних зображень надвисокої роздільної здатності (2K, 4K, 8K) висувають підвищені вимоги до ефективності та швидкості обробки, що повинно враховуватись у базових алгоритмах новітніх стандартів стиснення. Вони мають бути оптимізованими та сумісними з ресурсними обмеженнями, визначеними цими стандартами. У зв'язку з цим розроблення сучасних рекурсивних схем стиснення зображень спрямоване не лише на підвищення якості та чіткості зображення, а й на скорочення часу обробки шляхом зменшення кількості необхідних обчислень.

Кодування на основі вейвлет-перетворення визначено стандартом JPEG-2000 [1-3], який показує кодування нерухомих зображень, та пропонують версію для опрацювання зображення Motion JPEG-2000 [6] зазначує застосування цього підходу до покрокову стиснення кадрів відеопослідовностей.

Основним та важливим показником оцінки якості зображення для систем, що використовують перетворення та кодування відеосигналів, може бути відношення пікового рівня відеосигналу до кодованого рівня шуму (PSNR); рекомендації ITU-R BT.1683 [4] та ITU-T J.144 [5]

що також використовують рівень шуму, оточеного межами об'єкта зображення (the EPSNR) і застосовують параметр, подібний до EPSNR. В даний час найбільш досконалим стандартом кодування відеопослідовностей є стандарт H.265 | HEVC, який давно в роботі та опрацював багато результатів тривалого періоду наукових досліджень в області цифрового кодування зображень.

Однією з найважливіших особливостей Wavelet -перетворення є його здатність концентрувати і перерозподіляти енергію сигналу на невелику кількість каналів. Вихідний сигнал розбивається на підсмуги, а енергія концентрується в одній підсмузі - низькочастотній (НЧ). При такому стисненні енергії дозволяє ефективно використовувати скалярне квантування. Менше бітів виділяється для квантування в області низьких енергій, що також забезпечує стиснення. Однак цей метод не враховує залишкову структуру, що зберігається у Wavelet -коефіцієнтах, особливо у високочастотних (ВЧ) піддіапазонах. Цей прцес показує що високоенергетичні області повторюються між піддіапазонами. Це не є дивом, оскільки ці області виникають навколо контурів вихідного зображення, і частина енергії "витікає" у ВЧ-підсмугу, оскільки сигнал не може бути належним чином представлений Wavelet -перетворенням на високих НЧ-рівнях. Плавні, повільно мінливі частини оригінального зображення добре характеризуються низькочастотним Wavelet-базисом. В результаті в невелику группу кількість коефіцієнтів "з'єднуються" в області низьких частот.

Алгоритм основується на побудові просторового дерева над полями Wavelet -коефіцієнтів. Дерево будується з вибраних заданих точок (коренів), розташованих у будь-якому піддіапазоні, а корені (точки) ведуть до чотирьох нащадків, що належать до того ж піддіапазону на попередньому рівні декомпозиції. Перейдемо до алгоритму SPIHT - алгоритм надвисокого рівня, який відображає та показує закодоване значення у направленні показань – битів. Саме тому використовуємо в цьому алгоритму Wavelet -перетворення забезпечує енергетичну компактність та зменшення. Та розглянемо доступний алгоритм декомбенації зображень - це є поширенний алгоритм Шапіро генерує код вбудовування біт за бітом. Метод EZW базується на таких основних операціях.

Необхідно відмітити, по-перше, коефіцієнти розташовуються в порядку парціальної амплітуди. Цей процес здійснюється за домогою шляха порівняння значення кожного Wavelet -коефіцієнта (WC) з певним заданим порогом *T*. Якщо виконується співідношення WC > T, то коефіцієнт вважається важливим, а якщо навпаки, то інакше - неважливим.

Наступним кроком є сканування. Воно виконується, як правило, від низьких - НЧ до високих ВЧ частот. У процесі кодування коефіцієнти та їх позиції використовується бінарний символ. Ці символи включають знаки: « ± » - якщо знак коефіцієнта «0» , це вказує на те, що коефіцієнт є неважливим. А параметр «Корінь 0-дерева" - вказує на те, що коефіцієнт є незначущим, як і всі коефіцієнти в цій просторовій часті дослідження з великим ВЧ діапазонів. Таким чином, використовуються міжсмугові та просторові кореляції ВК. Після того, як карта значень важливих коефіцієнтів розрахована і передана, необхідно передати біти, що визначають їхні показання. Ці дані і їх значення оброблюються арифметичним кодером. Якщо ресурс бітрейту не вичерпано, процес повторюється з порогом T, поділеним на два.

Для роботи з дискретними зображеннями використовується варіант Wavelet -перетворення, відомий як алгоритм Маллата, названий на честь його винахідника Стефана Маллата. Оригінальне зображення розкладається на дві складові: високочастотні деталі (що складаються переважно з різких змін яскравості) і згладжену, зменшену версію оригінального зображення. Це досягається застосуванням пари фільтрів, кожний з яких має вдвічі менший розмір, ніж вихідне зображення. Як правило, використовується фільтр з кінцевою імпульсною характеристикою, який множить пікселі, що потрапляють у невелике "вікно", на заданний набір коефіцієнтів, підсумовує отримані значення і зсуває вікно для обчислення наступного вихідного значення.

Вейвлети і фільтри тісно пов'язані між собою. Вейвлети не з'являються безпосередньо в алгоритмі, але в міру того, як відповідний фільтр ітерується над зображенням, що складається з однієї яскравої плями, на виході з'являється все більше і більше вейвлетів.Оскільки зображення двовимірне, фільтрація здійснюється як по вертикалі, так і по горизонталі. Процес повторюється багато разів, щоразу використовуючи як вхідні дані те, що було згладжено на попередньому кроці. "Деталізоване" зображення зазвичай складається з набору різких меж і містить великі ділянки з близькою до нуля інтенсивністю. Якщо певну кількість дрібних деталей можна проігнорувати, ці значення можна обнулити. В результаті вихідне зображення буде сильно стиснутим. Для

відновлення вихідного зображення знову застосовується алгоритм Мулла, але пари фільтрів міняються місцями.

Експериментальна перевірка розробленого методу кодування. Для експерименту було обрано серію квіткових зображень, що складається з понад сто наборів даних про різні види квітів. Для кожної категорії доступно щонайменше 40 зображень під різними кутами та при різному освітленні. Дані взяті з джерела Kaggle [3]. Було обрано 100 колірних класів, представлених одним зображенням.

У таблиці показані результати кодування тестових зображень з використанням моделей з різними архітектурам.

Таблиця 1 – Параметри порівняння

Модель	*Час кодування, с*	*Вихідний розмір, Б*	*Відсоток стиснення, %*	*Подібність, SSIM*
MobileNet V2	33.03	3829	97.87	0.53
Inception V3	50.46	3777	97.9	0.84
NASNet-A (mobile)	79.47	3773	97.9	0.76

Згідно з даними з таблиці була обрана найбільш підходяща модель, заснована на рівні подібності і часу кодування, оскільки ступінь стиснення всіх алгоритмів була приблизно однаковою. Модель Mobile Net V2 має найвищу швидкість.

Підводячи підсумки по впливу обробки на стиск можна сказати, що кожний графічний редактор виконує свої перетворення для отримання тих, чи інших змін в вхідному зображенні. Тому врахувати, як саме зміниться зображення дуже важко. Та сказати, який саме редактор може покращити стист та художній вигляд зображення більше також.

Важко порівнювати продуктивність різних методів стиснення, якщо набори даних і показники продуктивності, які використовуються, не є еквівалентними. Певні програми, зокрема ті, що мають справу з технологіями безпеки, можуть ефективно використовувати деякі з цих стратегій.

Після аналізу кожного методу було виявлено, що стратегії стиснення зображень без втрат є кращими за методи стиснення зображень із втратами з точки зору ефективності.

У результаті виконання роботи було створено програмний додаток спрямований на забезпечення швидкого та ефективного стиснення даних з використанням комбінації незалежного від вмісту стиснення даних.

Фрагмент розробленної програми

```
class ImageManager:
  def __init__(self, scale_percent=100, height=200, width=300):
    self.scale_percent = scale_percent
    self.height = height
      self.width = width……
```

Список використованої літератури

1 ITU-T Recommendation H.263:2005 Video coding for low bit rate communication. 214 p.

2 “MPEG-5: Essential video coding standard” / K. Choi; M. W. Park; K. P. Choi; J. Park; J. Chen; Y.-K. Wang; R. Chernyak; S. Ikonin; D. Rusanovskyy; W.-J. Chien; V. Seregin; M. Karczewicz // Proceedings volume 11137, Applications of digital image processing XLII; 1113710 (2019) HTTPS://DOI.ORG/10.1117/12.2530429

3 International standard ISO/IEC 15444-1 | Recommendation ITU-T H.800:2019 Information technology – JPEG 2000 Image coding system: core coding system. – 223 P.

4 Recommendation ITU-R BT.1683:2004 Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a full reference. 107 P.

5 Recommendation ITU-T J.144:2004 Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference. 145 p.

6. Ramos M. G., Hemami S. S. Edge-adaptive JPEG image compression // SPIE Symposium on Visual Communications and Image Processing. 1996. Vol. 272.

УДК 621.391:681.5

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ WI-FI

Шестопалов С.В., Осадчий Р.Р.
(sshestopalov1984@gmail.com, romanchik04822@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Робота присвячена дослідженню показників якості обслуговування (QoS) у мережах Wi-Fi. У межах дослідження наведено визначення базових понять і розглянуто теоретичні засади обраної тематики. Проаналізовано зміни якості надання сервісів, пов'язані з переходом між різними стандартами Wi-Fi, що дало змогу виявити тенденції підвищення ефективності передачі даних. Дано визначення поняттю «якість обслуговування» та встановлено, що для її оцінки доцільно враховувати радіоелектронні характеристики і мережеві показники. Представлено гранично допустимі значення характеристик та показників для різних типів даних і стандартів Wi-Fi.

Збільшення кількості користувачів і пристроїв, підключених до бездротових мереж, призводить до зростання вимог щодо стабільності з'єднання та якості передавання даних у Wi-Fi середовищі. У цьому контексті особливого значення набуває визначення та дослідження показників якості обслуговування (Quality of Service, QoS), оскільки саме вони є ключовими для оцінювання ефективності надання сучасних сервісів – від потокового мультимедійного контенту до хмарних обчислень – у мережах із підвищеним рівнем навантаження.

Дамо визначення фундаментальним поняттям та розглянемо теоретичні основи запропонованої тематики.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – це бездротова технологія для обміну даними, яка використовує радіохвилі для створення локальної мережі та надання доступу до Інтернету. Основним елементом архітектури бездротової мережі Wi-Fi є точка доступу, що здійснює з'єднання з одним або кількома інтернет-провайдерами та забезпечує передавання радіосигналу. Точка доступу містить передавач, приймач, інтерфейс для взаємодії з дротовою мережею та програмне забезпечення для налаштування параметрів. Зона покриття, сформована навколо точки доступу, зазвичай має радіус близько 50-100 метрів, у межах якого користувачі можуть підключатися до бездротової мережі [1].

Вся стандартизація Wi-Fi мережі відбувається в рамках стандарту IEEE 802.11. Стандарт IEEE 802.11 являє собою сукупність технічних норм і специфікацій для побудови бездротових локальних мереж (WLAN), що функціонують у частотних діапазонах 2,4 ГГц, 3,6 ГГц та 5 ГГц. Ці стандарти розробляються і підтримуються Комітетом зі стандартів LAN/MAN (IEEE 802) Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) та визначають принципи взаємодії бездротових мереж, включно з методами доступу до середовища передавання, форматами кадрів, механізмами безпеки та керування мережею.

Стандарт 802.11 містить модифікації a/b/g/n/ac/ax/be, серед яких на сьогодні активно використовуються ac/ax/be. Розглянемо їх з точки зору якості надання сервісів (якості обслуговування):

1. IEEE 802.11ac (2013р., Wi-Fi 5) запровадив розширення ширини каналу до 160 МГц, що забезпечило підвищення максимальної пропускної здатності до 3,5 Гбіт/с. Це дозволило зменшити затримки при передачі великих обсягів даних і покращити роботу з потоковим відео та VoIP.

2. IEEE 802.11ax (2019р., Wi-Fi 6) фокусувався на оптимізації роботи в умовах високої щільності клієнтів. Завдяки технологіям OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) та MU-MIMO (Multi-User, Multiple-Input, Multiple-Output), покращено значення затримки та джитера, що критично для мультимедіа-додатків. Пропускна здатність зросла до 9,6 Гбіт/с.

3. IEEE 802.11be (2024р., Wi-Fi 7) значно розширив можливості за рахунок підтримки трьох діапазонів (2,4; 5; 6 ГГц), збільшив ширину каналу до 320 МГц та кількості просторових потоків до 16. Це забезпечило ще вищу стабільність, низьку затримку та загальну пропускну

здатність понад 40 Гбіт/с, що особливо важливо для задач реального часу, таких як AR/VR, 8K-стримінг і віддалені інтерактивні сервіси.

Розглянемо більш детально поняття якості обслуговування (QoS) та визначимо характеристики та параметри, які впливають на якість обслуговування в мережах Wi-Fi.

Якість обслуговування (QoS) у бездротових локальних мережах (WLAN) – це комплекс механізмів та технологій, спрямованих на забезпечення визначених показників якості обслуговування (Key Performance Indicators, KPIs) для різних типів трафіку. Впровадження QoS дозволяє організаціям пріоритезувати мережеві ресурси відповідно до вимог додатків у реальному часі, зокрема, голосових сервісів, потокового відео та інтерактивних онлайн-додатків. Завдяки цьому можливо гарантувати стабільну роботу критичних служб навіть у середовищі з обмеженою пропускною здатністю, оптимізуючи використання мережевих ресурсів і покращуючи загальний рівень обслуговування [2].

В результаті аналізу предметної області та літературних джерел визначено показники якості обслуговування KPIs в мережах Wi-Fi.

Показники якості обслуговування формуються під впливом радіоелектронних характеристик, які визначають ефективність передачі даних. Тому їх доцільно враховувати при оцінці якості обслуговування в мережах Wi-Fi.

При оцінці якості обслуговування пропонується враховувати наступні радіоелектронні характеристики:

– потужність сигналу (*RSSI,* Received Signal Strength Indicator) – визначає рівень сигналу, отриманого приймачем, і безпосередньо впливає на стабільність з'єднання та швидкість передавання даних. Вимірюється в дБм. Сильний сигнал має значення близько -30 дБм, а слабкий – до -90 дБм.

– відношення сигнал/шум (*SNR,* Signal-to-Noise Ratio) – характеризує співвідношення потужності корисного сигналу до рівня перешкод. Вимірюється в дБ. Якісний сигнал має значення понад 20-25 дБ.

При оцінці якості обслуговування пропонується враховувати наступні мережні показники:

– пропускна здатність (*V*) – фактична швидкість передавання даних у мережі, що вимірюється в бітах за секунду. Механізми якості обслуговування (QoS) забезпечують раціональний розподіл пропускної здатності між різними потоками трафіку.

– затримка (*d*) – час між відправленням запиту та отриманням відповіді. Затримка ≤ 50 мс вважається непомітною, 50-100 мс – допустимою, а понад 150 мс – призводить до помітного погіршення якості передачі.

– втрати пакетів (*P*) – частка даних, що не досягли пункту призначення. Допустимий рівень втрат у бездротових мережах становить 0–1%.

– джиттер (*J*) – варіація затримки у часі. Для забезпечення високої якості VoIP та потокового відео рекомендоване значення < 20 мс.

У результаті аналізу джерел були сформовані таблиці гранично допустимих значень показників якості обслуговування KPIs при передачі мови, відео та даних при різних стандартах Wi-Fi. В таблиці 1 приведено гранично допустимі значень показників якості обслуговування при різних стандартах Wi-Fi для передачі аудіо-даних [3], в таблиці 2 – для передачі відео-даних [4], в таблиці 3 – для передачі файлів та даних [5].

Таблиця 1.Гранично допустимі значення показників якості сигналу при різних стандартах Wi-Fi для передачі аудіо-даних

Показники якості	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
RSSI (дБм)	-90 … -40	-90 … -40	-90 … -40
SNR (дБ)	≥ 20	≥ 20	≥ 20
V	0.1-1 Мбіт/с	0.1-1 Мбіт/с	0.1-1 Мбіт/с
d (мс)	50-150	20-100	5-50
P (%)	≤ 1	≤ 0.5	≈ 0
J (мс)	≤ 30	≤ 20	≤ 10

Таблиця 2.Гранично допустимі значення показників якості сигналу при різних стандартах Wi-Fi для передачі відео-даних

Показники якості	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
RSSI (дБм)	-85 … -40	-85 … -40	-85 … -40
SNR (дБ)	≥ 25	≥ 25	≥ 25
V	2-25 Мбіт/с	2-50 Мбіт/с	2-100+ Мбіт/с
d (мс)	100-400	50-200	5-50
P (%)	≤ 3	≤ 2	≤ 1
J (мс)	≤ 50	≤ 30	≤ 15

Таблиця 3.Гранично допустимі значення якості сигналу при різних стандартах Wi-Fi для передачі файлів та даних

Показники якості	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
RSSI (дБм)	-90 … -40	-90 … -40	-90 … -40
SNR (дБ)	≥ 15	≥ 15	≥ 15
V	1-100+ Мбіт/с	1-500+ Мбіт/с	1-1+ Гбіт/с
d (мс)	50-1000	20-500	5-100
P (%)	≈ 0	≈ 0	≈ 0
J (мс)	не критично	не критично	не критично

В результаті досліджень визначено ключові показники якості обслуговування (QoS) у бездротових мережах, до складу яких запропоновано включити не лише класичні мережеві показники, а й радіоелектронні характеристики. Такий підхід забезпечує більш комплексну та точну оцінку рівня якості обслуговування. Для кожного стандарту Wi-Fi визначено граничні значення показників, що дозволяють оцінити ефективність передавання різних типів даних. Це, у свою чергу, забезпечує можливість об’єктивного визначення рівня якості надання послуг у бездротових мережах. Формування відповідних таблиць і систематизація показників сприятимуть підвищенню точності аналізу та моніторингу якості надання сервісів.

Список використаної літератури

[1] M. Gast, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, 2nd ed. Sebastopol, CA: O’Reilly Media, 2005.

[2] Malik, A., Qadir, J., Ahmad, B., Yau, K.-L. A., & Ullah, U. *QoS in IEEE 802.11-based Wirelepss Networks: A Contemporary Survey*. *arXiv preprint arXiv:1411.2852,* 2014. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1411.2852

[3] Cisco Systems, *Voice over Wireless LAN Design Guide*, Cisco, 2018. [Online]. Available: https://docstore.mik.ua/univercd/cc/td/doc/solution/vowlandg.pdf

[4] 7signal, *Wireless Network KPIs: Benchmark Values*, 2023. [Online]. Available: https://www.7signal.com/info/kpi

[5] IEEE, *IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange – Extremely High Throughput (EHT)*, IEEE Std 802.11be/D4.0-2024, 2024. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516

НТБОНТУ

Розділ 7.

Штучний інтелект та автоматизація робототехнічних систем

UDC 004.932

COMPARATIVE ANALYSIS OF LOCALIZATION METHODS FOR ACCURATE AND ROBUST POSITIONING

Ivan Ilnytskyi (i.ilnytskyi@gmail.com)
Lviv Polytechnic National University (Ukraine)

Abstract—Localization, the task of determining position, is fundamental for robotics, navigation, and tracking [1], [2]. This paper reviews modern approaches with emphasis on mathematical and computational modeling. We compare geometric methods [6], Bayesian filter-based sensor fusion (Kalman/Particle filters) [3], graph-based optimization (SLAM) [11], [12], and deep learning techniques [5], [8]. The review indicates that achieving accuracy and robustness in complex, GPS-denied environments requires the implementation of hybrid systems and robust estimation mechanisms [3], [4].

I. Problem Statement

Localization is the core process of estimating an object's position and orientation, underpinning autonomous robotics, navigation, wireless sensor networks, and augmented reality [1], [2], [7]. Autonomous systems require continuous and reliable localization for safe operation. In GPS-denied environments (e.g., indoors or urban canyons), alternative methods are mandatory. Even outdoors, reliance solely on GNSS is often insufficient for safety-critical tasks demanding higher accuracy and robustness [1], [2].

Modern approaches are broadly classified into geometric, sensor fusion (Bayesian filter-based), optimization-based (SLAM), and learning-based methods [1], [5]. Each class involves trade-offs regarding accuracy, computational cost, and resilience to uncertainties. The objective of this paper is a comparative analysis of these principal techniques, focusing on their mathematical models and their effectiveness in counteracting noise, drift, and environmental changes.

II.Research Methodology and Core Findings

A. Uncertainty Modeling and Sensor Fusion

Sensor Fusion and Bayesian Filters This approach frames localization as a state estimation problem under uncertainty, recursively updating a probability distribution using motion models and observations [3]. The Kalman Filter (KF) is highly effective for linearly-Gaussian systems, widely used to fuse complementary modalities (e.g., UWB ranges with odometry) to yield precise and stable trajectories [3], [4]. However, KF is sensitive to outliers and model errors. Particle Filters (PF) are more robust as they handle non-linear and multi-modal distributions but incur higher computational cost, requiring strategies like Rao–Blackwellization to remain tractable [3]. Dead-reckoning (IMU/odometry integration) is indispensable for continuity but must be periodically corrected by external fixes to mitigate accumulated drift [3], [7].

Optimization-Based Localization and SLAM Optimization methods, typically Graph-Based SLAM, accumulate constraints and solve the problem as a global least-squares optimization [11]. The graph model connects robot poses (nodes) with sensor observations (edges), enabling high global consistency and eliminating accumulated drift via Loop Closure [11]. Visual SLAM extends this with bundle adjustment to jointly optimize camera poses and 3D landmarks. Robustness is a key challenge;

therefore, modern solutions utilize robust cost functions and incremental solvers (e.g., iSAM) to manage outliers and maintain efficiency [4], [11].

B. Data-Driven and Geometric Approaches

Geometric Localization Techniques Methods like GNSS and UWB determine position from measured distances or angles to reference anchors [6]. UWB can achieve centimeter-level accuracy under ideal Line-of-Sight (LOS) conditions [2]. However, these methods become highly unstable in real indoor settings due to multipath and Non-Line-of-Sight (NLOS) conditions, which necessitate their combination with other techniques for robust performance.

Deep Learning Methods Deep neural networks learn a mapping from raw sensor inputs (images, RSSI) directly to position (e.g., PoseNet) [5], [8], [9]. This appeals due to its ability to capture complex, non-linear patterns that traditional models cannot. Deep visual networks show high accuracy in controlled settings [5]. The drawbacks include a heavy reliance on large datasets, poor generalization across different environments, and a lack of explicit uncertainty modeling, which renders purely learned systems potentially brittle [5].

TABLE I. COMPARISON OF TOP LOCALIZATION METHODS

Method	*Principle*	*Pros*	*Cons*
Geometry	Distances/angles to anchors	Absolute position; simple; high accuracy in LOS	Needs infrastructure; poor in NLOS
Dead-Reckoning	Motion integration (IMU, odometry)	Self-contained; smooth short-term	Drift grows; not reliable long-term
Kalman Filter	Linear-Gaussian fusion	Efficient; real-time; widely used	Sensitive to model errors, outliers
Particle Filter	Sampling-based Bayes	Handles non-linear & multi-modal; robust	Computationally heavy
Graph-SLAM	Pose graph optimization	Global consistency; loop closure correction	Needs good associations; heavier compute
Deep Learning	Neural networks on sensor data	Learns complex patterns; fast inference	Data-hungry; poor generalization

.

III. CONCLUSIONS

1. Reliability is Multi-Modal: No single localization method is universally optimal. The highest accuracy and robustness are consistently achieved by hybrid architectures that integrate: geometry (for absolute scale), Dead-reckoning (for continuity), Bayesian filters (for real-time fusion), and SLAM optimization (for global drift correction) [1], [3].
2. Robustness is Key: The ability to effectively handle uncertainties and outliers through robust modeling (adaptive filters, robust SLAM kernels) is critical for system integrity [4].
3. Future Direction: The most promising trend involves the tighter integration of deep learning with model-based approaches [5]. Neural networks can be used to provide robust features (LoFTR, SuperGlue) or estimate measurement reliability, enhancing the system's adaptability without sacrificing the stability of the underlying mathematical models. Such integrated systems are essential as autonomous platforms deploy into complex, diverse real-world environments.

REFERENCES

[1] Maharmeh, E., Al-Dubai, A., & Romdhani, I. A Comprehensive Survey on the Integrity of Localization Systems. Sensors, Vol. 25, No. 2, Article 358, 2025, pp. 1–20. DOI: 10.3390/s25020358.
[2] Aziz, T., & Koo, I. A Comprehensive Review of Indoor Localization Techniques and Applications in Various Sectors. Applied Sciences, Vol. 15, No. 3, Article 1544, 2025, pp. 1–23. DOI: 10.3390/app15031544.
[3] Shyfur, B., et al. Multi-Sensor Fusion for Reliable Mobile Robot Localization (UWB, Odometry, AHRS). Biomimetics, Vol. 10, No. 4, Article 478, 2025, pp. 1–15. DOI: 10.3390/biomimetics10040478.

[4] Ramezani, M., et al. AEROS: Adaptive Robust Least-Squares for Graph-Based SLAM. arXiv preprint arXiv:2110.02018 [cs.RO], 2021.
[5] Chen, C., Wang, B., Lu, C., Trigoni, N., & Markham, A. Deep Learning for Visual Localization and Mapping: A Survey. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Preprint, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2308.14039.
[6] Shyfur, B., et al. Trilateration Defined and Formulated in a UWB System. Biomimetics, Vol. 10, No. 4, 2025, pp. 900–935.
[7] Bibbò, L., et al. An Overview of Indoor Localization for Human Activity Recognition (HAR) in Healthcare. Sensors, Vol. 22, No. 21, Article 8119, 2022, pp. 1–18. DOI: 10.3390/s22218119.
[8] Sarlin, P.-E., DeTone, D., Malisiewicz, T., & Rabinovich, A. SuperGlue: Learning Feature Matching with Graph Neural Networks. In Proc. CVPR, 2020, pp. 4938–4947.
[9] Sun, J., Shen, Z., Wang, Y., Bao, H., & Zhou, X. LoFTR: Detector-Free Local Feature Matching with Transformers. In Proc. CVPR, 2021, pp. 8922–8931.
[10] Arandjelović, R., Gronat, P., Torii, A., Pajdla, T., & Sivic, J. NetVLAD: CNN Architecture for Weakly Supervised Place Recognition. In Proc. CVPR, 2016, pp. 5297–5307.
[11] Sarlin, P.-E., Cadena, C., Siegwart, R., & Dymczyk, M. From Coarse to Fine: Robust Hierarchical Localization at Large Scale. In Proc. CVPR, 2019, pp. 12708–12717.
[12] Brachmann, E., & Rother, C. DSAC++: Differentiable RANSAC for Camera Localization. In Proc. CVPR, 2019, pp. 6689–66

UDC 621.865

RESEARCH OF CONTROL METHODS FOR A MOBILE MANIPULATION ROBOTIC PLATFORM WITHIN THE FRAMEWORK OF INDUSTRY 5.0 CONCEPTS

Elgun Jabrayilzade (elgun1999@gmail.com)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The paper considers current methods of controlling a mobile robotic manipulation platform in the context of implementing Industry 5.0 concepts, which envisage the integration of humans and robots into a single collaborative production environment. The research focuses on analyzing the possibilities of applying predictive control models, impedance strategies, and machine learning methods to achieve adaptability, flexibility, and safe interaction with the operator in dynamic conditions. The feasibility of using hybrid control architectures that combine the reliability of classical approaches and the intelligence of modern algorithms is substantiated. The results emphasize that effective control of mobile manipulation platforms is the key to creating innovative, human-centered production systems that comply with Industry 5.0 principles.

The current stage of robotics development is characterized by the integration of mobile manipulation platforms into production processes, which opens up new opportunities for the implementation of Industry 5.0 concepts [1-3]. Unlike previous generations of industrial automation, the modern paradigm is aimed at creating human-centered, flexible, and highly efficient production systems in which robots not only perform auxiliary functions but also act as active elements of a collaborative environment [4-7]. Mobile manipulation platforms, capable of combining the functions of movement and precise execution of manipulation actions in dynamic production conditions, play a special role in this context. Research into methods of controlling such systems requires the development of adaptive algorithms that ensure a balance between the robot's autonomy, its ability to collaborate, and a high level of safety in interaction with humans. Within the framework of Industry 5.0, issues of integrating artificial intelligence, computer vision systems, fuzzy logic, and optimization methods into the control structure of mobile platforms are becoming relevant. This allows for an increase in the level of self-learning, adaptability, and resilience of robotic systems to environmental uncertainties. Thus, research into methods of controlling mobile manipulation platforms creates the basis for the development of intelligent production, in which humans and robots interact as equal participants in joint activities. We will conduct research on modern methods and present the results below[8-10].

Model Predictive Control (MPC) is a classic optimal approach that predicts the future behavior of a mobile manipulation platform over a finite horizon and solves the motion and manipulation problem as an integrated optimization problem, allowing for dynamic, contact, and safety constraints to be taken into account. This method is well suited for real-time trajectory planning and obstacle avoidance tasks, but requires accurate models or fast learning surrogates for real-world applications.

Integrated Whole-Body MPC approaches distribute priorities between the mobile base and the manipulator, allowing simultaneous optimization of robot kinematics and dynamics during transitions between spatial tasks and manipulation, significantly improving manipulability and stability in complex scenarios.

Neural network and model-oriented variations of MPC (e.g., NN-MPC or quasi-model schemes) extend the applicability of the approach to nonlinear, poorly modeled mobile manipulator systems, but require careful validation to ensure safety when interacting with humans.

Impedance and admittance control are fundamental methods for ensuring safe physical interaction between the manipulator and its environment and humans. They formalize the desired contact dynamics as a force-displacement relationship, making them a natural choice for collaborative mobile platforms in Industry 5.0. The use of variable impedance control allows the stiffness and damping to be adapted to specific phases of the task (movement, approach, contact), which increases resistance to surface uncertainties and minimizes the risk of injury to humans during collaboration. Adaptive impedance controllers based on MRAC and similar schemes provide automatic adjustment of controller parameters when the load mass changes, model distortions occur, or contact conditions change, which is important for platforms that perform diverse operations in production. ([Frontiers][5])

Classic PID/LQR control and its extensions remain useful as verified low-level components for stabilizing the drives and actuators of a mobile platform, but they are limited when operating in uncertain environments or when multitasking without external schedulers.

Adaptive control and online learning (adaptive control) make it possible to compensate for unknown dynamic parameters and slowly changing environmental influences, making them useful for mobile manipulators with variable loads and mechanical wear.

Sliding-mode control and H-infinity strategies provide high resistance to uncertainties and external disturbances, but can introduce high frequencies in the command and require filtering, which is critical when interacting with humans; these methods are often used in hybrid architectures for robust low-level control.

Behavior-based and reactive architectures use simple rule modules to respond quickly to unpredictable events, which is useful for safe movement in crowded areas, but they typically do not guarantee global optimality or smoothness of manipulation trajectories.

Hybrid approaches combine high-level trajectory planners with low-level reflexive modules and provide a compromise between efficiency and safety; in the context of Industry 5.0, such architectures allow human involvement in control to be maintained while delegating routine operations to robots.

Reinforcement learning (RL), and especially its deep variants (Deep RL), show strong potential for learning complex manipulation skills and autonomously mastering contact-rich tasks, but they often require large amounts of data and carefully designed simulations for safe transfer to the real world.

Multi-agent RL and decentralized learning schemes are useful for coordinating groups of mobile manipulators, allowing each agent to learn locally with minimal communication, which increases the scalability of systems and their resistance to communication failures.

Combinations of MPC and RL (e.g., RL for learning models or policy variations that integrate into MPC) have a synergistic effect: MPC ensures safety and dynamic constraints, while RL reduces the need for an accurate model and increases adaptability to unknown scenarios.

Sim-to-real and knowledge transfer methods are critical for applying DRL in mobile manipulation; they include domain adaptation, model randomness, and experiments on real equipment to minimize discrepancies between the simulator and real conditions.

Bayesian and meta-learning approaches allow policies to be adapted more quickly to new tasks or new payload configurations, which is useful for production lines with frequent changes in product and operating rules.

Optical vision methods and visual servo control remain key for accurate manipulator positioning when grasping objects and for situations where GPS or global localization tools are not available; integration with MPC or RL improves response to dynamic scene changes.

Real-time fusion of sensor data (vision, lidar, force/torque, IMU) improves the reliability of platform and object state estimation in the environment, which directly affects motion planning accuracy and safety when working with humans.

POMDP/Belief-space approaches and planning under uncertainty are useful in tasks where observations are incomplete or noisy; they allow decisions to be made taking into account uncertainty and risks, which is important in crowded industrial environments.

Safety services and behavior verification (safety verification, runtime monitoring) are becoming mandatory for Industry 5.0 applications, as humans work alongside autonomous platforms and certification and behavior audit requirements are becoming more stringent.

Decentralized control architectures with local controllers and minimal centralized coordination increase the resilience of the production line to communication failures and allow robot groups to be scaled without exponential growth in communication costs.

In short, an effective control architecture for a mobile manipulation platform in Industry 5.0 is a hybrid multi-level system that combines the predictability and guarantees of MPC, the adaptability of impedance circuits, the learning capabilities of RL, and the reliability of decentralized and reactive modules focused on safety and the human factor.

References

[1] Rahman, M. M., Khatun, F., Jahan, I., Devnath, R., & Bhuiyan, M. A. A. (2024). Cobotics: the evolving roles and prospects of next-generation collaborative robots in Industry 5.0. Journal of Robotics, 2024(1), 2918089. https://doi.org/10.1155/2024/2918089

[2] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94. https://openarchive.nure.ua/handle/document/24118

[3] Testa, A., Carnevale, G., & Notarstefano, G. (2025). A tutorial on distributed optimization for cooperative robotics: from setups and algorithms to toolboxes and research directions. Proceedings of the IEEE. https://doi.org/10.1109/JPROC.2025.3557698

[4] Urrea, C. (2025, April). Hybrid Fault-Tolerant Control in Cooperative Robotics: Advances in Resilience and Scalability. In Actuators (Vol. 14, No. 4, p. 177). MDPI. https://doi.org/10.3390/act14040177

[5] Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, Svitlana Maksymova, Vladyslav Yevsieiev, Vyacheslav Lyashenko, "Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations," International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 72, no. 11, pp. 294-306, 2024. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I11P129

[6] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gopejenko, V., & Kosenko, V. (2025). Development of mathematical support for adaptive control for the intelligent gripper of the collaborative robot manipulator. Advanced Information Systems, 9(3), 57-65.

[7] Demska, N., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Ababneh, J. (2025). DECISION-MAKING MODEL FOR CONTROLLING A COLLABORATIVE ROBOT-MANIPULATOR BASED ON THE SENSOR FUSION METHOD AND CNN APPROACH TO RULE FORMATION. Multidisciplinary Journal of Science and Technology, 5(6), 846-859.

[8] H. Attar, A. T. Abu-Jassar, V. Yevsieiev, V. Lyashenko, I. Nevliudov and A. K. Luhach, "Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar", Comput. Intell. Neurosci., vol. 2022, pp. 3046116, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/3046116

[9] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. International Journal of Crowd Science, 9(1), 29-43.

[10] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 61-64). IEEE.

UDC 004.9

USAGE OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN TELECOMMUNICATIONS AND BILLING SYSTEMS

Kazhymukhanov A.T., Kim Ye.R., Kulambayev B.O.
(24252468@turan-edu.kz, e.kim@turan-edu.kz, b.kulambayev@turan-edu.kz)
Turan University(Kazakhstan)

The application of machine learning (ML) algorithms in telecommunications and billing systems has emerged as a critical advancement, addressing complex challenges ranging from customer churn prediction to fraud detection and network optimization [1-7]. The pervasive nature of wireless communication and the advent of technologies like 5G and 6G have generated enormous volumes of data, making traditional analytical methods insufficient for effective management and strategic decision-making. ML offers a powerful framework to extract valuable insights from this data, enhancing efficiency, accuracy, and customer satisfaction [1-4].

Statement of the Problem

The telecommunications sector faces significant operational and commercial challenges that ML seeks to mitigate. Firstly, customer churn is a persistent issue, leading to substantial revenue loss and increased costs for acquiring new customers [3][5][6]. Traditional churn prediction methods often lack the sophistication to handle the dynamic and heterogeneous nature of customer data, resulting in suboptimal retention efforts [7]. Secondly, fraud represents a major financial burden for telecommunication operators, causing significant losses and eroding customer trust [2]. As fraudulent activities become more sophisticated and dynamic, conventional rule-based detection systems are often outpaced, unable to adapt to evolving fraud patterns [2]. Thirdly, the management and optimization of telecommunications networks, particularly with the introduction of 5G and future 6G technologies, present immense complexity. Furthermore, the efficiency and accuracy of billing processes, including real-time transactions and automated systems, are paramount in an increasingly digital and high-volume environment [1][4].

Enumeration of Solving Issues

ML algorithms provide robust solutions to these identified problems:

Customer Churn Prediction and Retention: ML algorithms, such as Random Forest, Decision Tree, XGBoost, LightGBM, Support Vector Machines (SVMs), and various deep learning (DL) models, are highly effective in analyzing customer behavioral data—including call duration, internet usage, billing history, and complaints—to predict churn with high accuracy [3][5][7]. Hybrid ML and DL models have shown superior performance, achieving accuracies up to 97.7% in some scenarios [5]. By identifying high-risk churn customers, telecommunication companies can implement proactive retention strategies, such as personalized offers or improved customer support, significantly impacting revenue streams [3][6]. The ability of ML to process massive datasets and uncover hidden patterns allows for a more nuanced understanding of churn drivers compared to traditional methods [7].

Fraud Detection in Billing Systems: AI and ML models like LightGBM are employed to develop advanced fraud detection systems in telecommunication billing [2]. These systems can analyze vast amounts of transaction data, identifying anomalies and suspicious patterns indicative of fraudulent activities that would be missed by conventional methods [2]. This approach not only improves detection accuracy and efficiency but also adapts to new fraud tactics, thereby reducing financial losses and enhancing customer trust [2]. ML can also be applied to automate billing processes, reducing administrative workloads and improving accuracy in areas like healthcare billing, which shares similarities with telecommunications in terms of complex code processing [4].

Network Optimization and Management: ML algorithms are instrumental in optimizing various aspects of telecommunication networks. For instance, in 5G networks, ML improves coverage prediction, enabling network providers to optimize infrastructure deployment and ensure high-quality service. Algorithms like Random Forest have demonstrated superior performance in 5G coverage prediction. ML also enhances spectrum handoff management, especially considering random user movement, by using techniques such as Logistic Regression, KNN, SVM, Naïve Bayes Classifier, and Decision Tree Classification. This ensures seamless connectivity and improved system performance. Machine learning also supports the development of robust antenna control policies to improve user coverage and quality of

service. Furthermore, ML contributes to efficient data-driven network functions by passively gathering observations and inferring accurate networking state information.

Automated Billing Systems: ML can automate and streamline billing processes, such as in the "AutoBill" system, which utilizes image recognition and real-time data storage on platforms like Raspberry Pi to transform retail checkout methods [1]. This enhances the speed and accuracy of digital transactions, extending to various sectors including electric vehicle charging stations where ML automates battery management system tracking and billing. Such systems provide real-time estimates of power usage and can issue alerts, highlighting the efficiency and reliability gains from ML integration [1].

Statement of Research Essence

The essence of this research lies in leveraging the predictive and analytical power of machine learning algorithms to transform the telecommunications and billing industries from reactive to proactive and optimized operational models. This involves:

- Data-Driven Decision Making: Shifting from heuristic or rule-based approaches to decisions informed by real-time and historical data analysis. ML enables the extraction of actionable intelligence from the massive datasets generated in telecommunications, which often contain valuable, yet hidden, information.
- Enhanced Efficiency and Accuracy: Automating complex tasks, such as churn prediction, fraud detection, and billing, reduces manual effort, minimizes errors, and increases operational efficiency across various functions [1][2][4].
- Adaptive and Intelligent Systems: Developing systems that can continuously learn and adapt to dynamic environments, evolving customer behaviors, and emerging threats (e.g., new fraud patterns, changing network conditions) [7]. This adaptability is crucial in rapidly evolving technological landscapes like 5G and 6G.

Conclusions

The objective of integrating machine learning into telecommunications and billing systems is to overcome existing limitations in efficiency, accuracy, and adaptability, thereby fostering sustainable growth and competitive advantage. The research unequivocally concludes that:

- ML is indispensable for customer retention: Machine learning algorithms significantly improve the accuracy of customer churn prediction, allowing telecom operators to identify at-risk customers and deploy targeted retention strategies effectively [3][7]. ML is critical for robust fraud detection: The dynamic and evolving nature of telecommunications fraud necessitates advanced AI and ML models to detect complex patterns that evade traditional methods [2]. These systems provide real-time, adaptive solutions that minimize financial losses and protect customers [2].
- ML drives network optimization and enhances service quality: Machine learning algorithms are vital for optimizing network performance, from 5G coverage prediction and spectrum handoff management to efficient resource allocation and traffic prediction in advanced 5G/6G networks. ML streamlines and improves billing accuracy: Automated billing systems powered by machine learning enhance the speed and accuracy of digital transactions, reducing administrative overhead and errors across various applications, including retail and specialized charging systems [4].

In conclusion, the broad application of machine learning algorithms across telecommunications and billing systems represents a fundamental paradigm shift towards more intelligent, efficient, and customer-centric operations. These technologies enable telecommunication companies to navigate complex challenges, enhance service delivery, and maintain a competitive edge in an increasingly data-driven world.

References

[1]. P. Musale, S. Sapkal, R. Sarawade, Y. Sankh, A. Sankalecha, S. Kamble, and S. Nandanwar, "Automatic Billing System using Machine Learning," in *2024 IEEE 2nd International Conference on Innovations in High Speed Communication and Signal Processing (IHCSP)*, 2024.

[2]. E. Reypnazarov, Z. Allamuratova, T. Babazhanova, and R. Dauletmuratova, "AI-Driven Fraud Detection in Telecommunication Billing Systems," *Educational Data Mining*, 2025.

[3]. A. Shahid, M. Hussain, and A. Iqbal, "Machine Learning Based Improved Customer Churn Prediction Model for Telecommunications Industry," in *International Conference on Emerging Technologies*, 2023.

[4]. M. R. Hoque, M. M. Ali, S. Ferdausi, K. Fatema, and M. R. Mahmud, "Leveraging Machine Learning and Artificial Intelligence to Revolutionize Transparency and Accountability in Healthcare Billing Practices across the United States," *Journal of Computer Science and Technology Studies*, vol. 5, no. 1, pp. 29–38, 2025.
[5]. L.Tejada-Vicente, D. Rosado-Oliden, and D. Mauricio-Santos, "Prediction of Telecommunications Customer Churn Based on Hybrid Machine Learning and Deep Learning Algorithms," in *2024 IEEE XXXI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, 2024.
[6]. R. Krishna, D. Jayanthi, D. S. Shylu Sam, K. Kavitha, N. K. Maurya, and T. Benil, "Application of machine learning techniques for churn prediction in the telecom business," *Results in Engineering*, vol. 24, p. 101420, 2024.
[7]. I. A. Adeniran, C. P. Efunniyi, O. S. Osundare, and A. O. Abhulimen, "Implementing machine learning techniques for customer retention and churn prediction in telecommunications," *Computer Science & IT Research Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 104–115, 2024

UDC 004.8

TOWARDS HUMAN EXPERTS SUBSTITUTION WITHIN MULTI-ASSISTANT AI-BASED DECISION-MAKING FRAMEWORK

Andrii Kopp, Ivan Nesterenko, Roman Dashkivskyi
(andrii.kopp@khpi.edu.ua, ivan.s.nesterenko@cs.khpi.edu.ua, roman.dashkivskyi@cs.khpi.edu.ua)
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)

Abstract. *The paper presents a multi-assistant AI decision-support framework that combines independent judgments of several LLMs, their aggregation, and automated consistency checks. The proposed approach allows increased diversity of assessments and consistent recommendations that can partially replace expert judgments in multi-criteria decision-making tasks.*

Problem statement. The issue of applying Artificial Intelligence (AI) in decision-making processes is linked to the gradual transition from an auxiliary role to the potential replacement of human experts in complex multi-criteria assessments.

Recent studies show that large language models, such as Generative Pre-trained Transformer 4 (GPT-4), are capable of automating the pairwise comparison procedure in the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, but lack the diversity of multi-assistant assessments [1]. The proposed approaches mostly consider the use of AI assistants within a single combined environment, opening up prospects for further research into multi-assistant comparative structures [2]. At the same time, the integration of generative AI into decision-making highlights the contradiction between expert judgment and automated calculations, especially when applying the Saaty scale [3]. A comparison of human and AI-oriented decisions based on AHP shows differences in priorities, which highlights the need for consensus-building mechanisms [4].

Although there have already been attempts to apply AI to multi-criteria assessments in hybrid systems, they still involve significant human participation, which indicates the potential for the development of fully automated solutions [5]. The use of fuzzy AHP with the involvement of AI demonstrates the possibilities of automation, but remains human-centered in the collection of expert judgments [6]. Individual studies in the field of urban planning show that AI can effectively perform the function of an assistant or partially replace experts in pairwise comparison tasks, which emphasizes the strategic importance of studying such systems in the broader context of decision-making [7].

The problem is that, despite the growing potential of Large Language Models (LLMs) for automating pairwise comparisons in the hierarchy analysis method, current approaches remain limited by their human-centricity and lack of multi-assistant diversity, making it difficult to replace expert judgments with fully AI-driven systems.

Research objectives. This study addresses the task of developing a multi-agent decision support framework that integrates several LLM models to form independent pairwise judgments, aggregate them

into a common matrix, and automatically verify consistency with the possibility of iterative refinement of responses.

The proposed approach focuses on using a variety of AI assistants to reduce the risk of bias in a single LLM and create a collective consensus mechanism, the results of which are transformed into recommendations for experts.

Research results. This research paper proposes a multi-assistant approach to decision support that combines human expert interaction with the generative capabilities of several AI models.

In the proposed architecture, a human expert forms a set of alternatives and corresponding comparative questions, which are transferred to a multi-assistant AI environment. This environment is implemented as a solution in which several LLM-based AI assistants interact simultaneously, each generating its own judgments based on the task at hand.

The results are collected in a central module and integrated in the form of coordinated assessments, which are transformed into recommendations and rankings of alternatives. This output data is returned to the expert for verification, comparison, or direct use in decision-making.

Thus, the framework provides a two-way exchange:

1) on the one hand, the expert sets the context and questions for analysis;

2) on the other had, the multi-assistant AI-supported system returns coordinated judgments and recommendations.

This combines human expert knowledge with the collective intelligence of several models, increasing the diversity and soundness of the final decisions.

Fig. 1 demonstrates the outline of the proposed multi-assistant AI decision-support framework.

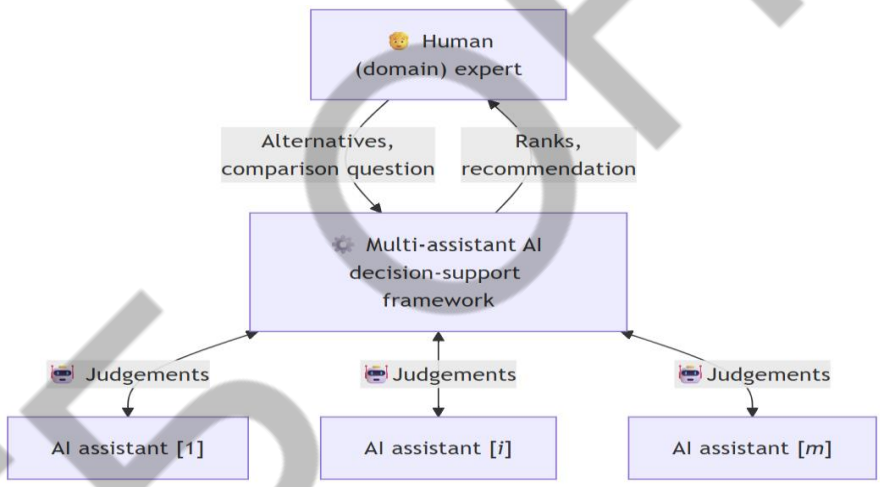


Figure 1 – Multi-assistant AI decision-support framework

The description of the proposed multi-assistant AI decision-support workflow can be given as a sequence of steps reflecting the detailed logic of the proposed scheme:

1. Identifying alternatives and formulating comparative questions.

A human expert provides a set of alternatives to be evaluated and formulates paired questions to construct a comparison matrix.

2. Request multiple AI assistants.

Formulated questions are sent in parallel to several AI models, which act as independent decision-making assistants.

3. Generation of comparison matrices.

Each AI assistant, based on its own knowledge processing mechanisms, forms a matrix of pairwise comparisons $A^{(i)}$ that reflects its individual judgment.

4. Aggregation of judgments.

All obtained matrices $A^{(1)}$, $A^{(2)}$, …, $A^{(m)}$ are integrated into a common generalized matrix using the aggregation method (for example, geometric mean or consensus method).

5. Consistency check.

The Consistency Ratio (CR) is calculated for the aggregated matrix. If the CR value exceeds the acceptable threshold (0.1), the process returns to the stage of re-querying AI assistantsto clarify the answers.

6. Ranking of alternatives.

If the CR is acceptable (i.e. $CR < 0.1$), the weight coefficients of the criteria are calculated from the aggregated matrix and the alternatives are ranked.

7. Recommendation generation.

Based on the ranking obtained, a final recommendation is generated and returned to the expert for further use in decision-making.

Fig. 2 demonstrates the proposed multi-assistant AI decision-support workflow.

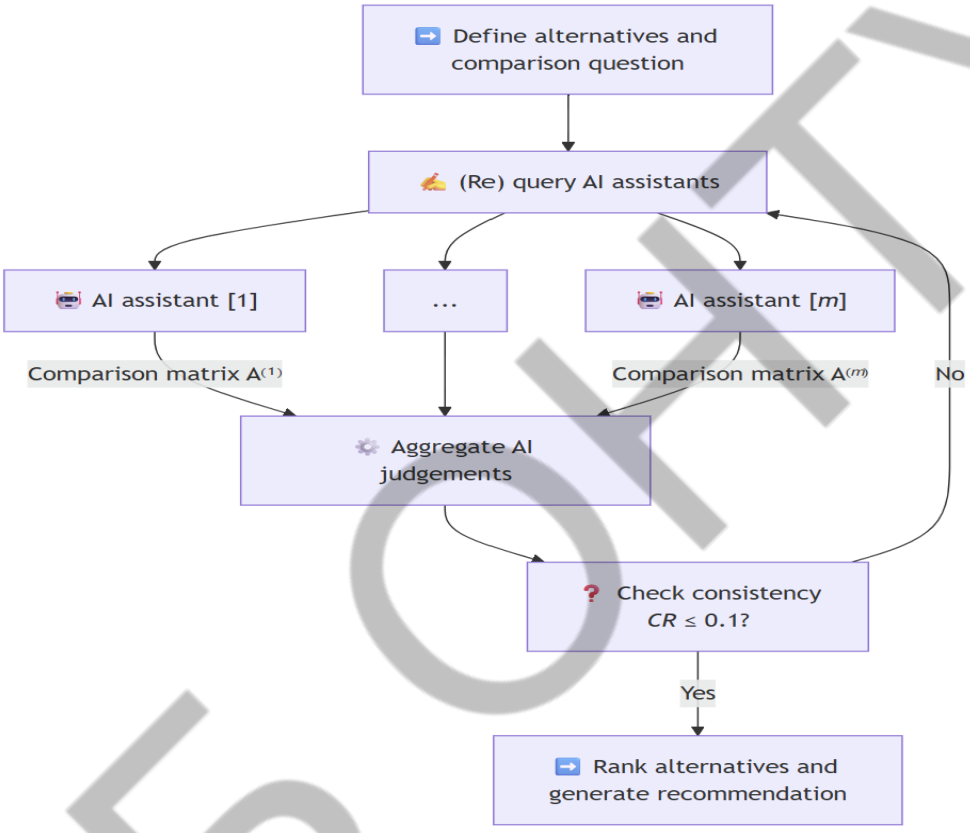


Figure 2 – Multi-assistant AI decision-support workflow

Conclusion. Therefore, the proposed approach allows combining the "classic" AHP with multi-assistant interaction of AI models, which provides greater diversity of judgments and creates the conditions for automated consensus in complex multi-criteria tasks.

References

[1] I. Svoboda and D. Lande, "Enhancing Multi-Criteria Decision Analysis with AI: Integrating Analytic Hierarchy Process and GPT-4 for Automated Decision Support," arXiv preprint, Feb. 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2402.07404

[2] I. Svoboda and D. Lande, "AI Agents in Multi-Criteria Decision Analysis: Automating the Analytic Hierarchy Process with Large Language Models," SSRN Electronic Journal, 2024. doi: https://doi.org/10.2139/ssrn.5069656

[3] A. Agarwal, "Optimizing employee roles in the era of generative AI: a multi-criteria decision-making analysis of co-creation dynamics," Cogent Social Sciences, vol. 11, no. 1, 2025. doi: https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2476737

[4] B. Srđević, "Evaluating the Societal Impact of AI: A Comparative Analysis of Human and AI Platforms Using the Analytic Hierarchy Process," AI, vol. 6, no. 4, p. 86, 2025. doi: https://doi.org/10.3390/ai6040086

ITSOFTY

[5] C. Z. Radulescu and M. Radulescu, "Criteria Analysis for the Selection of a Generative Artificial Intelligence Tool for Academic Research Based on an Improved Group DEMATEL Method," Applied Sciences, vol. 15, no. 10, p. 5416, 2025. doi: https://doi.org/10.3390/app15105416

[6] S. Gupta, S. Kaur, M. Gupta, and T. Singh, "AI empowered academia: a fuzzy prioritization framework for academic challenges," Journal of International Education in Business, 2024. doi: https://doi.org/10.1108/jieb-06-2024-0071

[7] D. Sofia, "Redefining Choices. How Does Artificial Intelligence Support Decision-Making in Urban and Architectural Development?" Master's Thesis, Politecnico di Torino, 2025. [Online]. Available: https://webthesis.biblio.polito.it/secure/34480/1/tesi.pdf

UDC 004.89

INTELLIGENT WEB SERVICE FOR PERSONALIZED NUTRITION

Kotova A. V., Rakhimbayeva A. B., Ospanov R. R., Kim E. R.
(24251579@turan-edu.kz, 24250526@turan-edu.kz,
24250619@turan-edu.kz, e.kim@turan-edu.kz)
Turan University (Kazakhstan)

This paper presents the project of an intelligent web service for personalized nutrition, NutriLegend, based on artificial intelligence, machine learning, and gamification technologies. The service aims to create individualized meal plans, control caloric intake, and support user motivation. The paper provides the results of market, audience, and competitor analysis, and substantiates the relevance of developing such a solution amid healthcare digitalization and growing public interest in a healthy lifestyle.

With the rapid development of digital technologies and the increasing focus on healthy nutrition, there is a growing demand for tools that combine scientifically based recommendations with convenience and personalization. According to *Nutrients* [1], up to 60% of users abandon food diary apps within the first month due to complex interfaces and lack of motivation.

Modern calorie-tracking services (MyFitnessPal, Yazio, FatSecret) offer basic dietary logging features but rarely take into account individual goals, preferences, physical activity levels, and medical restrictions [2]. This creates prerequisites for developing new solutions that integrate artificial intelligence (AI) and gamification mechanics to enhance user engagement [3].

The main limitation of existing solutions is their low degree of personalization. Most applications provide template meal plans that are not adapted to users' physiological characteristics. The absence of motivational elements leads to rapid loss of interest, while manual data entry results in errors and user fatigue.

Thus, there is a need for an intelligent web service that automates meal planning, ensures the accuracy of recommendations, and makes interaction engaging and motivating.

Project goal: to develop the intelligent web service *NutriLegend*, providing personalized nutrition based on user data analysis through AI algorithms.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1) analyze the personalized nutrition market and existing digital solutions;
2) identify the target audience and its needs;
3) develop the structure and functional requirements for the web service;
4) implement the concept of gamification and intelligent automation of diet analysis;
5) assess the competitive advantages and commercialization potential of the project.

The *NutriLegend* service is a web platform that uses machine learning algorithms to analyze user data (age, weight, goals, restrictions, activity level). The system generates a diet plan based on energy and nutrient balance principles, automatically calculates caloric intake, and suggests recipes tailored to individual preferences [4].

Integration of computer vision enables meal recognition from photos, simplifying food logging. The calorie-counting algorithm uses open database APIs (e.g., Nutritionix) to ensure high accuracy.

To increase engagement, gamification mechanics are applied: levels, achievements, challenges, virtual rewards, and progress visualization through character "leveling up." Users earn experience points (XP) for adhering to diet plans, participating in challenges, and achieving goals.

According to the meta-analysis by Mazeas et al. [5], the use of gamification increases engagement in health programs by 30–40%.

According to *Grand View Research* and *Fortune Business Insights*, the global personalized nutrition market in 2024 is estimated at USD 14–18 billion, with projected growth to USD 35 billion by 2030 [6], [7].

Audience research identified three key segments:

1. Young adults (18–30 years) – seek fast, visual nutrition control tools and prefer gamification and challenges;
2. Middle-aged users (30–50 years) – focus on health and interface simplicity;
3. Fitness enthusiasts (25–40 years) – need precise analytical tools and tracker synchronization.

Analysis of user feedback on competing services showed that over 80% of users want recommendations based on their habits and biometrics, while 70% want to maintain motivation through gaming and social interaction.

Comparison with MyFitnessPal, Yazio, and FatSecret demonstrated that NutriLegend offers several unique advantages:

1. Use of AI for personalized nutrition plans;
2. Automatic meal recognition via a "smart camera";
3. Comprehensive gamification and challenge system;
4. Progress analytics with visual charts and reports;
5. Integration with fitness trackers and social networks.

A SWOT analysis confirmed that the combination of AI and gamification provides strong appeal and monetization potential through a *freemium* model (free basic access with paid premium features).

Service architecture includes:

1. Frontend (React + Tailwind) – adaptive user interface;
2. Backend (Python, FastAPI) – API and data processing;
3. AI module (TensorFlow, PyTorch) – meal generation and image analysis;
4. Database (PostgreSQL) – user and recipe data storage;
5. Cloud infrastructure (AWS / Google Cloud) – scalability and security.

Testing is planned to evaluate recommendation accuracy, stability, and user satisfaction. Target indicators: 99.9% uptime, <2-second response time, and >85% satisfaction rate.

The development of the *NutriLegend* intelligent web service represents an innovative direction at the intersection of AI and digital healthcare. The project addresses key market issues — lack of personalization, low motivation, and the absence of integrated analysis, recommendations, and feedback within one system.

The combination of AI technologies, automatic recognition, and gamification creates conditions for sustainable behavioral change and the formation of healthy eating habits.

The research results confirm the high relevance and practical significance of the development, as well as its potential for commercialization and international scaling.

References

[1] E. K. Campbell, M. Fidahusain, and T. M. Campbell, "Evaluation of an Eight-Week Whole-Food Plant-Based Lifestyle Modification Program," Nutrients, vol. 11, no. 9, p. 2068, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/nu11092068 (accessed: Sep. 24, 2025).

[2] K. Agrawal, P. Goktas, N. Kumar, and M.-F. Leung, "Artificial intelligence in personalized nutrition and food manufacturing: a comprehensive review of methods, applications, and future directions," Frontiers in Nutrition, vol. 12, p. 1576342, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1576342 (accessed: Oct. 22, 2025).

[3] S. Chaudhari, A. Rane, and A. R. Kumar, "Personalizing Nutrition and Recipe Recommendation Using Attention Mechanism with an Ensemble Model," Clinical eHealth, vol. 6, p. 100132, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.ceh.2025.03.002 (accessed: Sep. 24, 2025).

[4] I. Papastratis, G. Kostopoulos, C. Tzimos, et al., "AI Nutrition Recommendation Using a Deep Generative Model," Scientific Reports, vol. 14, p. 16283, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1038/s41598-024-65438-x (accessed: Sep. 24, 2025).

[5] A. Mazeas, M. Duclos, B. Pereira, and A. Chalabaev, "Evaluating the Effectiveness of Gamification on Physical Activity: Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials," Journal of Medical Internet Research, vol. 24, no. 1, p. e26779, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.2196/26779 (accessed: Oct. 22, 2025).

[6] Grand View Research, Personalized Nutrition and Supplements Market Size, Share & Trends Analysis Report by Ingredient (Probiotics, Vitamins), by Dosage Form (Powders, Liquids), by Distribution Channel, by Age Group, by Region, and Segment Forecasts, 2025–2033, 2024. [Online]. Available: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/personalized-nutrition-supplements-market-report (accessed: Oct. 9, 2025).

[7] Fortune Business Insights, Personalized Nutrition Market Size, Share & Industry Analysis, By Form (Tablets, Capsules, Powder, Liquid, and Others), By Application (Standard Supplements and Disease-Based Supplements), By Product Type (Active Measurement and Standard Measurement), By End-User (Adults, Pregnant Women, and Geriatrics), By Distribution Channel (Direct-to-Consumers, Wellness & Fitness Centers, Hospitals, and Others), and Regional Forecast, 2024–2032, 2023. [Online]. Available: https://www.fortunebusinessinsights.com/personalized-nutrition-market-106054 (accessed: Oct. 9, 2025).

UDC 004.588

AI IN SEARCH-AND-RESCUE ROBOTIC SYSTEMS

Kulesh K. S. (katherina.kulesh@gmail.com)
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

The paper analyzes the role of artificial intelligence (AI) in the development of search-and-rescue (SAR) robotic systems, emphasizing their importance in emergency response and post-war reconstruction in Ukraine. The research highlights key challenges of deploying intelligent robots in unstable and hazardous environments, as well as the opportunities AI brings for improving autonomy, safety, and operational efficiency.

The increasing complexity of natural and man-made disasters demands advanced technologies capable of operating in dangerous and unpredictable environments. In the context of Ukraine, where large territories have been affected by war, SAR robotics plays a crucial role in locating survivors, inspecting damaged infrastructure, and detecting unexploded ordnance. The integration of AI into robotic platforms significantly enhances their ability to perform these tasks autonomously and efficiently.

The main problem addressed in this study is the limited autonomy and adaptability of traditional rescue robots, which depend heavily on human teleoperation and are often ineffective in complex terrains or under debris. AI-driven approaches, including computer vision, deep learning, and reinforcement learning, enable robots to perceive their surroundings, identify obstacles, and make real-time decisions with minimal human intervention [1], [2]. These systems are particularly valuable for missions where human access is restricted or life-threatening.

The objectives of this work include the analysis of current AI methods for perception and navigation, assessment of their applicability in Ukrainian SAR conditions, and identification of challenges in data acquisition, model generalization, and system reliability. The research also explores the potential of integrating unmanned aerial vehicles (UAVs) and ground robots into hybrid systems that coordinate through AI-based communication networks [5].

Recent studies have demonstrated the potential of UAV-based situational awareness systems that use deep learning for real-time mapping and victim detection [5]. Such systems can process large volumes of aerial data, allowing rescue teams to quickly identify heat signatures, collapsed structures, or movement patterns. This capability is critical in post-conflict Ukraine, where vast areas require rapid assessment for safety before humanitarian workers can intervene. Similarly, AI-driven decision-making

algorithms have been applied to maritime and urban rescue operations, improving path optimization and resource allocation during emergencies [2], [4].

The Ukrainian context presents unique conditions for AI deployment. According to UNDP Ukraine [6], local innovators are already developing algorithms capable of detecting landmines and unexploded ordnance from drone imagery. These initiatives highlight the practical value of combining AI and robotics for humanitarian demining and reconstruction. Intelligent detection models not only enhance accuracy but also reduce the need for manual inspection, which remains one of the most dangerous tasks in post-war recovery.

However, as ISPI notes in its 2025 report [3], the integration of AI technologies into national recovery strategies also raises systemic challenges related to infrastructure, workforce readiness, and data accessibility. Ukraine's digital transformation efforts must therefore include the creation of open datasets and training environments to ensure that AI systems are reliable under local conditions. Collaboration between academia, the private sector, and government agencies is key to ensuring that robotics and AI solutions are effectively adapted to Ukrainian needs.

Modern AI algorithms allow robots to process visual, thermal, and LiDAR data for terrain mapping and victim detection. Convolutional neural networks (CNNs) are widely used for object recognition and segmentation, while reinforcement learning techniques optimize path planning in complex and dynamic environments. However, challenges remain in ensuring real-time performance, robustness under poor visibility, and resilience against sensor failure. In Ukraine, the practical implementation of AI in rescue robotics faces additional constraints related to limited datasets, infrastructure damage, and unstable communication networks.

Another important direction involves the use of AI for humanitarian demining and explosive detection. Robotic systems equipped with AI-based vision and sensor fusion can significantly reduce the risk to human sappers by autonomously identifying dangerous objects and mapping contaminated zones. The adoption of such technologies in Ukraine could accelerate the clearance of liberated territories and the safe return of civilians.

Despite these opportunities, several ethical and logistical issues remain unresolved. The deployment of autonomous robots in war-affected regions raises concerns about accountability, data privacy, and dual-use technologies. Clear regulatory frameworks and technical standards must be established to ensure that AI-driven systems operate safely, transparently, and in compliance with international humanitarian principles.

In conclusion, the integration of AI into SAR robotics offers transformative opportunities for Ukraine's post-war recovery and disaster response. AI enables robots to perceive, learn, and act autonomously in complex environments, enhancing the speed and effectiveness of rescue missions while minimizing human risk. To fully realize these benefits, Ukraine must invest in domestic AI research, develop high-quality datasets, and support interdisciplinary collaboration between engineers, computer scientists, and emergency services. Such efforts will ensure that intelligent robotic systems become a cornerstone of national resilience and technological sovereignty.

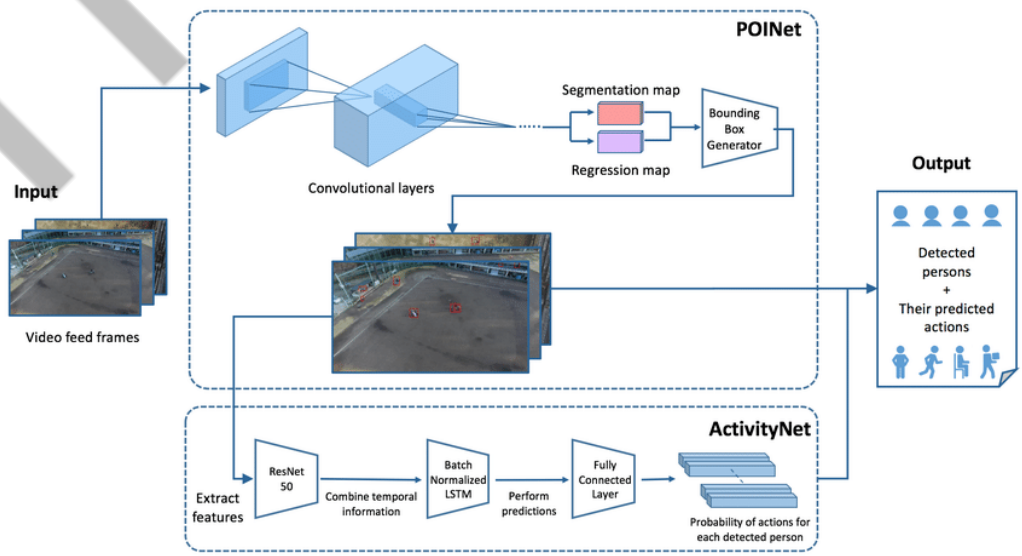


Fig. 1. Architecture of the deep learning models for human detection and action prediction [5]

References

[1] "Artificial Intelligence in Emergency Response Systems," Frank Arena, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/387829449_Artificial_Intelligence_in_Emergency_Response_Systems [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] "Challenges and AI-driven solutions in maritime search and rescue planning: A comprehensive literature review," Kemal Ihsan Kilic, Samir Maity, Inkyung Sung, Peter Nielsen, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X25001071#tbl0020 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[3] "Reimagining Ukraine: AI and the Tech Path to Recovery," ISPI, 2025. [Online]. Available: https://www.ispionline.it/en/publication/reimagining-ukraine-ai-and-the-tech-path-to-recovery-210856 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[4] Robotics in Disaster Response: Enhancing Search and Rescue Operations," Mugo Moses, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/384190294_Robotics_in_Disaster_Response_Enhancing_Search_and_Rescue_Operations [Accessed: Oct. 22, 2025].

[5] "UAV-Based Situational Awareness System Using Deep Learning," Ruben Geraldes, Artur Alves Gonçalves, Tin Lai, Mathias Villerabel, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/335496099_UAV-Based_Situational_Awareness_System_Using_Deep_Learning [Accessed: Oct. 22, 2025].

[6] "AI for demining: Ukrainian innovators train algorithms to detect explosives in drone images," United Nations Development Programme (UNDP) Ukraine, 2024. [Online]. Available: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ai-demining-ukrainian-innovators-train-algorithms-detect-explosives-drone-images [Accessed: Oct. 22, 2025].

UDC 004.9

VERIFYING ONLINE MARKETING CHANNEL WITH CHATGPT

Orekhov S. V., Taran P.A., Bahatskyi N.S.
NTU "KhPI" (Ukraine)

The internet has now become the primary marketing channel for promoting any product or service. Therefore, choosing an effective promotional channel becomes a complex task in a competitive environment. In this article, we propose a new method for verifying the online distribution channel of a product using chatGPT.

Introduction

We know that the logistics channel is the physical movement and placement of goods based on a number of logistics operations, such as: transportation, storage, order processing and cargo handling. Logistics costs for transporting products and storing them prevail over other types of operations in the logistics channel. But in the case of virtual promotion [1]-[2], the main emphasis is also shifted to the consolidation of knowledge about the product and the dispersion of this knowledge in virtual space. Therefore, in the future we will consider two types (types) of operations: consolidation or transportation and dispersion or storage. In turn, the marketing channel is formed by a number of firms that participate in the purchase and sale of goods from its manufacturers to end consumers. The participants of the marketing channel are: wholesalers; retailers; agents or brokers; retailers, distributors (Figure 1). In virtual promotion, these are web resources that represent various promotion options: marketplace (retail), telegram channel (retailers), corporate web site (wholesaler), Youtube channel (agent or broker), web resources for affiliate programs (retailers).

We have three main logistics operations, such as: consolidation (concentration), customization and dispersion. Consolidation assumes the presence of appropriate nodes on which knowledge about the product is accumulated. This can be a corporate website or partner websites (trading intermediaries). According to the theory of logistics, the main task of consolidation is to reduce the number of transactions

in order to minimize costs. Then the correct placement of knowledge gives a quick response from potential buyers of the product. In work, this operation should be considered as an operation to create a semantic kernel of e-content [3]-[4]. That is, concentrated knowledge about the product is formed for further dispersion in virtual space (Figure 2).

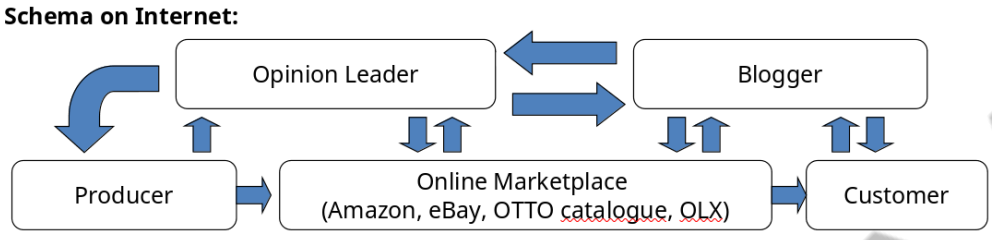


Figure 1 – Main form of modern marketing channel

After concentration, the task of sorting and grouping knowledge about the product into some combinations is followed. This process is called customization. The result of customization determines such variants of semantic kernels that encourage consumers to form leads.

The third stage is dispersion, which consists in sending semantic kernels to nodes of the virtual space, where end consumers can place an order and pay for it online.

Next, we will define (classify) the structure of the distribution channel by the number of nodes where end consumers read semantic kernels describing the product. In our case, we consider an intensive distribution channel, which has a large number of points of the virtual space, which allows it to be filled intensively.

Let's then consider a research problem statement where we'll use AI to select a set of nodes in a promotion channel. Our goal is to verify the channel based on the effectiveness of each node within it.

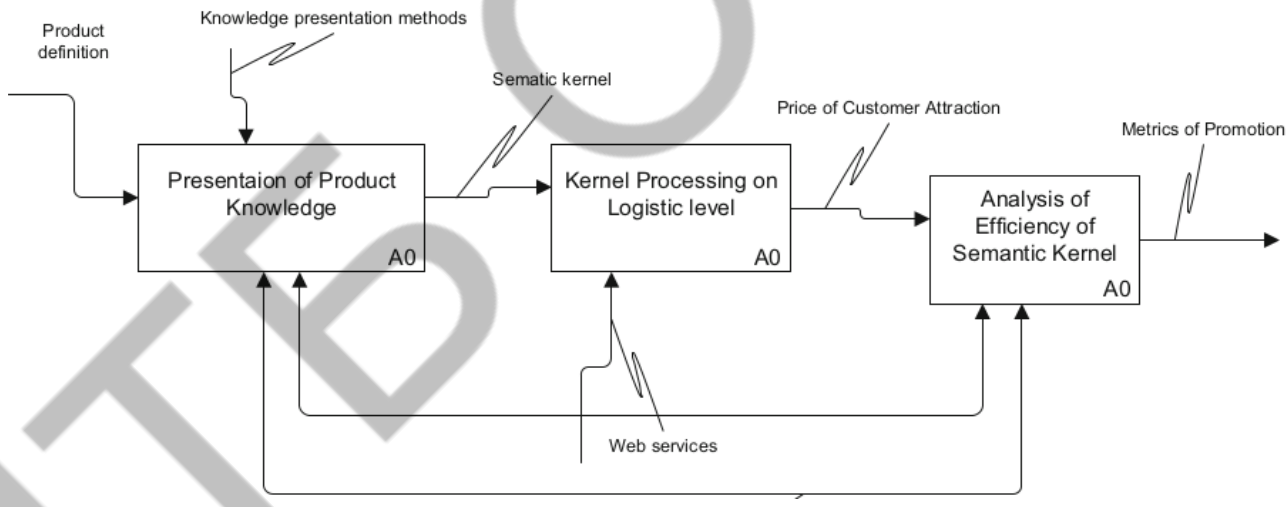


Figure 2 – New business process of online sales

Problem statement

Based on the specification of the knowledge distribution channel, which consists of two types of business processes: consolidation and dispersion of semantic kernels. We will assume that the following are considered: M_1 is a set of semantic kernel generators; M_2– a set of kernel consolidation centers (corporate WEB resources); M_3 – a set of customization centers (WEB resources of partners); M_4 – a set of consumers, that is, those users who are ready to pay for a product online (Figure 3). Then the set and coincide, because the user can also make a payment in the customization node.

The data in Figure 3 show the structure of the product knowledge distribution channel on the Internet. The first set of nodes, which are generators of semantic cores, in real life usually includes only one node. Such a node is a corporate WEB site or a customer interaction management system of an enterprise that wants to promote a given product [5]. In turn, the power of the sets and is potentially unlimited. Then the research problem is formulated simply: to identify nodes in each group that have,

from the point of view of the search server, the maximum score as a channel for promoting a given semantic kernel.

Solving the problem

Figure 4 shows how to work with chatGPT to check the effectiveness of a specific Internet node. We form a series of prompts for the chatGPT so that it can use our scheme to analyze the node's own content and its status on the Internet in terms of the volume of views and popularity. We demonstrated our experience based on the analysis of a single news item for 2024.

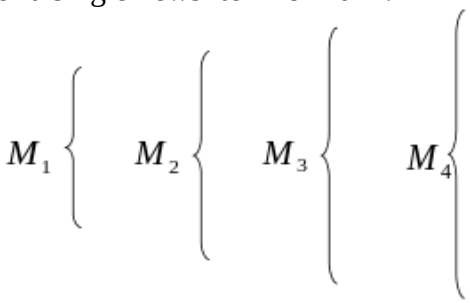


Figure 3 – Appropriate structure of new type of marketing online channel

The main advantage of our approach is that, using an AI system, we can begin to analyze a network node for semantics. This means that placing a specific meaning in a given location on the Internet will lead to the desired effect in terms of promoting our product. ChatGPT can provide us with the results of analyzing the semantic kernel of a node both in terms of meaning and in terms of web statistics.

We've already set up a chat to evaluate the effectiveness of the semantic kernel [3]-[4]. Now the next step is evaluating the node and the channel as a whole.

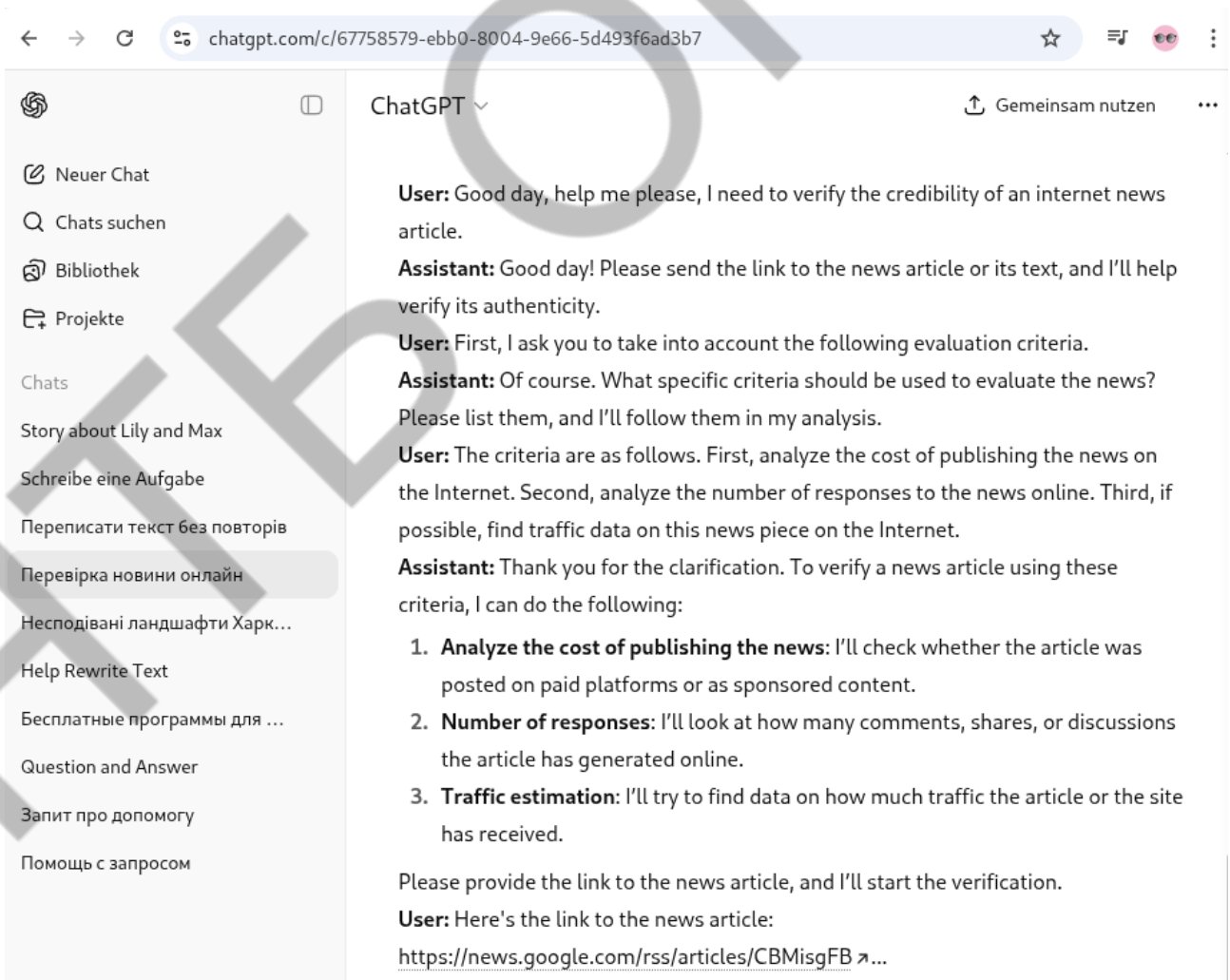


Figure 4 – ChatGPT view

Summary

The practical implementation of new forms of AI application will potentially yield new results in online product promotion [4]-[5]. We hope to implement promotion based on semantics, not just web statistics.

References

1. Orekhov S. Analysis of Virtual Promotion of a Product. // Lecture Notes in Networks and Systems. Switzerland: Springer, 2022. - Vol. 463. - P. 3–13.

2. Orekhov S. Technology of Virtual Product Promotion. // Computer Systems and Information Technologies, 2021. - № 3. - P. 52–58.

3. Orekhov S. V., Taran P.A. Example of synthesizing a semantic kernel by CHATGPT. // Information Technologies and Automation - 2024 / Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Odessa, October 31 - November 1, 2024. - Odessa, ONUT Publishing House, 2024. – P.576-578.

4. Orekhov S., Kopp A., Orlovskyi D., Goncharenko T. A Method for Evaluating the Efficiency of the Semantic Kernel in the Internet Promotion Channel. // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Switzerland: Springer, 2023. Vol. 181. P. 246–259.

5. Orekhov S., Godlevsky M., Malyhon H., Goncharenko T. A New Method of Search Engine Optimization Based on Semantic Kernel Idea. // Advances in Artificial Systems for Medicine and Education VI. AIMEE 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Switzerland: Springer, Cham. – 2023. – Volume 159. – P. 67–77.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE AUTOMATION OF ROBOTIC SYSTEMS IN CONVERGENT JOURNALISM

Mariam Vekua, Tatia Kokobinadze
(mariam.vekua@ciu.edu.ge, tatia.kokobinadze@ciu.edu.ge)
Caucasus International University (Tbilisi, Georgia)

Abstract.

Modern journalism is undergoing constant transformation. The rapid development of technology has significantly changed the media landscape and the processes of information production and distribution. Of particular note is the integration of artificial intelligence and robotic systems into media practice, which has led to the emergence of new structural and professional forms. Convergent journalism, as a multiplatform model, creates a unique environment in which traditional, digital, and multimedia formats merge into an integrated system of information production. In this process, artificial intelligence technologies not only simplify editorial mechanisms but also determine the development of new professional standards.

Within the framework of this study, both international and national media organizations' experience in the use of artificial intelligence is examined, with a particular focus on the case of the Georgian broadcaster *Rustavi 2*. It is noteworthy that this channel employs automated systems for news categorization, audience behavior prediction, and the creation of personalized content. These mechanisms significantly enhance operational efficiency and audience engagement.

Accordingly, the research is based on observation, content analysis, and a comparative approach that also includes the assessment of BBC and CNN models. Taking international experience into account, it becomes evident that automation is not merely a technological achievement but a radical transformation of journalistic activity—where data analytics, algorithmic editing, and automatic text generation have become everyday tools of new media.

Consequently, it can be concluded that the integration of artificial intelligence and robotic systems into convergent journalism creates a new type of informational culture, one that requires a reflective understanding of the journalist's role, a re-evaluation of ethical boundaries, and the continuous development of technological competencies.

Keywords: Artificial Intelligence, Robotic Systems, Convergent Journalism, Media Automation, Digital Transformation, Newsroom Innovation, Ethical Challenges

UDC 621.865

FEATURES OF THE USE OF QUANTUM COMPUTING IN CONSTRUCTING TRAJECTORY OF COLLABORATIVE MOBILE ROBOT

Vladyslav Yevsieiev, Nataliia Demska (vladyslav.yevsieiev@nure.ua, nataliia.demska@nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

This paper considers the features of the application of quantum computing to construct trajectories of a collaborative mobile robot. Compared with classical pathfinding algorithms and evolutionary stochastic methods, quantum approaches provide an efficient search for globally optimal solutions in complex and dynamic environments through the use of superposition and parallel computing. The proposed models formalize the trajectory planning problem in the form of a QUBO formulation, which allows taking into account safety constraints, avoiding collisions, and scaling the system for multi-robot scenarios in Industry 5.0.

The current stage of development of robotic systems is associated with the transition to the new paradigm of Industry 5.0, in which a special place is occupied by collaborative mobile robots capable of interacting with other agents and humans in a single dynamic working environment [1,2]. The key challenge remains the problem of constructing optimal trajectories of movement of such robots in complex multifactorial conditions, including the presence of moving obstacles, resource limitations, the need to ensure safety and flexible adaptation to changes in the external environment. Classical optimization methods, such as pathfinding algorithms (A*, D*, RRT), evolutionary methods or stochastic approaches, have high computational complexity and limited efficiency when solving problems in multidimensional spaces with a large number of variables. This makes the study of quantum computing methods relevant, which can provide a fundamental advantage in the speed of solving optimization problems and finding the global extremum. A comparison of classical pathfinding algorithms (A*, D*, RRT), evolutionary methods, and stochastic approaches from quantum computing is presented in Table 1 [3-5].

The peculiarities of using quantum computing in constructing trajectories of movement of a collaborative mobile robot are that the problem of planning movement in a complex dynamic environment with a large number of factors and constraints is translated into the form of optimization models suitable for implementation on quantum algorithms [6,7]. The construction of trajectories begins with the formalization of the environment in the form of a set of discrete positions $i \in \mathcal{V}$ and time steps $t \in \mathcal{T}$. For this, binary variables are introduced $x_{i,t}$, which take the value 1 if the robot is in position i at time t, and 0 otherwise. The main parameters are the number of positions N, number of time steps T, and the set of admissible transitions $\mathcal{E}$. This provides a basis for encoding the robot's motion in a discrete representation suitable for quantum algorithms.

The motion planning problem is given in the form of unconstrained quadratic optimization (QUBO), which is written as:

$$\mathcal{F}(x) = w_L F_L + w_E F_E + w_s F_s + \sum_k \lambda_k C_k$$

Where: F_L - minimizes path length; F_E - takes into account energy consumption; F_s - reduces the risk of collisions; C_k - reflect constraints on position uniqueness and fixed start/finish points; w_L, w_E, w_s - weighting factors; λ_k - set of admissible transitions $\mathcal{E}$. The purpose of this model is to provide a universal form for calculating the optimal trajectory on quantum machines.

НТБОНТУ

Table 1 – Comparative table of classical pathfinding algorithms and quantum computing

Comparison criterion	Classical pathfinding algorithms (A*, D*, RRT)	Evolutionary methods and stochastic approaches (GA, PSO, SA, etc.)	Quantum computing for trajectory construction
1	2	3	4
Problem type	Finding the shortest path on a graph or in space	Global trajectory optimization considering complex cost functions	Quadratic Optimization (QUBO/Ising) with Many Variables
Optimality of solution	A* gives the optimal path (subject to heuristics); D* is efficient in dynamic environments	Solutions are approximate, do not guarantee global optimum, but work well in complex environments	Provides global/quasi-global optimum search through quantum superposition search
Computational complexity	Grows exponentially with space size (especially A*)	High, depends on population/iteration size; often polynomial, but difficult for high dimensions	Translates to QUBO (NP-hard), but quantum algorithms can process exponential spaces in parallel
Scalability for multi-threaded systems	Highly complicated (exponential growth of search space)	Naturally scalable, but requires more iteration resources	Quantum representation allows encoding multiple agents in a single QUBO model
Advantages	Easy to implement, known optimality guarantees (A*), efficient in small environments	Flexible, able to handle complex nonlinear models	Fast exploration of large spatial domains, prospects for global optimization
Disadvantages	Poorly scaled in high dimensions and with many agents	Slow convergence, stochastic results, need for parameter tuning	Requires specialized quantum hardware, currently limited by the number of qubits
Application scenarios	Static or moderately dynamic environments, small number of robots	Complex, multidimensional environments, multi-objective tasks	Large dynamic environments, multi-tasking systems, Industry 5.0, problems with a large number of variables

The QUBO functional is translated into the form of the Ising Hamiltonian, which makes it possible to provide a physical implementation of the optimization problem in the form of quantum evolution:

$$H_P = \sum_{i<j} J_{ij} s_i s_j + \sum_i h_i s_i,\ s_i \in \{-1; +1\}$$

Where: J_{ij} - interaction coefficients; h_i - local fields that describe the individual influences on each qubit.

The kinematic model of a mobile robot is described by the equations:

$$\dot{x}(t) = v(t)cos\theta(t),\ \dot{y}(t) = v(t)sin\theta(t),\ \dot{\theta}(t) = w(t)$$

Where: v – speed; θ – angle; w - angular velocity, as well as limitations v_{max},w_{max}. In discrete form, it imposes conditions on a set of transitions $\mathcal{E}$. The purpose of this model is to check the feasibility of the trajectory found by the quantum algorithm.

For a multi-collaborative environment of robot interaction, variables are introduced $x_{i,t}^{(r)}$ for every robot r. Fines are added to the function $M_{col} x_{i,t}^{(r)} x_{i,t}^{(s)}$, which prohibit multiple robots from being in the

same position at the same time, as well as additional deadlines for maintaining a safe distance D_{min}. The parameters are the number of robots K, penalty coefficients M_{col} and minimum safe distance. The purpose of the model is to ensure coordinated and safe movement in the team.

The obtained research results indicate that the use of quantum computing in constructing trajectories of movement of a collaborative mobile robot allows to increase the efficiency of finding optimal solutions in complex dynamic environments. Quantum models provide faster processing of multidimensional data, consideration of safety constraints and scalability in multi-robot scenarios. Thus, the proposed approach opens up prospects for the creation of intelligent robot control systems within the framework of the Industry 5.0 concept.

References

[1] Rahman, M. M., Khatun, F., Jahan, I., Devnath, R., & Bhuiyan, M. A. A. (2024). Cobotics: the evolving roles and prospects of next-generation collaborative robots in Industry 5.0. Journal of Robotics, 2024(1), 2918089. https://doi.org/10.1155/2024/2918089

[2] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94. https://openarchive.nure.ua/handle/document/24118

[3] Testa, A., Carnevale, G., & Notarstefano, G. (2025). A tutorial on distributed optimization for cooperative robotics: from setups and algorithms to toolboxes and research directions. Proceedings of the IEEE. https://doi.org/10.1109/JPROC.2025.3557698

[4] Urrea, C. (2025, April). Hybrid Fault-Tolerant Control in Cooperative Robotics: Advances in Resilience and Scalability. In Actuators (Vol. 14, No. 4, p. 177). MDPI. https://doi.org/10.3390/act14040177

[5] Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, Svitlana Maksymova, Vladyslav Yevsieiev, Vyacheslav Lyashenko, "Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations," International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 72, no. 11, pp. 294-306, 2024. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I11P129

[6] H. Attar, A. T. Abu-Jassar, V. Yevsieiev, V. Lyashenko, I. Nevliudov and A. K. Luhach, "Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar", Comput. Intell. Neurosci., vol. 2022, pp. 3046116, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/3046116

[7] Nevliudov , I. ., Yevsieiev , V. ., Maksymova , S. ., Gopejenko , V. ., & Kosenko , V. . (2025). DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SUPPORT FOR ADAPTIVE CONTROL FOR THE INTELLIGENT GRIPPER OF THE COLLABORATIVE ROBOT MANIPULATOR. Advanced Information Systems, 9(3), 57–65. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.3.07

УДК 004.4

АНАЛІЗ AI-АСИСТЕНТІВ ДЛЯ IDE VISUAL STUDIO CODE

Антоненко В. А., Шевченко І. В.
(v.a.antonenko@student.khai.edu, i.shevchenko@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

Проаналізовано провідні AI-асистенти, інтегровані у середовище Visual Studio Code (зокрема, GitHub Copilot, Codeium, Cursor, Tabnine). Показано переваги та недоліки кожного інструменту для комерційної розробки. Обґрунтовано необхідність застосування багатокритеріального підходу для об'єктивної оцінки їхнього функціоналу та визначення оптимального інструменту для IT-команд, враховуючи критерії продуктивності, безпеки та архітектурного розуміння.

Актуальність. Сучасна розробка програмного забезпечення переживає технологічну трансформацію під впливом новітніх AI-технологій. Впровадження AI-асистентів в IDE є ключовим фактором підвищення продуктивності, дослідження підтверджують, що використання Copilot призводить до збільшення кількості Pull Requests на 10,6% та скорочення циклу розробки на 3,5 години [1]. Крім того, такі інструменти значно підвищують задоволеність, 87% користувачів відзначають зменшення когнітивного навантаження [2], оскільки AI бере на себе рутинні завдання, дозволяючи розробнику зосередитися на більш стратегічних проблемах. Однак, на ринку доступно декілька рішень, які суттєво відрізняються у ключових функціях: глибина розуміння контексту всього проєкту [3], наявність агентивних функцій та політика конфіденційності. Не існує єдиного стандарту для порівняння, що робить вибір оптимального інструменту складним та ризикованим для IT-компаній.

Усі AI-асистенти для генерації коду базуються на спільному принципі: вони натреновані на великих обсягах коду, працюють за принципом контекстуального передбачення, пропонуючи наступний фрагмент коду [4], і здатні продовжувати, пояснювати або трансформувати код.

Мета доповіді – провести порівняльний аналіз провідних AI-асистентів для IDE VS Code, визначити ключові критерії їхньої оцінки та сформувати набір висновків і рекомендацій, необхідних для прийняття обґрунтованих рішень щодо їхнього впровадження у комерційну розробку.

Основна частина. У швидкості створення коду AI-асистенти демонструють значну перевагу над традиційним програмуванням, що підтверджується 55% прискоренням виконання завдань [2]. Це збільшення продуктивності досягається за рахунок автоматизації рутинних фрагментів коду, що дозволяє розробнику зосередитись на більш стратегічних завданнях [4].

Швидкість відповіді інструментів є критичною для підтримки «потоку» розробника: Codeium демонструє найкращі результати за показником низької затримки (<70ms), тоді як інші інструменти мають більшу затримку [3].

Розуміння архітектури (глибина контексту) є найважливішим критерієм для роботи над великими проєктами. Більшість AI-асистентів схильні ігнорувати контекст з інших файлів, що призводить до пропозицій, які не відповідають архітектурі [3]. Інструменти нового покоління, такі як Cursor AI [3] та Cline [5], намагаються вирішити цю проблему через агентивні функції та використання сховищ контексту для забезпечення багатофайлового редагування. Треба зазначити, що хоча AI прискорює процес розроблення коду, але якість коду не гарантована: асистенти можуть генерувати застарілі API або неправильно інтерпретувати логіку. Це вимагає від розробника високого рівня критичного мислення та контролю, оскільки необхідність виправляти помилки AI нівелює виграш у часі.

Порівняння функціоналу показує відмінності наступні відмінності: GitHub Copilot займає провідну позицію в класичному автодоповненні, пропонуючи найбільш релевантні фрагменти. Натомість, такі інструменти, як Cursor та Cline, пропонують потужні агентивні функції (редагування коду в кількох файлах одночасно).

Також були оцінені комерційні та безпекові фактори: політика конфіденційності (критична для корпоративного коду), цінова політика та можливість використання локальних AI-моделей через інструменти, як Ollama [5], що повністю вирішує питання конфіденційності.

Висновки. Проведений аналіз виявив суттєві відмінності між AI-асистентами, підтверджуючи, що універсального «найкращого» інструменту не існує. Оптимальна стратегія впровадження AI у комерційну розробку полягає у зваженому виборі, який враховує поєднання ключових факторів: швидкість (де провідну позицію займає Codeium [3]), конфіденційність (локальні моделі) та агентивний функціонал (Cursor / Cline).

Список використаної літератури

[1] Harness.io. The Impact of Github Copilot on Developer Productivity: A Case Study. [Online]. Available: https://www.harness.io/blog/the-impact-of-github-copilot-on-developer-productivity-a-case-study [Accessed: Oct. 19, 2025].

[2] E. Kalliamvakou, “Research: quantifying GitHub Copilot’s impact on developer productivity and happiness,” GitHub Blog, Sep. 7, 2022 (Updated May 21, 2024). [Online]. Available: https://github.blog/news-insights/research/research-quantifying-github-copilots-impact-on-developer-productivity-and-happiness/ [Accessed: Oct. 19, 2025].

[3] J. Garg, “Top AI Code Completion Tools for Developers in 2025: Speed Up Your Workflow,” GoCodeo Blog, July 2, 2025. [Online]. Available: https://www.gocodeo.com/post/top-ai-code-completion-tools-for-developers-in-2025-speed-up-your-workflow [Accessed: Oct. 19, 2025].

[4] T. Shah, “Context-Aware Code Completion: How AI Predicts Your Code,” Zencoder.ai Blog, March 01, 2025. [Online]. Available: https://zencoder.ai/blog/context-aware-code-completion-ai [Accessed: Oct. 19, 2025].

[5] Y. Dmitrievna, E. Parsadanyan, “8 best AI coding tools for developers: tested & compared!,” n8n Blog, March 18, 2025. [Online]. Available: https://blog.n8n.io/best-ai-for-coding/ [Accessed: Oct. 19, 2025].

УДК 004.8

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ОЦІНКИ ТОНАЛЬНОСТІ ПРИ ОБРОБЦІ ПРИРОДНЬОЇ МОВИ

Арнаутов Ю. О., Рудніченко М. Д
.(studylearner@gmail.com, nickolay.rud@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У тезах розглянуто застосування моделей глибинного навчання для автоматичної оцінки тональності текстів у межах обробки природної мови. Проаналізовано архітектури на основі LSTM, CNN і трансформерів, зокрема BERT, із фокусом на їх здатності класифікувати позитивні, нейтральні та негативні висловлювання. Описано підготовку корпусів, стратегії донавчання та параметри оптимізації, що забезпечують порівнюваність результатів. Представлено експериментальні показники точності й F1-міри, які засвідчили перевагу трансформерних моделей над рекурентними та згортковими підходами. Особливу увагу приділено впливу контексту, мовних особливостей та обсягу даних на коректність класифікації. Окреслено труднощі інтерпретації тональності в текстах із сарказмом і прагматичними зміщеннями. Зроблено висновки щодо перспектив використання мультимодальних моделей та адаптації трансформерів для україномовного середовища.

Автоматична оцінка тональності текстів є одним із ключових напрямів обробки природної мови, що відіграє важливу роль в інформаційній аналітиці, журналістиці, маркетингових дослідженнях і системах підтримки прийняття рішень [1]. Розвиток глибинного навчання суттєво трансформував підходи до аналізу тональності, відсунувши на другий план лексиконні та статистичні методи. Сучасні моделі формують контекстуалізовані подання тексту, здатні враховувати багатозначність, іронію, граматичні залежності, приховані емоційні маркери та міжфразову семантику [2]. Однак ефективність різних архітектур залежить від мовного середовища, обсягу навчальних даних, способу попереднього тренування та характеру предметної галузі [3].

Метою даної роботи є дослідження моделей глибинного навчання для класифікації тональності, порівняння їхніх характеристик та визначення чинників, що впливають на точність і стабільність результатів.

У межах дослідження зосереджено увагу на трьох групах моделей: рекурентних нейронних мережах типу LSTM, згорткових моделях на основі CNN та трансформерних архітектурах, передусім BERT і його варіантах. Для уніфікації порівняння обрано корпуси коротких повідомлень і розширених текстів різної стилістики. Усі тексти попередньо очищено шляхом нормалізації регістру, видалення спеціальних символів і токенізації. Для україномовних даних застосовано спеціалізовані морфологічні інструменти, що підвищили коректність сегментації. Кожну модель донавчено на підвибірці, де позначення тональності представлені у 3 класах: позитивному, нейтральному та негативному. Для контролю якості використано розподіл на тренувальний, валідаційний і тестовий набори у співвідношенні 70/15/15.

LSTM-модель реалізовано з двошаровою рекурентною структурою та вбудованим шаром ембеддінгів розміром 300. Для запобігання перенавчанню застосовано дропаут на рівні 0.3 і

функцію активації ReLU у проміжних шарах. CNN-модель побудовано із кількома паралельними згортками з фільтрами розміром 3, 4 і 5, після яких виконано максимальне підзразкування та уніфікацію через об'єднувальний шар. Трансформерну модель побудовано на базі багатоголової самоуваги, де розмір внутрішніх шарів становить 768 одиниць, а кількість шарів дорівнює 12. Для BERT-похідної архітектури використано попереднє навчання на великомовних корпусах та подальше донавчання на спеціалізованій тональній вибірці. Усі моделі навчено з використанням оптимізатора Adam і категоріальної кросентропії як функції втрат. Розмір батчу становив 32, кількість епох змінювалася залежно від швидкості збіжності та досягнення плато валідаційної точності.

Експериментальні оцінки продемонстрували, що загальний рівень точності залежить від типу корпусу та довжини тексту. LSTM-модель досягла середньої точності 0.84 на коротких повідомленнях і 0.80 на розширених текстах. CNN продемонструвала точність 0.82 для коротких і 0.78 для довших документів, що зумовлено обмеженою здатністю уловлювати довготривалі залежності. Найвищих показників досягла модель на основі BERT із середньою точністю 0.90 для коротких текстів і 0.87 для розгорнутого дискурсу. Показники F1-міри для LSTM перебували в діапазоні 0.81–0.83, для CNN — у межах 0.79–0.81, тоді як BERT-система демонструвала 0.88–0.89. Аналіз плутаних матриць виявив, що рекурентна та згорткова архітектури частіше хибно класифікували нейтральну тональність як позитивну, тоді як трансформер краще розрізняв семантичні переходи. Значення втрат на валідаційних даних підтвердили стабільнішу збіжність BERT-моделі та менші коливання в останніх епохах. Окремим викликом виявилось визначення тональності для текстів із сарказмом або складними прагматичними структурам, де всі три архітектури демонстрували зниження точності до 0.65–0.70 залежно від корпусу.

Результати дослідження моделей наведено на рис.1.

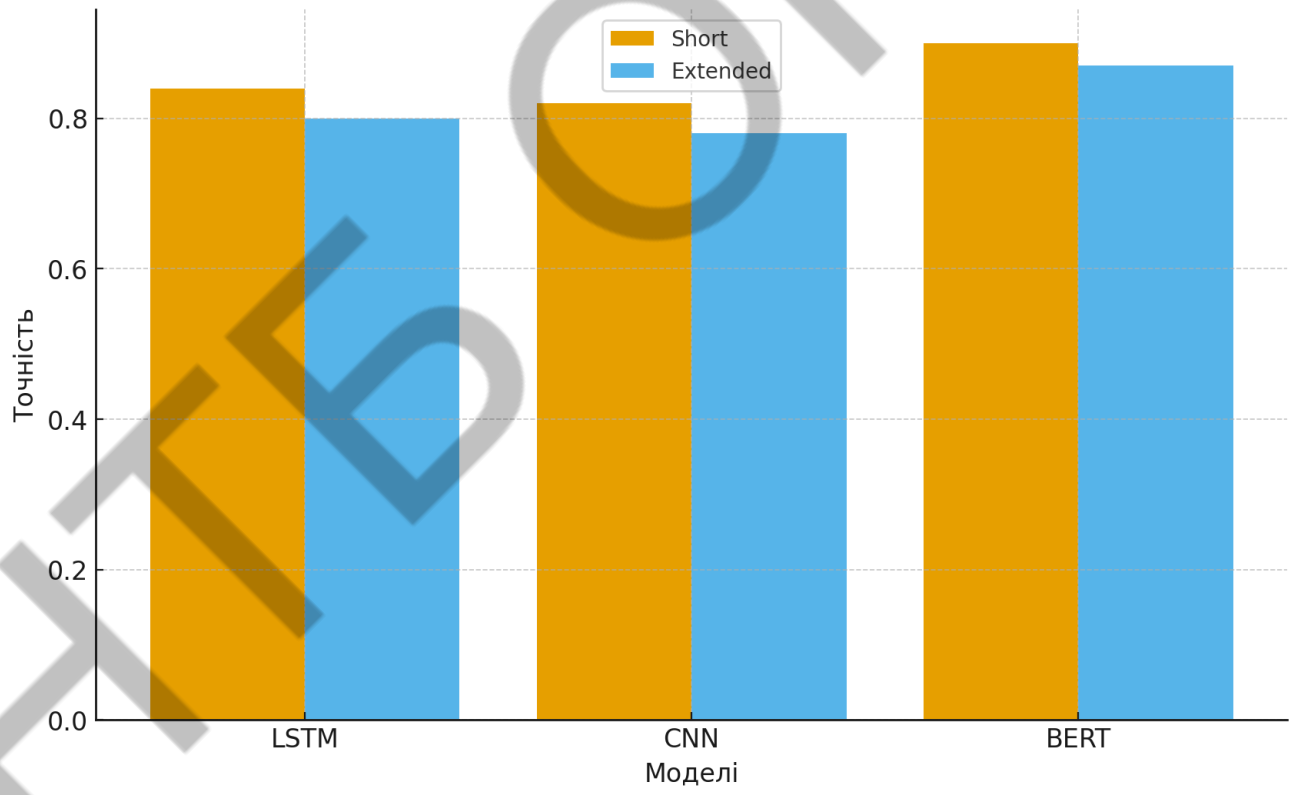


Рисунок 1 – Результати дослідження моделей

Дослідження підтвердило, що глибинні архітектури значно підвищують ефективність оцінки тональності, але точність класифікації суттєво залежить від якості корпусу, обсягу тренувальних даних та контекстної виразності мови. Моделі, побудовані на основі трансформерів, зокрема BERT, демонструють перевагу при роботі з текстами різної довжини та стилістичної насиченості, забезпечуючи точність понад 0.87 у середньому. LSTM і CNN залишаються корисними у випадках, коли ресурсні обмеження не дозволяють застосовувати великий трансформер або коли тексти мають чітку структуру. Виявлено, що попереднє навчання на великих мовних корпусах є

критичним чинником підвищення точності, особливо в багатомовному або доменно специфічному середовищі. До перспективних напрямів належить використання мультимодальних моделей, поєднання текстових даних з візуальними або паралінгвістичними ознаками, а також адаптація архітектур до мов із високою морфологічною варіантністю. Подальший розвиток систем автоматичного аналізу тональності може охоплювати побудову україномовних трансформерів, опрацювання діалектів і впровадження механізмів пояснюваності для підвищення інтерпретованості результатів.

Список використаної літератури

[1] "Neural Network Methods for Natural Language Processing", Y. Goldberg, San Rafael, 2021. [Online]. Available: https://www.morganclaypool.com/doi/abs/10.2200/S00762ED1V01Y201703HLT037 [Accessed: September 10, 2025].

[2] "Sentiment Analysis and Opinion Mining", B. Liu, San Rafael, 2022. [Online]. Available: https://www.cs.uic.edu/~liub/FBS/SentimentAnalysis-and-OpinionMining.pdf [Accessed: September 11, 2025].

[3] "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding", J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova, 2018. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1810.04805 [Accessed: September 11, 2025].

УДК 004.4:8

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ В СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ

Арсенюк Д.В.(dimars2003@ukr.net)
Національний технічний університет «Харківський політехнічних інститут»(Україна)

У даній роботі досліджено застосування методів штучного інтелекту для формування індивідуальних навчальних траєкторій у системах управління навчанням (LMS – Learning management system). Розглянуто основні напрями застосування в LMS, а також окреслено ключові виклики та перспективи використання штучного інтелекту для покращення навчання.

Сучасна система вищої освіти дедалі більше орієнтується на надання унікальних знань студентам. Системи управління навчанням, що активно розвиваються завдяки цифровізації, забезпечують доступ до матеріалів і контроль прогресу, проте обмежено враховують індивідуальні потреби студентів. Це створює потребу у гнучких рішеннях для побудови персоналізованих навчальних траєкторій. Проблема полягає в тому, що традиційні LMS не реалізують ефективних механізмів адаптивності, що ускладнює побудову навчання згідно необхідних навичок. Застосування методів штучного інтелекту є перспективним рішенням, оскільки дозволяє аналізувати дані, прогнозувати результати та автоматизувати вибір індивідуальних шляхів розвитку. Водночас важливо враховувати виклики, пов’язані з прозорістю алгоритмів та конфіденційністю даних, що формує додаткові вимоги до впровадження ШІ в освіті. Тому метою дослідження є аналіз можливостей використання методів ШІ для автоматизованого формування індивідуальних траєкторій у LMS.

Для побудови навчальних траєкторій можуть використовуватись різні методи ШІ. Деякі алгоритми машинного навчання, такі як логістична регресія чи дерева рішень застосовуються для прогнозування потреб студентів і визначення оптимальної послідовності курсів. Методи NLP дозволяють аналізувати тексти програм. Рекомендаційні системи забезпечують персоналізований добір матеріалів, а оптимізаційні алгоритми допомагають знаходити найбільш ефективні шляхи. Прикладом є алгоритми підкріплювального навчання, що дозволяють адаптивно вибудовувати індивідуальні траєкторії залежно від проміжних результатів студента. Інструменти інтелектуального аналізу даних в освіті надає інструменти для аналізу поведінки студентів та прогнозування їхньої успішності [1].

Інтеграція цих підходів у LMS передбачає поєднання інтелектуальних модулів із базовими функціями системи. Це вимагає сумісності, масштабованості та належного захисту даних користувачів. Модульна архітектура дозволяє поступово додавати компоненти ШІ без перебудови всієї системи, що робить платформи більш адаптивними. Крім того потрібно зважати на те, що штучний інтелект здатний персоналізувати навчання та покращити його результати, але повинен чітко відповідати етичним і правовим аспектам [2].

Таким чином, застосування методів штучного інтелекту у формуванні індивідуальних навчальних траєкторій відкриває нові можливості для персоналізації освіти. Використання алгоритмів ML, NLP, рекомендаційних і оптимізаційних підходів підвищує ефективність LMS.

Список використаної літератури

[1] C. Romero, S. Ventura, “Educational Data Mining: A Review of the State of the Art,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. – Part C: Applications and Reviews, vol. 40, no. 6, pp. 601-618, 2010.
[2] S. Vincent-Lancrin, R. Van der Vlies, Trustworthy Artificial Intelligence (AI) in Education: Promises and Challenges, OECD Education Working Papers, no. 218, OECD Publishing, Paris, 2020.

УДК 004.8

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

Бандоріна Л.М. (bandorina7@gmail.com)
Дружин І. Є. (druzhin.ivan@gmail.com)
Український державний університет науки і технологій (Україна)

Проведено огляд змін в підходах до автоматизації робототехнічних систем (РТС) і ключових сфер імплементації (логістика, колаборативне виробництво).

Актуальність проблеми. Країни з ринком, що формується, включаючи Бразилію, Півд Суттєві зміни у виробничих, логістичних і сервісних системах пов’язані з розвитком інформаційних технологій і автоматизації. Трансформація промисловості все більше залежить від синтезу штучного інтелекту (ШІ) і робототехнічних систем, оскільки ШІ забезпечує адаптивність і когнітивне навчання систем. Класичні підходи до автоматизації РТС, які досі домінували у промисловості, досягли максимуму своєї ефективності. Вони є надійними, але зовсім не гнучкими, і тому нездатними вирішувати задачі в неструктурованих, динамічних або стохастичних середовищах таких як сучасний логістичний склад, міська інфраструктура, побутове оточення тощо.

Методи для вирішення проблеми. Зараз відбувається перехід до «втіленого інтелекту» (Embodied AI) на базі генеративного ШІ, а також ідентифікація технологічного інструментарію, що лежить в її основі.

Якщо Software 1.0 – це детермінований код, а Software 2.0 – це вузькоспеціалізовані нейронні мережі, то 2024-2025 роки знаменують перехід до «Software 3.0» – систем, керованих генеративними базовими моделями (Foundation Models) [1].

Це ядро концепції «втіленого інтелекту». На відміну від штучного інтелекту ChatGPT, що оперує виключно в цифровому просторі тексту, втілений ШІ має фізичне тіло (робота), примушений діяти у фізичному світі, піддаючись законам інерції, тертя, гравітації, і має завдання згенерувати певну послідовність фізичних дій для досягнення мети. Грандіозним проривом у цьому напрямку стала архітектура RT-2 (Robotic Transformer 2), представлена дослідниками Google DeepMind. Ця робота емпірично довела, що модель типу "зір-мова-дія" (Vision-Language-Action, VLA), попередньо навчена на величезних масивах веб-даних (тексти та зображення), здатна переносити свої узагальнені знання у сферу фізичного управління роботом. Модель RT-2 приймає на вхід зображення з камери робота та текстову інструкцію, а на виході генерує не текст, а вектори керуючих дій для маніпулятора.

Модель демонструє так звані «здатності, що виникають» (emergent capabilities). Будучи навченою на веб-даних розрізняти поняття «найменший фрукт» або «імпровізований молоток»,

вона здатна виконати відповідну фізичну дію, ніколи раніше не бачивши специфічної робототехнічної навчальної вибірки для цих концепцій [2].

Сучасний стан інтелектуальних РТС визначається не окремими алгоритмами, а синергією комплексного технологічного стеку, що охоплює програмне забезпечення, апаратні засоби та методології навчання.

Впровадження великих мультимодальних моделей (Foundation Models, VLM) у цикл керування, які навчені на гігантських масивах інтернет-даних, привносять в робототехніку можливості виконувати складні, багатоетапні завдання, сформульовані природною мовою. Дослідження, такі як RT-2 (Robotic Transformer 2) від Google DeepMind, демонструють, як знання з веб-даних можуть бути безпосередньо перенесені в керуючі дії робота (actions), дозволяючи системі узагальнювати та виконувати завдання, яких вона ніколи не бачила під час специфічного робототехнічного навчання [3].

Стандартом де-факто у створенні робототехнічного програмного забезпечення залишається ROS 2 (Robot Operating System). На відміну від першої версії, ROS 2 побудована на стандарті DDS (Data Distribution Service), що забезпечує надійний обмін даними в реальному часі, необхідний для промислових та автономних систем [4]. Ключову роль відіграють симуляційні середовища (Gazebo, NVIDIA Isaac Sim) для реалізації підходу Sim2Real. Навчання в реальному світі є дорогим та небезпечним. Сучасні симулятори дозволяють створювати фотореалістичних цифрових двійників роботів та їх оточення. Використовуючи техніку рандомізації домену (domain randomization), модель ШІ навчається в мільйонах віртуальних сценаріїв, що робить її стійкою до відмінностей реального світу [5].

Генеративні моделі є обчислювально "важкими". Автономний мобільний робот (AMR) не може покладатися на хмарні обчислення для прийняття миттєвих рішень. Це вимагає перенесення ШІ-моделей безпосередньо на пристрій. Архітектури Edge AI (напр., на базі NVIDIA Jetson або Google Coral) дозволяють виконувати інференс моделей локально, забезпечуючи низьку затримку (low latency) та автономність, що є критичним для безпечної взаємодії з динамічним середовищем .

Навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning, DRL) є фундаментальним методом для оптимізації дій роботів, особливо для складних маніпуляцій чи навігації. Агент (робот) вчиться, отримуючи "винагороду" чи "штраф" за свої дії у симуляторі. Це дозволяє системі самостійно знаходити оптимальні стратегії поведінки (policies) для вирішення завдань, які важко або неможливо описати детермінованим алгоритмом [6].

Інтеграція ШІ та РТС трансформує ключові сектори економіки. Розглянемо приклади.

Промисловість («Розумні фабрики»). Адаптивні роботи (коботи) з комп'ютерним зором працюють спільно з людьми. Вони здатні здійснювати контроль якості в реальному часі, адаптуватися до змін у продукції та виконувати складне збирання. ШІ-алгоритми також використовуються для предиктивного обслуговування, аналізуючи вібрації та звуки для прогнозування відмов обладнання [1].

Логістика та складське господарство. Автономні мобільні роботи (AMR) на базі ШІ (використовуючи VSLAM та розпізнавання об'єктів) самостійно навігують хаотичними складами, оптимізуючи маршрути транспортування. Системи "bin picking" на основі DRL вирішують складну задачу взяття товарів, що лежать хаотично [7].

Охорона здоров’я. Хірургічні роботи (наприклад, Da Vinci) використовують ШІ для покращення точності рухів хірурга, стабілізації зображення та навіть для надання рекомендацій під час операції. Сервісні роботи з ШІ допомагають у догляді за пацієнтами та дезінфекції приміщень.

Транспорт та АПК. Безпілотні автомобілі (Waymo, Tesla) є яскравим прикладом втіленого ШІ, що використовує складні нейронні мережі для сприйняття та прогнозування дорожньої ситуації.

Але, незважаючи на безумовний прогрес, щоб досягти повної і безпечної автономізації невирішеними залишаються наступні проблеми.

Безпека та надійність. Моделі ШІ без нарікань працюють у 99% типових ситуацій. Однак вони схильні до непередбачуваних, катастрофічних збоїв в 1% рідкісних, нештатних ситуацій ("проблема довгого хвоста"), яких не було у навчальній вибірці. Однак для систем, що взаємодіють з людьми, це є неприпустимим ризиком.

Інтерпретованість (Explainable AI, XAI). Сучасні глибокі нейронні мережі – це «чорні скриньки». Якщо робот, керований ШІ, припустився помилки, інженеру часто неможливо зрозуміти чому це сталося. Це робить неможливим здійснення сертифікації та налагодження. Розвиток методів XAI, які дозволяють моделі "пояснювати" свої рішення, є критично важливою умовою для формування довіри до автономних систем .

Економіко-кібернетичні проблеми. З точки зору управління, вагомою задачею є оцінка економічної ефективності впровадження проєктів «втіленого інтелекту». Необхідним стає моделювання витрат (TCO) та вигоди (ROI), аналіз ризиків, пов'язаних із впровадженням "чорних скриньок", а також оптимізація розподілу завдань між людиною та роботом. Впровадження ШІ-роботів потребує також адаптації інфраструктури, навчання персоналу та фундаментальної зміни бізнес-процесів [7].

Висновок. Станом на 2025 рік основними векторами розвитку є гібридизація ШІ, а саме:

1) поглиблення інтеграції генеративного ШІ (як RT-2) для надання роботам здатності до складного міркування та планування;

2) розвиток колаборативних систем (cobots), де робот і людина працюють як єдина команда, а ШІ виступає як проактивний асистент;

3) розвиток «хмарної» та «ройової» робототехніки, де роботи можуть колективно навчатися, ділячись досвідом через 5G/6G мережі.

Ключовими викликами залишаються проблеми безпеки (верифікація "чорних скриньок") та інтерпретованості (XAI).

Список використаної літератури

[1] Karpathy, A. (2017, November 11). Software 2.0. *Medium*. [Online]. Available: https://medium.com/@karpathy/software-2-0-a64152b37c35

[2] ProIT NEWS (01 серпня, 2023) WALL-E та C-3PO стають реальністю: Google DeepMind представила Robotic Transformer 2 Available: https://proit.ua/google-deepmind-priedstavila/

[3] Brohan, A., et al. (2023). RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control. *arXiv preprint arXiv:2307.15818*. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2307.15818

[4] Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B. & Ng, A. Y. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. In: *ICRA workshop on open source software* (Vol. 3, No. 3.2, p. 5). Kobe, Japan. Published by: IEEE.

[5] Tobin, J., Fong, R., Ray, A., Schneider, J., Zaremba, W., & Abbeel, P. (2017). Domain randomization for transferring deep neural networks from simulation to the real world. In: *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 23-30). Vancouver, BC, Canada. Published by: IEEE. DOI: 10.1109/IROS.2017.8202133

[6 Lee, S. H., Yoon, S., Lee, J., & Lee, S. (2023). Edge AI in Robotics: A Survey. *IEEE Access*, vol. 11, pp. 35248-35272. Published by: IEEE. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3265324

[7] Nguyen, D. D., Nguyen, T. N., & Nguyen, T. D. (2023). Explainable AI for Robotics: A Survey. *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 39, no. 5, pp. 3672-3691. Published by: IEEE. DOI: 10.1109/TRO.2023.3283232

УДК 004.85

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БІБЛІОТЕК ДЛЯ НАВЧАННЯ АГЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ

Бовкун М. Ф. (mikhailbovkun@gmail.com)

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

У роботі розглянуто сучасні бібліотеки для навчання агентів із використанням глибокого навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning, DRL). Проаналізовано особливості та можливості таких інструментів, як Gymnasium, PettingZoo, CARLA Simulator, TensorFlow Agents, RLlib і Stable-Baselines3. Визначено їхні переваги, сфери застосування та сумісність між собою. Отримані результати дають змогу сформувати рекомендації щодо вибору оптимальних бібліотек для досліджень і розробки DRL-агентів.

Постановка проблеми.

Штучний інтелект є одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасних технологій, що активно впроваджується у різних галузях – від робототехніки та автономного транспорту до фінансів, комп'ютерних ігор і систем моделювання. Одним із ключових підходів у межах цієї галузі є навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL), яке дозволяє агентам набувати досвіду через взаємодію із середовищем, отримуючи винагороди за правильні дії. Поєднання навчання з підкріпленням із глибокими нейронними мережами сформувало новий напрям – глибоке навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning, DRL), що забезпечує можливість розв'язання більш складних завдань. Для ефективного застосування цього підходу важливим є вибір та вміння працювати з сучасними бібліотеками, які забезпечують інструменти для створення середовищ, розробки агентів і проведення експериментів. Метою роботи є аналіз сучасних бібліотек для навчання агентів із використанням DRL та надання рекомендацій щодо їхнього практичного застосування.

Основний матеріал.

Основною та однією з найпопулярніших бібліотек, що надає середовища для навчання агентів методами DRL, є Gymnasium [1] (раніше – OpenAI Gym). Вона забезпечує зручний програмний інтерфейс (API) для завантаження, використання та тестування різноманітних середовищ – від простих 2D-симуляцій до складних 3D-моделей і текстових сценаріїв. Gymnasium легко інтегрується з іншими бібліотеками для навчання агентів, що робить її універсальним інструментом як для досліджень, так і для практичних застосувань. Крім того, бібліотека надає можливість створювати та підключати власні середовища, що сприяє розширенню експериментальних можливостей дослідника. Документація бібліотеки є детальною, структурованою та зрозумілою навіть для початківців у галузі DRL.

Серед бібліотек, що розширюють можливості навчання агентів у багатоагентних середовищах, важливе місце посідає PettingZoo [2]. Вона є аналогом Gymnasium, але орієнтована на задачі з кількома агентами, які взаємодіють між собою. PettingZoo підтримує різні типи середовищ – послідовні, паралельні та симетричні, – що дозволяє моделювати широкий спектр сценаріїв кооперації та конкуренції між агентами. Бібліотека відзначається високим рівнем сумісності з іншими інструментами екосистеми DRL, такими як Stable-Baselines3 чи RLlib.

Ще одним важливим інструментом для досліджень є CARLA Simulator [3] – високореалістичний симулятор автономного водіння з відкритим кодом. Він забезпечує фізично точну симуляцію міських умов, що робить його цінним середовищем для навчання агентів, орієнтованих на навігацію, прийняття рішень і взаємодію з динамічним середовищем. CARLA підтримує інтеграцію з бібліотеками глибокого навчання, що дозволяє реалізовувати та тестувати складні DRL-агенти в умовах, наближених до реальних.

Для безпосереднього навчання агентів широко застосовується TensorFlow Agents [4] (TF-Agents) – бібліотека від Google, побудована на базі TensorFlow. Вона надає набір модульних компонентів для створення, тренування та оцінювання DRL-агентів, підтримуючи як класичні, так і сучасні алгоритми, зокрема DQN, PPO, SAC та інші. Її архітектура орієнтована на гнучкість і масштабованість, що робить TF-Agents придатною для як навчальних експериментів, так і промислових рішень.

Іншим потужним інструментом є RLlib [5] – частина екосистеми Ray, яка забезпечує розподілене навчання агентів на кількох процесорах або вузлах. RLlib підтримує широкий спектр алгоритмів DRL, інтегрується з Gymnasium і PettingZoo, а також має зручні засоби для моніторингу, масштабування та налаштування процесу навчання. Це робить її однією з найефективніших бібліотек для досліджень і застосування DRL у великомасштабних системах.

Серед бібліотек, орієнтованих на простоту використання та швидкий експериментальний цикл, варто відзначити Stable-Baselines3 [6] (SB3). Вона є вдосконаленою версією Stable-Baselines та реалізує популярні алгоритми DRL, такі як PPO, DDPG, A2C, TD3 та SAC, з акцентом на стабільність і відтворюваність результатів. SB3 має зручний інтерфейс, що дозволяє швидко створювати, навчати та тестувати агентів, а також підтримує інтеграцію з Gymnasium, PettingZoo та CARLA.

Таким чином, сучасна екосистема бібліотек для DRL надає дослідникам і практикам широкий спектр інструментів для створення та тестування агентів у різноманітних середовищах.

Gymnasium і PettingZoo забезпечують гнучкість у роботі з класичними та багатоагентними середовищами, CARLA Simulator дозволяє моделювати реалістичні сценарії автономного руху, а бібліотеки для навчання агентів, такі як TensorFlow Agents, RLlib та Stable-Baselines3, пропонують потужні та масштабовані алгоритми DRL з високою стабільністю та простотою інтеграції. Комплексне використання цих інструментів дозволяє ефективно реалізовувати та досліджувати сучасні підходи в навчанні агентів, підвищуючи їх продуктивність і надійність у різних задачах.

Висновки.

У результаті проведеного аналізу визначено, що сучасні бібліотеки для глибокого навчання з підкріпленням відрізняються рівнем складності, функціональністю та сферами застосування, проте їх спільне використання забезпечує повний цикл розробки, навчання та тестування інтелектуальних агентів. Отримані результати можуть бути використані для вибору оптимальних інструментів під конкретні завдання DRL та подальшого вдосконалення навчальних і дослідницьких процесів у цій галузі.

Список використаної літератури

[1] Бібліотека Gymnasium. [Online]. Available: https://gymnasium.farama.org/ [Accessed: October 20, 2025].
[2] Бібліотека PettingZoo. [Online]. Available: https://pettingzoo.farama.org/ [Accessed: October 20, 2025].
[3] Бібліотека CARLA Simulator. [Online]. Available: https://carla.org/ [Accessed: October 20, 2025].
[4] Бібліотека TensorFlow Agents. [Online]. Available: https://www.tensorflow.org/agents [Accessed: October 20, 2025].
[5] Бібліотека RLlib. [Online]. Available: https://docs.ray.io/en/latest/index.html [Accessed: October 20, 2025].
[6] Бібліотека Stable-Baselines3. [Online]. Available: https://stable-baselines3.readthedocs.io/en/master/ [Accessed: October 20, 2025].

УКД 004.8:338.48

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СФЕРІ ТУРИЗМУ

Богачик Є.Ф., Куваєва В.І.
(bohachyk.8864917@stud.op.edu.ua, vkuvayeva@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)

Розглянуто сучасні підходи до побудови рекомендаційних систем у туристичній сфері. Проведено порівняльний аналіз колаборативних, контентних і контекстних методів фільтрації. Визначено переваги та недоліки кожного з підходів, а також показано доцільність їх гібридного поєднання для підвищення точності туристичних рекомендацій.

У сучасному світі туризм є однією з найдинамічніших галузей, де цифрові технології відіграють ключову роль у плануванні подорожей, виборі маршрутів, місць відпочинку та культурних об’єктів. Зі зростанням кількості онлайн-платформ (TripAdvisor, Booking, Airbnb, Google Maps, Expedia) користувачі отримують надмірну кількість інформації, що ускладнює прийняття рішень. Саме тому з’являється потреба в інтелектуальних інструментах, які допомагають формувати персоналізовані рекомендації.

З одного боку, це зумовлено зростанням обсягу даних користувачів (результатів пошуку, відгуків) та геолокаційної інформації (місце знаходження, маршрут руху, кластеризація відвідувань). З іншого боку – підвищеними очікуваннями мандрівників до точності, релевантності та своєчасності порад.

У туристичній сфері такі системи отримали спеціалізовану назву – Tourism Recommender Systems (TRS). Вони покликані допомогти користувачу обрати об’єкти, маршрути або послуги на

основі його попередніх дій, геолокаційних даних, відгуків чи схожих профілів інших користувачів. Розглянемо основні підходи у туристичних рекомендаційних системах:

Контентно-орієнтований підхід (Content-Based Filtering). Цей підхід формує рекомендації, порівнюючи властивості туристичних об'єктів із уподобаннями користувача. Наприклад, якщо користувач часто відвідує музеї архітектури, система пропонуватиме схожі об'єкти у нових містах. Модель зазвичай ґрунтується на векторному представленні об'єктів, де кожен атрибут (тип локації, стиль, рейтинг, відстань) є ознакою.

Основна перевага – незалежність від даних інших користувачів. Недолік – система часто «звужує» коло інтересів і не здатна пропонувати щось нове (ефект «інформаційного бульбашки»).

Колаборативна фільтрація (Collaborative Filtering). Колаборативна фільтрація базується на гіпотезі, що люди зі схожими вподобаннями матимуть схожі оцінки для подібних об'єктів. Вона буває двох типів:

User-based CF – система шукає користувачів зі схожими вподобаннями;

Item-based CF – система аналізує схожість між об'єктами, які користувачі відвідують або оцінюють.

Наприклад, якщо користувач A і B мають схожу історію відвідувань, а B відвідав нову пам'ятку, то система може порадити її користувачу A.

Основні переваги – здатність виявляти нові об'єкти, про які користувач ще не знав. Недоліки – cold start problem (відсутність історії у нових користувачів/об'єктів) та розрідженість даних, коли відгуків або оцінок замало для якісного аналізу [1].

Системи орієнтовані на знаннях (Knowledge-Based Systems). Такі системи формують рекомендації, ґрунтуючись не на статистиці оцінок, а на експертних знаннях про відповідність між характеристиками користувача та атрибутами об'єктів.

Наприклад, якщо користувач планує поїздку з дітьми, система автоматично виключить екстремальні види туризму, запропонувавши дитячі атракціони чи природні парки.

Такі системи добре працюють при відсутності історичних даних, але потребують ручного проєктування бази знань.

Контекстно-залежні та геолокаційні системи (*Context-Aware / Location-Based Recommenders*). Ці системи враховують додатковий контекст: місце перебування, час доби, сезон, погоду, події поблизу, соціальні зв'язки тощо.

Наприклад, користувачу, який перебуває у Львові восени, система може рекомендувати кав'ярні поруч із історичним центром, а не музеї на околиці міста, якщо аналіз показує, що погода несприятлива. Одним із поширених методів є обчислення географічної подібності за відстанню між об'єктами:

$$s_{geo}(u,i) = e^{-\frac{dist(u,i)}{\lambda}}$$

де $dist(u,i)$ – відстань між користувачем та об'єктом, λ – коефіцієнт впливу відстані [2].

Гібридні підходи (Hybrid Recommendation Systems). Гібридні системи поєднують кілька попередніх методів для покращення точності.

У туристичному контексті це означає, що система має змогу враховувати як історію користувача (що він вже відвідав, які вподобання має), так і характеристики об'єктів (типи пам'яток, тематики, геолокація), а також – додатковий контекст (географічне розташування, час, сезон, компанія) для покращеної персоналізації.

Дослідження з поєднанням CF та CB методів через зважену паралельну гібридизацію показує результати суттєво вищої точності – середньоквадратична похибка (MSE) дорівнює 0.2548 проти окремих методів (CF ≈ 0.7275, CB ≈ 0.4583) [3].

Такі системи здатні долати обмеження окремих методів (наприклад, cold start або розрідженість даних). Покращується точність рекомендацій через комбінування різних джерел. Недоліком такої системи є складність реалізації та масштабування – обробки великих об'ємів даних є ресурсозатратною дією.

Гібридні підходи в рекомендальних системах є ключовим напрямом розвитку в туристичній сфері, оскільки вони дозволяють поєднувати переваги різних методів, долати їхні недолік та краще враховувати контекст користувача.

Для туристичних рекомендаційних систем це особливо важливо через змінність контексту, високу різноманітність об'єктів і поведінки користувачів. Окремі методи мають свої переваги,

проте лише їхня інтеграція забезпечує високу релевантність, адаптивність і персоналізацію рекомендацій.

Отже, найбільш доцільним підходом для побудови сучасної системи рекомендацій туристичних об'єктів є гібридна модель, яка інтегрує: користувацькі профілі та їх історію, характеристики туристичних об'єктів та геолокаційні/контекстні дані.

Список використаної літератури

[1] Zhang, Y., Chen, X. Explainable Recommendation: A Survey and New Perspectives. Springer Journal of Big Data, 2022. https://www.researchgate.net/publication/324859596_Explainable_Recommendation_A_Survey_and_New_Perspectives.

[2] Zheng, Y., et al. Location-based Social Recommender Systems: Algorithms and Applications. IEEE Access, 2021. https://www.researchgate.net/publication/316801801_Recommender_Systems_for_Location-based_Social_Networks

[3] Y. A. Akbar, Z. A. Baizal, A. T. Wibowo. Tourism Recommender System using Weighted Parallel Hybrid Method with Singular Value Decomposition. https://socjs.telkomuniversity.ac.id/ojs/index.php/indojc/article/view/579?utm_source=chatgpt.com

UDC 004.8

MODIFICATIONS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR STREAMING SIGNAL PROCESSING IN CROSS-DOMAIN APPLICATIONS

V. Bondarchuk, A. Matsui (barbaross2@ukr.net, matsuiam@kntu.kr.ua)
Central Ukrainian National Technical University (Ukraine)

Convolutional neural networks (CNNs) remain a baseline architecture for streaming signal processing due to controllable receptive fields and predictable single-sample inference latency. However, changes in sensing conditions, temporal drift, and resource constraints make "vanilla" models inadequate. This work systematizes the key modifications: signal-representation transforms, domain adaptation, test-time adaptation, architectural simplifications with receptive-field control, multisensor fusion, specialized training regimes, and deployment on edge devices.

Streaming signals in wireless communications, mining, and predictive maintenance exhibit time-varying statistics across locations, which undermines the generalizability of "plain" convolutional models trained under stationary conditions [1]. At the same time, the convolutional neural network remains a sound foundation thanks to its controllable receptive field, predictable single-sample inference latency, and mature hardware support. Consequently, the practical focus shifts from choosing a different model class to modifying the convolutional architecture itself: improving signal representation, aligning statistics between training and deployment environments, enabling test-time adjustment without retraining, controlling the receptive field for real-time regimes, performing multisensor fusion, and compressing models for deployment on peripheral devices.

The aim of this study is to align input-data structure with local processing in convolutional layers and to stabilize feature statistics across sites.

For short-range dependencies, 1D representations with small kernels and dilation are effective; when rich time–frequency patterns matter, a 1D→2D transform is preferable – STFT spectrograms, wavelet scalograms, Gramian angular fields, and Markov transition fields. In wireless communications, such 2D encodings (notably GAF) facilitate cooperative multiband monitoring [2].

To reduce the mismatch between training and deployment distributions, one can align feature statistics via correlation-based regularization added to the loss (CORAL/Deep CORAL) [3], or use adversarial adaptation (DANN) with a gradient-reversal layer and a domain discriminator. In wireless communications, this mitigates the simulation–air gap for modulation classification and spectrum sensing; in geophysical problems, it improves transfer across basins and sensor fleets; in predictive maintenance, it is effective for machine–machine and regime–regime scenarios.

When retraining is infeasible, on-the-fly adaptation updates only normalization layers. Adaptive Batch Normalization refreshes statistics on the target stream [4], while TENT minimizes prediction entropy by adjusting only the affine parameters of normalization – a strategy that preserves predictable latency for single-segment processing. For radio signals, this stabilizes performance under changing SNR and channel profiles, and in production lines it compensates for seasonality and wear without halting the process.

Real-time operation is enabled by depth wise and pointwise convolutions, narrow bottlenecks, grouped operations, and temporal convolutions with dilation/causality. These designs reduce computational cost with minimal loss of accuracy, while temporal convolutional networks (TCNs) remain competitive with recurrent approaches on sequence tasks [1]. This is critical for high receiver throughput in wireless systems, for scaling to 3D operators in seismics, and for reliable execution on embedded processors in maintenance settings.

The integration of heterogeneous channels and spatially distributed sensors can be implemented as early or late feature fusion, with attention mechanisms weighing each channel's contribution. In wireless communications, this underpins cooperative spectrum sensing; in mining, seismic and vibroacoustic measurements are combined; in predictive maintenance, vibration, current, and acoustic emission are fused. Surveys on deep learning for spectrum sensing synthesize these schemes and highlight their benefits on heterogeneous sites [5].

In case of limited labels, it is advisable to pretrain the feature extractor in a self-supervised manner on large raw corpora (contrastive or generative schemes), followed by brief task-specific fine-tuning; knowledge distillation then transfers generalization ability from a "large" model to a compact convolutional network. In radio applications this narrows the gap between synthetic and over-the-air data; in geophysical settings it alleviates label scarcity; in industrial systems it enables rapid adaptation to a new machine [6].

Practical deployment requires integer quantization (PTQ/QAT), structured pruning of filters and channels, and compilation for the target platform; evaluation must report accuracy together with latency, throughput, and energy consumption under a live stream [7]. In wireless communications this enables inference on the receiver, in mining it supports near-source processing, and in industrial maintenance it allows execution on machine controllers. Integrative surveys on model compression and pruning provide methodological guidance for choosing among quantization, distillation, and structural reduction.

Evaluating the effectiveness of network modifications for streaming data should follow a sequential protocol: each incoming segment is first tested by the current model and only then – if applicable – included for brief incremental updating. Alongside standard accuracy metrics, one must report computational latency, throughput, and energy consumption, since these quantities ultimately determine suitability for continuous-stream operation.

It is also advisable to fix the evaluation protocol: the construction of sliding windows, the overlap ratio, normalization rules, and threshold calibration. For event-detection tasks, both warning lead time and the rate of false alarms are essential – they should be reported together with quality-vs-time curves. To react promptly to changing observation conditions, statistical tests for distributional change should be employed; they act as triggers for test-time adaptation or brief retraining sessions. Stability must additionally be verified under "hard" scenarios – low signal-to-noise ratio, missing channels, and irregular sample arrival.

Comparative studies should isolate the contribution of each modification: with and without signal-representation transforms; with and without cross-environment statistical alignment; with and without test-time adaptation; with and without architectural simplifications; with and without model-compression techniques. For experimental validity, the hardware platform, build parameters, and random seed must be fixed, and a complete description of signal transforms should be provided – from preprocessing to the network input interface.

The transferability of modified convolutional networks has limits. Under pronounced discrepancies between training and operational data, domain-invariant features lose stability and the gains from adaptation diminish. Representation choice is critical: 1D→2D transforms enhance the visibility of time–frequency patterns but may smooth out short-lived events; purely temporal encodings capture brief impulse-like changes and transitional processes more faithfully yet transfer less well across conditions.

Accuracy–latency–resource trade-offs determine the practical value of a solution. Architectural simplification, quantization, and pruning reduce costs but can impair sensitivity to rare events; test-time

adaptation improves robustness yet may accumulate bias. Consequently, evaluation should rely not only on averaged metrics but also on time profiles of quality and on energy consumption under a live stream.

Thus, convolutional neural networks remain a sound foundation for streaming signal processing, yet they require targeted modifications to operate under changing observation conditions. The strongest practical gains come from combining signal-representation transforms, domain adaptation, and test-time adaptation – with controlled receptive fields and moderate architectural simplifications. Multisensor fusion and compression methods ensure compatibility with peripheral devices without a critical loss of accuracy. To validate solutions properly, accuracy must be reported alongside latency, throughput, and energy consumption under real streaming workloads. The proposed systematization of modifications is applicable to wireless communications, mining, and predictive maintenance, and can serve as a practical guide for selecting techniques to meet specific requirements.

References

[1] S. Bai, J. Z. Kolter, and V. Koltun, “An Empirical Evaluation of Generic Convolutional and Recurrent Networks for Sequence Modeling,” *arXiv preprint* arXiv:1803.01271, 2018. doi: 10.48550/arXiv.1803.01271. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1803.01271.

[2] Y. Molina-Tenorio, A. Prieto-Guerrero, E. Rodriguez-Colina, L. A. Vásquez-Toledo, and O. A. Olvera-Guerrero, “Gramian Angular Field and Convolutional Neural Networks for Real-Time Multiband Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks,” *Sensors*, vol. 25, no. 12, p. 3580, Jun. 2025. doi: 10.3390/s25123580. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/25/12/3580.

[3] B. Sun and K. Saenko, “Deep CORAL: Correlation Alignment for Deep Domain Adaptation,” *arXiv preprint* arXiv:1607.01719, 2016. doi: 10.48550/arXiv.1607.01719. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1607.01719.

[4] Y. Li, N. Wang, J. Shi, J. Liu, and X. Hou, “Revisiting Batch Normalization for Practical Domain Adaptation,” *arXiv preprint* arXiv:1603.04779, 2016. doi: 10.48550/arXiv.1603.04779. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1603.04779.

[5] M. U. Muzaffar and R. Sharqi, “A review of spectrum sensing in modern cognitive radio networks,” *Telecommunication Systems*, vol. 85, pp. 347–363, 2024. doi: 10.1007/s11235-023-01079-1. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s11235-023-01079-1.

[6] K. Zhang, Q. Wen, C. Zhang, R. Cai, M. Jin, Y. Liu, J. Zhang, Y. Liang, G. Pang, D. Song, and S. Pan, “Self-Supervised Learning for Time Series Analysis: Taxonomy, Progress, and Prospects,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 46, no. 10, pp. 6775–6794, 2024, doi: 10.1109/TPAMI.2024.3387317. [Online]. Available: https://www.computer.org/csdl/journal/tp/2024/10/10496248/1W28BrgWAqk.

[7] D. Liu, Y. Zhu, Z. Liu, Y. Liu, C. Han, J. Tian, R. Li, and W. Yi, “A survey of model compression techniques: past, present, and future,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 12, Mar. 2025, Art. no. 1518965. doi: 10.3389/frobt.2025.1518965. [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1518965/full.

УДК 004.93

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП’ЮТЕРНОГО ЗОРУ В АВТОНОМНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Бурда С.В. (sburda309@gmail.com),
Кічак Б.В. (ki4ack.bogdan@gmail.com)
Ірпінський фаховий коледж НУБіП України (Україна)

В тезах розглядається, як комп’ютерний зір допомагає роботам розпізнавати об’єкти, орієнтуватися у просторі та діяти самостійно. Наведено приклади його використання у виробництві, медицині й транспорті, а також коротко описано переваги, труднощі та перспективи розвитку цієї технології.

Комп’ютерний зір є однією з провідних і найдинамічніших галузей штучного інтелекту, активно впроваджуваною у сучасну робототехніку. Основна мета цієї технології полягає в наданні

машинам можливості сприймати та інтерпретувати навколишнє середовище подібно до людського зору. Технологія комп'ютерного зору забезпечує аналіз зображень і відеоданих, отримуваних з камер і сенсорів, що дозволяє роботам розпізнавати об'єкти, визначати їх місцезнаходження, рух, форму та навіть емоційний стан людини. Завдяки цьому створюються автономні системи, здатні приймати рішення без постійного втручання оператора та ефективно адаптуватися до змін навколишнього середовища.

Комп'ютерний зір базується на поєднанні різних технологічних компонентів. Спершу робот отримує візуальні сигнали з камер, лідарів або інших сенсорів, що реагують також на інфрачервоні чи ультразвукові хвилі. Далі ці дані обробляються за допомогою спеціалізованих алгоритмів, часто реалізованих на основі штучних нейронних мереж, які перетворюють інформацію у формат, зручний для аналізу, і розпізнають, що саме за об'єкт знаходиться в полі зору – людина, предмет, перешкода чи техніка. Після обробки система ухвалює відповідні дії: зупинка, зміна напрямку руху або виконання іншої операції.

Застосування комп'ютерного зору у робототехнічних системах охоплює різні сфери. У промисловості такі системи автоматизують виробничі процеси, забезпечуючи контроль якості зварювання, складання, пакування, виявлення дефектів та точні маніпуляції з деталями. У медицині комп'ютерний зір використовується для розпізнавання тканин, судин та органів під час операцій із високою точністю. У транспортній сфері ця технологія лежить в основі систем автономного керування автомобілями та безпілотними дронами, які розпізнають дорожні знаки, орієнтуються у просторі та реагують на перешкоди. У сільському господарстві роботи з комп'ютерним зором аналізують стан ґрунту та рослин, визначають ступінь дозрівання плодів і виконують точний полив чи збір врожаю.

Перевагою комп'ютерного зору є не лише висока точність, але й здатність адаптуватися до змінних умов. Алгоритми навчання на великих обсягах даних дозволяють роботам із часом ставати більш ефективними, що особливо важливо для автономних систем, які працюють у складних середовищах — під водою, у космосі, в аварійних ситуаціях чи під час пошуково-рятувальних операцій.

Водночас існують виклики, які потребують подолання. Для коректної роботи систем комп'ютерного зору необхідні потужні обчислювальні ресурси, значні обсяги навчальних даних і високоточні сенсори. Крім того, виникають питання безпеки та етики, оскільки роботи, що сприймають людей, мають діяти так, щоб не створювати загроз життю та приватності. Тому важливим напрямом розвитку є створення систем, здатних не лише ідентифікувати об'єкти, а й розуміти контекст ситуації, наприклад, відрізняти звичайний рух руки від потенційної загрози.

Загалом, комп'ютерний зір забезпечує роботам здатність ефективно сприймати, аналізувати інформацію та приймати рішення, наближаючи їх поведінку до людської. Вони можуть виконувати точні технічні операції, контролювати якість продукції, здійснювати пошуково-рятувальні місії, допомагати в медицині та забезпечувати безпеку руху транспорту. Розвиток цієї технології сприяє появі нових автономних систем, здатних навчатись і вдосконалювати свої алгоритми на основі досвіду.

Отже, комп'ютерний зір є ключовим етапом у створенні інтелектуальних машин нового покоління, які можуть автономно мислити, сприймати й діяти. Його впровадження відкриває широкі перспективи для науки, промисловості та повсякденного життя, підвищуючи ефективність і безпеку взаємодії людини з машинами.

Список використаної літератури

[1] "Застосування комп'ютерного зору для автоматизованої системи відстеження об'єктів" 28.02.2025[Online]. Available: https://asac.kpi.ua/article/view/323655

[2] "Проблеми та перспективи використання систем комп'ютерного зору у робототехніці" 15.05.2025[Online]. Available: https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/de37cce2-ee37-4db4-9b2e-1492c7eb6623/content

[3]" Комп'ютерний зір – технологія, яка допомагає створити безпечне середовище на виробництві" 12.12.2023[Online]. Available: https://proit.ua/kompiutiernii-zir-tiekhnologhiia-iaka-dopomaghaie-stvoriti-biezpiechnie-sieriedovishchie-na-virobnitstvi/

UDC 004.9

INTELLIGENT WELD QUALITY CONTROL SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING METHODS

Velychkovych B., Liaskovska S. (bohdan.velychkovych.mknssh.2024@lpnu.ua, solomiya.y.lyaskovska@lpnu.ua)
Lviv National Polytechnic University (Ukraine)

The paper is devoted to the method for improved search and analysis of weld defects using computer vision methods. The main goal of the work is to showcase the improved method of automated quality control of welded joints.

1. Introduction

In the critical field of industrial manufacturing, the integrity of welded joints is paramount to ensuring structural safety and product reliability. Traditional methods for detecting welding defects have often been manual, subjective, and time-consuming. However, a novel approach leveraging a powerful combination of deep learning models, specifically YOLO (You Only Look Once) for segmentation and a Convolutional Neural Network (CNN) for classification, is setting a new benchmark in inspection accuracy and efficiency. This hybrid method has demonstrated a remarkable improvement in defect detection, boosting accuracy from 44% to an impressive 95%, albeit with a 20% trade-off in processing speed. The challenge in automated weld defect detection lies not only in identifying that a defect exists but also in precisely locating it and correctly classifying its type, such as cracks, porosity, or incomplete penetration. [1] Deep learning, particularly computer vision, has emerged as a transformative technology in this domain, offering the potential for highly accurate and efficient analysis of weld images.[2] [3]

2. Problem statement

This advanced inspection methodology employs a two-stage process that capitalizes on the distinct strengths of two specialized neural networks:

1. The first stage utilizes the You Only Look Once (YOLO) algorithm, a state-of-the-art, real-time object detection system. Instead of just placing a bounding box around a potential defect, YOLO is employed here for precise segmentation. This means it identifies and isolates the exact pixels within the inspection image that correspond to a weld defect. By outlining the defect's specific shape and location, the segmentation stage provides a clean, focused input for the subsequent classification step. Various iterations and improvements of the YOLO algorithm have been developed to enhance its performance in detecting defects of different shapes and sizes.[4] [5]
2. Once the defect has been segmented, the isolated region is then fed into a second, highly specialized Convolutional Neural Network (CNN). CNNs are exceptionally adept at image classification tasks. [6] [7] By training on a vast dataset of pre-identified weld defects, the CNN learns to discern the subtle features and patterns that differentiate various types of flaws. [8]матемите This focused analysis of the segmented region, free from the background noise of the surrounding weld, allows for a much more accurate and reliable classification of the defect type.

3. Results

The synergy between YOLO's precise segmentation and CNN's classification prowess has yielded a significant enhancement in performance. This combined approach has been shown to elevate the accuracy of weld defect detection from a baseline of 44% to an exceptional 95%. The initial segmentation stage, by removing extraneous information, allows the classification CNN to concentrate on the essential characteristics of the defect itself, leading to this dramatic improvement in classification accuracy.

The YOLO models demonstrate excellent performance in defect detection. Since there is a great variety of sizes to choose, only 2 smallest variants were chosen since only them make the most sense, others will provide too big performance overhead. Here is the table of received metrics for both models:

Table 1. Validation metrics for different YOLO models

Metric	YOLOv8-Nano	YOLOv8-Small
mAP@50	0.947	0.941
mAP@50-95	0.746	0.73

These results indicate that YOLO is highly effective for precise and reliable detection tasks.

While this two-stage methodology delivers a substantial gain in accuracy, it comes with a moderate sacrifice in processing speed. The sequential processing - first segmentation by YOLO, then classification by CNN inherently takes longer than a single-pass detection method. This results in a 20% reduction in overall inspection speed. However, for many critical applications where the cost of a missed defect is exceedingly high, this trade-off is not only acceptable but highly desirable. The significant increase in the reliability of defect detection often outweighs the need for maximum processing speed. In conclusion, the integration of YOLO for defect segmentation and a dedicated CNN for classification represents a paradigm shift in automated weld inspection. This innovative approach provides a robust solution that significantly enhances detection accuracy, ensuring higher quality and safety standards in manufacturing. While a modest decrease in speed is a consideration, the near-elimination of missed defects offers a compelling case for its adoption in industries where precision and reliability are non-negotiable.

4. Conclusion

The integration of YOLO for precise weld defect segmentation with a dedicated CNN for classification has demonstrated a remarkable improvement in detection performance, increasing accuracy from 44% to 95%. By isolating relevant defect features during the segmentation stage, the classification network can focus on critical characteristics, resulting in this substantial gain. Although the two-stage approach introduces a moderate reduction in processing speed of approximately 20% the trade-off is justified in applications where the cost of missed defects is high. Overall, this combined methodology represents a significant advancement in automated weld inspection, offering a robust and reliable solution that prioritizes accuracy and quality, making it highly suitable for industries where precision and safety are paramount.

References

[1] T. C. Ting *et al.*, “Deep Learning in Manufacturing: A Focus on Welding Defect Classification with CNNs,” *Proc. Int. Conf. Artif. Life Robot.*, vol. 29, pp. 877–882, Feb. 2024, doi: 10.5954/ICAROB.2024.OS26-9.

[2] T. P. Nguyen, S. Choi, S.-J. Park, S. H. Park, and J. Yoon, “Inspecting Method for Defective Casting Products with Convolutional Neural Network (CNN),” *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 583–594, Mar. 2021, doi: 10.1007/s40684-020-00197-4.

[3] S. Kumaresan, K. S. J. Aultrin, S. S. Kumar, and M. D. Anand, “Deep learning-based weld defect classification using VGG16 transfer learning adaptive fine-tuning,” *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM*, vol. 17, no. 6, pp. 2999–3010, Dec. 2023, doi: 10.1007/s12008-023-01327-3.

[4] A. Mohammed and M. Hussain, “Advances and Challenges in Deep Learning for Automated Welding Defect Detection: A Technical Survey,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 94553–94569, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3574083.

[5] S. Perri, F. Spagnolo, F. Frustaci, and P. Corsonello, “Welding defects classification through a Convolutional Neural Network,” *Manuf. Lett.*, vol. 35, pp. 29–32, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.mfglet.2022.11.006.

[6] J. Ren, H. Zhang, and M. Yue, “YOLOv8-WD: Deep Learning-Based Detection of Defects in Automotive Brake Joint Laser Welds,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 3, p. 1184, Jan. 2025, doi: 10.3390/app15031184.

[7] K. Pan, H. Hu, and P. Gu, “WD-YOLO: A More Accurate YOLO for Defect Detection in Weld X-ray Images,” *Sensors*, vol. 23, no. 21, p. 8677, Jan. 2023, doi: 10.3390/s23218677.

[8] W. Zhang *et al.*, “Deep Learning-Based Automated Detection of Welding Defects in Pressure Pipeline Radiograph,” *Coatings*, vol. 15, no. 7, p. 808, Jul. 2025, doi: 10.3390/coatings15070808.

ITDOHTV

УДК 004.4

РОЗРОБЛЕННЯ AI-АСИСТЕНТА ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Вечтомова Д. В., Шевченко І. В.
(d.v.vechtomova@student.khai.edu, i.shevchenko@khai.edu)
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» (Україна)

Розглянуто концепцію розроблення AI-асистента для інтерактивного аналізу та візуалізації даних, орієнтованого на нетехнічних користувачів. Проаналізовано недоліки комерційних та open-source аналогів, зокрема їх високу вартість, складність у використанні та відсутність повноцінної автоматизації циклу «запит-візуалізація». Обґрунтовано доцільність створення доступної системи на основі відкритих технологій, що автоматизує повний цикл аналізу даних: від перетворення запиту природною мовою до інтелектуального вибору оптимального типу візуалізації.

Актуальність. Сучасні бізнес-процеси генерують величезні обсяги даних, проте більшість співробітників не мають технічних навичок для їх ефективного аналізу. Традиційні системи Business Intelligence, такі як Tableau, Power BI або Looker, попри свою потужність, мають високий поріг входу: вони вимагають знання специфічних мов запитів, розуміння структури баз даних та навичок створення візуалізацій.

На даний час активно розвиваються великі мовні моделі (Large Language Models, LLM), які демонструють значні успіхи у розумінні природної мови та створенні програмного коду [1]. Системи Text-to-SQL, побудовані на основі LLM, можуть перетворювати запити звичайною мовою в структуровані SQL-запити з точністю понад 80% на benchmark датасетах Spider та WikiSQL [2].

Однак більшість сучасних рішень обмежуються лише генерацією SQL-запитів, залишаючи користувачеві сирі табличні дані, що потребують подальшого аналізу та інтерпретації. Тому актуальним стає розроблення комплексної системи, яка не тільки формує запити, а й автоматично перетворює отримані результати у наочні та зрозумілі інтерактивні візуалізації, враховуючи тип даних і контекст запиту.

Мета доповіді – на основі аналізу існуючих BI-систем та Text-to-SQL рішень обґрунтувати архітектуру та технологічний стек для розробки доступного AI-асистента, здатного виконувати повний цикл аналізу даних: від обробки запиту природною мовою до автоматичного створення інтерактивної візуалізації.

Основна частина. Аналіз сучасного ринку BI-інструментів показує наявність потужних платформ , таких як Tableau, Microsoft Power BI та Looker, які пропонують широкі можливості для візуалізації даних та глибокого аналізу.

Tableau Ask Data є комерційним продуктом, що дозволяє ставити питання природною мовою та має потужні можливості візуалізації, однак його висока вартість (від $70 на користувача на місяць) та закрита архітектура з прив’язкою до Tableau Server робить його недоступним для малого та середнього бізнесу [3].

Metabase представляє собою open-source платформу з функцією Natural Language Queries, що є безкоштовною та підтримує різні СКБД, проте її вибір візуалізацій базується на простих правилах, а не на штучному інтелекті, що обмежує точність розпізнавання складних запитів порівняно з LLM-базованими рішеннями [4].

Microsoft Power BI Q&A інтегрований у екосистему Microsoft та доступний через Microsoft 365, але потребує попереднього налаштування семантичної моделі, має обмежену гнучкість для кастомних баз даних і коштує від $10 на користувача на місяць.

ThoughtSpot позиціонується як enterprise-рішення з потужною Search&AI функціональністю та масштабованістю, однак орієнтація на великий бізнес та висока вартість впровадження роблять його непридатним для більшості організацій.

Seek AI є сучасним стартапом, що спеціалізується виключно на Text-to-SQL з використанням GPT-4 та демонструє високу точність генерації SQL через API-first підхід, проте відсутність автоматичної візуалізації та молодість продукту є його слабкими сторонами.

ChatGPT Code Interpreter надає можливості інтелектуального аналізу та створення гнучких візуалізацій через Python, але не підключається до production баз даних, має обмеження на розмір

файлів та не підтримує real-time аналіз.

Порівняльний аналіз показує, що жодна з існуючих систем не поєднує одночасно можливості Text-to-SQL, автоматичної візуалізації, підключення до real-time баз даних та доступності за ціною. Tableau та ThoughtSpot є надто дорогими, Metabase має обмежений інтелект вибору візуалізацій, Seek AI не візуалізує дані автоматично, а ChatGPT не працює з реальними базами даних. Запропонована система буде заповнювати цю нішу, пропонуючи повний цикл аналізу даних при мінімальних витратах, обмежених лише викликами LLM API.

Для реалізації такого AI-асистента буде використовуватись технологічний стек, що складається з безкоштовних рішень з відкритим вихідним кодом. Архітектура включає фронтенд на React для створення інтерактивного інтерфейсу, бекенд на Node.js для обробки запитів та виконання SQL-запитів до бази даних. Інтелектуальне ядро системи буде покладатися на локально розгорнуті великі мовні моделі, спеціалізовані для генерації SQL. Такий підхід дозволяє уникнути залежності від комерційних API та пов'язаних з ними витрат, забезпечуючи повний контроль над даними та інфраструктурою. Для рендерингу інтерактивних графіків на стороні клієнта будуть використовуватись бібліотеки, наприклад, Chart.js або ECharts, які також є вільним програмним забезпеченням [5].

Висновки. Проведений аналіз показав, що існуючі рішення для аналізу даних не пропонують комплексного підходу, який би поєднував гнучкість запитів природною мовою, автоматичний вибір доречної візуалізації та доступність для широкого кола користувачів. Запропоновано розроблення на базі на відкритих технологіях AI-асистента, який буде автоматизовувати повний цикл роботи з даними. Ключовою перевагою AI-асистента є не лише перетворення тексту в SQL-запит, але й подальший інтелектуальний аналіз результатів для автоматичного вибору оптимального типу візуалізації. Це істотно буде спрощувати роботу нетехнічних користувачів, а також робити аналітику даних більш доступною та дозволяти компаніям приймати обґрунтовані рішення без значних витрат на спеціалізоване програмне забезпечення чи навчання персоналу.

Список використаної літератури

[1] E. Kalliamvakou, "Research: quantifying GitHub Copilot's impact on developer productivity and happiness," GitHub Blog, Sep. 7, 2022 (Updated May 21, 2024). [Online]. Available: https://github.blog/news-insights/research/research-quantifying-github-copilots-impact-on-developer-productivity-and-happiness/ [Accessed: Oct. 19, 2025].

[2] T. Yu et al., "Spider: A Large-Scale Human-Labeled Dataset for Complex and Cross-Domain Semantic Parsing and Text-to-SQL Task," in Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Brussels, Belgium, 2018, pp. 3911–3921. doi: 10.18653/v1/D18-1425.

[3] "Ask Data User Guide," Tableau Software. [Online]. Available: https://help.tableau.com/current/pro/desktop/en-us/ask_data.htm [Accessed: Oct. 19, 2025]

[4] "Metabase Documentation: Asking questions," Metabase. [Online]. Available: https://www.metabase.com/docs/latest/questions/start.html [Accessed: Oct. 19, 2025]

[5] "How to Architect LLM-Powered Web Apps," Medium. [Online]. Available: https://medium.com/@tommywilczek/how-to-architect-llm-powered-web-apps-99e02fa643e9 [Accessed: Oct. 19, 2025].

УДК 004.891:378.147

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ АКАДЕМІЧНОЇ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО ВІДВІДУВАНІСТЬ ТА ОЦІНКИ

Волощук М. А., Богатєнкова О. Є. (maksimvolosuk22@gmail.com, oleksandra.bohatienkova@mnau.edu.ua)

Миколаївський національний аграрний університет (Україна)

Проведено порівняльний аналіз двох алгоритмів ансамблевого машинного навчання для задачі прогнозування академічної успішності студентів: Random Forest та Gradient Boosting. Нами згенеровано штучний датасет з 1000 записів, що включає ознаки відвідуваність занять (0-100%),

оцінки за проміжні тести (0-100%) та домашні завдання (0-100%), а також бінарну цільову змінну – успішність (проходження/невдача). Розглянуто принципи функціонування обох алгоритмів та їх застосування до обробки згенерованих даних. Показано, що Random Forest забезпечує точність 84,50%, F1-score 67.37% та AUC 92,21%, а Gradient Boosting демонструє вищу точність 85,50%, F1-score 70,71% та AUC 92,58%. Обґрунтовано доцільність вибору Gradient Boosting для освітніх систем з обмеженими даними та запропоновано гібридні підходи для підвищення ефективності.

Прогнозування академічної успішності студентів є ключовим завданням у сфері нових інформаційних технологій в освіті, оскільки дозволяє автоматизувати процеси раннього виявлення ризиків відставання, оптимізації навчальних планів та персоналізованих рекомендацій у системах дистанційного навчання. Застосування методів машинного навчання у сфері освіти сьогодні активно розвивається не лише в академічних дослідженнях, а й у практичних рішеннях – від систем раннього попередження про ризик академічної неуспішності до адаптивних освітніх платформ. Подібні моделі дозволяють адміністраціям закладів освіти оперативно виявляти здобувачів вищої освіти, яким потрібна додаткова підтримка, а також оптимізувати розподіл навчального навантаження. Важливо, що ефективність таких систем безпосередньо залежить від правильного вибору алгоритму машинного навчання, який повинен не лише точно прогнозувати, але й добре узагальнювати дані за умов обмеженої вибірки, типової для освітніх середовищ.

Із розвитком машинного навчання з'явилися нові методи на основі ансамблевих алгоритмів, які значно підвищили точність прогнозів. Однак існує проблема вибору оптимального алгоритму залежно від характеристик даних (відвідуваність та оцінки) та специфіки застосування. Два домінуючі підходи – Random Forest та Gradient Boosting – базуються на різних принципах і мають відмінні переваги та обмеження, що потребує їх детального порівняльного аналізу.

Метою роботи є порівняльний аналіз алгоритмів Random Forest та Gradient Boosting для задачі прогнозування академічної успішності студентів на основі згенерованого датасету та визначення найбільш оптимального підходу. Для досягнення мети вирішувалися наступні завдання: 1) згенерувати штучний датасет, що відображає реальні освітні дані; 2) дослідити принципи функціонування Random Forest та їх застосування до обробки даних про студентів; 3) проаналізувати можливості Gradient Boosting у моделюванні залежностей між відвідуваністю, оцінками та успішністю; 4) порівняти ефективність обох алгоритмів; 5) обґрунтувати доцільність гібридних підходів.

Random Forest є ансамблевим методом, що базується на побудові множини дерев рішень, де кожне дерево навчається на випадковій підмножині даних та ознак. Це дозволяє зменшити перенавчання та підвищити стійкість моделі до шуму в даних. Завдяки випадковому вибору підмножин ознак кожне дерево у лісі формує унікальну структуру рішень, що дозволяє системі враховувати широкий спектр варіацій у навчальних даних. У результаті, навіть якщо окремі дерева помиляються, загальна ансамблева модель демонструє стабільні показники якості. Такий підхід добре підходить для задач з невеликим обсягом даних, де спостерігається нерівномірний розподіл оцінок або відвідуваності між студентами.

У контексті прогнозування академічної успішності алгоритм ефективно обробляє дані про відвідуваність, оцінки за проміжні тести та домашні завдання, виділяючи ключові патерни, такі як кореляція між відвідуваністю понад 80% та успішністю. Завдяки паралельній обробці дерев, Random Forest демонструє високу швидкість і масштабованість.

Gradient Boosting є послідовним ансамблевим методом, де кожне наступне дерево рішень корегує помилки попереднього, мінімізуючи функцію втрат за допомогою градієнтного спуску. Це дозволяє моделі фокусуватися на складних прикладах, таких як студенти з нестабільною відвідуваністю або коливаннями в оцінках. На відміну від Random Forest, який створює незалежні дерева, Gradient Boosting вибудовує послідовну структуру, де кожне наступне дерево «вчиться» на залишкових помилках попередніх. Це робить алгоритм особливо чутливим до складних закономірностей і слабких сигналів у даних, наприклад, коли незначні зміни у відвідуваності поєднуються з падінням результатів тестів. Завдяки цьому Gradient Boosting часто виявляє приховані взаємозв'язки між навчальними показниками, що недоступні для простіших моделей. У задачах прогнозування успішності Gradient Boosting ефективно враховує нелінійні залежності, досягаючи високої точності в задачах з обмеженими даними.

ами згенеровано штучний датасет з 1000 записів про студентів, що включає три основні ознаки:

- відвідуваність (0-100% – відсоток присутності на заняттях);
- оцінки за проміжні тести (0-100 балів);
- оцінки за домашні завдання (0-100 балів);
- цільова змінна – успішність (1 – проходження курсу, 0 – невдача).

Датасет створено з використанням логістичної функції для моделювання ймовірності успішності з додаванням випадкового шуму для реалістичності. Дані розділено на тренувальну (80%) та тестову (20%) вибірки. Моделі Random Forest та Gradient Boosting навчено з використанням бібліотеки scikit-learn у Python (n_estimators=100 для обох).

Отримані результати базуються на синтетично згенерованому датасеті, який відтворює статистичні властивості реальних освітніх даних, але не містить персональної інформації студентів.

Таблиця 1. Порівняння метрик моделей

Метрика	Random Forest	Gradient Boosting
Accuracy	0,8450	0,8550
F1-Score	0,6737	0,7071
AUC	0,9221	0,9258

Дослідження показало, що Gradient Boosting перевершує Random Forest за всіма метриками: точність на 1%, F1-score на 3,4%, AUC на 0,4%. Це свідчить про перевагу послідовного навчання у моделюванні складних нелінійних залежностей в освітніх даних. Хоча різниця у точності між моделями здається незначною (приблизно 1%), навіть така різниця може мати практичне значення при великій кількості студентів або у випадках, коли необхідно мінімізувати кількість помилкових прогнозів щодо неуспішності. Крім того, вищий показник F1-score у Gradient Boosting свідчить про краще співвідношення між виявленням успішних студентів і правильним визначенням тих, хто потребує підтримки. Це означає, що модель не лише точніше класифікує, але й робить це більш збалансовано, зменшуючи ризик «помилкових тривог». Високе значення AUC (>0.92) демонструє, що обидві моделі ефективно розділяють класи, проте Gradient Boosting краще справляється з випадками, де кореляція між ознаками складніша.

Найбільш ефективним підходом є комбінування алгоритмів: Random Forest для швидкої початкової класифікації та Gradient Boosting для уточнення прогнозів складних випадків.

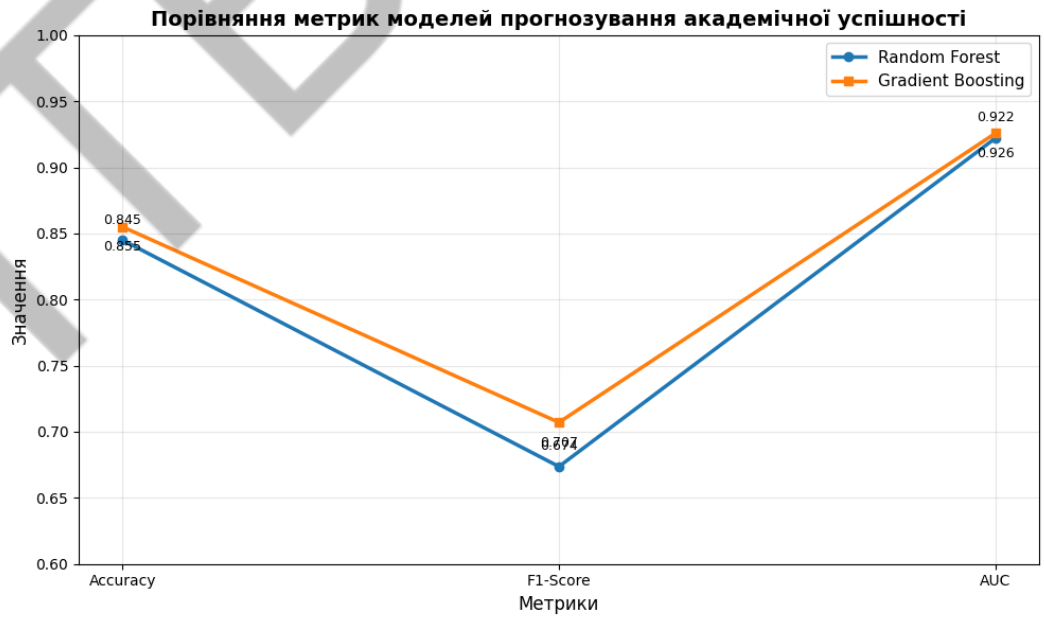


Рис. 1 - Порівняння точності моделей прогнозування академічної успішності

У результаті проведеного дослідження вирішено поставлені завдання та отримано наступні результати:

- згенеровано реалістичний датасет з 1000 записів, що відображає залежності між відвідуваністю, оцінками та успішністю студентів;
- встановлено, що Random Forest забезпечує точність 84,50%, F1-score 67,37% та AUC 92,21% завдяки стійкості до шуму та паралельній обробці;
- доведено, що Gradient Boosting демонструє вищу ефективність (85,50%, 70,71%, 92,58%) у моделюванні нелінійних залежностей освітніх даних;
- обґрунтовано, що оптимальний результат досягається за рахунок гібридного підходу, який поєднує швидкість Random Forest та точність Gradient Boosting.

Важливо зазначити, що всі результати отримані на синтетично згенерованому наборі даних, який моделює типові закономірності у навчальній діяльності студентів. Це дозволило безпечно дослідити властивості алгоритмів без залучення персональної інформації.

У подальших дослідженнях доцільно перевірити узагальнюваність цих висновків на реальних освітніх вибірках, а також оцінити вплив додаткових факторів, таких як тип навчальної дисципліни, формат занять або психологічні аспекти мотивації здобувачів освіти.

Список використаної літератури

[1] Performance Comparison of Xgboost and Random Forest for The Prediction of Student Academic Performance, European Journal of Computer Science and Information Technology, 2025. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://eajournals.org/ejcsit/wp-content/uploads/sites/21/2025/02/Performance-Comparison.pdf

[2] A Comparative Analysis of Machine Learning Models for Predicting Student Performance, Review of Contemporary Philosophy, 2024. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://reviewofconphil.com/index.php/journal/article/download/35/17/65

[3] XGBoost To Enhance Learner Performance Prediction, Procedia Computer Science, vol. 240, pp. 123-130, 2024. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X24000572

УДК 004.42

ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТІВ ТА ДОКУМЕНТАЦІЇ У ВЕБІНТЕГРОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ РОЗРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ OPENAI API

Ганжа А.С. Антоненко С.В. (hanzha_as@outlook.com)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

В тезах розглядається застосування великих мовних моделей (LLM), зокрема OpenAI GPT, для автоматизованої генерації юніт-тестів і документації в контексті веб-IDE, реалізованої засобами Flask. Описано архітектуру системи, що забезпечує створення й редагування проєктів, інтеграцію з API мовної моделі, обробку текстових промптів та збереження згенерованих артефактів у структурі файлів. Особливу увагу приділено побудові промптів як ключовому чиннику, що визначає якість результатів генерації. Подано приклади реалізації, а також аналіз переваг і обмежень використання LLM у програмній інженерії. Робота орієнтована на дослідників і розробників, зацікавлених у впровадженні штучного інтелекту в сучасні інструменти розробки ПЗ.

У сучасній практиці розробки програмного забезпечення якість і супровідність коду значною мірою залежать від наявності модульних тестів та зрозумілої документації. Незважаючи на визнану важливість цих складових, їх написання залишається рутинним і часозатратним процесом, який розробники часто відкладають або виконують формально.

З огляду на швидкий розвиток великих мовних моделей (LLM), зокрема GPT-архітектури, з’явилася можливість частково автоматизувати створення тестів та документації до програмного коду. Проте інтеграція таких моделей у повноцінне середовище розробки вимагає вирішення

низки інженерних і концептуальних завдань, зокрема побудови ефективних промптів, забезпечення взаємодії з API, інтерфейсу користувача та збереження результатів у проєктній структурі.

У межах дослідження були поставлені вказані нижче цілі:

1. Розробити веборієнтовану IDE на Flask для роботи з проєктами у вигляді файлової структури.
2. Реалізувати інтеграцію з OpenAI API для генерації юніт-тестів та документації до окремих файлів.
3. Забезпечити збереження згенерованих артефактів (тестів, .md-файлів документації) у відповідних директоріях проєкту.
4. Дослідити вплив побудови промптів на якість відповіді мовної моделі.
5. Проаналізувати переваги й обмеження використання LLM у процесі програмної розробки.

В рамках дослідження розробляється веб-IDE, що дозволяє користувачеві створювати нові програмні проєкти, додавати файли, редагувати код і за допомогою інтегрованих кнопок надсилати запит до OpenAI API для генерації тестів або документації [1].

Мовна модель отримує повний вміст вибраного файлу у вигляді текстового запиту з інструкцією. Наприклад, типовий промпт для тестів включає опис задачі, правила форматування, перелік бажаних функцій, приклади вводу-виводу. У відповіді модель повертає текст, який зберігається у файл tests/test_<ім’я>.py або docs/<ім’я>.md.

Особливу увагу приділено побудові промптів — встановлено, що чітке структурування, надання прикладів, інструкцій щодо форматування значно підвищує якість згенерованих результатів. Водночас, модель іноді допускає похибки в логіці або синтаксисі, тому результати потребують перевірки [2].

До переваг підходу з використанням LLM можна віднести [3]:

– прискорення розробки, оскільки модель здатна швидко генерувати тести та пояснення (документацію);

– покращення якості покриття тестів, оскільки автоматично створені за допомогою LLM тести, здатні охопити більше можливих тестових випадків, ніж розробник або тестувальник;

– допомагає початківцям, оскільки може запропоновувати «кращі практики» в документації або при створенні тестів;

– зменшення рутини і людських помилок, оскільки розробники матимуть більше часу займатися функціональними завданнями, залишивши рутину на ШІ-модель;

– покращена взаємодія в команді і з користувачами, оскільки підготовлена документація до коду дозволяє швидше зрозуміти написаний іншим розробником код, а також здатна забезпечити мінімально необхідних рівень інструкцій для користувачів розроблюваного програмного забезпечення

Однак, попри значні переваги, автоматизація за допомогою LLM не позбавлена і недоліків [2]:

– необхідність перевірки і допрацювання результатів вказує на те, що у жодному разі не можна сліпо довіряти згенерованим тестам і документації без її перевірки з боку відповідального за них розробника;

– LLM схильні до помилок і «галюцинацій», вони можуть цілком упевненим тоном генерувати хибні або нерелевантні твердження;

– ШІ моделі можуть не зрозуміти контекст і складність великих проєктів, оскільки обсяг вхідних даних (контекстне вікно) дуже обмежений;

– питання безпеки і конфіденційність, оскільки використання API передбачає відправлення фрагментів розроблюваного коду на сторонній сервіс, що може бути заборонено в рамках певних проєктів;

– вартість і продуктивність, оскільки виклики до API вимагають фінансових витрат, а час відповіді може тривати деякий час для більш просунутих моделей (наприклад, GPT-5).

У роботі реалізовано веб-IDE, що дозволяє інтегрувати великі мовні моделі у процес програмної розробки для автоматизації створення юніт-тестів і документації [1, 2, 3, 4]. Система дозволяє зменшити навантаження на розробника, пришвидшити покриття коду тестами та сприяє кращому документуванню.

НТБОНТУ

Встановлено, що якість результатів істотно залежить від промптів, отже, розробка методик побудови промптів є ключовим елементом ефективного використання LLM. Попри наявні обмеження — контекстні ліміти, потреба у рецензуванні, можливі генеративні помилки — підхід демонструє практичну доцільність і перспективність у сфері програмної інженерії.

Список використаної літератури

[1] “Best practices for prompt engineering with the OpenAI API,” *OpenAI Help Center*, [Online]. Available: https://help.openai.com/en/articles/6654000-best-practices-for-prompt-engineering-with-the-openai-api [Accessed: October 10, 2025].

[2] L. Pozo Ramos, “Write Unit Tests for Your Python Code With ChatGPT,” *Real Python*, [Online]. Available: https://realpython.com/chatgpt-unit-tests-python/ [Accessed: October 10, 2025].

[3] “Assessing ChatGPT & LLMs for Software Testing,” *Xray Blog (GetXray)*, [Online]. Available: https://www.getxray.app/blog/chatgpt-llms-software-testing/ [Accessed: October 10, 2025].

[4] “Prompt Engineering for Code Generation,” *Leanware Insights*, [Online]. Available: https://www.leanware.co/insights/prompt-engineering-for-code-generation/ [Accessed: October 10, 2025].

УДК 004.8:621.865

РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Гладій А.Л. (gladijana3110@gmail.com)
ВСП «Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету» (Україна)

У тезах розглядається поняття штучного інтелекту, його роль у розвитку сучасної робототехніки, основні напрями застосування та перспективи використання в Україні. Визначено взаємозв’язок між технологіями машинного навчання та створенням інтелектуальних роботів. Наведено приклади практичного впровадження ШІ у різні сфери діяльності. У висновках підкреслено значення штучного інтелекту для подальшої автоматизації та інноваційного розвитку суспільства.

Сучасний світ переживає чергову технологічну революцію, що визначається швидким розвитком штучного інтелекту (ШІ) та робототехніки. Ці дві галузі наукового знання тісно взаємопов’язані й формують основу нового етапу науково-технічного прогресу. Штучний інтелект, який передбачає створення систем, здатних виконувати завдання, що потребують людського мислення, дедалі частіше використовується у проєктуванні роботів, які не просто механічно виконують команди, а можуть навчатися, аналізувати середовище, ухвалювати рішення і взаємодіяти з людиною.

Робототехніка сьогодні перестала бути лише галуззю промислового виробництва. Вона охоплює медицину, освіту, транспорт, оборону, побут і навіть мистецтво. Завдяки інтеграції з системами штучного інтелекту відбувається перехід від традиційних, програмно-керованих машин до «розумних» роботів, які діють автономно і здатні самостійно приймати рішення. Саме тому вивчення ролі ШІ у розвитку сучасної робототехніки є надзвичайно актуальним і перспективним напрямом наукових досліджень.

Попри активне впровадження штучного інтелекту у виробничі та наукові процеси, рівень його інтеграції у робототехніку ще не досяг максимального потенціалу. Багато систем залишаються обмеженими у своїх можливостях через складність алгоритмів навчання, нестачу обчислювальних ресурсів або відсутність належних етичних та правових стандартів. Проблема полягає в тому, як забезпечити ефективну взаємодію між інтелектуальними програмами та механічними системами, щоб створювати роботів нового покоління – автономних, надійних і безпечних для людини.

Ідея створення інтелектуальної машини виникла ще задовго до появи комп’ютерів. Ще в середньовіччі філософ і мислитель Рамон Луллій запропонував механічний пристрій, який мав допомагати у логічних розрахунках і доведенні істини. Проте реальні передумови для розвитку

штучного інтелекту з'явилися лише у XX столітті, коли людство почало активно вивчати процеси мислення і намагатися змоделювати їх технічними засобами [1, 3].

Перші серйозні спроби створення машин, що імітують інтелектуальні процеси, належать до 1940-х років. Саме тоді англійський математик Алан Тюрінг запропонував концепцію «машини Тюрінга» – універсального обчислювального пристрою, здатного вирішувати будь-яку задачу, яку можна формалізувати. У 1950 році він поставив знамените питання «Чи може машина мислити?» і розробив так званий «тест Тюрінга», який досі використовується для оцінки рівня інтелекту систем.

Офіційно термін «штучний інтелект» було введено в 1956 році на конференції в Дартмуті (США), що вважається моментом народження цієї наукової галузі. З того часу розвиток ШІ відбувався хвилеподібно: періоди швидких відкриттів змінювалися періодами застою, так званими «зимами штучного інтелекту». Однак із появою потужних комп'ютерів, великих обсягів даних (Big Data) та нових алгоритмів машинного навчання у XXI столітті дослідження отримали новий імпульс [3].

Паралельно розвивалася і робототехніка. Спершу вона мала суто інженерний характер і зводилася до створення механічних маніпуляторів для промисловості. Проте з часом, завдяки впровадженню інтелектуальних алгоритмів, роботи почали набувати здатності до самонавчання, навігації, комунікації та адаптації.

Штучний інтелект можна визначити як галузь науки і технології, що займається створенням систем, здатних сприймати інформацію, аналізувати її, робити висновки та приймати рішення на основі логіки, досвіду або навчання. Основними напрямами розвитку ШІ є машинне навчання, глибинне навчання, нейронні мережі, обробка природної мови, розпізнавання зображень і робототехнічні системи.

Вчені розрізняють сильний та слабкий штучний інтелект. Сильний ШІ – це гіпотетичний рівень розвитку, коли машина здатна повністю імітувати людську свідомість, мислення та емоції. Натомість слабкий ШІ уже існує в реальності – це системи, що можуть виконувати конкретні інтелектуальні завдання, як-от розпізнавання голосу, переклад текстів або управління роботами [3].

Сучасні системи ШІ мають кілька визначальних властивостей: вони здатні навчатися на основі досвіду, прогнозувати результати своїх дій, працювати з великими обсягами даних та виявляти закономірності, які людина може не помітити. Саме ці характеристики зробили ШІ основою розвитку новітньої робототехніки.

Інтеграція ШІ у робототехніку докорінно змінила підхід до створення машин. Якщо раніше робот міг лише виконувати наперед визначену програму дій, то сьогодні інтелектуальні роботи мають здатність навчатися, аналізувати обстановку і приймати рішення залежно від ситуації. Це дозволяє їм діяти автономно, без постійного втручання людини.

Наприклад, промислові роботи нового покоління можуть самостійно оптимізувати власні дії, уникати помилок і адаптуватися до змін умов виробництва. У транспортній сфері технології штучного інтелекту лежать в основі безпілотних автомобілів, які розпізнають дорожні знаки, пішоходів і прогнозують поведінку інших учасників руху. У медицині роботи з елементами ШІ допомагають лікарям проводити складні хірургічні операції з мінімальним ризиком для пацієнта.

ШІ також відіграє важливу роль у створенні роботів-сервісників, які взаємодіють з людьми – це помічники, консультанти, доглядальники чи освітні асистенти. Вони здатні розуміти мову, реагувати на емоції, підтримувати розмову та навіть навчати дітей. Таким чином, поєднання штучного інтелекту і робототехніки формує основу для створення машин, які не лише виконують дії, а й «мислять» у заданих межах.

Серед головних тенденцій розвитку сучасної робототехніки можна виділити кілька ключових напрямів. Перший – це створення автономних роботів, які здатні самостійно діяти в реальному середовищі без безпосереднього контролю оператора. Сюди належать безпілотні транспортні засоби, дрони, підводні апарати та логістичні системи.

Другий напрям – розвиток колаборативних роботів (cobots), які працюють пліч-о-пліч із людиною, допомагаючи у виробництві, медицині чи побуті. Такі системи враховують поведінку людини, уникають небезпечних зіткнень і адаптують свої дії відповідно до контексту.

Третій напрям – біоінспірована робототехніка, що наслідує принципи побудови живих організмів. Завдяки штучному інтелекту створюються «м'які роботи», які можуть змінювати форму, відчувати навколишнє середовище і пристосовуватись до нього [2].

Крім того, набуває поширення соціальна робототехніка, спрямована на створення машин, які здатні до емоційної взаємодії. Такі роботи можуть бути використані у сфері освіти, психологічної допомоги та догляду за літніми людьми.

В Україні також спостерігається активний розвиток технологій штучного інтелекту і робототехніки. Вітчизняні науковці – М. Бондаренко, Т. Бровченко, Т. Вінцюк, М. Деркач, О. Карпов та інші – зробили значний внесок у розробку теоретичних основ ШІ. На базі українських університетів і технопарків створюються стартапи, що впроваджують інтелектуальні системи у промисловість, освіту, аграрний сектор і медицину [3].

Вітчизняна робототехніка розвивається у кількох напрямках: промислові роботи, військові безпілотні системи, медичні асистенти, а також навчальні платформи для школярів і студентів. Українські інженери створюють роботів-розвідників, системи відеоспостереження на основі нейронних мереж та автоматизовані виробничі комплекси, що використовують алгоритми машинного навчання.

Поряд із технологічними перевагами, поширення штучного інтелекту викликає низку етичних та соціальних проблем. Основними з них є питання безпеки, конфіденційності, відповідальності за рішення, прийняті машинами, та можливе витіснення людини з робочих місць.

Сучасні дослідники наголошують, що розвиток ШІ має супроводжуватися створенням етичних норм, які визначатимуть межі його використання. Необхідно забезпечити, щоб інтелектуальні системи діяли в інтересах людини, а не всупереч їй. Особливо це стосується роботів військового та медичного призначення, де від рішень машини може залежати життя людей.

Таким чином, штучний інтелект є рушійною силою розвитку сучасної робототехніки. Саме завдяки інтеграції інтелектуальних технологій роботи перетворилися з механічних машин на системи, здатні мислити, навчатися і взаємодіяти з людиною. Сучасна робототехніка дедалі більше наближається до створення автономних і соціально орієнтованих роботів, які можуть не лише виконувати технічні функції, а й допомагати людині в повсякденному житті. Подальший розвиток цієї галузі залежить від балансу між технічним прогресом і моральною відповідальністю. Штучний інтелект не повинен замінювати людину, а має стати її партнером і помічником у побудові безпечного, ефективного та гуманного майбутнього.

Список використаних джерел:

[1] Незвичайні факти про робототехніку та штучний інтелект – цікаві відкриття та досягнення. URL: https://fact-news.com.ua/nezvichajni-fakti-pro-robototexniku-ta-shtuchnij-intelekt-tsikavi-vidkrittya-ta-dosyagnennya/

[2] Штучний інтелект та робототехніка: сучасні тенденції та перспективи. URL: https://suri.com.ua/shtuchnyi-intelekt-ta-robototekhnika-suchasni-tendentsii-ta-perspektyvy/?srsltid=AfmBOoop_6UEQYwv2Vm6e3mpC7sMHHMaUqL_bV80jC9U6jRdg7WpzGRV

[3] Штучний інтелект як наука та технологія створення інтелектуальних роботів. URL: https://naub.oa.edu.ua/shtuchnyj-intelekt-yak-nauka-ta-tehnolohiya-stvorennya-intelektualnyh-robotiv/

УДК 336.2

РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Глухонець Адріана, Нестерук Галина
(adrianagluhonec@gmail.com)
ВСП «Хмельницький торговельно – економічний фаховий коледж ДТЕУ»

В тезах розглядається про сучасні умови цифровізації й глобальної фінансової інтеграції забезпечення фінансової безпеки держави стає однією з ключових задач державного управління.

Поява нових технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), відкриває нові можливості для аналізу, контролю і протидії фінансовим ризикам.

У сучасних умовах цифровізації й глобальної фінансової інтеграції забезпечення фінансової безпеки держави стає однією з ключових задач державного управління. Поява нових технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), відкриває кардинально нові можливості для аналізу, контролю і протидії фінансовим ризикам. Завдяки здатності обробляти величезні масиви даних, виявляти закономірності та прогнозувати потенційні загрози, ШІ стає інструментом, що може суттєво посилити фінансову стійкість держави [1]. Проте також існують серйозні виклики — від кіберзагроз до проблем правового регулювання, які потребують системного підходу [2]. У цій роботі розглянемо роль ШІ у гарантуванні фінансової безпеки держави: його функції, переваги, ризики та практичні аспекти впровадження.

Фінансова безпека держави охоплює сукупність заходів, спрямованих на забезпечення стабільності бюджетно-фінансової системи, захист від шахрайства, нецільового використання коштів, легалізації доходів, отриманих злочинним шляхом, а також захист державної фінансової суверенності. У сучасному світі ці завдання ускладнені: зростає обсяг цифрових операцій, фінансові потоки перебувають під впливом глобальних ризиків, з'являються нові складні схеми шахрайства. Саме тому все більш актуальним є впровадження ШІ-технологій у сферу державних фінансів [3].

Функції ШІ в контексті фінансової безпеки

1. Виявлення шахрайства та аномалій

ШІ-алгоритми аналізують транзакції, поведінку клієнтів і дані про фінансово-економічні події, оперативно виявляючи підозрілі операції. Наприклад, моделі машинного навчання дозволяють помічати нетипові патерни переказів або виявляти схеми, пов'язані з ухиленням від оподаткування [2]. Це значно підвищує рівень контролю за державними платежами й зменшує ризик нецільового використання бюджетних коштів [1].

2. Прогнозування фінансових ризиків

Завдяки аналізу історичних даних і моделюванню сценаріїв, ШІ може оцінювати можливість виникнення ризиків — від дефіциту бюджету до нестабільності фінансового ринку [4]. Це дозволяє державним органам діяти превентивно, своєчасно реагуючи на загрози.

3. Забезпечення кібербезпеки та захисту даних

Фінансова система держави є об'єктом численних кіберзагроз. Системи ШІ можуть моніторити мережі, виявляти аномалії та навіть автоматично реагувати на кібератаки. У дослідженні S. Mishra зазначається, що використання ШІ-моделей підвищує стійкість фінансової інфраструктури завдяки здатності швидко виявляти шкідливу активність [3].

4. Покращення регуляторного контролю

ШІ може бути застосований у податкових, казначейських та антикорупційних органах для автоматичного аналізу звітності, порівняння поданих даних із фактичними показниками та виявлення порушень [5]. Це сприяє прозорості бюджетного процесу й зниженню корупційних ризиків.

Переваги впровадження

- Підвищення швидкості прийняття рішень та реагування на ризики;
- Зменшення впливу людського фактору й імовірності помилок;
- Зростання прозорості фінансових операцій;
- Можливість оперативного формування звітності й аналітики;
- Посилення кіберзахисту на державному рівні [3].

Попри значні переваги, існують певні проблеми та ризики, які можуть вплинути на ефективність використання ШІ:

- Непрозорість моделей ШІ. Алгоритми часто функціонують як «чорні скриньки», що ускладнює контроль їхніх рішень [4].
- Залежність від даних. Неповні або упереджені дані можуть призвести до помилкових висновків.
- Кіберзагрози. Системи ШІ самі можуть стати мішенню для атак, особливо у сфері державних фінансів [3].

• Недосконаліть нормативно-правової бази. На відміну від США чи ЄС, в Україні правове поле ШІ лише формується [5].

• Ризик надмірної автоматизації. Залежність від технологій може підвищити вразливість державних систем у разі технічних збоїв.

Практичні аспекти застосування

У багатьох країнах ЄС ШІ активно впроваджується у сферу фінансової безпеки.

Польща, наприклад, використовує алгоритми для моніторингу бюджетних операцій і виявлення податкових зловживань [1].

У США Міністерство фінансів застосовує ШІ-рішення для запобігання відмиванню коштів і моніторингу ринкових ризиків [2].

Такі практики демонструють, що поєднання технологій штучного інтелекту з державним фінансовим управлінням підвищує стійкість системи, дозволяючи оперативно виявляти загрози і зменшувати збитки від фінансових криз.

Штучний інтелект сьогодні є невід'ємним елементом системи забезпечення фінансової безпеки держави. Його впровадження сприяє підвищенню ефективності контролю, протидії шахрайству, кіберзагрозам та зловживанням, а також покращує аналітичні можливості фінансових органів [3], [4].

Разом із тим, важливо створити надійну правову базу, систему етичного контролю та забезпечити кваліфіковані кадри, здатні працювати з такими технологіями. Лише за умов збалансованого поєднання інновацій, безпеки та регулювання ШІ стане надійною опорою фінансової стабільності держави [5].

Список використаної літератури

1. Feret E. Artificial Intelligence and the Financial Security of the State on the Example of Poland. Financial Law Review, 2024, Vol 35 (3), pp. 43-56.
https://ejournals.eu/en/journal/financial-law-review/article/artificial-intelligence-and-the-financial-security-of-the-state-on-the-example-of-poland

2. U.S. Department of the Treasury. Artificial Intelligence in Financial Services: Uses, Opportunities, and Risks of AI in the Financial Services Sector. December 2024. https://home.treasury.gov/system/files/216/Artificial-Intelligence-in-Financial-Services.pdf

3. Mishra S. Exploring the Impact of AI-Based Cyber Security Financial Sector Management. Applied Sciences, 2023, 13(10), 5875. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/5875

4. NAAIA. AI and Finance: Risks and Regulation impact. https://naaia.ai/ai-finance-risks-regulation/

5. A&O Shearman. Zooming in on AI – #5: AI under financial regulations in the U.S., EU and U.K. – a comparative assessment of the current state of play. Sep 23 2024. https://www.aoshearman.com/en/insights/ao-shearman-on-tech/zooming-in-5-ai-under-financial-regulations-in-the-us-eu-and-uk-a-comparative-assessment-part-1

УДК 004.89

КОНЦЕПЦІЯ АДАПТИВНОГО НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА З ПІДТРИМКОЮ ФЕДЕРАТИВНОГО НАВЧАННЯ У ВІРТУАЛЬНІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ

Горіченко Ю. Є., Пархоменко А. В.
(gorichenko@zp.edu.ua, parhom@zntu.edu.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі розглянуто концепцію адаптивного нечіткого логічного контролера в архітектурі віртуальної інтелектуальної енергосистеми. Метою є обґрунтування підходу до децентралізованого та самонавчального керування розподіленими енергомережами. Методи ґрунтуються на поєднанні нечіткої логіки з федеративним навчанням для колективного оновлення моделей без передачі сирих даних. Очікується підвищення гнучкості, стійкості та автономності

енергосистем. Наукова новизна полягає у поєднанні нечіткого керування та федеративного навчання для створення інтелектуальної децентралізованої системи енергоменеджменту.

Вступ. В умовах воєнного стану енергетична система України зазнала масштабних руйнувань, що спричинило збої в роботі транспорту, медицини, зв'язку та інших критичних сфер. Централізована модель енергопостачання виявилася вразливою, оскільки не забезпечує гнучкості та автономності в кризових умовах. За даними [1], пошкоджено або зруйновано понад 50% енергетичної інфраструктури, включно із Запорізькою АЕС (6000 МВт) та Каховською ГЕС (334,8 МВт), а втрати серед відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) перевищують 60%. Як зазначають автори [2], саме енергетика має стати основою післявоєнного відновлення України. Обидві роботи [1, 2] підкреслюють необхідність переходу до розумних, децентралізованих та стійких енергосистем, здатних забезпечувати безперервне енергопостачання навіть у надзвичайних умовах. У цьому дослідженні розглянуто застосування інтелектуальних технологій керування, а саме прогнозування, нечіткої логіки та федеративного навчання як напрямів підвищення гнучкості, надійності й адаптивності енергомереж. Тому тема роботи є актуальною в контексті відновлення та підвищення стійкості енергетичної інфраструктури України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередній роботі [3] було запропоновано архітектуру віртуальної інтелектуальної енергосистеми (VIES), розроблену спочатку для тягових електромереж, однак її принципи можуть бути адаптовані до будь-яких енергетичних об'єктів та інфраструктурних систем України, що потребують підвищеної автономності, гнучкості й стійкості. Архітектура VIES об'єднує прогнозування з використанням нейронних мереж, федеративне навчання та нечітке керування в єдиній трирівневій структурі, забезпечуючи узгоджене прийняття рішень на локальному, регіональному та центральному рівнях. Подальший розвиток цієї архітектури потребує поглибленого дослідження модуля нечіткої логіки як основного елементу адаптивного управління в умовах невизначеності.

Аналіз наукових джерел показав, що сучасні системи керування на основі нечіткої логіки ефективно працюють на локальному рівні, однак не забезпечують узгоджену взаємодію між вузлами в масштабі розподіленої енергомережі. Це знижує їхню адаптивність і стійкість у динамічних або критичних режимах роботи. Так, у роботі [4]**Ошибка! Источник ссылки не найден.** запропоновано самоналаштовуваний нечіткий регулятор дробового порядку для стабілізації частоти в автономній мікромережі з сонячними, вітровими, паливно-елементними та накопичувальними установками. Контролер поєднує нечітку логіку Мамдані (Mamdani Fuzzy Logic) з алгоритмом оптимізації китів, який автоматично підбирає параметри регулятора. Такий підхід дозволив зменшити відхилення частоти на 40% порівняно з класичним пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором, а також забезпечити стійкість системи при зміні її параметрів. Однак керування реалізовано локально, без механізмів обміну або колективного оновлення параметрів між вузлами.

У статті [5] реалізовано гібридну нейро-нечітку систему, оптимізовану алгоритмом пошуку ворон, для керування гібридною мікромережею, що поєднує сонячну, вітрову та акумуляторну енергію. Такий підхід забезпечив високий ККД (≈ 97%) і зниження гармонічних спотворень до 1,2%. Дослідження підтвердило ефективність інтеграції нейронних і нечітких методів, однак контролер функціонує централізовано, без децентралізованого навчання.

У роботі [6] розроблено адаптивний нечіткий контролер для гібридної сонячно-вітрової енергосистеми, інтегрованої з мікромережею. Отримано зменшення рівня гармонічних спотворень електричного струму до ≤ 3% та підвищення стабільності напруги на 26-80%. Незважаючи на високі результати, адаптація здійснюється локально, без координації між вузлами.

У дослідженні [7] запропоновано інтелектуальний контролер другого типу (Type-2 Fuzzy Logic Controller) для гібридної мікромережі з інтеграцією електромобілів. Система враховує невизначеність вимірювань і стохастичність генерації ВДЕ, забезпечуючи економію енергії на рівні 23,7% порівняно з класичними нечіткими логічними контролерами. Проте висока обчислювальна складність і відсутність федеративної координації обмежують масштабування підходу.

Автори у статті [8] розробили адаптивний нечіткий логічний контролер для систем максимального відстеження потужності у сонячних електростанціях. Результати експериментів

показали підвищення енергоефективності до 95,6% і зниження гармонік до 0,73%, що підтверджує практичну доцільність застосування нечітких методів для оптимізації генерації електроенергії.

Підсумовуючи, аналіз досліджень [3–8] показує, що нечітка логіка є ефективним інструментом для локального адаптивного керування енергосистемами, проте жоден із розглянутих підходів не враховує принципи федеративного навчання, розподіленої взаємодії та колективного оновлення правил між вузлами. Це окреслює наукову прогалину, яку має заповнити подальша розробка адаптивного нечіткого логічного контролера у межах VIES, здатної забезпечити децентралізоване, самонавчальне та стійке керування електроенергією.

Постановка проблеми.

Аналіз наукових джерел показав, що сучасні нечіткі системи керування ефективно працюють на локальному рівні, проте не забезпечують узгодженої взаємодії між вузлами в розподілених енергомережах. Відсутність механізмів колективного навчання обмежує їхню адаптивність і стійкість.

Метою роботи є обґрунтування концепції адаптивного нечіткого контролера з підтримкою федеративного навчання в межах архітектури VIES, що забезпечує децентралізоване, самонавчальне та стійке керування електроенергією.

Методи для вирішення проблеми. Для вирішення поставленої задачі запропоновано концепцію адаптивного нечіткого логічного контролера, інтегрованого у VIES. Кожен локальний вузол системи (сонячна, вітрова чи гібридна установка, підстанція, накопичувач) оснащується власним нечітким контролером, який здатен аналізувати локальні умови, приймати рішення в реальному часі та навчатися на основі власного досвіду.

На відміну від класичних систем керування, де параметри контролера задаються статично, у запропонованому підході контролер постійно оновлює свої правила залежно від зміни навантаження, погодних умов та стану енергосистеми. Ключовою особливістю є використання федеративного навчання, що дозволяє вузлам обмінюватися знаннями без передачі сирих даних. Це означає, що кожен вузол навчається локально, а потім надсилає лише оновлені параметри або ваги своєї моделі до центрального вузла координації, де відбувається агрегація та узгодження глобальної моделі. Після цього узагальнені параметри повертаються до всіх вузлів, формуючи спільну, колективно навчальну систему керування. Запропонований підхід базується на трирівневій ієрархії керування, що забезпечує узгодження локальних і глобальних рішень.

Таким чином, архітектура VIES поєднує три ключові рівні:

– локальний рівень: нечіткий контролер, який регулює потужність, частоту чи напругу окремого вузла;

– регіональний рівень: координація між групами вузлів (мікромережами);

– центральний рівень: агрегатор федеративного навчання, який узгоджує правила та параметри контролерів.

У результаті така архітектура створює інтелектуальну мережу з колективним навчанням, де кожен вузол не лише реагує на зміни у власній зоні, а й отримує користь від досвіду інших. Це дозволяє формувати самоорганізовану, децентралізовану систему керування електроенергією, здатну до автономного відновлення та стабільної роботи навіть у критичних умовах. Таким чином, очікується, що поєднання адаптивного нечіткого логічного контролера з механізмами федеративного навчання в архітектурі VIES дозволить підвищити ефективність керування в розподілених енергетичних системах. Передбачається, що локальні контролери зможуть самостійно адаптувати свої правила керування відповідно до поточних умов навантаження, генерації та стану мережі, а обмін узагальненими параметрами між вузлами сприятиме колективному покращенню моделі без централізованої обробки даних.

Висновки. Запропоновано концепцію адаптивного нечіткого логічного контролера у складі архітектури VIES, яка орієнтована на децентралізоване та самонавчальне керування розподіленими енергосистемами. Очікується, що поєднання нечіткої логіки з федеративним навчанням підвищить гнучкість, стійкість та автономність енергомереж без потреби у централізованій обробці даних. Подальші дослідження будуть спрямовані на моделювання процесів адаптації, розроблення механізмів обміну параметрами між вузлами та оцінювання ефективності концепції у симуляційних і реальних умовах.

Список використаної літератури

[1] T. Kurbatova, R. Sidortsov, G. Trypolska, D. Hulak, and I. Sotnyk, “Maintaining Ukraine’s grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods”, *Int. J. Sustain. Energy Planning Manage*, vol. 40, 2024, pp. 39-51, doi: 10.54337/ijsepm.8112.

[2] O. Amosha, D. Cherevatskyi, O. Amosha, and O. Kvilynskyi, “Ukraine infrastructure post-war recovery,” *J. Eur. Economy*, vol. 23, no. 1, 2024, pp. 168-184, doi: 10.35774/jee2024.01.168.

[3] Y. Horichenko, A. Parkhomenko, and C. Wolff, “The architecture of a virtual intelligent energy system for sustainable traction grids,” *in Proc. 13th IEEE Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Gliwice, Poland, Sept. 4-6, 2025, pp. 1-7.

[4] A. Naderipour, Z. Abdul-Malek, I. F. Davoodkhani, H. Kamyab, and R. R. Ali, “Load-frequency control in an islanded microgrid PV/WT/FC/ESS using an optimal self-tuning fractional-order fuzzy controller”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, 2021, pp. 71677-71688, doi: 10.1007/s11356-021-14799-1.

[5] C. S. G. Bhavani, N. B. Prasad, D. R. Kishore, and A. B. Kancherla, “Renewable energy source integration with intelligent neuro-fuzzy control for microgrid system”, *Battery Energy*, 2025, pp. 1-16, doi: 10.1002/bte2.20240116.

[6] K. N. Khallouf, Z. Laid, H. Benbouhenni, N. Debdouche, and Z. M. S. Elbarbary, “Adaptive fuzzy logic control for microgrid-connected hybrid photovoltaic/wind generation systems”, *Energy Rep.*, vol. 12, 2024, pp. 4741-4756, doi: 10.1016/j.egyr.2024.10.042.

[7] T. Aljohani, “Intelligent Type-2 fuzzy logic controller for hybrid microgrid energy management with different modes of EVs integration”, *Energies*, vol. 17, no. 12, 2024, pp. 1-25, doi: 10.3390/en17122949.

[8] B. E. Elnaghi, A. M. Ismaiel, M. M. Ismail, H. A. Zedan, and A. A. Salem, “Experimental validation of an adaptive fuzzy logic controller for MPPT of grid-connected PV system,” *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, 2025, pp. 1-23, doi: 10.1038/s41598-025-10188-7.

УДК 004.8:004.912

ГІБРИДНА НЕЧІТКО-ГЕНЕТИЧНА AI-МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЗОРИХ ТА АДАПТИВНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Гребенюк М. О., Ситнікова П. Е.
(mykyta.hrebeniuk@nure.ua, polina.sytnikova@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У роботі розглянуто теоретичні основи побудови гібридної рекомендаційної системи, що поєднує нечітку логіку, генетичний алгоритм та сучасні AI-елементи. Запропонована архітектура дозволяє досягти високої точності, адаптивності та пояснюваності рекомендацій за рахунок інтеграції інтерпретованих правил, еволюційної оптимізації та глибокого навчання.

Сучасні рекомендаційні системи стикаються з низкою викликів: розрідженість даних, динамічність вподобань користувачів, необхідність прозорості та пояснюваності рішень. Класичні нейронні мережі забезпечують високу точність, але залишаються «чорними скриньками». Нечітка логіка дозволяє формалізувати невизначеність, а генетичний алгоритм - оптимізувати параметри системи, проте їх ізольоване використання не вирішує всіх задач сучасного AI. Зокрема, у [1] реалізовано архітектуру диференційованої нейромережі з інтегрованою нечіткою логікою (Differentiable Fuzzy Neural Networks), що поєднує переваги AI-моделей і прозорість логічних правил у рекомендаційних системах. У [2] наведено гібридний фреймворк, який включає глибокі нейронні мережі, трансформер DeBERTa, LSTM і нечітку логіку для розв'язання задач інтерпретованого автоматизованого аналізу даних, зокрема на освітніх платформах. Підхід дозволяє досягти високої точності класифікації та одночасно забезпечує пояснюваність результатів. Тому актуальним є створення гібридних моделей, які поєднують переваги різних підходів.

Основні етапи функціонування запропонованої моделі:

1. Формування профілю користувача.

Дані користувачів (вік, жанрові вподобання, активність, історія вибору тощо) структуруються у вигляді ознак. Кожна ознака описується нечіткими множинами — наприклад, рівень інтересу до жанра може мати ступені «низький», «середній», «високий» [3]. Це дозволяє враховувати нечіткість людських переваг.

2. Побудова системи нечітких правил.

На основі сформованих множин створюється база нечітких правил типу:

Якщо користувач має високу належність до жанра «драма» і середню активність,тоді рекомендувати фільми жанру «драма».

Такі правила визначають зв'язки між характеристиками користувачів і можливими рекомендаціями [3]. У цьому етапі впроваджується пояснюваність - кожна рекомендація має логічне обґрунтування.

3. Оптимізація параметрів за допомогою генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм виконує еволюційний пошук оптимальних параметрів системи - ваг правил, форм функцій належності та ступенів важливості ознак. Цей механізм забезпечує самооновлення системи, щоб вона не потребувала ручного налаштування при зміні користувацьких даних [4].

4. Впровадження штучного інтелекту (AI компоненти).

На цьому етапі до системи додається сучасний AI модуль (нейронна мережа або трансформер), який аналізує великі обсяги даних і виявляє приховані закономірності у вподобаннях користувачів. AI компонента навчається на історичних даних, оновлює ваги у нечітко генетичній системі та покращує точність рекомендацій.

Як це працює?

- AI-модуль отримує на вхід гібридний профіль користувача, сформований на попередніх етапах (тобто набір ознак, які вже пройшли нечітке перетворення та оптимізацію ваг через генетичний алгоритм).
- Нейронна мережа навчається на історичних даних, знаходить приховані зв’язки між користувачами та об’єктами, які не можуть бути явно описані нечіткими правилами.

AI-компонента може працювати у двох режимах:

- Паралельно з нечітко-генетичною системою, формуючи власний рейтинг рекомендацій.
- Каскадно, тобто уточнює або коригує результати, отримані з нечітко-генетичної підсистеми.

Формула інтеграції AI-компоненти

Остаточна оцінка для рекомендації визначається як зважена сума результатів двох підсистем:

$$score(u,i) = \alpha \cdot S_{fuzzy-GA}(u,i) + (1-\alpha) \cdot S_{AI}(u,i)$$

де:

- $S_{\text{fuzzy}-\text{GA}}(\text{u},\text{i})$ - оцінка, отримана з нечітко-генетичної підсистеми,
- $S_{\text{AI}}(\text{u},\text{i})$ - оцінка, отримана з AI-модуля (наприклад, скалярний добуток латентних векторів користувача та об’єкта),
- α - ваговий коефіцієнт, що визначає баланс між інтерпретованістю та точністю.

НТБОНТУ

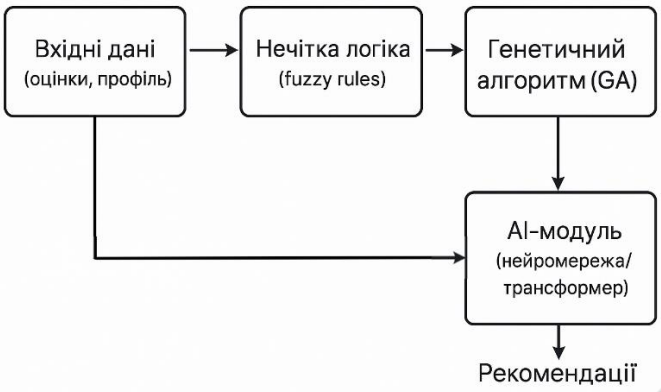


Рис. 1 - Схема гібридної нечітко-генетичної AI-моделі формування рекомендацій

Приклад роботи системи

1. Уявімо користувача, який має високий інтерес до жанра «драма» та середній - до «комедії».
2. Нечітка підсистема активує правило: Якщо драма - висока, комедія - середня, рекомендувати драму.
3. Генетичний алгоритм оптимізує вагу цього правила, враховуючи історію успішних рекомендацій.
4. AI-компонента формує латентний вектор користувача, що враховує неявні патерни у вподобаннях.
5. Остаточна оцінка для фільму визначається як зважена сума результатів обох підсистем.

Гібридна система дозволяє:

- Пояснювати рекомендації через нечіткі правила (наприклад, «рекомендовано, бо ваш інтерес до драми високий»).
- Адаптуватися до змін у поведінці користувача завдяки генетичному алгоритму та AI-модулю, які постійно оновлюють параметри системи.
- Працювати з розрідженими даними - нечіткі множини дозволяють враховувати навіть неповні або нечітко виражені вподобання.

Висновки

Гібридна нечітко-генетична AI-модель поєднує переваги інтерпретованих правил, еволюційної оптимізації та глибокого навчання. Такий підхід дозволяє створювати прозорі, адаптивні та точні рекомендаційні системи, здатні ефективно працювати в умовах невизначеності та динамічних змін користувацьких вподобань. Запропонована архітектура забезпечує баланс між точністю, пояснюваністю та адаптивністю, що є ключовими вимогами сучасних інтелектуальних систем.

Список використаної літератури

[1] S. Bartl, K. Innerebner, E. Lex, “Differentiable Fuzzy Neural Networks for Recommender Systems,” in Adjunct Proceedings of the 33rd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (UMAP '25), New York, NY, USA, ACM, 2025. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3708319.3734174 [Accessed: October 21, 2025].

[2] X. Zhao, “A hybrid deep learning and fuzzy logic framework for feature-based evaluation of English Language learners,” Scientific Reports, vol. 15, Article no. 33657, 2025. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41598-025-17738-z [Accessed: October 21, 2025].

[3] N. Khairova, N. Sharonova, D. Sytnikov, M. Hrebeniuk, P. Sytnikova, “Recommendation System Based on a Compact Hybrid User Model Using Fuzzy Logic Algorithms,” COLINS-2024: 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, Lviv, Ukraine, Apr. 12-

НТБОНТУ

13, 2024, CEUR Workshop Proceedings, vol. 3668, pp. 48-63. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-3668/paper5.pdf [Accessed: October 21, 2025].
[4] N. Khairova, D. Sytnikov, M. Hrebeniuk, P. Sytnikova, “Dynamic Feature Weighting in Hybrid Recommendation Systems Using Genetic Algorithm” CoLInS-2025 PhD Workshop on Artificial Intelligence in Computer Science, 9th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, Kharkiv, Ukraine, May 15–16, 2025, CEUR Workshop Proceedings, vol. 4015, pp. 15-28. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-4015/paper2.pdf [Accessed: October 21, 2025]

УДК 004.89; 004.032.6

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДБОРУ РОЗВАГ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Гурницька В. О., Козаченко Д. О., Прокоп Ю. В.
(7507063@stud.op.edu.ua, 7491631@stud.op.edu.ua, prokop.y.v@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У статті проведено порівняльний аналіз програмних систем для підбору розважального контенту із використанням штучного інтелекту. Розглянуто платформи Likewise, Tastedive, Screenpick, BookRecommendation.ai та Recommend.Games, визначено їхні сильні та слабкі сторони. Запропоновано концепцію універсальної інтелектуальної системи, що забезпечує персоналізовані рекомендації для різних типів контенту (книг, фільмів, серіалів, настільних ігор) з урахуванням контекстних і семантичних факторів.

Постановка проблеми. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та цифровізації суспільства користувачі отримали доступ до величезної кількості контенту: книг, фільмів, серіалів і настільних ігор. Проте разом із цим виникла проблема ефективного пошуку матеріалів, що відповідають індивідуальним смакам і настрою користувача. Надлишок інформації призводить до явища інформаційного перевантаження, коли вибір потрібного контенту стає складним і тривалим процесом.

Особливо гостро ця проблема проявляється в ситуаціях колективного вибору, коли компанія друзів прагне знайти настільну гру для спільного вечора або сім’я шукає фільм, який буде цікавим для всіх. Наявні рекомендаційні системи найчастіше орієнтовані лише на одну сферу контенту (наприклад, тільки фільми чи тільки книги) та базуються на окремих алгоритмах, які не враховують комплексну структуру мультимедійного середовища користувача.

Хоча сучасні дослідження демонструють активне впровадження штучного інтелекту в системи рекомендацій, науковці відзначають, що більшість із них усе ще стикаються з низкою проблем: розрідженістю даних, ефектом «холодного старту» та недостатнім урахуванням семантичних і контекстних характеристик контенту. Як наслідок, навіть інтелектуальні алгоритми переважно працюють у межах однієї сфери контенту, наприклад, лише для книг або лише для фільмів. Це обмежує можливості користувача, який взаємодіє з різними типами розважальних матеріалів, і створює потребу у єдиній платформі, здатній поєднати декілька сфер контенту, водночас забезпечуючи незалежну роботу рекомендаційних моделей для кожного з них [1].

Дослідження також свідчать, що користувачі нерідко скептично ставляться до рекомендацій, сформованих на основі вподобань із різних типів медіа, наприклад, рекомендація фільмів на підставі книжкових інтересів часто сприймається як неточна або неактуальна. Це пояснюється контекстною залежністю смаків: людині можуть подобатися фентезі-романи, але це не гарантує інтересу до фентезі-серіалів чи настільних ігор у тому ж жанрі. Тому універсальна система рекомендацій повинна враховувати цю специфіку – інтегрувати всі сфери контенту на одній платформі, але формувати рекомендації окремо для кожного типу медіа [2].

Перелік вирішених завдань. У дослідженні розглянуто існуючі системи рекомендацій розважального контенту та виявлено їхні недоліки: обмежена взаємодія між платформами, недостатня мультимедійність та обмежене застосування штучного інтелекту. Проведено порівняльний аналіз популярних аналогів та запропоновано концепцію універсальної

інтелектуальної системи, яка може надавати персоналізовані рекомендації для різних видів медіа одночасно.

Суть дослідження. Попри наявність окремих спеціалізованих сервісів, орієнтованих на певний вид контенту, універсальне рішення, яке б об'єднувало книги, фільми, серіали й настільні ігри як єдину екосистему з незалежними для кожного типу контенту рекомендаційними модулями на базі штучного інтелекту, наразі відсутнє. Більшість подібних платформ або фокусуються на певному типі медіа, або пропонують обмежені рекомендації.

Проведемо порівняльний аналіз особливостей конкурентів-аналогів, а саме Likewise [3], Tastedive [4], Screenpick [5], BookRecommendation.ai [6] та Recommend.Games [7], щоб оцінити, наскільки вдало вони вирішують зазначені вище проблеми.

Likewise – американський сервіс рекомендацій, що допомагає знаходити нові фільми, серіали, книги та подкасти. Платформа використовує власний AI-модуль персональних рекомендацій, який формує індивідуальні добірки контенту в додатку, а також надсилає їх на електронну пошту. Крім автоматичних рекомендацій, користувачі можуть створювати власні списки, ділитися ними та бачити, що радять інші. Під час використання сервісу було помічено певні обмеження пошуку вручну: система не завжди коректно розпізнає контекстні або абстрактні запити, а при введенні конкретної назви франшизи пропонує інші частини тієї ж серії, замість схожих за змістом або настроєм творів. Персоналізовані рекомендації виявилися досить точними, проте для їхньої ефективної роботи користувачеві спершу необхідно залишити певну кількість відгуків на сайті. Також іноді у стрічці траплялися поради, що виглядали випадковими.

Tastedive – це вебзастосунок, який допомагає користувачам знаходити новий контент: фільми, серіали, музику, книги, ігри, подкасти тощо, схожий на вже відомий. Сервіс не використовує штучний інтелект або машинне навчання для створення персоналізованих рекомендацій. Натомість його поради ґрунтуються на взаємозв'язках між елементами бази даних, сформованих за принципом схожості вподобань користувачів. Під час реєстрації облікового запису платформа одразу пропонує зазначити певну кількість творів, які користувачу подобаються або не подобаються. Це потрібно, щоб визначити схожість смаків з іншими користувачами та сформувати початкові зв'язки між їхніми виборами медіа. Також на сайті є окрема функція пошуку користувачів із подібними смаками, так званих «tastebuds». Водночас рекомендації TasteDive іноді виглядають занадто очевидними чи шаблонними, особливо при пошуку за популярними творами.

Screenpick – це інтелектуальний сервіс рекомендацій фільмів, що підбирає стрічки відповідно до інтересів користувача. Платформа дозволяє формулювати запит природною мовою, проте на ній відсутні персоналізовані рекомендації, можливість проставляти відгуки переглянутим фільмам або створювати власні списки порад для перегляду. Сервіс робить акцент на швидкому отриманні результатів і ретельному відборі фільмів, пропонуючи не лише відомі та популярні стрічки, а й маловідомі, але варті уваги твори.

BookRecommendation.ai – це рекомендаційний вебзастосунок, створений для пошуку нових книжок відповідно до читацьких інтересів. Платформа використовує власний модуль штучного інтелекту, який аналізує введену користувачем інформацію, та на її основі формує персоналізовані добірки літератури. Під час використання сервісу відзначено, що система пропонує релевантні результати навіть у випадках, коли користувач формулює загальні запити, інтерпретуючи контекст і добираючи книжки, що відповідають настрою, тематиці або стилю, який цікавить користувача. Уся взаємодія користувача на BookRecommendation.ai відбувається у форматі текстового запиту та відповіді. На платформі відсутні персоналізовані рекомендації, користувачі не можуть створювати власні добірки або залишать відгуки. Попри це, сервіс вирізняється простотою та точністю підбору контенту, що робить його зручним інструментом для тих, хто шукає нові книжки, орієнтуючись лише на власні смаки.

Recommend.Games – це рекомендаційний сервіс для пошуку настільних ігор. Для створення добірок, платформа використовує профіль користувача на сайті BoardGameGeek. Система отримує звідти дані про оцінки та улюблені ігри, після чого аналізує її, та використовуючи методи машинного навчання створює персоналізований список. Якщо акаунт не має оцінених ігор або користувач не має профілю взагалі, сервіс не може створити персональні рекомендації: замість цього пропонуються загальні добірки популярних ігор.

На підставі проведеного аналізу, результати якого наведено в табл. 1, було окреслено основні проблеми наявних рішень, що надалі дасть змогу визначити шляхи їх усунення.

Хоча сучасні рекомендаційні системи частково вирішують окремі проблеми, вони не здатні усунути всі наявні недоліки. Зокрема, існуючі рішення можуть ефективно надавати персоналізовані рекомендації, проте не завжди коректно обробляють контекстні запити й обмежено використовують можливості штучного інтелекту. Крім того, більшість не охоплює різні види контенту, натомість обмежуючись лише певним типом медіа.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика програм-аналогів

Характеристика	Застосунок					
	Likewise	Tastedive	Screenpick	BookRec.ai	Rec.Games	Our project
Необхідність реєстрації	+/-	+/-	-	+	+/-	+/-
Використання ШІ	+	-	+	+	+/-	+
Персоналізація рекомендацій	+	+	-	-	+	+
Система відгуків	+	+	-	-	+	+
Мультимедійність	+	+	-	-	-	+

Висновки. Отже, для вирішення розглянутих проблем пропонується розробити універсальну інтелектуальну систему рекомендацій мультимедійного контенту, яка здатна аналізувати інтереси користувача в межах кожного типу контенту окремо (книг, фільмів, серіалів, настільних ігор) та формувати персоналізовані рекомендації, зберігаючи при цьому консистентність і цілісність даних користувацького профілю.

Список використаної літератури

[1] Q. Zhang, J. Lu, Y. Jin. “Artificial intelligence in recommender systems”, *Complex & Intelligent Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 439-457, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s40747-020-00212-w.

[2] D. Kotkov, A. Medlar, Y. Liu, D. Glowacka. “On the Negative Perception of Cross-domain Recommendations and Explanations”, *Proceedings of the 47th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 2102-2113, 2024. DOI: https://doi.org/10.1145/3626772.3657735.

[3] “Likewise”. [Online]. Available: https://likewise.com [Accessed: October 18, 2025].

[4] “Tastedive”. [Online]. Available: https://tastedive.com [Accessed: October 18, 2025].

[5] “Screenpick | AI Movie Recommendation Generator”, Screenpick Team. [Online]. Available: https://screenpick.fun [Accessed: October 19, 2025].

[6] “BookRecommendation.ai | Free AI Book Recommendations”, AI Book Recommendations. [Online]. Available: https://bookrecommendation.ai [Accessed: October 19, 2025].

[7] “Recommend.Games | Board game recommendations”, Markus Shepherd. [Online]. Available: https://recommend.games/# [Accessed: October 19, 2025].

УДК 681.513

ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ СИНТЕЗУ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Гурський О.О. (gurskiya2017@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі розглядається композиція та декомпозиція мереж Петрі при синтезі алгоритмів керування складних систем. Приділяється увага особливому підході при якому штучна нейронна мережа використовується для реалізації автоматичного синтезу мереж Петрі шляхом адаптивного формування композиції. Визначаються особливості навчання штучних нейронних мереж відомими методами при автоматичному синтезі мереж Петрі.

Композиція та декомпозиція мереж Петрі – це процеси на основі певних методів, що пов'язані з аналізом та синтезом складних систем. Такі певні методи дозволяють будувати великі мережі з найпростіших і навпаки розбивати складні мережі на частини щоб спростити їх аналіз.

Актуальність автоматизації процесу синтезу та композиції мереж Петрі досить висока, особливо в галузі розвитку кіберфізичних систем, систем управління і моделювання складних процесів [1]. Автоматизація процесу синтезу дає можливість швидко отримувати адекватні моделі навіть великих складних систем. При широкому розвитку інтелектуальних технологій, автоматизація процесу синтезу мереж Петрі повинна доцільно йти з інтеграцією зі штучним інтелектом та машинним навчанням. У такому напрямку було проведено відповідну кількість наукових робіт та досліджень [2, 3].

Для розвитку інтелектуальних технологій синтезу алгоритмів управління було поставлено задачу, що пов'язана з розробкою принципів навчання штучних нейронних мереж відомими методами для формування мереж Петрі та відповідних алгоритмів керування.

Для композиції мереж Петрі була представлена схема системи згідно якої, повинно забезпечуватися синхронне функціонування окремих мереж Петрі PN_i, $i=1...n$ за рахунок взаємодії їх з штучною нейронною мережею *ANN*, як показано на рисунку 1. При такій взаємодії можливо з синхронно функціонуючих мереж Петрі скласти мережу, що буде відображати певний алгоритм керування.

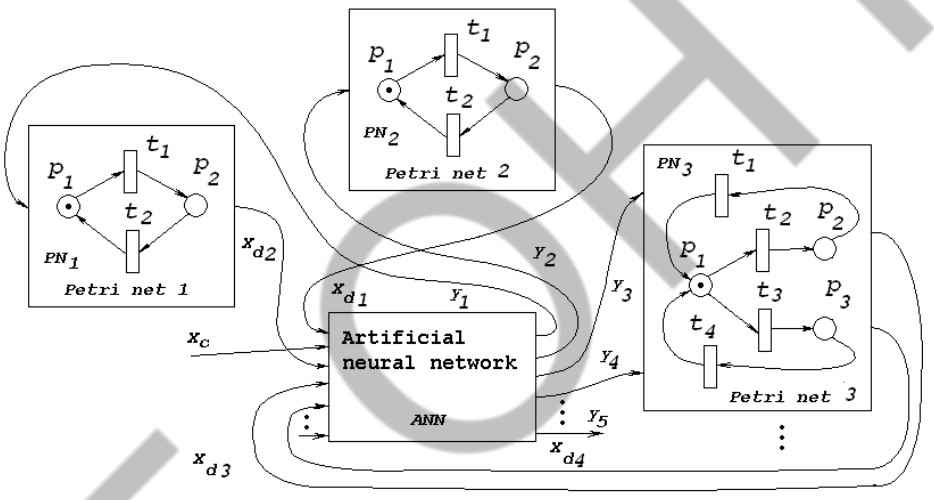


Рисунок 1 - Схема взаємодії штучної нейронної мережі з мережами Петрі при синтезі алгоритмів керування

Як приклади були розглянуті процеси формування мереж Петрі, що представляють алгоритми керування технологічними об'єктами та алгоритми поетапного налаштування координувальних систем автоматичного управління. В останньому випадку, здійснюється автоматизація процесу налаштування систем управління при синтезі мереж Петрі для виключення використання складних методик синтезу та перетворення типових алгоритмів управління в координувальні [3].

У процесі дослідження було встановлено, що для синтезу мережі Петрі необхідне поетапне навчання штучної нейронної мережі з попереднім формуванням навчальної вибірки за умов спрацьовування різних переходів мереж Петрі. Також, необхідно, для реалізації поетапного навчання, багатошарову штучну нейронну мережу розділити на окремі локальні нейронні мережі, кожна з яких повинна нести певне функціональне навантаження, що пов'язане з переходом з одного стану системи в інший.

Подальші дослідження безпосередньо мають бути пов'язані з розробкою логіко-динамічних систем з нейромережевими алгоритмами управління, як у робототехніці так і в інших сферах, де актуальні системи з інтелектуальними нейромережевими алгоритмами управління.

Список використаної літератури

[1] He, D. W. Decomposition in automatic generation of Petri nets for manufacturing system control and scheduling / D. W. He, B. Strege, H. Tolle, A. Kusiak // International Journal of Production Research – 2000. – Volume 38, Issue 6, – pages 1437-1457. DOI: 10.1080/002075400188942

[2] Gurskiy, A. A. The automatic synthesis of Petri net based on the functioning of artificial neural network [Text] / A. A. Gurskiy, A. V. Denisenko, S. M. Dubna // Radio electronics, computer science, control. – Issue 2/2021 – pages 84-92. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-9
[3] Gurskiy, A. A. The software implementation for automatic generation of Petri nets [Text] / A. A. Gurskiy, S. M. Dubna // Radio electronics, computer science, control. – Issue 3/2024 – pages 26-34. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-3-3

УДК: 004.8

АРХІТЕКТУРА МОДУЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ З КОНТРОЛЕМ ЯКОСТІ ВХІДНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Держак В. В., Овчарук О.М. Мазурець О.В.
(derzhakvv@gmail.com, off4aruk@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

У роботі представлено архітектуру модульної системи якісно-обізнаної класифікації побутового сміття, що поєднує механізми глибинного навчання з контролем якості вхідних зображень. Система реалізує безеталонне оцінювання різкості, експозиції, контрасту та тіньового забруднення для відбору найбільш інформативних зразків перед навчанням нейронної мережі. Запропоновано динамічне визначення порога якості за методом Отсу та перцентильним підходом, а також підтримку двох режимів роботи повного очищення вибірки та вагового коригування прикладів. Експерименти з класифікації тридцяти класів побутових відходів із використанням архітектури MobileNetV3-Small показали точність 0.7703, середню F1-макро 0.7700 та площу під ROC-кривою 0.9864. Розроблена система підвищує стабільність метрик, відтворюваність результатів і може бути адаптована для екологічних інформаційних систем аналізу візуальних даних.

Сучасні методи комп'ютерного зору широко застосовуються для автоматизованої класифікації побутових відходів, однак ефективність таких систем значною мірою залежить від якості вхідних зображень [1]. У реальних умовах збору даних кадри часто містять шуми, тіні, пересвічення, розмиття або контрастні відблиски, що знижує інформативність та призводить до втрати узагальнювальної здатності нейронних моделей [2]. Наявність спотворених прикладів у навчальних вибірках збільшує ризик помилкової класифікації та ускладнює перенесення навчених параметрів на інші набори даних [3]. Для усунення цих недоліків розроблено архітектуру модульної системи (рисунок 1), яка поєднує класичний конвеєр глибинного навчання з етапом попереднього аналізу якості вхідних зображень [4].

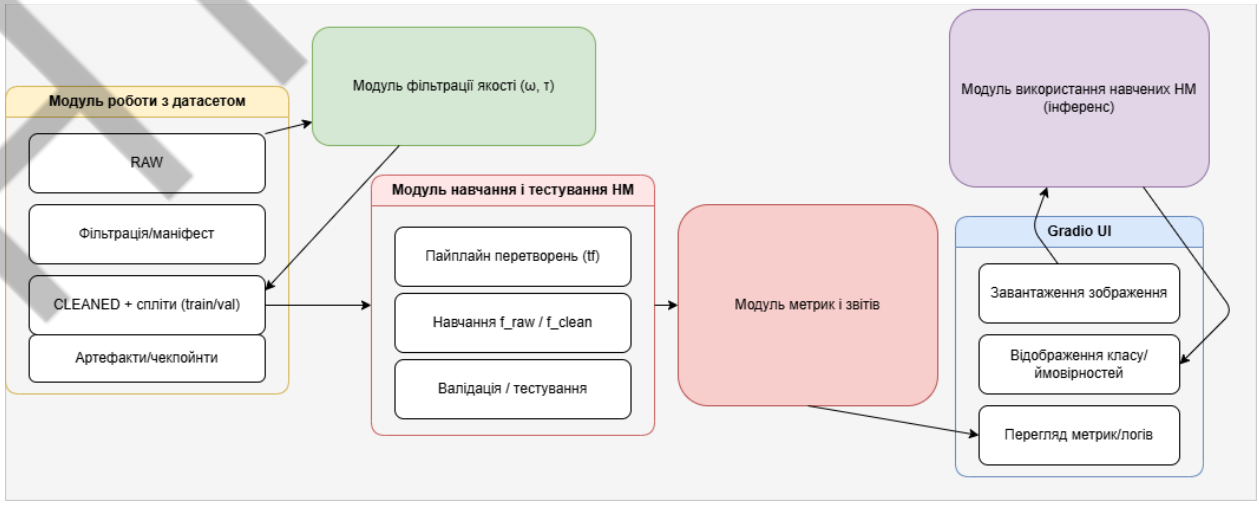


Рисунок 1 – Архітектура модульної системи

Система складається з послідовно взаємопов'язаних модулів, які забезпечують повний цикл обробки від роботи з датасетом до інтерфейсної взаємодії користувача. Перший модуль відповідає за підготовку даних і структурування початкової вибірки. Він включає етапи фільтрації, формування маніфесту якості, створення навчальних і тестових сплітів, а також фіксацію артефактів і контрольних точок навчання. Далі задіюється модуль фільтрації якості, у якому для кожного зображення розраховується сукупний показник інформативності. Цей показник формується як зважена комбінація безеталонних метрик різкості, експозиції, контрасту та тіньового забруднення. На основі отриманих результатів визначається, чи буде зразок включено до очищеної вибірки, чи позначено як малоякісний.

Граничне значення якості обчислюється автоматично. Використано два статистично обґрунтовані підходи: метод Отсу, що аналізує розподіл значень показника якості та визначає оптимальну точку поділу між двома групами зображень, і перцентильний принцип, який дозволяє залишити лише задану частку найкращих кадрів. Отримане порогове значення використовується у механізмі контролю якості, який може працювати у двох режимах. У першому випадку вибірка очищується фізично, і в навчанні беруть участь лише кадри, що відповідають встановленому рівню якості. У другому випадку всі зображення залишаються, але під час навчання до кожного застосовується вагова функція, що враховує ступінь його інформативності. Такий підхід забезпечує плавне зниження впливу спотворених прикладів без втрати статистичного різноманіття.

Після очищення даних система формує збалансований набір, у якому кількість зображень у кожному класі вирівнюється до мінімальної кількості серед усіх категорій. Це усуває класовий дисбаланс [5], який є типовим у задачах розпізнавання побутових матеріалів. Очищений і збалансований датасет використовується для навчання нейронної мережі у модулі навчання й тестування. Для об'єктивності порівняння результати розраховуються окремо для необробленої та очищеної вибірок за однакових гіперпараметрів навчання.

Модуль навчання реалізовано на базі архітектури MobileNetV3-Small, оптимізованої для швидкого виконання у вбудованих системах. Параметри навчання становили: розмір зображення 224×224 пікселі, розмір пакета 64, шість епох і швидкість навчання 5×10^{-4}. У процесі дослідження виконано класифікацію тридцяти класів побутових відходів, що включають матеріали різного типу та текстурної структури. Для кожної моделі проведено повний цикл навчання, валідації та тестування, а результати збережено у модулі метрик і звітів.

Отримані показники свідчать про стабільну роботу системи та коректність обраної архітектури. Для обробленої вибірки точність становила 0.7703, збалансована точність 0.7703, середня F1-макро 0.7700, F1-мікро 0.7703, а середня зважена F1 0.7700 на датасеті в 30 класів. Показники площі під ROC-кривою досягли значень 0.9864 для мікро- та 0.9851 для макрооцінювання, що підтверджує роздільну здатність моделі навіть за умов варіативності якості зображень. Отримані результати демонструють, що якісно-обізнаний підхід до формування навчальної вибірки сприяє підвищенню точності класифікації, стабільності метрик та узагальнювальної здатності нейронних мереж.

Система забезпечує не лише покращення метрик, але й відтворюваність результатів. У маніфест якості записуються всі проміжні параметри оцінювання, порогові значення та конфігурації експериментів, що дозволяє здійснювати гнучке переналаштування без повторного аналізу всього датасету. Окремий модуль використання навчених моделей реалізує інтерфейс Gradio UI, який дозволяє здійснювати завантаження нових зображень, перегляд імовірностей класифікації та аналіз отриманих логів. Це створює повноцінне інтерактивне середовище для валідації результатів і контролю роботи системи.

Проведене дослідження підтверджує, що попередній якісний відбір зображень є критичним етапом у побудові ефективних класифікаційних систем на основі глибинного навчання. Розроблена архітектура модульної системи може бути масштабована на інші галузі, де точність залежить від характеристик зображень, зокрема при сортуванні вторинної сировини, аналізі промислових дефектів або екологічному моніторингу. Подальший розвиток роботи передбачає інтеграцію запропонованого quality-механізму із трансформерними архітектурами та розширення набору безеталонних показників за рахунок урахування шуму, колірної насиченості й локальної симетрії.

Таким чином, система якісно-обізнаної класифікації побутового сміття є прикладом комплексного поєднання методів штучного інтелекту, комп'ютерного зору та аналітичного контролю якості, що створює основу для побудови надійних і відтворюваних екологічних інформаційних рішень.

Список використаних джерел

[1] J. A. Ferriz-Papi, E. Weekes, N. Whitehead, and A. Lee, "A Cost-Effective Recycled Aggregates Classification Procedure for Construction and Demolition Waste Evaluation", Construction and Building Materials, vol. 324, p. 126642, 2022. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822003336 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] В. О. Дідур, М. О. Молчанова, і О. В. Мазурець, "Спосіб виявлення та класифікації залишків зруйнованих будівель та будівельного сміття за фотографіями з використанням моделей CNN", Наука і техніка сьогодні, № 1 (42), с. 1162–1175, Київ, 2025..

[3] A. Pokhytun, O. Mazurets, M. Molchanova, and O. Tyschenko, "Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN," in Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions", 2024, pp. 35–40..

[4] O. Mazurets, M. Molchanova, V. Klimenko, and D. Klopotivskyi, "Datalogic Model for Image Recognition by Convolutional Neural Network Using Cloud Services," in *Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects", Oslo, Norway, 2024, pp. 64–68.

[5] I. Tymofiiev, O. Mazurets, D. Hardysh, and M. Molchanova, "Neural Network Dual Architecture for Depression Detection Using Cloud Services" in Scientific Research in the Era of Digital Technologies: Challenges and Opportunities, Barcelona, Spain, 2024, pp. 84–88.

УДК **58.017:004.9.032.26**

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БІОЛОГІЧНИХ ОЗНАК РОСЛИН З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Дідусь О. П.(oleksandr.didus@nure.ua),
Ситнікова П. Е. (polina.sytnikova@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

Standard fine-tuning of deep learning models for plant disease diagnosis suffers from poor generalization and ignores the inherent taxonomic hierarchy of diseases, leading to inconsistent and unreliable predictions. To address this, we propose a novel Multi-Head Hierarchical Fine-Tuning (MHFT) framework. Our approach employs multiple classification heads on a shared model backbone, with each head targeting a distinct level of the diagnostic hierarchy—from coarse diseased/healthy detection to fine-grained species identification. This multi-task architecture imposes a powerful hierarchical regularization, forcing the model to learn more robust, disentangled, and semantically meaningful features. We demonstrate that this method significantly enhances generalization to new data, ensures taxonomic consistency by preventing illogical errors, and improves model interpretability. This work contributes to creating more robust and trustworthy AI-driven diagnostic tools for real-world applications in precision agriculture.

Сучасний агропромисловий комплекс стикається з глобальними викликами, серед яких забезпечення продовольчої безпеки посідає центральне місце. Значні втрати врожаю, що сягають 20-40% у світовому масштабі, спричинені різноманітними хворобами рослин [1]. Своєчасна та точна діагностика патологій є ключовим фактором для мінімізації збитків та оптимізації використання засобів захисту рослин. У цьому контексті технології глибинного навчання (Deep Learning), зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), продемонстрували видатний потенціал для автоматизації процесу ідентифікації хвороб за візуальними ознаками.

Домінуючою парадигмою для вирішення таких прикладних задач є тонка настройка (fine-tuning) попередньо навчених моделей. Цей підхід дозволяє адаптувати потужні архітектури, навчені на масштабних датасетах (наприклад, ImageNet), до вузькоспеціалізованих доменів з обмеженою кількістю даних. Однак, попри свою ефективність, стандартний протокол fine-tuning має низку фундаментальних недоліків, які стають критичними в задачах дрібнозернистої візуальної класифікації (Fine-Grained Visual Classification, FGVC), до яких належить і діагностика хвороб рослин. Серед недоліків можна перелічити наступні.

1. Семантична сліпота до ієрархії класів. Класичний fine-tuning розглядає мітки класів (`здоровий`, `парша яблуні`, `бактеріальний опік`) як незалежний, плаский набір категорій. Це ігнорує природну таксономічну структуру, де `парша` є підтипом `грибкового захворювання`, яке, у свою чергу, протиставляється стану `здоровий`. Така семантична сліпота призводить до логічно неузгоджених помилок та неефективного навчання ознак.
2. Слабка узагальнююча здатність. Моделі, налаштовані стандартним чином, схильні до перенавчання на специфічному розподілі тренувальних даних. Це робить їх вразливими до зсуву домену (domain shift) — змін умов у реальному світі, таких як варіації освітлення, ракурсу зйомки, фону чи обладнання. Модель, що не вивчила узагальнених, інваріантних ознак патології, швидко деградує за межами лабораторних умов.
3. Низька інтерпретованість. Стандартна модель видає лише кінцевий вектор ймовірностей, залишаючись «чорною скринькою». Відсутність проміжної логіки ускладнює аналіз помилок та знижує довіру до її рішень, що є неприпустимим для систем підтримки прийняття рішень в агрономії.

Таким чином, існує гостра науково-технічна проблема розробки такого методу fine-tuning, який би інтегрував ієрархічні знання про домен безпосередньо в архітектуру та процес навчання моделі для підвищення її робастності, точності та інтерпретованості.

У рамках даного дослідження були поставлені та вирішені наступні завдання.

1. Проаналізовано обмеження стандартного підходу fine-tuning для задач FGVC з ієрархічною структурою класів.
2. Запропоновано та формалізовано нову архітектуру багатоголової ієрархічної тонкої настройки (Multi-Head Hierarchical Fine-Tuning, MHFT).
3. Розроблено стратегію навчання в режимі multi-task learning з використанням зваженої композитної функції втрат для одночасної оптимізації на кількох рівнях ієрархії.
4. Введено нову метрику – Коефіцієнт ієрархічної узгодженості (Hierarchical Consistency Score, HCS) – для кількісної оцінки логічної коректності прогнозів моделі.
5. Проведено порівняльний аналіз (на гіпотетичних даних) запропонованого методу з базовим підходом для демонстрації його переваг.

Для подолання вказаних проблем було розроблено підхід MHFT. Його ключова ідея полягає у заміні стандартного єдиного класифікатора на кілька «голів», кожна з яких відповідає за свій рівень таксономічної абстракції. Це змушує спільну для них основу моделі (backbone) вивчати більш багаті та структуровані репрезентації ознак. Запропонована архітектура MHFT зображена на рис. 1 складається зі спільного екстрактора ознак Ф(функції-екстрактора ознак (feature extractor function)) (наприклад, ResNet-34 або EfficientNet-B0), попередньо навченого на ImageNet, та трьох паралельних класифікаційних голів:

- Head 1 (Coarse-grained): Бінарний класифікатор, що вирішує задачу здоровий vs. хворий. Навчається виділяти загальні, найбільш робастні ознаки наявності патології.
- Head 2 (Mid-grained): Класифікатор, що визначає тип захворювання (грибкове, бактеріальне, вірусне). Спеціалізується на ознаках, що характеризують цілі родини хвороб.
- Head 3 (Fine-grained): Класифікатор, що ідентифікує конкретну хворобу (парша яблуні, іржа тощо). Фокусується на дрібних, високоспецифічних деталях.

Процес навчання та ієрархічна регуляризація відбувається за певним принципом. Навчання всіх голів відбувається одночасно в режимі multi-task learning. Загальна функція втрат є зваженою сумою крос-ентропійних втрат кожної голови:

$$L = \lambda_1 L_{binary} + \lambda_2 L_{mid} + \lambda_3 L_{fine}$$

Загальна помилка моделі (L) розраховується як сума трьох помилок, кожна з яких має свій ваговий коефіцієнт. Перша помилка відповідає за просте завдання (наприклад, хворий/здоровий), друга — за проміжне (наприклад, вид рослини), а третя — за головне, детальне завдання

(наприклад, конкретна хвороба). Такий підхід змушує модель вчитися краще, створюючи універсальні ознаки, що підвищує її загальну точність.

Такий підхід створює ефект ієрархічної регуляризації. Задачі на грубих рівнях (Head 1, Head 2) не дозволяють екстрактору ознак Ф перенавчатися на шумові, дрібні деталі, важливі лише для Head 3. Модель змушена будувати внутрішній простір ознак, який є одночасно корисним для всіх рівнів абстракції, що веде до кращого узагальнення.

Важливим етапом роботи є оцінка ефективності. Для оцінки, окрім стандартних метрик (Accuracy, F1-Score), ми вводимо Коефіцієнт ієрархічної узгодженості (HCS). Він розраховується як частка зразків, для яких прогнози моделі не суперечать один одному по ієрархії. Наприклад, прогноз (хворий, грибкове, парша) є узгодженим, тоді як (хворий, бактеріальне, парша) — ні. Ця метрика безпосередньо вимірює одну з ключових переваг нашого методу.

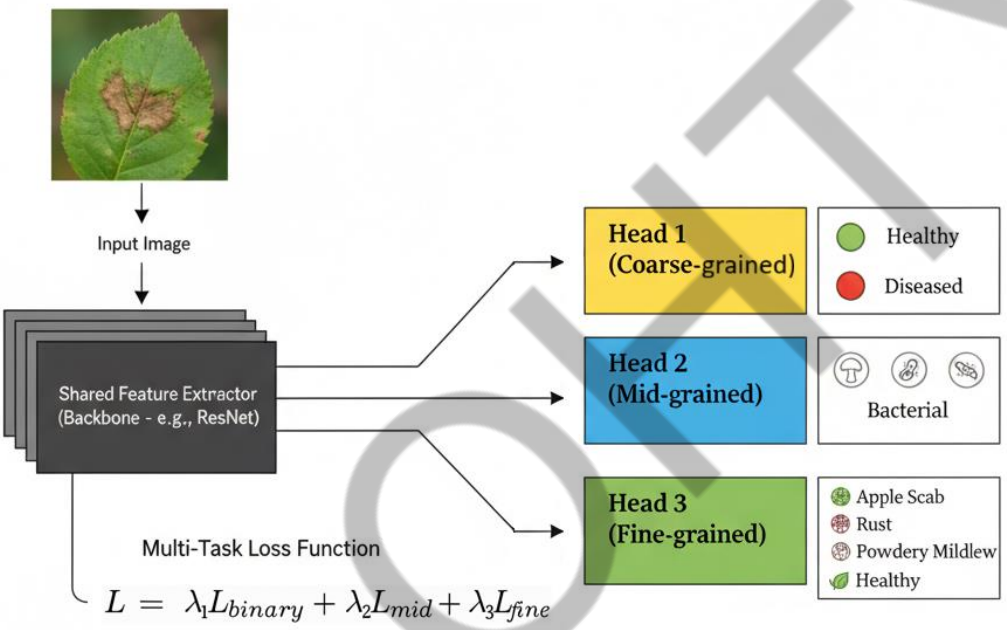


Рисунок 1 – Архітектура багатоголової ієрархічної тонкої настройки (MHFT)

У ході дослідження розроблено новий підхід до тонкої настройки нейронних мереж для задач класифікації з ієрархічною структурою класів. Проаналізовано, що стандартний fine-tuning є неефективним для таких задач, оскільки ігнорує семантичні зв'язки між класами, що веде до низької робастності та інтерпретованості. Запропоновано архітектуру MHFT, яка явно інкорпорує ієрархію класів у структуру моделі через використання кількох класифікаційних голів, що відповідають різним рівням таксономії. Розроблено стратегію навчання, яка використовує ефект ієрархічної регуляризації для формування більш узагальненого простору ознак. Введено метрику HCS, що дозволяє кількісно оцінити логічну узгодженість моделі, що є важливим аспектом для побудови довірених систем ШІ. Запропонований метод дозволяє створювати більш точні, надійні та інтерпретовані системи для діагностики хвороб рослин, що є важливим кроком на шляху до впровадження інтелектуальних технологій у сучасне сільське господарство. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на автоматичну оптимізацію ваг λ_k та адаптацію підходу до інших доменів з ієрархічною структурою даних.

Список використаної літератури

[1] S. Savary, A. Ficke, J.-N. Aubertot, and C. Hollier, “Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security,” Food Security, vol. 11, no. 3, pp. 519–537, 2012.

[2] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition,” in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770–778.

[3] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, “ImageNet: A large-scale hierarchical image database,” in 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009, pp. 248–255.

[4] Y. Guo, Y. Li, Y. Liu, and L. Yang, “Hierarchical classification using deep learning,” in Neural Information Processing Systems (NeurIPS) Workshop on Bayesian Deep Learning, 2018.

[5] R. R. Selvaraju et al., “Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 618–626.

УДК 004.8

ВИМОГИ ЩОДО СТРУКТУРИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СТАНУ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Добришин Ю.Є. (ydobryshyn@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

В матеріалах тез, на підставі проведеного аналізу проблем застосування експертних систем як інтелектуальних рішень для захисту конфіденційних даних, надаються рекомендації щодо вимог до складу та функціонування експертної системи оцінки стану захисту інформації на підприємстві.

Складність сучасних IT-ландшафтів вимагає інтелектуальних рішень для зменшення ризиків і захисту конфіденційних даних. Експертні системи, галузь штучного інтелекту, що характеризуються здатністю імітувати людський досвід у певних галузях, пропонують перспективну модель для зміцнення інформаційної безпеки в системах підприємств. Використовуючи базу знань, експертні системи можуть аналізувати, виявляти та реагувати на інциденти безпеки швидко і точно.

Експертні системи можуть сприяти різним аспектам управління безпекою, включаючи виявлення вторгнень, оцінку вразливостей, управління інцидентами та подіями безпеки. Використовуючи специфічні знання і можливості виведення, експертні системи можуть автономна виявляти аномальну поведінку, класифікувати інциденти безпеки і рекомендувати заходи щодо їх усунення. Більше того, такі системи можуть покращити процеси прийняття рішень, надаючи своєчасну інформацію про нові загрози та еволюцію векторів атак.

Незважаючи на свої незаперечні переваги, експертні системи не позбавлені недоліків. Розробка надійної бази знань для експертної системи з інформаційної безпеки вимагає залучення досвіду фахівців. Цей процес може бути трудомістким і дорогим, оскільки передбачає тривалі співбесіди і сесії збору знань з аналітиками з безпеки і фахівцями з реагування на інциденти. Крім того, інформаційні технології постійно розвивається, що вимагає постійної підтримки бази знань для включення нових загроз, вразливостей і стратегій їх усунення.

Традиційні експертні системи часто стикаються зі складними, неоднозначними ситуаціями, які вимагають людського оцінювання та адаптації. Їм може бути складно впоратися з непередбачуваними загрозами безпеці або ситуаціями, які значно відрізняються від встановлених шаблонів атак. Наприклад, експертній системі може бути не в змозі ефективно реагувати на атаки «нульового дня». Хоча деякі сучасні системи включають алгоритми машинного навчання для адаптації до нових моделей, їхня ефективність у повністю непередбачуваних сценаріях залишається проблемою.

Досвід розробки та впровадження експертних систем доказує актуальність їх застосування на підприємствах. Фахівцями у галузі розробки експертних систем постійно здійснюються роботи щодо розробки та впровадження експертних систем та надаються пропозиції до їх складу, особливо з питань оцінки стану захисту інформації на підприємстві.

У зазначеному матеріалі тез надається спроба надати пропозиції щодо вимог до структури та функціонування експертної системи, яка призначена здійснювати оцінку стану захисту інформації під час її обробки на підприємстві.

НТБОНТУ

Структура експертної системи оцінки стану захисту інформації на підприємстві повинна складатися з окремих функціональних підсистем, що охоплюють комплекс функціональних завдань розв'язуваних інформаційними технологіями підприємства. До функціональних підсистем відносяться:

Підсистема управління користувачами, яка забезпечує ведення баз даних користувачів і їх привілеї в підсистемі. Користувач має в підсистемі ролі, які визначають рівні їх доступу.

Підсистема управління проектами. У цій підсистемі описуються всі проекти, які розробляються (назва проекту, лагідне опис проекту, дата початку проекту, дата закінчення проекту, розробник проекту, лідер групи), ведення бази розробників проекту, для видачі завдань розробникам, облік помилок в проекті, кількість проведеного часу розробником, над якою-небудь розв'язуваної завданням.

З точки зору програмно-технічної реалізації в експертної системі оцінки стану захисту інформації повинні бути три (3) загальносистемних рівня:

- рівень вирішення прикладних завдань - забезпечує безпосереднє досягнення мети функціонування системи шляхом вирішення управлінських, інформаційних, операційних і розрахункових завдань, а також взаємозв'язок з оперативним персоналом, обмін запитами і результатами рішення з зовнішньої інформаційним середовищем в термінах предметної області;

- рівень управління інформаційними ресурсами - утворює інформаційне ядро системи, яке складається з реляційної бази даних;

- рівень представлення інформації користувачеві - забезпечує графічний інтерфейс у вигляді WEB-сторінок, що відображаються в браузері.

Інформаційний обмін між компонентами системи має базуватися на використанні перспективних засобів зв'язку - оптоволоконних, ISDN тощо. Телекомунікаційна система зв'язку повинна бути відкритою системою і мати доступ до мережі Internet через шлюзи. Програмні і апаратні засоби повинні забезпечувати відповідні стандартні мережеві сервіси.

Функціонування експертної системи оцінки стану захисту інформації необхідно забезпечити в режимі реального масштабу часу. Система повинна постійна розвивається, а також необхідно передбачити можливість модернізації системи з метою підвищення її ефективності шляхом впровадження нових інформаційних технологій.

Склад програмних засобів в системі визначається в залежності до розв'язування функціональних завдань. У якості мови програмування, пропонується застосовувати сучасні мови програмування, наприклад Python, Java. Перевагами такого рішення є досить висока продуктивність роботи програм, під час застосування експертної системи на базі платформ операційних систем Windows та Linux.

Надійність експертної системи повинна забезпечуватися дублюванням її основних елементів, оперативністю заміни програмно-технічних засобів, які вийшли з ладу, сумісністю технічних засобів. Вихід з ладу окремого елемента підсистеми не повинен призводити до порушення її працездатності.

Для забезпечення надійного функціонування системи програмне, інформаційне, математичне та лінгвістичне забезпечення повинні бути орієнтовані на:

- збільшення достовірності інформації, яка вводиться, обробляється, циркулює і видається користувачеві;

- забезпечення цілісності баз даних;

- виключення або зменшення можливості несанкціонованого, випадкового або навмисного втручання в процес функціонування системи, зміни структури і змісту баз даних;

- фіксацію і, при необхідності, документування фактів помилкових дій користувачів і (або) несанкціонованого втручання в структуру і зміст баз даних.

Для забезпечення цілісності баз даних повинен бути передбачений режим збереження баз даних з використанням сучасних технологій резервування інформації.

Важливим фактором експертної системі оцінки стану захисту інформації є вимоги до її безпеки. Вимоги до безпеки повинні бути відображені в експлуатаційних документах і забезпечувати безпеку під час монтажу, налагодження, експлуатації та ремонту технічних засобів вказаної системи. Технічні засоби експертної системи не повинні створювати шуми і вібрації, електромагнітні поля надвисоких частот, жорсткі і іонізуючі випромінювання, рівні яких перевищують допустимі норми. Монітори робочих станцій та серверів повинні мати низький

рівень електромагнітного випромінювання відповідно існуючих санітарних норм. Приміщення, в яких розміщуються технічні засоби експертної системи, повинні бути оснащені протипожежною сигналізацією необхідного рівня.

Захист інформації від несанкціонованого доступу повинен реалізуватися організаційно-адміністративними і програмно-апаратними заходами. Експертна система оцінки захисту інформації повинна реалізовувати сукупність узгоджених щодо часу і місця застосування програмно-апаратних заходів, які ґрунтуються на принципах доцільності, безперервності і комплексності.

Такі заходи повинні включати блокування несанкціонованого доступу до інформації або її носіїв, перевірку справності та працездатності технічних засобів і систем обробки інформації та життєзабезпечення, а також застосування програмних засобів захисту і обмеження несанкціонованого доступу.

Важливим фактором є впровадження та інтеграція алгоритмів машинного навчання з експертними системами, яка дозволити системам вчитися на власному досвіді та адаптуватися до нових загроз. Така здатність може подолати вразливість систем, заснованих на правилах, і підвищити здатність системи щодо виявлення кібератак.

Таким чином підсумовуючи сказане необхідно зазначити, що загалом, експертні системи є цінним інструментом для посилення інформаційної безпеки підприємства. Автоматизуючи завдання, полегшуючи виявлення загроз і реагування на них, а також сприяючи обміну знаннями, експертні системи можуть значно посилити безпеку організації.

Однак для успішного впровадження необхідно усвідомлювати виклики, пов'язані з набуттям знань, їх поясненням та інтеграцією.

Майбутнє таких систем полягає у використанні досягнень машинного навчання для створення більш адаптивних та інтелектуальних систем безпеки. Постійно вдосконалюючи та інтегруючи ці технології, підприємства можуть використовувати можливості експертних систем, щоб випереджати, виявляти, аналізувати та знищувати ландшафт сучасних кіберзагроз.

Список використаної літератури

[1] B. Ioshchikhes, M. Frank, and M. Weigold, “A Systematic Review of Expert Systems for Improving Energy Efficiency in the Manufacturing Industry,” *Energies*, vol. 17, no. 19, p. 4780, Sep. 2024, doi: 10.3390/en17194780.

[2] A. A. Mohammed Al-Mafrji, Y. I. Hamodi, S. G. Hassn, and A. B. Mohammed, “Analyzing the use of expert systems in improving the quality of decision-making,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 3 (121), pp. 73–80, Feb. 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.274584.

[3] A. T. Rayson, “A review of expert systems principles and their role in manufacturing systems,” *Robotica*, vol. 3, no. 4, pp. 279–287, Oct. 1985, doi: 10.1017/S0263574700002393.

[4] J. Liebowitz, Ed., *The Handbook of Applied Expert Systems*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1997.

[5] B. Ioshchikhes, M. Frank, G. Elserafi, J. Magin, and M. Weigold, “Developing Expert Systems for Improving Energy Efficiency in Manufacturing: A Case Study on Parts Cleaning,” *Energies*, vol. 17, no. 14, p. 3417, Jul. 2024, doi: 10.3390/en17143417

НТБОНТУ

УДК 004.85:004.912

ПЛАТФОРМА МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Єрдуганов А.О., Попова М. О.
(6917657@stud.op.edu.ua, popova.m.o@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У тезах представлено платформу мультимодального аналізу табличних даних із LLM, що забезпечує запити природною мовою до CSV/XLSX, генерує керований pandas-код у пісочниці з AST-перевірками, ролями та сесійною ізоляцією. Архітектура FastAPI/REST із JWT, аудит запитів і коду, низькі затримки й готовність до інтеграції

Постановка проблеми

У більшості організацій табличні дані (CSV/XLSX) лишаються основним носієм аналітики. Проте побудова запитів і перевірка результатів вимагають компетенцій у SQL/pandas, що підвищує бар'єр входу й час отримання відповідей. Типові NLP-інтерфейси до БД зосереджені на генеруванні SQL, рідко забезпечуючи пісочницю для коду, рольові обмеження, прозорий аудит і сесійну ізоляцію завантажених користувачем таблиць.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасні підходи NL→SQL (Vanna.ai, Defog.ai, Dataherald) і фреймворки агентивних систем (LangChain/FAISS) знижують поріг роботи з даними, але часто ігнорують політики безпеки виконання довільного коду, ведення відтворюваного журналу дій, а також сценарії «завантажив локальний CSV і одразу ставлю запитання». Потребує уваги проєктування архітектури, де LLM генерує лише керований pandas-код, а виконання відбувається в обмеженому середовищі з AST-перевірками.

Постановка задачі

Мета роботи — створити веб-платформу, яка дозволяє ставити запитання природною мовою до завантажених таблиць та отримувати перевірені аналітичні відповіді (таблиці/агрегати/прості графіки), забезпечивши: 1) політики безпеки коду (пісочниця, AST-фільтри, рольові обмеження), 2) сесійну ізоляцію датасетів (SID), 3) прозорий аудит (історія запитів, код, час виконання), 4) REST-інтерфейс для вбудування.

Виклад основного матеріалу

Архітектура — клієнт-сервер на FastAPI/REST з JWT-аутентифікацією; фронтенд — легка HTML/JS-оболонка. Користувач завантажує CSV/XLSX (мульти-шіти), система інферує схему (імена/типи/приклади) й формує підказку для агента. LLM (через LangChain) генерує ЛИШЕ pandas-код із контрактом: результат у змінній result і приведення до табличного вигляду через as_df(). Перед виконанням код проходить двоступеневу перевірку: (а) політики безпеки (заборона import/IO/network/eval/exec), (б) AST-аналіз дозволених методів; для ролі guest дозволені лише min/max/sum. Схему роботи ШІ-агента зображено на рис. 1.

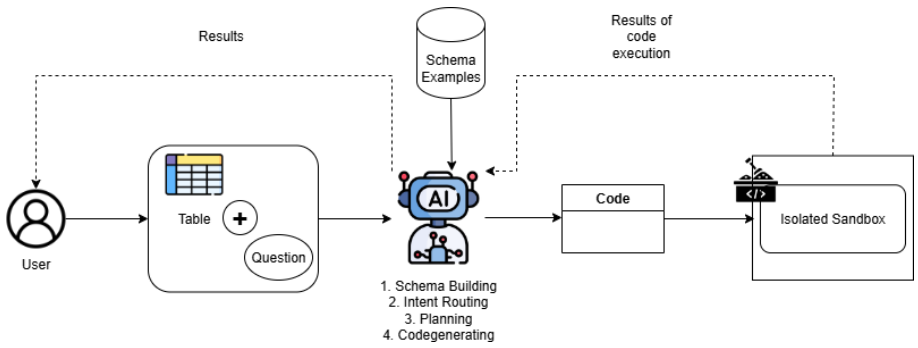


Рисунок 1 – Схема роботи ШІ-агента

Виконання ізольоване (обмежений builtins, лише pd та as_df). Результат перетворюється на прев'ю (до 10 рядків) і коротку текстову відповідь; у лог записуються питання, код, часові мітки, використані колонки.

Зберігання: метадані користувачів і історія — SQLite; дзеркало подій — MongoDB (асинхронно через Motor) для подальшої аналітики. Сесійний cookie SID прив'язує кошик таблиць до браузера; JWT у заголовку Authorization керує правами. Передбачено ендпоїнти /auth/*, /api/upload, /api/ask, /api/history, /api/dashboard. Додатково реалізовано авто-«гарячий» фікс поширених помилок (to_frame → as_df) без порушення політик.

Результати

Платформа забезпечує роботу «відразу після завантаження файлу»: користувач формулює питання, отримує табличний фрагмент та короткий підсумок; гість обмежений простими метриками, авторизований користувач — повним набором аналітичних операцій pandas. У середньому час планування й генерації коду становить соті-десятки мілісекунд (без урахування LLM), виконання — від десятків мілісекунд до кількох сотень (залежно від розміру таблиці). Журнал дій забезпечує відтворюваність і аудит.

Висновки

Запропоновано цілісну систему аналітики табличних даних із натуральномовним інтерфейсом, де безпека виконання коду і відтворюваність є базовими властивостями. Поєднання AST-політик, ролей і журнальовання робить рішення придатним для навчальних, дослідницьких і бізнес-сценаріїв. Подальші роботи: інтеграція векторного пошуку для текстових колонок, розширення бібліотеки візуалізацій, масштабування сховищ історії та тонке керування семантикою домену (словник метрик/псевдоніми).

Список використаної літератури

[1] McKinney W. Python for Data Analysis. 3rd ed. O'Reilly, 2022.

[2] RFC 7519: JSON Web Token (JWT). IETF, 2015.

[3] Tiwari P., et al. Natural Language to SQL: A Systematic Literature Review. Information Systems, 2023.

[4] LangChain Documentation: Agents, Tools, and Retrieval. 2024–2025.

[5] Douze M., Jégou H. FAISS: A Library for Efficient Similarity Search. arXiv, 2024.

УДК: 004.8

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МАКРОСТРУКТУРИ ТКАНИН ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Залуцька О.О, Мазурець О.В.
(zalutsk.olha@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

Запропоновано нейромережеву технологію аналізу макроструктури тканин, що побудована на архітектурі EfficientNet-B0, для неінвазивного визначення співвідношення синтетичних і натуральних волокон у текстильних матеріалах. Проведено навчання моделі на спеціалізованому наборі даних, що охоплює три інтервали синтетичної складової (30–50 %, 50–70 %, 70–100 %), сформовані на основі мікрозображень тканин з контрольованими умовами освітлення. Отримано результати за основними метриками: Accuracy = 0.927, F1 = 0.932, що підтверджує практичну придатність моделі до автоматизованих виробничих систем реального часу. Модель продемонструвала чутливість до макротекстурних відмінностей і здатність узагальнювати структуру тканин, забезпечуючи розпізнавання крайових і проміжних класів синтетичної складової. Запропонована технологія може бути інтегрована у роботизовані системи технічного зору для автоматизованого сортування, контролю якості та рециклінгу текстилю, що сприяє розвитку інтелектуальних виробничих комплексів і підтримує концепцію циркулярної економіки.

Інтенсивний розвиток технологій глибинного навчання в останні роки створює передумови для інтеграції методів штучного інтелекту в автоматизовані виробничі процеси. Зокрема, у текстильній промисловості постає завдання неінвазивного аналізу складу тканин, що має ключове значення для забезпечення ефективного сортування, контролю якості та подальшої переробки матеріалів [1]. Традиційні спектральні або хімічні методи, хоча й забезпечують високу точність визначення вмісту волокон, залишаються трудомісткими, дорогими й часто руйнівними для зразків. Тому особливої актуальності набувають технології, що ґрунтуються на комп'ютерному зорі та глибинних нейронних мережах [2], які здатні виявляти характерні текстурні ознаки матеріалів і класифікувати їх за візуальними параметрами.

Запропонована нейромережева технологія аналізу макроструктури тканин реалізує неінвазивний підхід до визначення відсоткового співвідношення синтетичних і натуральних волокон на основі цифрових зображень поверхні зразків. Вона формує інформаційне підґрунтя для побудови інтелектуальних виробничих систем, що працюють у режимі автоматизованого технічного зору. Основою технології є модель глибинного навчання EfficientNet-B0, яка поєднує компактність архітектури з високою продуктивністю, забезпечуючи баланс між глибиною, шириною та роздільною здатністю мережі. Технологічний процес охоплює всі етапи перетворення даних: від отримання макрозображень тканин за допомогою цифрового мікроскопа до автоматизованої класифікації з визначенням імовірності належності зразка до певного інтервалу синтетичної складової. Для навчання моделі використовувався власноруч сформований набір даних, що містить зображення тканин із трьома рівнями синтетичного волокна 30–50, 50–70 та 70–100 відсотків. Зразки було отримано від виробників і сфотографовано за контрольованих умов освітлення, що забезпечило стабільність текстурних характеристик. Такі параметри дозволили моделі зосередитися на суттєвих відмінностях макроструктури, пов'язаних зі змінами вмісту синтетичних волокон.

Архітектура EfficientNet-B0 базується на філософії збалансованого масштабування мережевих параметрів. На відміну від традиційних CNN [3], які збільшують кількість шарів або фільтрів без урахування пропорцій, ця модель використовує єдиний коефіцієнт масштабування, що рівномірно змінює глибину, ширину та роздільну здатність. Такий підхід дозволяє досягти високої точності за мінімального споживання обчислювальних ресурсів, що є критично важливим для промислових систем із обмеженими обчислювальними можливостями. У межах експерименту модель навчалася із використанням оптимізатора Adam, функції втрат Cross-Entropy та навчального коефіцієнта, налаштованого емпірично для забезпечення стабільної збіжності.

У процесі тренування модель поступово навчалася розрізняти текстурні патерни тканин, що відповідають різним рівням синтетичної складової. Було виявлено, що ефективність класифікації суттєво залежить від якості освітлення та ступеня однорідності зразків. Модель продемонструвала здатність виявляти мікрорельєфні зміни у структурі волокон, які не є помітними для людського ока, але формують специфічні розподіли інтенсивностей у межах зображення. Це свідчить про чутливість EfficientNet-B0 до текстурних мікроелементів, що відрізняють натуральні та синтетичні домішки. Результати валідації показали, що модель досягає точності 92.7 % та F1-міри 93.2 %. Ці показники підтверджують практичну придатність запропонованої технології для автоматизованих систем аналізу, які працюють у режимі реального часу.

Аналіз матриці неточностей показав, що модель найкраще розпізнає класи з мінімальним і максимальним умістом синтетики, тоді як проміжна група демонструє часткове перекриття з обома крайніми інтервалами. Це природно з огляду на поступовий перехід властивостей матеріалу, коли збільшення частки полімерних волокон змінює щільність, рельєф та оптичну відбивну здатність поверхні.

Отримані результати свідчать про здатність EfficientNet-B0 формувати узагальнене представлення текстильних макроструктур, що дозволяє застосовувати її в автоматизованих лініях сортування. Виробнича інтеграція такої системи може передбачати використання цифрових камер високої роздільності, розміщених над конвеєрною стрічкою, що забезпечить безперервний аналіз проходячих зразків. У разі підключення до виконавчих модулів сортувального обладнання отримані рішення моделі можуть безпосередньо визначати траєкторію переміщення матеріалів до відповідних контейнерів. Таким чином, розроблена технологія є важливою складовою переходу від ручного або напівавтоматизованого сортування до повністю інтелектуалізованого виробничого процесу.

Проведені дослідження засвідчують, що обчислювальні вимоги EfficientNet-B0 залишаються прийнятними для реалізації на графічних процесорах середнього класу, таких як NVIDIA RTX 3050. Це створює передумови для практичного впровадження технології в лабораторних або виробничих умовах без потреби у високопродуктивних обчислювальних кластерах. Крім того, обмежена кількість параметрів моделі дозволяє зменшити затримку обробки, що є критично важливим у реальному часі, коли система повинна здійснювати класифікацію без уповільнення потоку об'єктів на конвеєрі.

Застосування цієї технології може суттєво підвищити ефективність систем контролю якості текстильних виробів. У сучасних умовах цифрової трансформації промисловості поєднання штучного інтелекту з автоматизованими лініями створює новий рівень точності та надійності у прийнятті рішень. Модель EfficientNet-B0 у складі запропонованої технології може бути використана як автономний модуль технічного зору, що підключається до роботизованих систем через стандартні інтерфейси обміну даними. Це дозволяє реалізувати адаптивне сортування матеріалів залежно від їх фізико-хімічних характеристик, що визначаються на основі аналізу текстурних ознак.

Надалі технологію можна розширювати шляхом багатоканальної обробки зображень або поєднання RGB і спектральних даних, що забезпечить додаткову стійкість до зміни умов освітлення. Розроблена структура дає можливість інтегрувати модуль оцінювання невизначеності прогнозів, що важливо для прийняття рішень у критичних виробничих сценаріях. У випадках низької впевненості система може ініціювати повторне сканування зразка або передавати його для ручної перевірки, тим самим зменшуючи ймовірність помилкової класифікації.

З наукового погляду технологія демонструє доцільність використання глибинних моделей із компактними архітектурами для розв'язання прикладних завдань класифікації матеріалів. Вона формує методологічне підґрунтя для побудови систем машинного зору, у яких параметри зображення безпосередньо перетворюються у векторні ознаки, релевантні до фізичних властивостей об'єкта. Цей підхід дозволяє відмовитися від ручного проектування дескрипторів, що традиційно вимагало значних експертних зусиль.

Розроблена нейромережева технологія може бути використана не лише для сортування відходів, а й для контролю однорідності тканин на різних стадіях виробництва. Вона забезпечує автоматизований моніторинг якості сировини та готової продукції, що особливо важливо для підприємств, орієнтованих на експорт і відповідність міжнародним стандартам сталого виробництва. Крім того, результати моделі можуть бути інтегровані в системи прогнозування довговічності матеріалів, де показники макроструктурної однорідності слугують індикаторами зношуваності.

Отже, з огляду на актуальні тенденції розвитку промислового штучного інтелекту, впровадження подібних технологій сприяє переходу до концепції циркулярної економіки. Можливість автоматичного визначення складу тканин без руйнівних методів аналізу створює передумови для ефективної переробки текстильних відходів і зменшення екологічного навантаження. Таким чином, нейромережева технологія на основі EfficientNet-B0 не лише підвищує технологічний рівень виробництва, а й підтримує екологічну сталість промислових процесів.

Список використаних джерел

[1] S. Lee, Y. Han, and C. Yun, "Development of a Fabric Classification System Using Drapability and Tactile Characteristics", Fashion and Textiles, vol. 11, no. 1, p. 2, 2024. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s40691-023-00368-2 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] A. Pokhytun, O. Mazurets, M. Molchanova, and O. Tyschenko, "Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN," in Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions", 2024, pp. 35–40.

[3] O. Mazurets, M. Molchanova, V. Klimenko, and D. Klopotivskyi, "Datalogic Model for Image Recognition by Convolutional Neural Network Using Cloud Services" in Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects", Oslo, Norway, 2024, pp. 64–68.

УДК 004.9

РОЗРОБКА ЧАТ-БОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ RAG ДЛЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ ОСВІТИ

Зацерковний Р. Г. (zatserkovnyi.rostyslav@gmail.com)
Львівський торговельно-економічний університет (Україна)
Зацерковна Р. С. (roksoliana.s.zatserkovna@lpnu.ua)
Національний університет "Львівська політехніка" (Україна)

У тезах розглядається застосування Retrieval-Augmented Generation (RAG) для створення університетських чат-ботів, що інтегрують освітній контент у діалоги зі студентами. Визначено основні завдання побудови таких систем, розкрито архітектуру рішень та наведено приклади застосування у навчальному процесі. Сформульовано висновки щодо перспективності використання RAG у вищій освіті.

Сучасні університети часто стикаються з проблемою надмірного інформаційного навантаження. Навчально-методичні комплекси, внутрішні регламенти, адміністративні документи та наукові публікації створюють розгалужене інформаційне середовище, у якому студентам і викладачам складно швидко орієнтуватися. Традиційні пошукові системи не завжди забезпечують достатній рівень актуальності результатів, а класичні чат-боти обмежуються сценаріями із заздалегідь визначеними відповідями. У результаті виникає потреба у гнучких інтелектуальних інструментах, які б поєднували точність пошуку з природністю мовної взаємодії.

Одним із перспективних підходів до вирішення цієї проблеми є *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) — архітектура, що поєднує методи пошуку релевантних документів із можливостями генеративних мовних моделей (LLM). Формально RAG визначається як гібридний підхід до обробки природної мови, який інтегрує зовнішні джерела знань у процес генерації тексту для підвищення точності та актуальності відповідей. Така комбінація дозволяє уникнути "галюцинацій" моделей, що виникають при генерації тексту без прив'язки до достовірних джерел, і водночас зберігає гнучкість та природність діалогу.

Для університетської освіти RAG відкриває можливість створення інтелектуальних чат-ботів, здатних працювати з розподіленими базами знань — навчальними матеріалами, бібліотечними каталогами, внутрішніми нормативними документами. На відміну від статичних FAQ чи LMS-систем, чат-боти з архітектурою RAG здатні формувати адаптивні відповіді у реальному часі, надаючи користувачам контекстну та перевірену інформацію. Це створює підґрунтя для індивідуалізованої підтримки студентів, зменшення навантаження на викладачів і підвищення ефективності управлінських процесів у вищій школі.

Є низка способів використання чат-ботів на основі Retrieval-Augmented Generation (RAG) у сучасному університетському середовищі. Вони здатні забезпечити студентам доступ до навчально-методичних матеріалів у діалоговій формі з посиланням на перевірені джерела, а також виконувати функції адміністративного помічника: відповідати на питання про розклад занять, стипендії чи процедури реєстрації. Таким чином, RAG-боти поєднують освітню й організаційну підтримку в одному інструменті.

Важливим напрямом є забезпечення академічної доброчесності та розвиток науково-дослідницької діяльності. RAG-боти можуть надавати консультації щодо правил цитування та оформлення робіт, що знижує ризик помилок і сприяє дотриманню стандартів. У науковому контексті вони допомагають студентам і аспірантам формувати огляди літератури, знаходити релевантні джерела у бібліотеках та репозитаріях, оптимізуючи час, витрачений на пошукову діяльність.

Не менш значущим є їхнє застосування у сфері міжнародної співпраці та інклюзивності. Чат-боти з підтримкою кількох мов полегшують комунікацію з іноземними студентами, а адаптивні формати подачі матеріалу (спрощені виклади, аудіоверсії) роблять навчальний процес доступнішим для осіб з особливими потребами.

На сьогодні існує багато засобів для розробки чат-ботів на основі Retrieval-Augmented Generation (RAG), які відрізняються рівнем складності, вимогами до технічної підготовки та можливостями інтеграції. Одні рішення орієнтовані на швидке створення прототипів у no-code середовищах, інші пропонують більш гнучкі фреймворки для глибокої інтеграції з університетськими системами. Для освітніх закладів особливо актуальними є інструменти, які

дозволяють розгортати RAG-ботів із мінімальними ресурсними витратами, зберігаючи при цьому якість і достовірність інформаційної підтримки.

Деякі великі платформи вже пропонують готові інструменти для інтеграції чат-ботів із зовнішніми базами знань. Наприклад, OpenAI Assistants API дозволяє підключати документи чи бази даних як “зовнішню пам’ять” для моделі. Аналогічні можливості надають Azure AI Search від Microsoft чи Amazon Bedrock Knowledge Bases, що дозволяє без програмування будувати RAG-застосунки на корпоративних документах. Для більш гнучких рішень використовуються інструменти LangChain та LlamaIndex, які забезпечують зв’язок між мовною моделлю та різними сховищами даних (файли PDF, SQL-бази, бібліотечні каталоги). Хоча ці фреймворки вимагають мінімальних знань програмування, вони мають широку спільноту та велику кількість прикладів, що знижує бар’єр входу.

Крім того, поширені системи управління навчанням (LMS), як-от Moodle, поступово отримують модулі з підтримкою AI-асистентів. Вони дають можливість додавати чат-боти, які можуть “читати” завантажені викладачем матеріали і відповідати на питання студентів. Це особливо цінно для університетів, які вже використовують LMS як основне середовище навчання. В цьому випадку RAG-рішення можна налаштувати буквально за кілька годин.

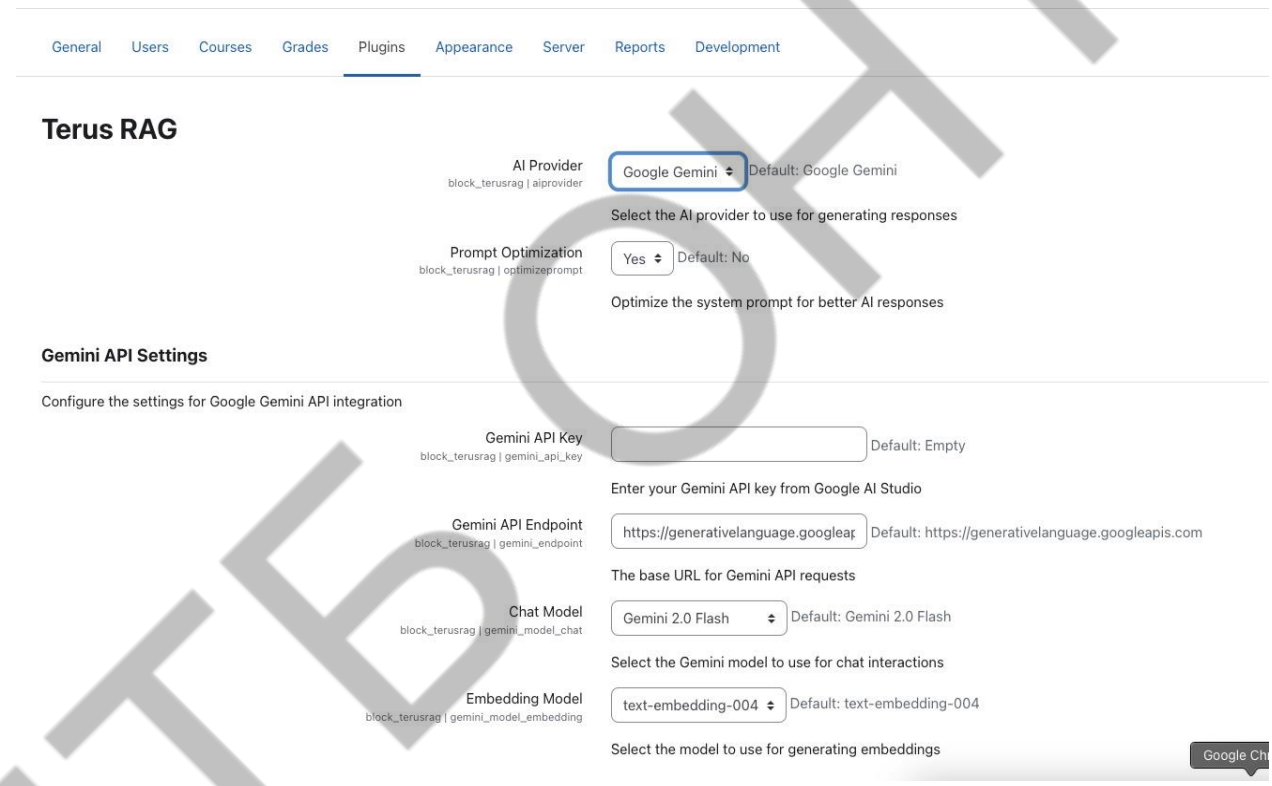


Рис. 1. Приклад налаштування модуля Terus RAG у Moodle з інтеграцією Google Gemini API

Використання чат-ботів на основі Retrieval-Augmented Generation відкриває нові можливості для університетської освіти. Такі системи здатні підвищити ефективність навчального процесу, забезпечити студентам оперативний доступ до методичних матеріалів і довідкової інформації, а також зменшити навантаження на викладачів та адміністративний персонал. Окрім освітньої підтримки, RAG-боти можуть сприяти дотриманню академічної доброчесності, розширювати можливості наукової роботи та полегшувати інтеграцію іноземних студентів. Простота розгортання таких рішень за допомогою сучасних платформ і no-code інструментів робить їх доступними навіть для університетів із обмеженими ресурсами.

Список використаної літератури

[1] OpenAI. ChatGPT. [Online]. Available: https://openai.com/chatgpt
[2] LangChain. Building applications with LLMs through composability. [Online]. Available: https://www.langchain.com

[3] Weaviate. Vector database for AI applications. [Online]. Available: https://weaviate.io
[4] Moodle Docs. Integrating AI in Moodle. [Online]. Available: https://docs.moodle.org
[5] Microsoft Azure AI. Azure Cognitive Search and RAG. [Online]. Available: https://azure.microsoft.com/en-us/products/ai-services
[6] Moodle Plugins Directory: Terus RAG. [Online]. Available: https://moodle.org/plugins/block_terusrag

УДК 004.8:159.9

РОЗРОБКА ВЕБ-СЕРВІСУ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ СУЧАСНИХ СОЦІАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

Зінін М.Ю., Ізвалов О.В.
(crabgmvs@gmail.com, alexey@globalgamejam.org)
Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті (Україна)

У доповіді розглядається концепція та практична реалізація веб-сервісу психологічної підтримки "Спокій", що базується на великій мовній моделі (LLM) Google Gemini. Проаналізовано гостру соціальну проблему недостатньої доступності психологічної допомоги в Україні, що загострилася внаслідок повномасштабної війни. Запропоновано архітектуру системи, що забезпечує анонімність, цілодобову доступність та безпеку для користувачів. Продемонстровано результати розробки у вигляді мінімального функціонального продукту (Minimum Viable Product, MVP), що доводить ефективність застосування штучного інтелекту (ШІ) для надання первинної емоційної підтримки.

Вступ. В умовах безпрецедентних соціальних та психологічних викликів, з якими зіткнулося українське суспільство, проблема доступності кваліфікованої психологічної допомоги набула критичної ваги. Традиційна система охорони психічного здоров'я перевантажена, а такі фактори, як соціальна стигма, вартість послуг та географічна віддаленість, створюють додаткові бар'єри для мільйонів громадян. Технології на основі ШІ відкривають нові можливості для створення інноваційних інструментів, здатних частково задовольнити цю гостру потребу.

Постановка проблеми. Метою даної роботи є розробка концептуальної моделі та функціонального прототипу веб-сервісу психологічної підтримки на базі ШІ. Цей сервіс має стати доступним, безпечним та ефективним інструментом для надання первинної емоційної допомоги, заповнюючи прогалину між гострою потребою населення в підтримці та обмеженими можливостями традиційної системи охорони здоров'я.

Побудовано план робіт, що дозволить досягти поставленої мети. Він включає три основні напрями.

1. Надання користувачам миттєвої, анонімної та цілодобової психологічної підтримки. На відміну від класичної терапії, що вимагає попереднього запису та очікування, ШІ-асистент доступний 24/7. Це критично важливо для людей, які потребують допомоги в неробочий час або переживають гострий емоційний стан. Анонімність, у свою чергу, допомагає подолати соціальну стигму, що є значним бар'єром для звернення по допомогу.

2. Використання принципів когнітивно-поведінкової терапії (КПТ) та емпатичного слухання. Вибір КПТ обґрунтований її структурованим підходом, який добре піддається алгоритмізації та спрямований на виявлення й корекцію деструктивних патернів мислення. Емпатичне слухання, реалізоване через можливості LLM, є основою для побудови довірливого та конструктивного діалогу.

3. Реалізація безпечного простору для первинного опрацювання негативних емоцій. Система має гарантувати повну конфіденційність даних користувача шляхом шифрування як при передачі, так і при зберіганні. Це створює середовище, в якому людина може вільно висловлювати свої почуття без страху осуду чи розголошення.

Коректно перенаправляти користувача до професійних служб допомоги. Розуміючи обмеження ШІ, система повинна мати вбудований "запобіжний механізм".

Система психологічної підтримки має бути навчена розпізнавати ключові слова та фрази, що свідчать про кризові стани (наприклад, ризик самоушкодження), і негайно надавати контакти верифікованих гарячих ліній та спеціалізованих організацій, чітко наголошуючи, що не є заміною професійної терапії.

Виклад суті дослідження. Запропонований веб-сервіс "Спокій" базується на клієнт-серверній архітектурі. Серверна частина (бекенд) реалізована на Python з використанням мікрофреймворку Flask, що забезпечує швидку обробку запитів та легку інтеграцію з API великих мовних моделей. Клієнтська частина (фронтенд) розроблена на JavaScript з використанням бібліотеки React, що дозволяє створити динамічний інтерфейс. Для збереження даних використовується СУБД PostgreSQL.

Ключовим компонентом системи є ядро на основі Google Gemini. Його поведінка визначається спеціалізованим системним промптом, який інструктує ШІ діяти як емпатичний асистент. Промпт містить чіткі вказівки: використовувати техніки активного слухання (перефразування, уточнюючі питання), уникати медичних діагнозів та прямих порад, а також розпізнавати маркери кризових станів для подальшої переадресації. На поточному етапі розробки створено повноцінний MVP, що включає функціонал анонімної реєстрації, чату з ШІ та "Щоденника настрою" (Рис.1).

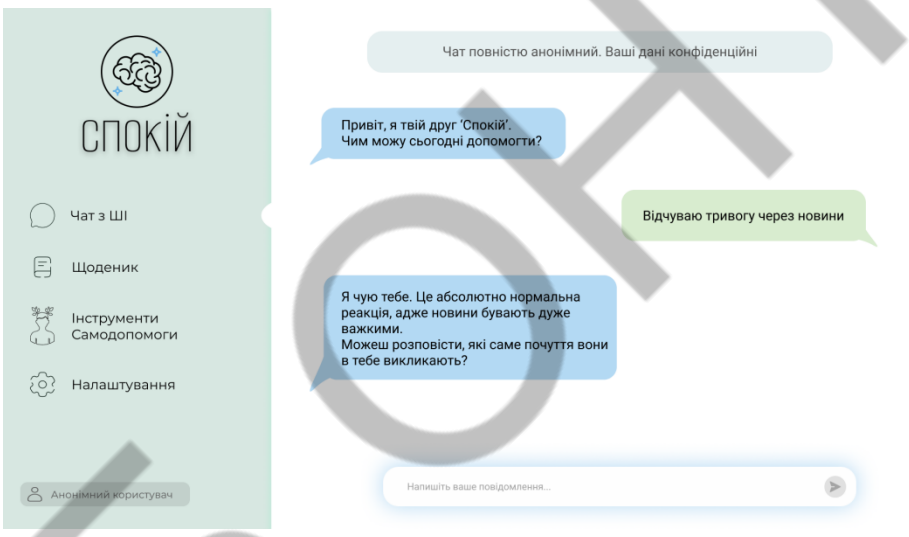


Рисунок 1 - Реалізовний MVP веб-додатку “Спокій”

Після успішної анонімної реєстрації користувач потрапляє на головний екран чату, де може розпочати діалог. Кожне повідомлення надсилається на бекенд, де воно обробляється та разом із системним промптом передається до моделі Gemini. Отримана відповідь повертається користувачеві в режимі реального часу, створюючи ефект живого спілкування. Окрім чату, реалізовано функціонал "Щоденника настрою", який дозволяє користувачеві відстежувати свій емоційний стан, що є одним із базових інструментів когнітивно-поведінкової терапії та сприяє саморефлексії. Такий комплексний підхід, що поєднує діалогову підтримку та інструменти для самоаналізу, становить основу запропонованого рішення.

Висновки.Запропонований підхід до розробки веб-сервісу "Спокій" демонструє високий потенціал застосування сучасних великих мовних моделей для вирішення гострих соціальних проблем у сфері ментального здоров'я. Основна мета роботи — створення функціонального MVP — була успішно досягнута.

Створений прототип підтверджує технічну можливість реалізації доступної, анонімної та масштабованої платформи для первинної психологічної підтримки. Розроблена архітектура є міцною основою, що дозволяє в майбутньому розширювати функціонал, додаючи нові інструменти самодопомоги. Успішна реалізація цього проєкту не лише пропонує практичний інструмент для допомоги громадянам в умовах сьогодення, а й відкриває шлях для подальших досліджень взаємодії "людина-ШІ" у чутливих соціальних контекстах та адаптації подібних систем для інших сфер.

НТБОНТУ

Ключові слова: штучний інтелект, психологічна підтримка, веб-сервіс, ментальне здоров'я, кризова допомога, чат-бот, Google Gemini, великі мовні моделі (LLM), Flask, React.

Список використаної літератури

[1] Міністерство охорони здоров'я України, "Всеукраїнська програма ментального здоров'я 'Ти як?'" 2023. [Online]. Available: https://www.moz.gov.ua/mental-health.
[2] Довідка.info, "Психологічна підтримка в умовах війни" 2024. [Online]. Available: https://dovidka.info/psyhologichna-pidtrymka-v-umovah-vijny/.
[3] K. E. Fitzpatrick, A. Darcy, and M. Vierhile, "Delivering Cognitive Behavior Therapy to Young Adults With Symptoms of Depression and Anxiety Using a Fully Automated Conversational Agent (Woebot): A Randomized Controlled Trial" JMIR Mental Health, vol. 4, no. 2, e19, 2017. [Online]. Available: https://mental.jmir.org/2017/2/e19/.
[4] G. Fiske, E. P. Henningsen, and A. E. Buyx, "Your Robot Therapist Will See You Now: Ethical Implications of Embodied Artificial Intelligence in Psychiatry, Psychology, and Psychotherapy" Journal of Medical Internet Research, vol. 21, no. 5, e13216, 2019. [Online]. Available: https://www.jmir.org/2019/5/e13216/.

УДК 004.383.8

ВИКОРИСТАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОШУКУ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ СЕМАНТИЧНОГО БАР'ЄРУ В РОБОТОТЕХНІЦІ

Іванишен М.К., Романюк О.Н.
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У роботі аналізується задача подолання семантичного розриву в робототехніці, де традиційні системи не здатні обробляти неструктуровані команди. Розглянуто практичні застосування, зокрема інтуїтивна людино-машинна взаємодія та семантичне розуміння сцени, де векторний пошук об'єднує сприйняття, розуміння мови та планування дій.

Традиційні підходи до автоматизації робототехнічних систем є ефективними у структурованих середовищах, але демонструють крихкість при зіткненні з невизначеністю реального світу. Задача полягає у нездатності цих систем обробляти неструктуровану семантичну інформацію. Це призводить до залежності від специфічних команд, заснованих на ключових словах, та збоїв у непередбачених ситуаціях. Сучасні роботи здебільшого обмежені «простими, прямими та явними мовними інструкціями» [3], що не відповідає природній людській комунікації. Ефективна людино-машинна взаємодія (HRI) вимагає досягнення «лінгвістичної та онтологічної згоди», яка імпліцитно присутня в мові, але недосяжна для традиційних методів, що створює «семантичний розрив».

Векторний пошук є механізмом для подолання цього семантичного бар'єру. Технологія перетворює різноманітні типи даних — текст, зображення, звуки — у єдиний, заснований на значенні, векторний простір (векторні вкладення). У цьому просторі семантична схожість між об'єктами відповідає їхній просторовій близькості, що дозволяє виконувати математичні операції для порівняння значень.

На відміну від пошуку за ключовими словами, що базується на лексичній відповідності, векторний пошук оперує семантичною близькістю, що робить його стійким до варіацій мови та синонімів (табл. 1).

У сучасних системах ця технологія реалізується через архітектуру Retrieval-Augmented Generation (RAG) [2]. RAG поєднує генеративну велику мовну модель (LLM) із зовнішньою векторною базою знань. Процес роботи RAG включає: 1) перетворення запиту користувача на вектор; 2) виконання векторного пошуку у базі знань для знаходження релевантних фрагментів інформації; 3) доповнення початкового запиту цим контекстом; 4) генерація LLM відповіді, «заземленої» на наданих фактах.

Цей підхід знижує ризик «галюцинацій» LLM та забезпечує доступ до актуальної інформації, що є вирішальним для безпеки в робототехніці. Ефективність RAG у великих масштабах забезпечується алгоритмами пошуку приблизних найближчих сусідів (ANN), такими як HNSW [1].

Інтеграція в робототехніку демонструється через такі можливості:

1. Інтуїтивна людино-машинна взаємодія. Команда користувача (наприклад, «Я хочу пити») перетворюється на вектор [3]. Цей вектор використовується для пошуку в мультимодальному просторі, що містить вкладення об'єктів у полі зору робота (пляшка води) та бібліотеки дій («взяти об'єкт»). Вектор «пляшки води» буде семантично найближчим до запиту «хочу пити», що дозволяє роботу зробити висновок про намір користувача без явної команди [3].

Табл. 1 - Порівняння пошукових підходів

Характеристика	**Пошук за ключовими словами**	**Векторний пошук**
Основа зіставлення	Лексична відповідність	Семантична близькість
Розуміння контексту	Низьке	Високе
Модальність даних	Переважно текст	Мультимодальний (текст, зображення, аудіо)
Стійкість до запитів	Чутливий до синонімів, помилок	Стійкий до варіацій мови, синонімів

2. Семантичне розуміння сцени. Робот використовує моделі комп'ютерного зору [4] для перетворення виявлених об'єктів на вкладення зображень. Ці вкладення існують в тому ж просторі, що і текстові, дозволяючи виконувати крос-модальне міркування. Наприклад, робот може візуально ідентифікувати об'єкт, а потім отримати пов'язану текстову інформацію (наприклад, «це крихкий об'єкт») зі своєї бази знань, збагачуючи сприйняття концептуальними знаннями [4].

Таким чином, векторний пошук забезпечує спільну репрезентативну основу, об'єднуючи окремі підгалузі робототехніки (сприйняття, розуміння мови, планування рухів) в єдину когнітивну архітектуру.

Висновки

Векторний пошук є трансформаційною технологією для робототехнічних систем, а не інкрементальним покращенням. Він долає фундаментальний семантичний розрив, надаючи машинам здатність до семантичного розуміння, що є передумовою для переходу до адаптивного інтелекту. Архітектура RAG, що спирається на векторний пошук, забезпечує надійну та верифіковану основу для міркувань, що є критично важливим для безпечних роботизованих операцій. Застосування цієї технології вже продемонструвало свою ефективність у сферах інтуїтивної людино-машинної взаємодії та автономного розуміння сцени.

Список використаної літератури

1. Y. A. Malkov and D. A. Yashunin, “Efficient and robust approximate nearest neighbor search using Hierarchical Navigable Small World graphs,” *arXiv preprint arXiv:1603.09320,* 2016.

2. P. Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, V. Karpukhin, N. Goyal, H. Küttler, M. Lewis, W. Yih, T. Rocktäschel, S. Riedel, and D. Kiela, “Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks,” in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), vol. 33, 2020, pp. 9459–9474

3. W. Li, X. Mu, X. Sun, P. Song, H. Su, and J. Zhang, “Intention Understanding in Human-Robot Interaction Based on Visual-NLP Semantics,” *Front. Neurorobot.*, vol. 14, Art. no. 610139, Feb. 2021, doi: 10.3389/fnbot.2020.610139.

4. A. Radford *et al.*, “Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision,” in *Proc. 38th Int. Conf. on Machine Learning* (ICML), 2021, pp. 8748–8763.

УДК: 004.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АРХІТЕКТУР ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ

Кадинська В.Д., Молчанова М.О.
(veronika.kadynska@gmail.com, m.o.molchanova@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

Досліджено ефективність нейромережевих методів класифікації залишків зруйнованих будівель, що дозволяють автоматизувати аналіз структурних фрагментів об'єктів за їхніми візуальними характеристиками. Експериментальна частина базується на порівнянні продуктивності двох альтернативних архітектур згорткової MobileNetV3-Large та трансформерної Vision Transformer, навчених на збалансованому наборі зображень фрагментів будівельних матеріалів. Результати показали, що обидві архітектури демонструють доволі високу точність класифікації, проте ViT перевищує MobileNetV3 за метрикою точності (Accuracy = 0.967) і забезпечує кращу стійкість до неоднорідних текстур та освітлювальних умов. Досліджуваний підхід дає змогу ефективно розпізнавати типи матеріалів у складних сценах руйнування, що підтверджує доцільність використання трансформерних архітектур у системах комп'ютерного зору для моніторингу стану інфраструктури та підтримки процесів відновлення.

Проблематика автоматизованого розпізнавання залишків зруйнованих будівель є надзвичайно актуальною в умовах постійного зростання кількості руйнувань інфраструктурних об'єктів та необхідності ефективного аналізу наслідків катастроф природного й техногенного характеру [1]. Виявлення структурних особливостей уламків, класифікація матеріалів і розмежування зон руйнування за типом поверхні створюють підґрунтя для побудови інтелектуальних систем оцінювання стану територій, що постраждали, а також для автоматизації процесів розбору будівельних залишків [2]. Використання методів комп'ютерного зору на базі глибинних нейромережевих архітектур відкриває можливість значного підвищення точності таких систем за рахунок поєднання контекстного аналізу з локальним розпізнаванням ознак [3].

Метою проведеного дослідження є обґрунтування вибору оптимальної нейромережевої архітектури для задачі класифікації залишків зруйнованих будівель за зображеннями фрагментів матеріалів та експериментальне порівняння ефективності двох підходів, які репрезентують різні концепції глибинного навчання згорткових та трансформерних моделей. Реалізація експериментів здійснювалася на основі власного набору даних, сформованого з високоякісних зображень фрагментів матеріалів, отриманих у реальних умовах спостереження. Кожен клас містив візуальні приклади уламків, бетону, цегли, арматури, скла та інших структурних компонентів, що формують характерну текстуру зруйнованої поверхні. Для забезпечення достовірності результатів зображення були попередньо очищені, масштабовані до уніфікованого розміру та збалансовані за кількістю прикладів кожного класу.

У якості першої досліджуваної архітектури використано модель MobileNetV3-Large, побудовану на принципах глибоких згорткових шарів із розширеними інвертованими блоками, які забезпечують ефективне стиснення ознак та мінімальне енергоспоживання. Ця модель оптимізована для роботи у мобільних і вбудованих системах, де важливими є компактність, швидкість і відносно невелика кількість параметрів. Вона використовує активаційну функцію hard-swish та механізми squeeze-and-excitation для адаптивного зважування каналів, що дозволяє більш точно виявляти важливі текстурні елементи.

Другою архітектурою стала Vision Transformer представник нового покоління моделей комп'ютерного зору, який ґрунтується на механізмах самоуваги, запозичених з текстових трансформерів. Модель розбиває вхідне зображення на патчі фіксованого розміру, перетворює їх у вектори ознак і застосовує багатоголову самоувагу для виявлення глобальних залежностей між різними частинами зображення. Такий підхід забезпечує здатність моделі вловлювати просторові закономірності, які важко ідентифікувати класичним згортковим операціям.

Навчання обох моделей здійснювалося в середовищі Google Colab із використанням бібліотек PyTorch і Accelerate, що дозволяють паралелізувати обчислення на графічному процесорі. У процесі навчання застосовувався оптимізатор AdamW з коефіцієнтом навчання 5e-5, функцією втрат кросентропії та ваговими коефіцієнтами, обчисленими з урахуванням дисбалансу класів.

Розмір пакета становив 64 зображення, а кількість епох дорівнювала шести. Для оцінки узагальнювальної здатності моделей використовувався поділ на тренувальну та тестову вибірки у співвідношенні 80 до 20 із стратифікованим розподілом класів.

У ході експериментів зафіксовано стабільну динаміку зменшення функції втрат для обох моделей. У випадку MobileNetV3-Large середнє значення втрат зменшилося від 0.9 на початковому етапі до 0.05 після шостої епохи, що свідчить про ефективне навчання та відсутність перенавчання. Для Vision Transformer цей показник знизився ще суттєвіше з 0.34 до 0.0047, що відображає надзвичайно високу швидкість збіжності та здатність моделі до глибокого узагальнення структури зображень. За підсумками тестування модель MobileNetV3-Large досягла точності класифікації 95.2 %, тоді як Vision Transformer забезпечив точність 96.7 %. Незважаючи на незначну різницю у значеннях, трансформерна архітектура показала більш стабільну поведінку на складних зображеннях, що містять неоднорідні текстури, відблиски та фонові елементи.

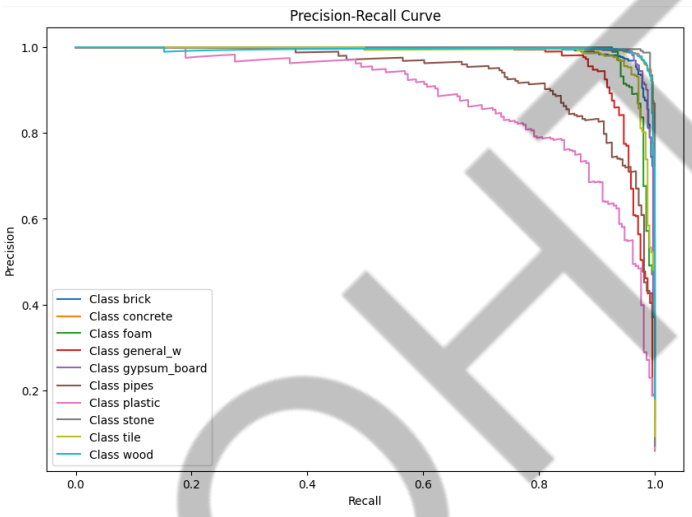


Рисунок 1 – Precision-Recall крива MobileNetV3-Large

Порівняльний аналіз продемонстрував, що традиційні згорткові моделі залишаються ефективними для задач із чітко вираженими локальними ознаками, однак при збільшенні складності сцени та появі фрагментів з різною орієнтацією й масштабом трансформерна модель виявляє вищу стійкість. Вона краще розрізняє фрагменти, що містять перекриття або часткове накладання матеріалів, і забезпечує більш однорідний розподіл прогнозів між класами. Отже, можна зробити висновок, що Vision Transformer здатний ефективніше моделювати глобальні просторові залежності, які визначають характер руйнування.

Окрім точності, у процесі дослідження оцінювалися такі аспекти, як швидкість навчання, обсяг використаної пам’яті та час на інференс одного зображення. MobileNetV3-Large виявилася більш економною за обчислювальними ресурсами і може бути інтегрована в системи оперативного моніторингу, де обмежені можливості обчислення, наприклад у безпілотних літальних апаратах або мобільних додатках для оцінки стану будівель. Vision Transformer, хоча і потребує більших обчислювальних потужностей, забезпечує кращу узагальнювальну здатність і більш точну класифікацію у випадках складних візуальних сцен.

Отримані результати мають практичне значення для побудови інтелектуальних систем автоматизованого аналізу зображень руйнувань, які можуть використовуватись у процесах оцінки пошкоджень після надзвичайних ситуацій, в урбаністичному плануванні та в контексті цифрового моделювання відновлювальних робіт. Використання трансформерних архітектур відкриває перспективи створення універсальних моделей, здатних одночасно виконувати класифікацію та сегментацію фрагментів зруйнованих структур із високим рівнем достовірності.

У подальшому планується розширення обсягу експериментів за рахунок збільшення кількості класів і зображень, а також застосування комбінованих підходів, що поєднують згорткові шари для локальної обробки з трансформерними блоками для глобального контексту. Окрему увагу буде приділено впровадженню методів інтерпретації нейронних мереж, зокрема Grad-CAM і Transformers Interpret, для візуального пояснення процесу прийняття рішень моделлю.

НТБОНТУ

Отже, проведене дослідження наводить, що навіть при відносно невеликій кількості епох можливо досягнути високих показників точності за рахунок належної підготовки даних, використання попередньо навчених моделей і застосування збалансованої функції втрат. Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції глибинних нейромережевих архітектур у системи аналізу наслідків руйнувань, що може стати основою для створення технологічних рішень у сфері цифрового відновлення та управління ризиками.

Список використаних джерел

[1] D. S. A. Rayhan and I. U. Bhuiyan, “Review of Construction and Demolition Waste Management Tools and Frameworks with the Classification, Causes, and Impacts of the Waste,” Waste Disposal & Sustainable Energy, vol. 6, no. 1, pp. 95–121, 2024. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s42768-023-00166 [Accessed: Oct. 22, 2025]..

[2] M. Molchanova, V. Didur, O. Mazurets, O. Sobko, and O. Zakharkevich, “Method for Construction and Demolition Waste Classification Using Two-Factor Neural Network Image Analysis” in CEUR Workshop Proceedings, vol. 3970, pp. 168–182, 2025. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-3970/PAPER14.pdf [Accessed: Oct. 22, 2025].

[3] B. Denysenko, P. Shevchuk, M. Molchanova, and O. Mazurets, “Software Architecture of Information System for Exchanging LLM Thematic Prompts,” in Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Research in Science, Technology and Economics”, Luxembourg, Luxembourg, May 28–30, 2025, pp. 237–243.

УДК 004.214

НЕЙРОМЕРЕЖІ ЯК ЦИФРОВІ АСИСТЕНТИ: ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОВСЯКДЕННИХ ЗВИЧОК

Калашникова К.О., Чорна В.В.
(kkate11777@gmail.com, chvaleria1999@gmail.com)
ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури Українського державного університету науки і технологій (Україна)

Вступ. *Стрімкий розвиток штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання став одним із найвизначніших чинників цифрової трансформації сучасного суспільства. Нейромережі, як основна технологічна складова систем ШІ, поступово інтегруються у повсякденне життя, змінюючи звичні моделі поведінки, праці та творчості. Вони вже не є лише інструментами науковців чи програмістів — сьогодні нейромережі використовуються мільйонами користувачів у вигляді цифрових асистентів, чатботів, систем рекомендацій та генераторів контенту.*

Актуальність проблеми. Актуальність теми полягає у тому, що штучний інтелект дедалі частіше виконує функції, які раніше вимагали участі людини: від підготовки текстів і створення графічного дизайну до розроблення музики та автоматизації робочих процесів. Це не лише підвищує ефективність діяльності, а й формує нову культуру взаємодії з технологіями. Застосування нейромереж як цифрових асистентів відкриває можливості для персоналізації навчання, підтримки творчості, розвитку комунікації та самовираження. Водночас виникає потреба у вивченні їхнього впливу на формування повсякденних звичок користувачів, рівень критичного мислення та професійні навички.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження практичного застосування сучасних нейромереж як цифрових асистентів у різних сферах діяльності людини та аналіз їхнього впливу на трансформацію повсякденних звичок.

Основними завданнями є:

1. Визначити можливості сучасних нейромереж у контексті автоматизації повсякденних дій.

НТБОНТУ

2. Дослідити приклади популярних систем штучного інтелекту (ChatGPT, Leonardo AI, Suno AI).

3. Проаналізувати зміни у способах навчання, творчості та роботи, які спричиняє використання цифрових асистентів.

Основна частина:

1. Нейромережі як інструмент взаємодії та підтримки користувача.Сучасні нейромережі, засновані на глибокому навчанні, здатні аналізувати великі обсяги даних, розпізнавати закономірності та створювати новий контент. Їхня ключова особливість — здатність адаптуватися до контексту і потреб користувача, що робить їх ефективними цифровими асистентами. Одним із найпоширеніших прикладів є **ChatGPT** — мовна модель, створена для генерації змістовних текстів, відповідей на запити, пояснення навчальних матеріалів чи створення контенту. Вона застосовується у сфері освіти, маркетингу, бізнес-комунікації, копірайтингу. Завдяки високому рівню мовного розуміння ChatGPT може вести діалог, допомагати у вирішенні логічних чи математичних завдань, пояснювати складні теми доступною мовою. Такий інструмент значно спрощує процес навчання та комунікації, водночас стимулюючи розвиток цифрової грамотності.

2. Візуальні цифрові асистенти: Leonardo AI. Іншою важливою галуззю є **генерація зображень**. Платформа **Leonardo AI** дає змогу користувачам створювати ілюстрації, концепт-арти, інтерфейси та інші графічні матеріали на основі текстового опису. Вона пропонує широкий вибір стилів — від реалістичних до мультяшних або фантастичних. Це відкриває можливості для дизайнерів, художників, маркетологів та розробників ігор. Leonardo AI демонструє, як штучний інтелект може бути не просто інструментом, а партнером у творчому процесі, допомагаючи швидко втілювати ідеї у візуальну форму.

3. Нейромережі у музиці: приклад Suno AI. Музична індустрія також зазнала змін завдяки технологіям штучного інтелекту. **Suno AI** — це нейромережа, здатна створювати мелодії, пісні та аудіотреки за описом користувача або заданим настроєм. Інтеграція таких інструментів відкриває шлях до демократизації музичного виробництва: тепер створювати музику може будь-хто, навіть без професійної освіти. Це суттєво змінює творчі звички, роблячи процес створення контенту доступнішим і швидшим.

Результати та аналіз. Проведене дослідження підтвердило, що нейромережі ChatGPT, Leonardo AI та Suno AI демонструють високу ефективність як цифрові асистенти у різних напрямах діяльності людини. Вони суттєво оптимізують робочі процеси, забезпечуючи:

- автоматизацію повторюваних і рутинних завдань;
- стимулювання креативності та розвиток творчих здібностей користувачів;
- значну економію часу під час виконання повсякденних дій;
- підвищення загальної продуктивності праці;
- покращення якості навчання, комунікації та обміну знаннями.

Разом із тим, масове впровадження нейромереж висуває нові вимоги до користувачів. Зокрема, важливим стає розвиток **цифрової етики**, уміння критично оцінювати отриману інформацію та перевіряти її достовірність. Адже навіть найсучасніші моделі штучного інтелекту можуть відтворювати **неточні, неповні або упереджені дані**, що потребує свідомого та відповідального підходу до їх використання.

Висновки. Нейромережі дедалі більше стають невід'ємною частиною нашого життя, формуючи нові звички, способи мислення та взаємодії з інформацією. Використання таких цифрових асистентів, як ChatGPT, Leonardo AI та Suno AI, показує, що штучний інтелект вже не лише допомагає у роботі — він стає співавтором, радником і партнером у творчості. Трансформація повсякденних звичок під впливом нейромереж є частиною більш широкого процесу — переходу до епохи симбіозу людини й штучного інтелекту, де технології спрямовані на розкриття людського потенціалу.

Список використаної літератури

1. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* – 4th ed. – Pearson, 2021.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning.* – MIT Press, 2016.
3. OpenAI. *ChatGPT: Language Model Capabilities and Applications.* – [Online]. Available: https://openai.com
4. Leonardo AI. *Creative Image Generation Platform.* – [Online]. Available: https://leonardo.ai

5. Suno AI. *Music Generation with Artificial Intelligence.* – [Online]. Available: https://suno.ai
6. Floridi L. *The Ethics of Artificial Intelligence.* – Oxford University Press, 2020.
7. Баранов О. О., Ковальчук І. І. Штучний інтелект: сучасні підходи та перспективи розвитку**.** – К.: Видавництво Ліра, 2022.
8. Піляєв І. В. Інтелектуальні системи в інформаційному суспільстві**.** – Харків: ХНУРЕ, 2021.

УДК 004.8 + 004.85

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БІБЛІОТЕК І ФРЕЙМВОРКІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ EDGE INTELLIGENCE

Кедич А.В., Кедич Н.А.
(annet.kedich@ukr.net, natalikedic@gmail.com)
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна)

У тезах розглянуто поняття Edge Intelligence (Інтелект на межі), принцип роботи та приклади використання. Зроблено огляд та аналіз ключових бібліотек і фреймворків для алгоритмів машинного навчання, визначено їх функції та переваги.

Постановка задачі. Для успішної реалізації Edge Intelligence необхідні спеціалізовані бібліотеки та фреймворки, оптимізовані для обмежених обчислювальних ресурсів, пам'яті та енергоспоживання, тому важливо проаналізувати та визначити їх функції і переваги використання.

Edge Intelligence (AI на межі) – це парадигма, де обробка даних та виконання моделей машинного навчання відбувається безпосередньо на пристроях на межі мережі (edge devices), таких як мобільні телефони, IoT-сенсори, мікроконтролери та невеликі шлюзи. Це забезпечує низку критичних переваг: зниження затримки (latency), підвищення приватності (оскільки дані обробляються локально), зменшення залежності від постійного підключення до мережі та ефективніше використання пропускної здатності.

Фреймворки (Frameworks) та бібліотеки (Libraries) у машинному навчанні – це набори попередньо написаного коду, інструментів і структур, що значно спрощують і прискорюють процес розробки, навчання та розгортання моделей.

Бібліотека у програмуванні – це набір попередньо написаного коду (функцій, класів, модулів), який розробники можуть використовувати у своїх програмах для виконання певних, часто повторюваних завдань.

Фреймворк – це програмна платформа або каркас, який надає готову, стандартизовану структуру, набір інструментів, бібліотек та правил, призначених для прискорення та спрощення розробки програмного забезпечення. Фреймворк – це не просто набір функцій (як бібліотека), це ціле робоче середовище, яке визначає архітектуру та загальний потік виконання програми.

Огляд ключових фреймворків та бібліотек для Edge AI.

Фреймворки для алгоритмів машинного навчання (ML) можна поділити на дві основні категорії: для глибокого навчання (Deep Learning, DL) та для традиційного машинного навчання (Traditional ML). Нижче представлений огляд та аналіз ключових фреймворків та бібліотек у кожній категорії.

1. Фреймворки для Глибокого Навчання.

Ці фреймворки використовуються для роботи з нейронними мережами, обробки зображень, аудіо та природної мови.

PyTorch.

Основна характеристика та переваги – це динамічний граф (Eager Execution) робить його гнучким, інтуїтивним і зручним для налагодження та досліджень. Має нативний інтерфейс Python.

Екосистема має потужні супутні бібліотеки: TorchVision, TorchText, TorchAudio. Популярний у наукових колах [1].

Застосовується для дослідження, розробки складних і нових архітектур, Natural Language Processing (NLP).

TensorFlow.

Переваги TensorFlow - масштабована екосистема та вбудований високорівневий API Keras інтерфейс, який розроблений для швидкого, простого та ефективного створення, навчання та розгортання моделей глибокого навчання (нейронних мереж), що спрощує розробку.

Екосистема має найкращі інструменти для розгортання у виробництві: TensorFlow Serving (сервери), TensorFlow Lite (мобільні/IoT) та TensorFlow.js (веб) [2].

Використовується для промислового розгортання, виробничих систем, мобільних і веб застосунків.

2. Фреймворки для Традиційного Машинного Навчання.

Ці бібліотеки є стандартом для класичних алгоритмів, таких як лінійна регресія, кластеризація, дерева рішень, Support Vector Machine (SVM), а також для роботи з табличними даними.

Scikit-learn (Sklearn)

Scikit-learn – це стандарт індустрії для традиційного ML. Надає простий, уніфікований та повний набір інструментів для задач класифікації, регресії, кластеризації та зменшення розмірності даних. Екосистема проста у використанні та добре інтегрується з бібліотеками мови програмування Python NumPy, SciPy та Pandas [3].

Використовується для класичних завдань ML, аналізу даних.

XGBoost / LightGBM

Це набори бібліотек, які реалізують градієнтний бустинг на деревах (Gradient Boosting Machines) – алгоритм, який часто використовується в табличних даних.

Бібліотека характеризується надзвичайно високою точністю і швидкістю.

Екосистема оптимізована для роботи з багатоядерними процесорами та великими обсягами даних [4].

Переважно використовується для фінансового прогнозування, оцінки ризиків та інших завдань в роботі з табличними даними.

3. Інструменти для спеціалізованих ніш

Hugging Face Transformers.

Призначення – ефективний інструментарій для NLP (Обробка природної мови).

Надає доступ до декількох тисяч попередньо навчених моделей-трансформерів (BERT, GPT, RoBERTa та ін.), що робить його незамінним у дослідженнях і промисловості в галузі генеративного та розуміючого AI.

ONNX (Open Neural Network Exchange).

Призначення – не фреймворк, а формат для представлення моделей ML.

Дозволяє конвертувати та переносити моделі між різними фреймворками (наприклад, навчити модель у PyTorch, а потім експортувати її для розгортання в середовищі, оптимізованому для TensorFlow). Це забезпечує сумісність.

Проаналізувавши добірку вищенаведених фреймворків та бібліотек, можна визначити, які з них найкраще підходять для конкретних задач.

Таблиця 1. Підбір фреймворків та бібліотек під різні задачі.

Задача	Рекомендований фреймворк/бібліотека
Класичне ML (класифікація, регресії)	Scikit-learn
Дослідження / Нові DL-архітектури	PyTorch
Промислове розгортання (Server, Mobile)	TensorFlow
Робота з табличними даними (фінанси)	XGBoost / LightGBM
NLP (текст, мова)	Hugging Face (на базі PyTorch/TensorFlow)

Висновок. Отже, за виконаним оглядом та аналізом можна зробити висновок, що вибір фреймворків та бібліотек залежить від вимог конкретного проєкту (задач). Рекомендації наведені в табл. 1.

Список використаної літератури:

[1] “PyTorch”. [Online]. Available: https://docs.pytorch.org/docs/stable/index.html [Accessed: September 10, 2025].

[2] “TensorFlow”. [Online]. Available: https://www.tensorflow.org/resources/libraries-extensions [Accessed: September 01, 2025].

[3] “Scikit-learn”. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/0.21/documentation [Accessed: September 15, 2025].

[4] “XGBoost”. [Online]. Available: https://xgboost.readthedocs.io/en/stable [Accessed: September 03, 2025].

СТВОРЕННЯ ДАТАСЕТУ ДЛЯ ШІ З ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Клименко Максим[1], Усенко Станіслав[2], Шаповалов Євгеній[1], Носачова Юлія[2], Овчаренко Катерина[1] (farkry17@gmail.com)

[1] Національний університет харчових технологій (Україна),

[2] Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (Україна)

У тезі розглядається проблема відсутності стандартизованих наборів даних для навчання моделей штучного інтелекту (ШІ) у сфері управління процесами анаеробного зброджування (АЗ). Проаналізовано ключові параметри, що впливають на стабільність процесу та вихід біогазу. Запропоновано уніфіковану схему бази даних, що систематизує збір та зберігання експериментальних даних. Метою роботи є створення стандартизованого підходу до формування датасетів, придатних для навчання ШІ-моделей, здатних прогнозувати та оптимізувати процеси утилізації органічних відходів. Розроблена структура даних дозволяє формувати універсальні JSON-файли, що підвищує точність прогнозування та ефективність ШІ-алгоритмів, сприяючи переходу до сталого управління біогазовими установками.

Постановка проблеми. АЗ є ключовою технологією для перетворення органічних відходів на біогаз, що відповідає принципам циркулярної економіки та відновлюваної енергетики. Однак ефективність процесу АЗ значною мірою обмежується його складністю та чутливістю до коливань вхідних параметрів, таких як склад субстрату, температура, pH, та концентрація летких жирних кислот (ЛЖК) [1, 2]. Нестабільність процесу може призвести до зниження виходу біогазу та навіть повної зупинки реактора. Використання штучного інтелекту (ШІ) та методів машинного навчання (МН) пропонує перспективний підхід для прогнозування та оптимізації виробництва біогазу в режимі реального часу [3]. Проте головною перешкодою для широкого впровадження ШІ є відсутність стандартизованих, якісних та повних наборів даних (датасетів). Існуючі дослідження часто використовують гетерогенні дані, зібрані за різних умов, що ускладнює створення універсальних та точних моделей ШІ, здатних до узагальнення [4]. Відсутність уніфікованого формату даних для навчання ШІ є критичною проблемою, що стримує розвиток інтелектуальних систем управління біогазовими комплексами.

Метою роботи є розробка та обґрунтування уніфікованої структури даних (датасету) для збору, зберігання та обробки параметрів процесу анаеробного зброджування, що дозволить стандартизувати підготовку даних для навчання моделей штучного інтелекту з метою оптимізації виробництва біогазу.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

Проаналізувати наукові публікації для виявлення ключових фізико-хімічних та технологічних параметрів, що найбільше впливають на процес АЗ.

Розробити комплексну та логічну схему бази даних, яка б систематизувала усі визначені параметри та зв'язки між ними.

Спроектувати структуру, що дозволяє легко експортувати дані у машиночитаний формат, зокрема JSON, для подальшого використання у моделях ШІ.

Обґрунтувати переваги запропонованого підходу для підвищення точності та надійності ШІ-моделей у прогнозуванні та управлінні процесом АЗ.

Виклад суті дослідження. Основою для ефективного застосування ШІ є якісні та добре структуровані дані. На сьогоднішній день дослідники використовують різноманітні набори

параметрів для прогнозування виходу біогазу, включаючи загальний вміст сухих речовин (TS), вміст летких сухих речовин (VS), співвідношення C/N, pH, лужність, температуру та концентрацію окремих ЛЖК [1, 2]. Однак для створення надійних моделей, здатних працювати в промислових масштабах, необхідно враховувати не лише миттєві показники, а й динаміку процесу, характеристики субстрату та технологічні режими.

З цією метою нами була розроблена універсальна схема бази даних, представлена на рис. 1. Ця схема є нашою розробкою вхідних параметрів для штучного інтелекту, що систематизує інформацію про кожен етап експерименту з АЗ. Вона слугує основою для формування універсального формату даних, наприклад, JSON, для їх подальшого аналізу штучним інтелектом. Модель ШІ навчатиметься на основі JSON, створеного за цими параметрами, що забезпечує універсальність та масштабованість підходу.

Структура включає такі ключові сутності:

Experiments: Загальна інформація про експеримент (назва, дати початку та закінчення).

TechnologicalRegime: Параметри технологічного процесу (тип реактора, гідравлічний час утримання (HRT), органічне навантаження (OLR), температура, режим перемішування). Ці параметри є критичними для відтворюваності результатів, як зазначено у [2].

SubstrateTypes: Детальна характеристика субстрату, що подається до реактора (тип, маса, вологість, номер партії). Це дозволяє відстежувати вплив мінливості сировини на стабільність процесу.

InitialSubstrateParameters, SubstrateStatesAfterProcess: Початкові та кінцеві параметри субстрату в реакторі (об'єм, pH, концентрація амонію, ЛЖК, лужність). Це дає змогу оцінити ефективність перетворення на кожному етапі.

SubstrateMeasurements: Ключова таблиця для збору даних моніторингу в режимі реального часу. Вона включає час відбору проби та вимірювання найважливіших показників стабільності процесу: склад біогазу (CH_4, H_2S), вміст TS, VS, загального азоту (TN), амонійного азоту (NH_4), ХСК (COD) та pH. Саме ці параметри найчастіше використовуються для побудови прогнозних моделей, оскільки їх динаміка є індикатором стану мікробної спільноти [1, 3].

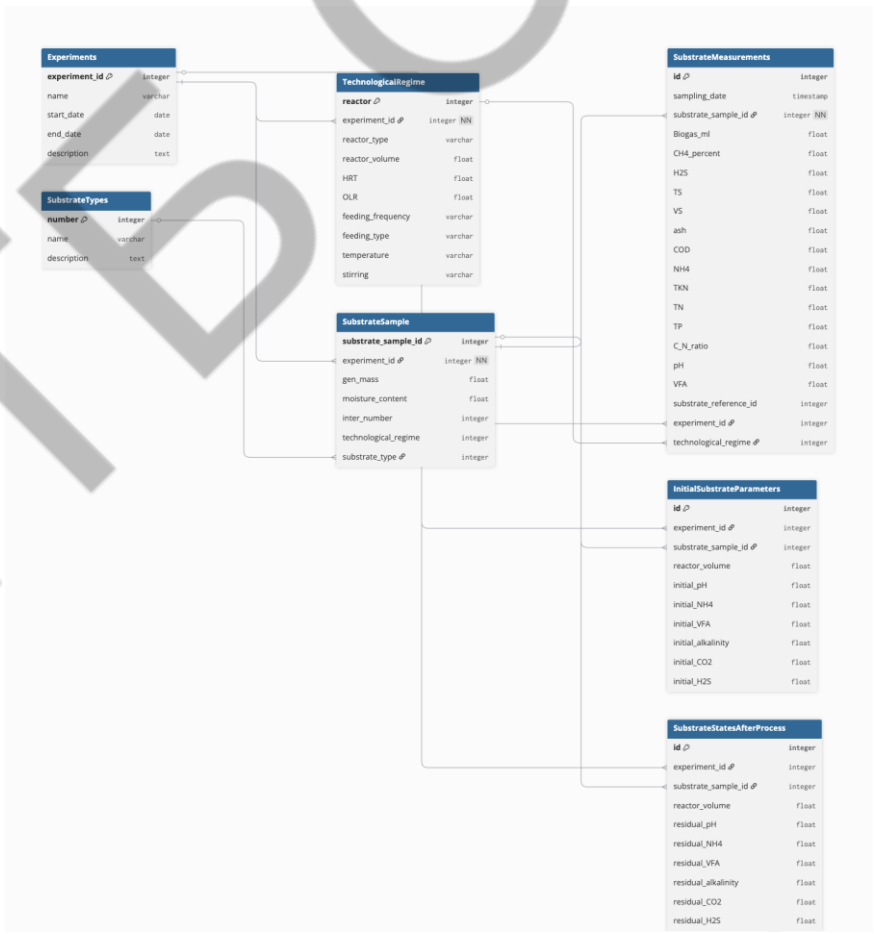


Рис. 1. Запропонована схема бази даних для формування датасету.

Такий структурований підхід дозволяє вирішити проблему неповних даних, з якою часто стикаються при моделюванні, особливо при використанні таких методів, як LSTM, що потребують безперервних часових рядів [4]. Наявність пов'язаних таблиць забезпечує цілісність та повноту даних, що є фундаментом для створення точних та надійних ШІ-моделей. Запропонована структура дозволяє фіксувати складні кореляції між різними параметрами, що є важливим для розуміння нелінійних залежностей у процесі АЗ.

Ключова перевага запропонованої структури полягає у її здатності генерувати цілісні та взаємопов'язані набори даних. Замість розрізнених вимірювань, які часто зустрічаються у наукових публікаціях, наш підхід дозволяє отримати повну картину кожного експерименту, включаючи історію процесу, характеристики сировини та динаміку ключових параметрів. Це особливо важливо для навчання моделей, що враховують часові залежності, таких як рекурентні нейронні мережі (LSTM), які продемонстрували високу ефективність у прогнозуванні виробництва метану завдяки своїй здатності аналізувати послідовні дані [4].

Кінцевою метою розробки такої схеми є експорт реляційних даних у структурований, машиночитаний формат, такий як JSON. Кожен JSON-об'єкт може представляти або конкретний часовий зріз, або повний експериментальний цикл, інкапсулюючи всі відповідні параметри з пов'язаних таблиць. Це створює свого роду "цифровий знімок" стану процесу, який є ідеальним для споживання алгоритмами машинного навчання. Стандартизований формат JSON безпосередньо сумісний з широким спектром МН-алгоритмів — від моделей регресії до складних ансамблевих методів, таких як Random Forest (RF) та XGBoost, які довели свою високу точність у прогнозуванні виходу біогазу на основі операційних параметрів [2, 3]. Таким чином, розроблена нами універсальна структура даних виступає мостом між експериментальними дослідженнями та практичним застосуванням передових методів ШІ для управління процесом АЗ.

Висновки. У ході дослідження було вирішено поставлені завдання та досягнуто головної мети. Розроблено уніфіковану схему бази даних, яка комплексно охоплює ключові параметри, що впливають на процес анаеробного зброджування. Ця структура систематизує збір даних про експериментальні умови, характеристики субстрату, технологічні режими та динаміку процесу.

Практичним результатом роботи є можливість генерувати на основі цієї схеми стандартизовані датасети у форматі JSON. Це значно спрощує підготовку даних для навчання та валідації різноманітних моделей машинного навчання, підвищуючи їх точність та здатність до узагальнення.

Впровадження такого стандартизованого підходу до формування датасетів відкриває шлях до створення більш досконалих та ефективних систем керування біогазовими установками в режимі реального часу. Це, в свою чергу, сприятиме підвищенню стабільності процесу, максимізації виходу енергії та прискоренню переходу до сталого управління органічними відходами в рамках циркулярної економіки.

Список використаної літератури:

[1] E. Jiménez-Páez, F. Ding, F.G. Fermoso, and J.F. García-Martín, “Monitoring of volatile fatty acids during anaerobic digestion of olive pomace by means of a hand held near infrared spectrometer,” Science of the Total Environment, vol. 955, p. 176979, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176979 [Accessed: Oct. 27, 2023].

[2] O. Yildirim and B. Ozkaya, “Prediction of biogas production of industrial scale anaerobic digestion plant by machine learning algorithms,” Chemosphere, vol. 335, p. 138976, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138976 [Accessed: Oct. 27, 2023].

[3] D. Singh, M. Tembhare, K. Pundalik, A. K. Dikshit, and S. Kumar, “Machine learning based prediction of biogas generation from municipal solid waste: A data-driven approach,” Process Safety and Environmental Protection, vol. 192, pp. 93-103, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.10.037 [Accessed: Oct. 27, 2023].

[4] Y. Han, Z. Du, X. Hu, Y. Li, D. Cai, J. Fan, and Z. Geng, “Production prediction modeling of food waste anaerobic digestion for resources saving based on SMOTE-LSTM,” Applied Energy, vol. 352, p. 122024, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122024 [Accessed: Oct. 27, 2023].

УДК 004.8:343.9

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ФОТОГРАФІЙ

Коваленко К.А., Ніжегородцев В.О.
(karinakovalenko2711@gmail.com, nizhegorodcev@ukr.net)
Державний податковий університет (Україна)

В тезах розглядається сучасні сервіси для обробки фотографій, що реалізовуються на базі систем штучного інтелекту. Актуальність використання сучасних сервісів для автокорекції фото значно полегшують і спрощують процес редагування фото для всіх користувачів. Також приводяться відомі приклади популярних фоторедакторів. Висновок відповідає на питання реалізації корисних функцій для редагування зображень за допомогою штучного інтелекту за рахунок автоматизації складних процесів.

В умовах зростання обсягу візуального контенту та підвищених вимог до швидкості, точності й персоналізації обробки, традиційні алгоритмічні підходи та ручна праця в обробці фотографій стають критично неефективними, дорогими та надто повільними. Ручна або напівавтоматична обробка зображень вимагає непропорційно великих людських та часових ресурсів.

Мільярди нових зображень генеруються щодня в сферах електронної комерції, соціальних мереж, медицини та безпеки відеоспостереження, тощо. Традиційні алгоритми можуть виконувати лише прості завдання (обрізка, зміна розміру), але не здатні вирішувати складні, інтелектуальні завдання, які вимагають людського сприйняття та контексту – наприклад, художню реставрацію старих фото, якісне видалення складного фону (сегментація волосся) або точну діагностику медичних знімків.

Сучасні сервіси для автокорекції фото значно полегшують і спрощують процес ретушування для всіх користувачів. Фото-редактори на основі штучного інтелекту роблять все те саме, що ретушер б робив вручну у Adobe Photoshop, і в той же час дозволяють вам повністю керувати процесом [1].

Сучасна інтеграція модулів штучного інтелекту в існуючі інформаційні системи та робить механізми автоматичне, безперервне навчання та оновлення моделей обробки зображень.

Штучний інтелект дозволяє виконувати завдання, що охоплюють прості дії (розпізнавання мов чи зображень) так і більш складні завдання, скажімо гра чи керування автомобілем, а також створення зображень і відтворення звуків, прогнозування погоди, вирішення складних логічних задач, тощо [2].

Системи штучного інтелекту дозволяють створити інтелектуальний технологічний базис для модернізації інформаційних систем, перетворивши їх на потужні автоматизовані візуальні процесори.

У нашому дослідження було проаналізовано найбільш популярні безкоштовні онлайн-інструменти на основі штучного інтелекту.

Один з найбільш популярних редакторів є Adobe Express. Adobe Express пропонує кілька інструментів для редагування за допомогою штучного інтелекту, серед яких видалення об’єктів. Ця функція особливо корисна для усунення відволікаючих елементів, яких не хочеться бачити на зображенні. Також доступна можливість видалення фону, що дозволяє зберегти основний об’єкт та видалити все інше. Зазначимо, що точність видалення фону в Adobe Express перевищує багато інших інструментів ШІ.

Наступним, не менш популярним редактором можна назвати сервіс Canva. Canva дозволяє автоматично покращувати фотографії без необхідності сплачувати за преміум-версію. Цей інструмент автоматично регулює кольори, яскравість та інші параметри зображення для досягнення кращого результату.

Не менш популярним, на нашу думку, є також сервіс - Picsart. Picsart пропонує кілька корисних функцій для редагування зображень за допомогою штучного інтелекту. Однією з найкращих є автоматичне покращення, яке ідеально підходить для тих, хто не хоче витрачати час на детальне редагування або вручну коригувати фотографії. Крім того, Picsart має інструмент розширення штучного інтелекту, який дозволяє ефективно змінювати розмір зображень та

зменшувати спотворення. Ви можете вибрати платформу, для якої потрібно оптимізувати зображення, таку як Instagram Stories, мініатюри YouTube чи публікації LinkedIn.

До найбільш потужнішої когорти фоторедаторів можна віднести також і Photoroom. Багато інструментів штучного інтелекту в Photoroom є платними, але є й розумна кількість безкоштовних варіантів. Одним із таких є інструмент зміни розміру, який дозволяє коригувати розміри зображення залежно від того, де ви плануєте ним поділитися. Окрім соціальних мереж, цей інструмент також дозволяє адаптувати розміри для різних платформ, таких як eBay, Etsy та Facebook Marketplace. Крім того, він підтримує можливість зміни власних розмірів зображення.

Не менш важливими та цікавими залишаються ще Pixlr, iPiccy та Google Photos. Pixlr пропонує всі основні функції, які можна очікувати від висококласного фоторедактора. Серед них - видалення фону, для чого є окрема програма під назвою Background Remover, а також генеративне перетворення, яке дозволяє вирізати та коригувати певні об’єкти на зображеннях.

iPiccy - це чудовий онлайн-інструмент для редагування фотографій, що використовує штучний інтелект. Він працює не лише на комп’ютерах, але й на мобільних пристроях, що робить його ідеальним для редагування фотографій на ходу. Редактор пропонує понад 100 ефектів, можливість створення колажів і навіть базові функції графічного дизайну.

Google Photos, хоча й перш за все служить для зберігання та обміну фотографіями, також пропонує кілька інструментів редагування за допомогою штучного інтелекту, які дозволяють швидко покращити ваші зображення. Хоча ці функції не такі різноманітні, як у інших редакторах, представлених у цьому списку, вони є чудовим варіантом для виконання невеликих редагувань, що дає змогу швидко поліпшити фотографії [3].

Використання штучного інтелекту у сфері автоматичної обробки фотографій стало важливим етапом розвитку сучасних інформаційних систем. Алгоритми машинного навчання та комп’ютерного зору дозволяють значно підвищити якість зображень, автоматизувати складні процеси ретуші й зробити редагування доступним навіть для користувачів без професійних навичок.

Формулювання кількісних метрик для оцінки економічної та часової ефективності автоматизованої ШІ-обробки порівняно з традиційними методами залишається однією з оптимальних стратегій майбутнього у розвитку обробки фотографій.

Список використаної літератури

[1] “Інструменти для поліпшення фото на базі штучного інтелекту”. Evergreen - web розробка і діджиталізація бізнесу за допомогою AI продуктів. Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://evergreens.com.ua/ua/articles/image-enhancement-solutions.html.

[2] Учасники проектів Вікімедіа. “Штучний інтелект — Вікіпедія”. Вікіпедія. Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучний_інтелект.

[3] “7 інструментів ШІ онлайн-редакторів фотографій - AcademyCGPT”. Академія ChatGPT Academy - навчання по ChatGPT -. Дата звернення: 2 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.chatgptacademy.online/nejromerezhi/7-najkrashhyh-instrumentiv-shi-onlajn-redaktoriv-fotografij/.

УДК 004.896

ПОРІВНЯННЯ ПРОСТИХ АЛГОРИТМІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗРОБЦІ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ

Козолуп П. Д. (pavlo.kozolup@student.sumdu.edu.ua)
Сумчький Державний університет (Україна)

В тезах розглядається проблема якісного та економічно обґрунтованого використання інтелектуальних методів у розробці програмних продуктів та додатків-асистентів. Аналіз сучасної наукової літератури виявляє стійку тенденцію до широкого, а іноді й надмірного, впровадження складних рішень на основі Штучного Інтелекту (ШІ) [1], часто без достатнього попереднього врахування повного спектру факторів ефективності та доцільності. Ці фактори включають фінансові витрати на розробку та інфраструктуру, обчислювальну складність

впровадження, ресурсну підтримку, зокрема, потреби у кваліфікованих кадрах та інформаційну безпеку систем. Для емпіричного обґрунтування цієї тези в роботі описано порівняльний аналіз продуктивності двох методологічно різних підходів прогнозування. Розробленого простого алгоритму на основі евристичних правил для прогнозування часу наступного замовлення товару в додатку-асистенті та статистичної моделі ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) [2] як представника складніших інтелектуальних методів прогнозування часових рядів. [3] На основі експерименту з використанням реальних даних, оцінювалась продуктивність обох підходів за основними метриками, включаючи точність прогнозування, обчислювальні ресурси та складність впровадження кількість рядків коду та залежностей.

Отримані результати демонструють, що для завдань, які характеризуються обмеженими обсягами даних та відносно простими патернами поведінки, прості алгоритми можуть забезпечувати порівнянну точність із значно меншими витратами ресурсів та нижчою складністю. Це підкреслює необхідність обґрунтованого вибору технологій та доцільність використання складних ШІ-рішень лише при масштабуванні проектів або у випадках, коли наявні обсяги, дисперсія даних та критичні вимоги до точності дійсно виправдовують зростаючу обчислювальну та ресурсну складність.

Робота доводить, що оптимальне технологічне рішення часто лежить у площині балансу між складністю та прагматичною ефективністю, що є ключовим фактором для успішної розробки програмних продуктів у стартапах та малих проектах.

Список використаної літератури

[1] Sarker, I.H. AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems. SN COMPUT. SCI. 3, 158 (2022). https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x

[2] S.L. Ho, M. Xie, The use of ARIMA models for reliability forecasting and analysis, Computers & Industrial Engineering, (1998). https://doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00066-7.

[3] "Порівняння простих алгоритмів та штучного інтелекту в розробці сервісу обліку персональних активів" №4, 30, (2025).

УДК 004.8

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕКСТОВИХ ПІДКАЗОК ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБАМИ ІТЕРАЦІЙНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Коровін Д.Д. (danilas21up@gmail.com)
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)

Представлено підхід до автоматичної оптимізації текстових підказок (prompt engineering) для великих мовних моделей (ВММ) на основі ітераційного пошуку типу hill climbing. Робота зосереджена на локальному вдосконаленні одного промпта без використання повної популяції генетичних алгоритмів. Система "Prompt-Only Iterative Coder" дозволяє підвищити якість коду, що генерується моделлю, за рахунок поступового аналізу помилок і вдосконалення опису задачі. Наведено архітектуру, основні компоненти, методику ітераційного вдосконалення та приклад реалізації у вигляді псевдокоду. Окреслено порівняння з еволюційними підходами, а також перспективи розвитку системи в напрямку повноцінної еволюційної оптимізації.

Постановка проблеми.

Великі мовні моделі (ВММ) є ефективними генераторами коду, однак їхня точність суттєво залежить від формулювання промптів. Ручне редагування таких підказок складне й не завжди стабільне. Необхідне створення системи, що автоматично вдосконалює промпт шляхом поступового аналізу результатів і внесення локальних змін. Найпростіша реалізація такого процесу — алгоритм локального підйому (hill climbing), який ітераційно поліпшує рішення, якщо нова версія промпта демонструє кращі результати.

Основний матеріал.

Система базується на ітераційному циклі, який послідовно поєднує генерацію коду, оцінку його працездатності та вдосконалення текстового опису задачі. Вона містить чотири взаємопов'язані компоненти: Code Generator створює код відповідно до стабільної специфікації інтерфейсу, Evaluator виконує його в захищеному середовищі MBPP+ і фіксує кількість пройдених тестів, Adjuster аналізує невдалі результати й переписує TASK_PROMPT, зберігаючи незмінним формат функцій, а Orchestrator координує ітерації, порівнює поточні показники з попередніми й визначає, коли зупинити пошук. Кожна нова версія промпта приймається лише тоді, коли забезпечує покращення метрики пристосованості — pass rate. Якщо результат не покращується, система припиняє роботу або вводить незначні модифікації, щоб уникнути застою в локальному максимумі.

Рисунок 1 – Алгоритм роботи Prompt-only iterative coder.

Такий підхід забезпечує просту, але ефективну оптимізацію без необхідності створювати популяцію промптів чи виконувати стохастичні схрещування. Він орієнтований на економію обчислювальних ресурсів і може працювати навіть з обмеженим бюджетом API-запитів. Основними показниками ефективності є частка успішно виконаних тестів, стабільність часу виконання й наближення згенерованого коду до еталонної структури. Псевдокод алгоритму демонструє послідовність дій: ініціалізація базового промпта, генерація коду, перевірка тестів,

НТБОНТУ

обчислення показників, порівняння з попереднім результатом і прийняття рішення про подальше вдосконалення.

На практиці система застосовується для оптимізації промптів у задачах генерації функцій на Python із набору MBPP+. Наприклад, якщо початковий опис задачі нечітко формулює вимоги до вхідних типів або приклади вихідних даних, Adjuster уточнює формулювання, додає приклади граничних випадків або обмеження на типи. Після кількох циклів hill climbing pass rate зростає, а коди, що генеруються моделлю, краще узгоджуються з тестами. Такий процес показує, що навіть проста ітераційна оптимізація без складних еволюційних механізмів дозволяє підвищити якість програмного виходу.

У контексті подальшого розвитку цей підхід стане базою для створення повноцінних еволюційних систем, у яких кілька промптів взаємодіють, змагаючись за підвищення результативності. У реальних сценаріях він може бути використаний для навчання моделей розробки коду, систем автодоповнення у середовищах програмування та побудови адаптивних асистентів, які вдосконалюють власні інструкції на основі зворотного зв’язку від користувача.

Проведене тестування підтвердило, що підхід hill climbing стабільно підвищує pass rate при мінімальних витратах обчислювальних ресурсів. Його простота дозволяє легко інтегрувати систему у більші фреймворки оптимізації та використовувати як навчальний або валідаційний етап перед еволюційним розширенням. Таким чином, “Prompt-Only Iterative Coder” виступає практичним прототипом майбутніх систем, які поєднують локальну ітераційну корекцію з багатомодельною оцінкою результатів.

Висновки.

Ітераційна оптимізація промптів методом hill climbing показала свою ефективність у задачах підвищення якості коду, що генерується великими мовними моделями. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес удосконалення промптів без значних обчислювальних витрат, забезпечуючи контрольоване покращення результатів у кожній ітерації. Простота і прозорість алгоритму роблять його практичним інструментом для інтеграції у більші фреймворки оптимізації, а також основою для подальшої еволюційної розбудови систем, де можлива взаємодія кількох промптів і паралельний пошук рішень. Його використання в автоматизованих системах генерації коду, інтелектуальних IDE чи навчальних платформах може забезпечити стабільне покращення якості програмного результату й адаптивність до потреб користувача.

Список використаної літератури

[1] S. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Pearson, 2020.
[2] A. Vaswani et al., "Attention Is All You Need," Adv. Neural Inf. Process. Syst., vol. 30, 2017.
[3] E. Hemberg, S. Moskal, U.-M. O’Reilly, "LLM GP: Large Language Model Genetic Programming," arXiv:2401.07102v1, 2024.
[4] D. Ghosh Paul, H. Zhu, I. Bayley, "Benchmarks and Metrics for Evaluations of Code Generation: A Critical Review," arXiv:2406.12655v1, 2024.
[5] T. Mitchell, Machine Learning, McGraw Hill, 1997. [6] Бібліотека Stable-Baselines3. [Online].

УДК 004.8

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНАЧЕНЬ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Костюченко А.Д. (kostiuchenko_a@365.dnu.edu.ua)
Герасимов В.В. (herasymov_v@365.dnu.edu.ua)
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара (Україна)

Класичні статистичні підходи не завжди здатні адекватно відображати нелінійні залежності та складну сезонну структуру реальних даних. У зв’язку з цим особливої актуальності набуває застосування методів глибокого навчання, які завдяки своїй архітектурній гнучкості забезпечують більш точне моделювання часових закономірностей. У дослідженні розглядаються основні нейромережеві архітектури типу GRU, LSTM та Bidirectional, що

використовуються для прогнозування значень часових рядів на прикладі набору метеорологічних даних. Існує потреба у визначенні того, які типи рекурентних структур забезпечують найкращу точність прогнозу та здатність до узагальнення. Крім того, важливо оцінити, наскільки кількість параметрів та структурна складність моделі впливають на стабільність результатів і ризик перенавчання. Тренування моделей проводиться із використанням фреймворку глибокого навчання TensorFlow на мові програмування Python.

Для проведення порівняльного аналізу ефективності використання нейромережевих архітектур було обрано відкритий набір даних «Daily Climate time series data» з онлайн-платформи машинного навчання Kaggle. Даний датасет містить щоденні метеорологічні спостереження, зафіксовані протягом кількох років на одній із метеостанцій Індії. До його складу входять такі показники, як середня добова температура, атмосферний тиск, відносна вологість та середня швидкість вітру. Дані охоплюють період із січня 2013 року до квітня 2017 року, що забезпечує можливість аналізу сезонних коливань, річних трендів і короткострокових аномалій. Висока роздільна здатність в межах одного дня дозволяє використовувати такий набір даних для задач прогнозування часових рядів, дослідження залежностей між погодними параметрами та побудови моделей глибокого навчання для короткострокового прогнозу температури чи інших метеорологічних показників [1].

Візуалізація часового ряду температури повітря наведено на рис. 1.

Рисунок 1 – Візуалізація часового ряду з тренувального набору даних

Для навчання мереж було використано фреймворк глибокого навчання TensorFlow та бібліотеку keras та мову програмування Python. Навчання проводилось протягом 30 епох з відповідними функціями зворотного виклику – ModelCheckpoint та CSVLogger. Розподіл вибірок на тренувальну, валідаційну та тестову відповідав співвідношенню 70%:15%:15%. Відповідні структурні блоки мереж, що реалізують механізми LSTM та GRU, реалізовано в модулі keras.layers, а саме keras.layers.LSTM та keras.layers.GRU.

LSTM (англ. – Long Short-Term Memory) – це різновид рекурентної нейронної мережі, розроблений для усунення проблеми затухання та вибуху градієнтів, характерної для класичних RNN. Математично LSTM являє собою послідовність взаємопов’язаних блоків, кожен з яких містить три типи керуючих воріт – вхідні (input gate), забувальні (forget gate) та вихідні (output gate). Ці ворота реалізуються через сигмоїдні та тангенсові активаційні функції, які регулюють потік інформації, визначаючи, які дані з попередніх станів мають бути збережені, оновлені або відкинуті [2].

GRU (англ. – Gated Recurrent Unit) – архітектура рекурентних нейронних мереж і була розроблена як спрощена альтернатива моделі LSTM для ефективного моделювання послідовних залежностей у часових рядах. Її структурною особливістю є наявність лише двох типів керуючих воріт, а саме update gate та reset gate, які спільно регулюють потік інформації між поточним і попереднім станами [3].

Таблиця 1 – Схематичне зображення архітектури моделей нейронних мереж

Шар мережі	LSTM	GRU	GRU+LSTM	Bidirectional
1-й	layers.LSTM(128)	layers.GRU(128)	layers.LSTM(128)	layers.GRU(128)
2-й	layers.LSTM(64)	layers.GRU(64)	layers.GRU(128)	layers.GRU(64)
3-й	Dense(1)	Dense(1)	layers.LSTM(64)	Dense(1)
4-й	-	-	layers.GRU(64)	-
5-й	-	-	Dense(1)	-

Для оцінки якості прогнозування значень моделей глибокого навчання було використано метрики MSE (англ. – Mean Squared Error) та MAPE (англ. – Mean Absolute Percentage Error), розраховані за формулами (1) і (2).

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

де y_i – значення цільової функції;
$\hat{y}_i$ – прогнозоване значення;
N – кількість елементів у вибірці.

$$MAPE = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \quad (2)$$

де y_i – значення цільової функції;
$\hat{y}_i$ – прогнозоване значення;

У процесі дослідження було проаналізовано різні архітектури глибинних нейронних мереж, призначені для обробки часових послідовностей змінної довжини. Зокрема, до експериментального порівняння було включено моделі типу GRU, LSTM, а також їх комбіновану структуру LSTM + GRU та двонаправлену (англ. – Bidirectional) GRU-мережу. Такий підхід дозволив здійснити порівняльний аналіз ефективності різних підходів до моделювання часових залежностей із використанням відповідних оцінок якості, а також визначити особливості узагальнювальної здатності розглянутих архітектур нейронних мереж. Результати тренування моделей наведено у табл. 2 та табл. 3.

Таблиця 2 – Оцінка якості навчання моделей за метрикою MSE

MSE	LSTM	GRU	LSTM + GRU	Bidirectional
train	1.99	1.32	1.75	1.42
test	4.27	2.66	2.65	2.92
validation	2.2	1.33	1.84	1.49

Отримані результати свідчать, що всі розглянуті архітектури глибинних нейронних мереж продемонстрували достатньо високу точність прогнозування часових рядів, проте їхня ефективність суттєво відрізняється на різних вибірках. Найменші значення середньоквадратичної помилки на тренувальному та валідаційному наборі отримано для моделі GRU (1.32 та 1.33 відповідно), що свідчить про її здатність швидко збігатися та узагальнювати закономірності без надмірного перенавчання. Близькі за значенням найменші результати було отримано на тестовому наборі даних для GRU + LSTM та GRU моделей, що свідчить про покращену узагальнюючу здатність архітектури GRU, що поєднує комірку пам'яті та прихований стан в єдиний вектор, який забезпечує більш стабільне розповсюдження градієнтів та знижує ймовірність їх затухання під час обчислення похідних у глибоких часових структурах.

Отримані значення свідчать, що модель GRU забезпечила найнижчі показники помилки на всіх етапах навчання, зокрема 3.71% на тренувальній, 3.33% на валідаційній та 5.78% на тестовій вибірках, що вказує на її найкращу узагальнювальну здатність серед розглянутих архітектур. Комбінована модель LSTM+GRU продемонструвала близький результат на тестовій вибірці (5.85%), проте мала дещо вищу похибку на етапах навчання і валідації, що може свідчити про підвищену складність її параметризації та потенційне перенавчання. Bidirectional-модель забезпечила стабільні результати на всіх наборах даних, однак поступилася GRU за точністю як на

тесті, так і на тренуванні. Класична LSTM показала найвищі значення помилки (train – 4.62%, validation – 4.34%, test – 7.11%), що свідчить про нижчу ефективність у короткостроковому прогнозуванні.

Таблиця 3 – Оцінка якості навчання моделей за метрикою MAPE

MAPE, %	LSTM	GRU	LSTM + GRU	Bidirectional
train	4.62	3.71	4.33	3.85
test	7.11	5.78	5.85	5.98
validation	4.34	3.33	4.01	3.58

Отже, можемо зробити висновок, що GRU краще збалансовує глибину пам’яті та швидкість адаптації до нових даних у порівнянні з LSTM-архітектурою в контексті короткострокових проміжків. Отримані значення MAPE та MSE підтверджують, що архітектури з меншою кількістю параметрів краще узагальнюють закономірності часового ряду та ефективніше протидіють перенавчанню. Незначна різниця між показниками валідаційної та тестової вибірок для GRU свідчить про її високу стабільність та здатність до відтворення реальних динамічних процесів. Таким чином, за сукупністю метрик точності GRU виявляється найбільш ефективною архітектурою для задач короткострокового прогнозування часових рядів серед розглянутих моделей.

Список використаної літератури

[1] S. V. Rao, “Daily Climate Time Series Data,” Kaggle Dataset, 2017. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/sumanthvrao/daily-climate-time-series-data

[2] A. Kjærran, E. S. Bugge, and C. B. Vennerød, “Long Short-term Memory RNN,” arXiv preprint arXiv:2105.06756, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2105.06756

[3] R. Dey and F. M. Salem, “Gate-Variants of Gated Recurrent Unit (GRU) Neural Networks,” arXiv preprint arXiv:1701.05923, 2017. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/1701.05923

УДК 004.89

РОЗРОБКА ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОМІЧНИКА У ВИГЛЯДІ TELEGRAM-БОТА ІЗ МОЖЛИВІСТЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗАПИТІВ

Кошовий М. В. (koshovyi2021ks11@student.karazin.ua)
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (Україна)

У тезах аналізується проблема інформаційного перевантаження та фрагментації цифрових сервісів, якими користується сучасна людина. Описується розроблена модульна архітектура на базі великої мовної моделі (LLM) та агентного підходу. В якості ключових технологій використано Python, фреймворки LangChain та LangGraph для оркестрації агентів, а також LLM Gemini 2.0 Flash. Тези демонструють, як розроблений помічник інтегрується з API сервісів Gmail, Google Calendar та Notion, обробляє запити користувача природною мовою та автоматизує рутинні завдання, тим самим підвищуючи особисту продуктивність.

Сучасний цифровий світ характеризується стрімким зростанням обсягів інформації та цифрових взаємодій, що ставить перед користувачами серйозні виклики в управлінні особистими даними, завданнями та комунікаціями. Ефективність особистої продуктивності напряму залежить від здатності швидко оперувати необхідними даними. Однак, ключовою проблемою стає так зване інформаційне перевантаження та необхідність оперувати численними програмними засобами й сервісами. Користувачі змушені щоденно переключатися між різними, часто не пов'язаними між собою, додатками: поштовими клієнтами, календарями, системами для ведення нотаток та месенджерами. Ця фрагментація інструментів призводить до значних витрат часу та зниження загальної ефективності.

Актуальність даної роботи зумовлена паралельним розвитком двох ключових технологій. По-перше, стрімкий прогрес у галузі великих мовних моделей відкрив безпрецедентні можливості для створення чат-ботів, здатних до глибокого розуміння контексту та запитів користувача, сформульованих природною мовою, відповідно до [1, 2]. Моделі, такі як GPT-4, здатні генерувати людиноподібний текст та виконувати складні інструкції [3]. По-друге, платформа Telegram стала одним з найпопулярніших месенджерів у світі, надаючи зручний, широкодоступний та кросплатформений інтерфейс, який вже є центральним хабом для комунікації багатьох користувачів. Використання Telegram як єдиної точки доступу до персонального помічника є логічним кроком для вирішення проблеми фрагментації.

Метою роботи є розробка персонального Telegram-бот помічника, що використовує велику мовну модель для інтелектуальної обробки запитів користувача та взаємодії з зовнішніми сервісами Gmail, Google Calendar і Notion. Основна ідея полягає в тому, щоб користувач міг виконувати звичні дії – перевіряти пошту, створювати події, вести нотатки чи ставити питання – безпосередньо у вікні чату Telegram, використовуючи звичайні текстові запити природною мовою. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість програм і вкладок, з якими доводиться працювати, а також підвищує швидкість виконання завдань.

Для досягнення поставленої мети було послідовно вирішено низку ключових завдань. По-перше, було проведено детальний аналіз предметної області, включаючи еволюцію персональних асистентів, огляд сучасних LLM, а також специфіку розробки на платформі Telegram та особливості роботи з API цільових сервісів. По-друге, на основі аналізу було обґрунтовано вибір програмних засобів та технологій. По-третє, було розроблено гнучку та масштабовану архітектуру персонального Telegram-бот помічника, засновану на модульному та агентному підходах. Наступним кроком стала безпосередня програмна реалізація модулів бота, зокрема інструментів для взаємодії з інтегрованими сервісами Gmail, Google Calendar та Notion. Критично важливим етапом стала інтеграція великої мовної моделі для інтелектуальної обробки запитів користувача. Завершальними етапами стали проведення тестування розробленого бота для перевірки його функціональності та коректності роботи , а також аналіз отриманих результатів та формулювання висновків.

Суть дослідження. В основі архітектурного рішення лежить концепція модульної системи, керованої центральним агентом-менеджером, який взаємодіє з набором спеціалізованих агентів-виконавців. Кожен агент-виконавець відповідає за взаємодію з конкретним зовнішнім сервісом, тоді як агент-менеджер виступає як єдина точка входу, аналізуючи запити користувача та делегуючи їх відповідним виконавцям.

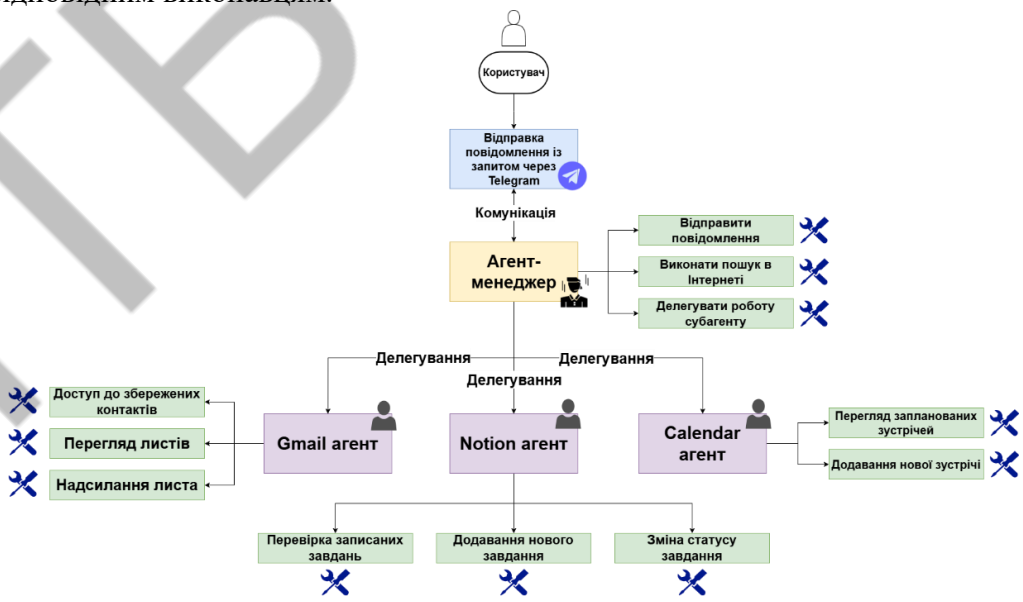


Рисунок 1 – Концептуальна схема процесу роботи помічника

В якості основного технологічного стеку було обрано мову програмування Python завдяки її домінуючому становищу у сферах ШІ та машинного навчання, а також розвиненій екосистемі бібліотек. Для інтеграції з LLM та побудови ланцюжків обробки запитів було використано

фреймворк LangChain. Ключовою технологією для реалізації агента-менеджера та оркестрації взаємодії між модулями став фреймворк LangGraph. Він дозволяє моделювати логіку LLM-додатка у вигляді орієнтованого графа станів, що забезпечує можливість реалізації складних сценаріїв, умовних переходів та циклічних процесів, що є значною перевагою над простими ланцюжками LangChain [4]. В якості базової великої мовної моделі було обрано Gemini 2.0 Flash від Google, яка надає оптимальний баланс між якістю генерації відповідей та високою швидкодією, що критично для інтерактивного режиму роботи бота.

Центральний агент-менеджер, реалізований на LangGraph, виступає як головний координатор. Він отримує повідомлення від користувача, аналізує його намір за допомогою LLM та, на основі умовної логіки графа, вирішує, якому спеціалізованому агенту делегувати завдання. Після виконання завдання субагентом, контроль повертається до менеджера для формування фінальної відповіді.

Спеціалізовані агенти-виконавці побудовані з використанням підходу ReAct (Reasoning and Acting). Цей підхід дозволяє LLM чергувати кроки "міркування" (Reasoning) – тобто внутрішнього аналізу, що потрібно зробити далі – та "дії" (Acting) – тобто виклику одного з наданих йому програмних інструментів. Інструменти – це, по суті, інкапсульовані функції Python, які безпосередньо взаємодіють з API зовнішніх сервісів. Для кожного агента було розроблено свій набір інструментів.

Кожен спеціалізований агент відповідає за інтеграцію з певним сервісом: Gmail, Google Calendar або Notion. Агент Gmail реалізує можливість читання вхідних листів, надсилання нових повідомлень, а також визначення адреси отримувача за контактами користувача. Агент Calendar забезпечує перегляд запланованих подій і створення нових записів у календарі із зазначенням дати, часу та опису події. Агент Notion реалізує функції роботи з нотатками та завданнями – перегляд існуючих записів, створення нових і зміну їх статусів. Кожен агент працює з відповідним API сервісу, а обмін даними здійснюється через протокол HTTPS із використанням безпечної автентифікації OAuth 2.0 [5].

У **результаті роботи** було отримано функціональний програмний прототип, який було всебічно протестовано. Бот коректно розпізнає наміри користувача, сформульовані природною мовою у вільному стилі, виконує поставлені йому завдання. Важливою особливістю є здатність системи зберігати контекст діалогу, дозволяючи користувачеві уточнювати свої запити або надавати інформацію в кількох послідовних повідомленнях.

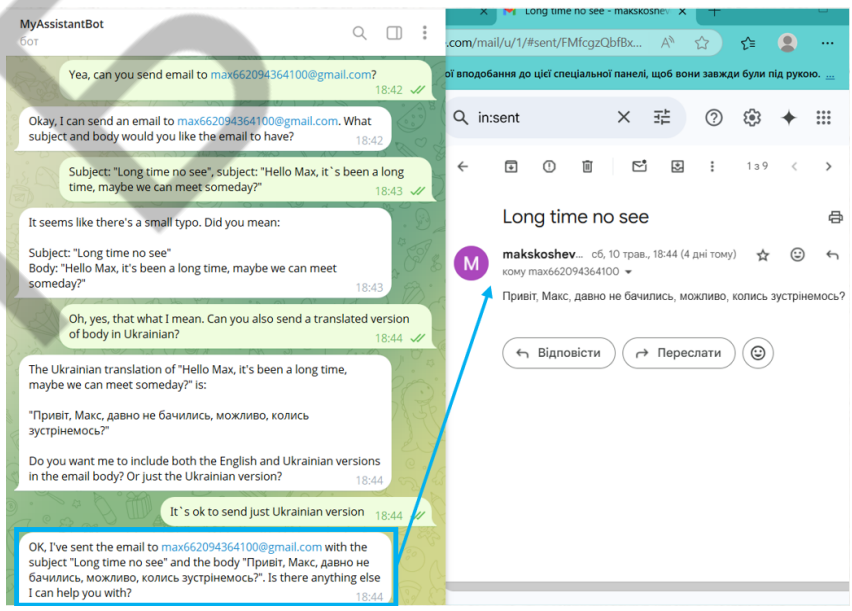


Рисунок 2 – Приклад використання бота для відправки електронного листа

Водночас під час реалізації та тестування було виявлено певні очікувані обмеження системи. До них належать залежність від стабільності та доступності API зовнішніх сервісів, можливі затримки у відповідях, пов'язані з часом, необхідним LLM для міркування та часом виконання запитів до зовнішніх API.

Таким чином, створений персональний Telegram-бот помічник є не лише практично корисним програмним рішенням, але й демонструє перспективність поєднання технологій штучного інтелекту, обробки природної мови та модульної архітектури при розробці інтелектуальних програмних систем [1, 2]. Отримані результати підтверджують, що інтеграція великих мовних моделей у повсякденні інструменти комунікації відкриває новий етап у розвитку персональних цифрових асистентів і становить актуальний напрям для подальших досліджень у галузі розробки та супроводу проблемно-орієнтованих програмних систем.

Список використаної літератури

[1] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 4th Edition, Pearson, 2021. 1115c.

[2] Vaswani A., Shazer N., Parmer N., Uszkoreit J., Jones L., Kaiser L., Polosukhin I. Attention Is All You Need. ArXiv, 2017. [Online]. URL: https://arxiv.org/abs/1706.03762. [Accessed: May 05, 2025].

[3] Josh A., Steven A., Sandhini A., Lama A. GPT-4 Technical Report, 2023. [Online]. URL: https://arxiv.org/abs/2303.08774. [Accessed: May 07, 2025].

[4] LangChain, LangGraph – Balance agent control with agency. [Online]. URL: https://www.langchain.com/langgraph. [Accessed: May 07, 2025].

[5] Auth0, What is OAuth 2.0. [Online]. URL: https://auth0.com/intro-to-iam/what-is-oauth-2. [Accessed: May 09, 2025].

УДК 338.45:69:004.94 (477)

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ТА СТРАТЕГІЧНІ ІМПЕРАТИВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

Крук В.М. (vasilij.kruk@gmail.com)
Одеський національний економічний університет (Україна)

Мета дослідження – проведення детального аналізу системної кризи, що охопила будівельний сектор на основі комплексного підходу до оцінки економічної доцільності автоматизації будівельної галузі України. Розглянуто технологічний стек, здатний вирішити ідентифіковані завдання на основі таких показників, як рентабельність інвестицій (ROI). Отримані результати дозволили сформулювати висновки та запропонувати стратегічні рекомендації для ключових стейкхолдерів з метою прискорення технологічної модернізації галузі.

Будівельна галузь України перебуває на критичному етапі свого розвитку, де традиційні методи ведення бізнесу стикаються з безпрецедентними системними викликами. Конвергенція факторів, що включають гіперінфляцію собівартості, гострий дефіцит кваліфікованої робочої сили, створює загрозу не лише для рентабельності окремих проєктів, але й для здатності всієї галузі задовольнити нагальні потреби у відбудові та модернізації інфраструктури. В цих умовах автоматизація будівельних процесів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) та робототехнічних систем перестає бути питанням перспективних інновацій і трансформується в нагальну економічну необхідність.

Хоча цифрова трансформація є глобальним трендом у будівництві [1], специфічний український контекст, обтяжений наслідками війни та економічною нестабільністю, значно посилює актуальність переходу до автоматизованих моделей. Ефективність, передбачуваність та стійкість, які забезпечують сучасні технології, стають ключовими факторами виживання та конкурентоспроможності.

Для обґрунтування економічної необхідності впровадження автоматизації будівництва необхідно провести ретельну діагностику багатогранної кризи, що вразила будівельну галузь України. При аналізі середовища, де функціонують українські будівельні компанії, є характерною екстремальна волатильність та тиск на витрати, що ускладнює планування та ставить під загрозу фінансову стійкість проєктів. Економічні виклики зображено (рис.1).

Рис.1 Ключові економічні виклики
Джерело: розроблено автором на основі [2; 3; 5]

Аналіз показує, що однією з найгостріших проблем є неконтрольоване зростання собівартості будівництва. З 2019 року загальна вартість будівельних робіт зросла майже на 200%. Галузь зіткнулася з критичною нестачею кваліфікованих кадрів, яка оцінюється в 30-40% від потреби. Цей дефіцит є прямим наслідком мобілізації та міграції фахівців за кордон. Незважаючи на описані вище кризові явища, будівельний ринок України демонструє парадоксальну динаміку зростання попиту. У першому півріччі 2025 року кількість виданих дозволів на нове житлове будівництво зросла на 45% порівняно з аналогічним періодом попереднього року. Це перетворює питання автоматизації з опції для оптимізації на стратегічний імператив для виживання та задоволення ринкового попиту, особливо в контексті майбутньої масштабної відбудови країни. Стагнація продуктивності є прямим наслідком повільного впровадження цифрових технологій та надмірної залежності від ручної праці. На рис. 2 наведено перетворення будівельного процесу з послідовності ризикованих ручних операцій на керований, прозорий та передбачуваний виробничий цикл.

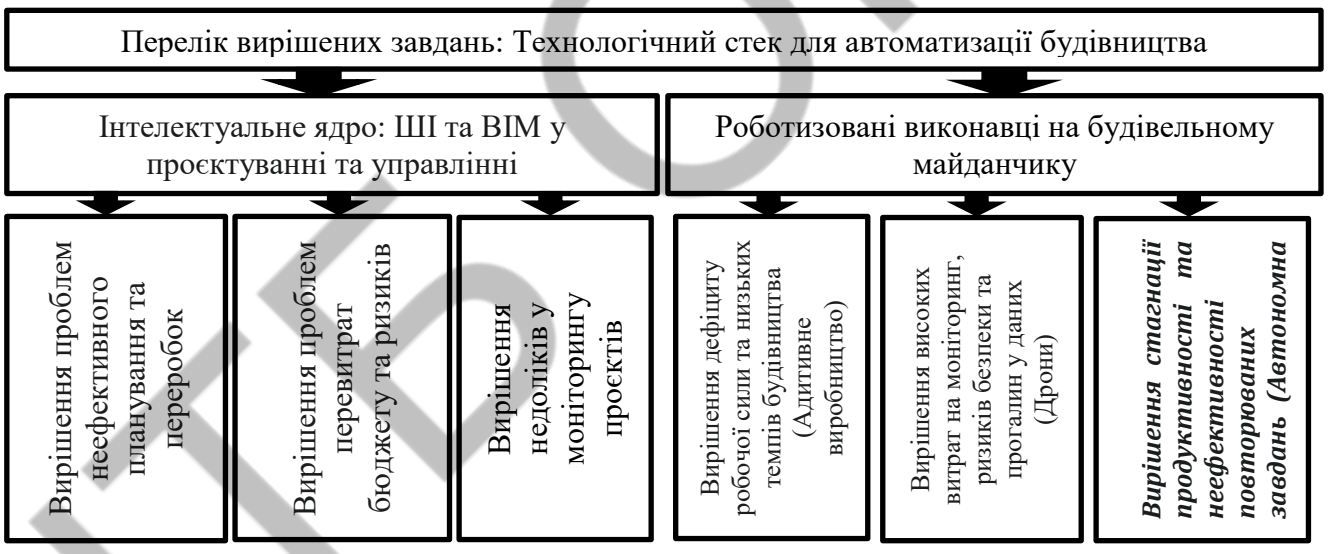


Рис.2 Перелік завдань для автоматизації будівництва
Джерело: розроблено автором на основі [2]

В доповіді розглянуті питання комплексного економічного аналізу впровадження автоматизації в будівельній галузі. Після визначення технологічного стеку, здатного вирішити ключові проблеми галузі, запропоновано проведення всебічний економічного аналізу її впровадження, який охоплює розрахунок рентабельності інвестицій, вивчення бар'єрів, що стоять на шляху до широкого впровадження, та прогнозування наслідків для ринку праці. В якості головного орієнтиру для оцінки економічної доцільності автоматизації бізнес процесів в будівництві використано ROI, який враховує не лише прямі фінансові вигоди, але й стратегічні та непрямі переваги, що часто залишаються поза увагою при традиційних розрахунках(результати аналізу наведено в таблиці 1)

Таблиця 1 Порівняльний аналіз витрат та вигод використання традиційних та автоматизованих методів підходу у будівництві

Технологічне рішення	Ключовий економічний показник	Показник традиційного методу	Показник автоматизованого методу
3D-друк	Витрати на робочу силу	Високі (25% + від вартості проєкту)	Скорочення до 80%
	Відходи матеріалів	Значні	Скорочення до 60%
	Тривалість будівництва	Місяці	Дні
Дрони (БПЛА)	Час на інспекцію	Дні/Тижні (ручна)	Скорочення до 85%
	Витрати на моніторинг	Високі (персонал, обладнання)	Скорочення до 70%
	Точність даних	Схильність до людської помилки	Висока точність, см-рівень
Автономна техніка	Продуктивність	Обмежена змінами оператора	Можлива робота 24/7
	Загальна вартість проєкту	Базова лінія	Скорочення до 20%
	Безпека	Завдання з високим ризиком для людей	Автоматизація небезпечних завдань
ШІ + BIM	Затримки проєкту	Поширені (в середньому 20% перевищення)	Скорочення до 30%
	Переробки через помилки	Високі	Скорочення до 50%

Висновки. Дослідження підтверджують, що інтегроване застосування штучного інтелекту та робототехнічних систем пропонує економічно обґрунтовану та кількісно вищу модель функціонування. Технології, такі як BIM, ШІ-планування, 3D-друк, дрони та автономна техніка, забезпечують значну рентабельність інвестицій через пряме скорочення витрат на робочу силу та матеріали, що призводить до радикального підвищення ефективності та швидкості виконання проєктів, а також критичного зниження операційних та фінансових ризиків. Стратегічні рішення та інвестиції, зроблені сьогодні, визначатимуть, які компанії та яка національна промисловість зможуть не лише подолати поточні виклики, але й стати лідерами у будівництві майбутнього. Для України, з її колосальними потребами у відбудові, технологічна модернізація будівельної галузі є не просто можливістю, а фундаментальною умовою успішного та ефективного відновлення.

Список використаної літератури

1. Тренди будівельної галузі 2025: Що чекає на нас? - Parametric.center, https://parametric.center/2024/06/24/construction-industry-trends-2025-what-to-expect/ ua (дата звернення: 22.10.2025).

2. Собівартість будівництва в Україні зросла на 200%. Як змінилися ціни? - 3m2, https://3m2.ua/news/sobivartist-budivnycztva-v-ukrayini-zrosla-na-200-yak-zminylysya-cziny/ (дата звернення: 22.10.2025).

3. Як дефіцит будівельників впливає на ринок нерухомості - UKR.NET, https://www.ukr.net/news/details/economics/105576495.html (дата звернення: 22.10.2025).

4. Будівельний ринок без грошей і кадрів. Що далі? - Економічна правда, https://epravda.com.ua/columns/2024/11/11/721617/ (дата звернення: 22.10.2025).

5. Обсяги нового будівництва житла виросли на 45%: де будують найбільше — Держстат, https://news.finance.ua/ua/obsyahy-novoho-budivnyctva-zhytla-vyrosly-na-45-de-buduyut-naybil-she-derzhstat (дата звернення: 22.10.2025).

6. A Review of 3D Printing in Construction and its Impact on the Labor Market - MDPI, Sustainability 2020, 12(20), 8492; https://doi.org/10.3390/su12208492 (дата звернення: 22.10.2025).

7. Automation in Construction - How Is The Industry Changing? - ProjectMark, https://www.projectmark.com/blog/automation-in-construction (дата звернення: 22.10.2025).

8. 3D-друк будинків: які тенденції в Україні? | Арма Експерт, https://arma.ks.ua/news/3d-druk-budynkiv-iaki-tendentsii-v-ukraini (дата звернення: 22.10.2025).

9. The Need for AI in Construction, https://www.cmaanet.org/sites/default/files/resource/AI%20in%20Construction_0.pdf (дата звернення: 22.10.2025).

10. Крук В.М., Гострик О,М. Можливості використання штучного інтелекту для керування проєктами в будівництві. Науковий вісник Одеського національного економічного університету: зб. наук. праць; за ред.: В.В. Коваленко, (ISSN 2409-9260). Одеса, 2025, №1(326), С. 7-13. ОНЕУ, DOI: 10.32680/2409-9260-2025-1-326-7-13 (дата звернення: 22.10.2025).

УДК 004.8

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ СТУДЕНТІВ У ВЕБСИСТЕМІ ОНЛАЙН-ОСВІТИ

Кряжєва Д.Є., Літвінова Ю.С.
(Daryna.Kriazheva@cs.khpi.edu.ua, Uliya.Litvinova@khpi.edu.ua)
Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)

У роботі досліджується проблема автоматизованої класифікації студентів у вебсистемі онлайн-освіти. Традиційний підхід, що передбачає ручний розподіл за рівнями знань, є трудомістким і суб'єктивним. Для підвищення ефективності та об'єктивності запропоновано інтеграцію алгоритму кластеризації k-means у систему онлайн-освіти.

Актуальність дослідження. У сучасних онлайн-курсах передусім постає проблема відсутності належної автоматизації процесів аналізу даних студентів, що також ускладнює персоналізацію навчання. Застосування методів машинного навчання дає змогу автоматизувати обробку навчальної активності, а відтак забезпечити кращу персоналізацію траєкторій і рекомендацій [1].

Методи та реалізація. У роботі використано алгоритм k-means для кластеризації студентів за результатами тестування з англійської мови. Вхідні дані — числові бали тестів, які проходять попередню нормалізацію. Оптимальну кількість кластерів визначено методом «ліктя» [2], що дозволило сформувати п'ять рівнів відповідно до шкали CEFR (A1–C1). Система автоматично відносить студента до відповідного кластера, візуалізує його результат у порівнянні з іншими, та на основі профілю кластера формує персоналізовані освітні траєкторії. Рекомендації оновлюються за результатами повторних тестувань, що забезпечує адаптивність траєкторій до динаміки успішності.

Результати дослідження. Впровадження системи кластеризації студентів у вебзастосунку онлайн-школи суттєво покращило персоналізацію освітнього процесу. За підсумками місячного тестування, ефективність автоматизованого підходу до формування груп та надання персоналізованих рекомендацій становила близько 80%, що відчутно перевищує показники ручного розподілу. Автоматичне групування за рівнями знань усунуло потребу в ручному формуванні та зменшило вплив суб'єктивного чинника під час оцінювання. Сервіс забезпечує цілодобовий доступ до результатів тестування й рекомендацій, спрощуючи адаптацію студентів до навчального середовища. Викладачі отримали змогу оперативно відстежувати рівень підготовки як груп, так і окремих студентів, що покращує якість навчнання. Автоматизація класифікації та формування рекомендацій дає змогу одночасно обробляти більшу кількість студентів без додаткового навантаження на персонал, що особливо важливо під час масштабування на широке коло користувачів.

Висновки. Запропонований підхід продемонстрував ефективність інтеграції алгоритмів машинного навчання у процес онлайн-освіти. Система кластеризації на основі k-means підвищує об'єктивність оцінювання, оптимізує роботу викладачів і створює умови для формування

персоналізованих освітніх траєкторій. Подальші дослідження передбачають використання гібридних моделей для підвищення точності класифікації.

Список використаної літератури

[1] J. Han, M. Kamber, J. Pei, “Data Mining: Concepts and Techniques”, 3rd ed., Morgan Kaufmann, 09.06.2011 [Online]. Available: https://www.academia.edu/22412092/DATA_MINING_CONCEPTS_AND_TECHNIQUES_3RD_EDITION [Accessed: October 04, 2025].

[2] Christopher M. Bishop, “Pattern Recognition and Machine Learning”, Springer, 17.08.2006 [Online]. Available:https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2006/01/Bishop-Pattern-Recognition-and-Machine-Learning-2006.pdf[Accessed: October 04, 2025].

УДК 004.8:336.7

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ

Кучеренко В.В., Сердюк Н. М.
(vitalii.kucherenko@nure.ua, nataliya.serdyuk@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В тезах розглядається поняття застосування нейронних мереж для автоматизації фінансового аналізу, їх принципи роботи та основні типи архітектур (RNN, LSTM, CNN, CNN–LSTM). Обґрунтована актуальність використання нейромереж для підвищення точності прогнозування фінансових станів підприємств та аналізу часових рядів на фондових ринках. Також наведені приклади впровадження моделей на даних NASDAQ, промислових підприємств і банків, описуються механізми навчання та оцінки ефективності моделей. Висновок відповідає на питання практичної користі нейромереж у фінансовому аналізі та підкреслює переваги гібридних моделей і їхні обмеження.

Автоматизація фінансового аналізу є ключовим напрямом розвитку сучасних фінансових технологій. Традиційні статистичні методи часто не враховують складні нелінійні взаємозв’язки між показниками фінансових систем, що обмежує їх точність. Використання нейронних мереж дозволяє моделювати ці нелінійні взаємозв’язки між змінними, що підвищує точність класифікації фінансових станів підприємств на 10–12% [1]. Це відкриває нові можливості для прогнозування фінансових криз та оптимізації інвестиційних стратегій, що стає особливо актуальним у високоволатильних ринкових умовах. Крім того, застосування нейромереж зменшує людський фактор при аналізі великих масивів даних, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на основі об’єктивних результатів. Такі методи сприяють підвищенню надійності фінансового прогнозування та управління ризиками.

Для порівняння ефективності моделей використовувалися набори даних фондового ринку NASDAQ за період 2020–2024 рр., а також дані промислових підприємств і банківські фінансові показники, зокрема прибуток, ліквідність і кредитний портфель [2]. Архітектури нейронних мереж включали рекурентні RNN (Recurrent Neural Network) та LSTM (Long Short-Term Memory) для моделювання часових рядів, згорткові нейронні мережі CNN (Convolutional Neural Network) для виділення локальних та структурних патернів у даних, а також гібридні CNN–LSTM для комплексного просторово-часового аналізу [3]. Використання таких архітектур дозволяє аналізувати великі масиви даних у режимі реального часу, що значно підвищує оперативність прийняття управлінських рішень. Додатково це сприяє виявленню прихованих закономірностей, які не видно при традиційному аналізі, і допомагає створювати більш точні прогнози для різних секторів економіки. Сучасні нейромережеві підходи дозволяють адаптувати моделі до змін ринку без значного перенавчання.

LSTM забезпечували стабільність при довготривалих залежностях і зменшували похибку прогнозування на 10–15% порівняно з авторегресійною інтегрованою моделлю ковзного

середнього ARIMA, тоді як CNN ефективно виявляли локальні закономірності у графіках цін акцій і криптовалют [2]. Гібридні CNN–LSTM моделі поєднували переваги обох архітектур: CNN вилучали локальні ознаки, а LSTM враховували довготривалі залежності, що дозволяло підвищити точність прогнозів на 12–18% [3]. Такі моделі дозволяють одночасно враховувати як глобальні тенденції ринку, так і локальні аномалії, що робить їх ефективним інструментом для фінансового аналізу та управління ризиками. Крім того, гібридні моделі дають змогу прогнозувати поведінку нових активів, наприклад криптовалют або стартапів, де історичні дані обмежені. Це підвищує загальну адаптивність аналітичної системи до нестабільного ринкового середовища.

Моделі реалізовувалися з використанням бібліотек TensorFlow, Keras та PyTorch. Метрики оцінки ефективності включали точність класифікації фінансових станів, F1-score, середньоквадратичну помилку (RMSE) та середню абсолютну помилку (MAE). Процес навчання гібридних моделей включав нормалізацію даних, розділення на тренувальні і тестові набори у співвідношенні 80/20, оптимізацію за допомогою стохастичного градієнтного спуску та крос-валідацію для зменшення перенавчання. Такі підходи дозволяють забезпечити стабільність результатів навіть при змінних вхідних даних і зменшують ризик перенавчання. Додатково використання сучасних бібліотек забезпечує гнучкість реалізації та можливість інтеграції моделей у існуючі аналітичні платформи. Це робить процес застосування нейромереж практично доступним для різних фінансових організацій.

LSTM моделі дозволяли ефективно прогнозувати часові ряди валютних курсів та цін акцій, зменшуючи похибку на 10–15%, тоді як CNN моделі підвищували точність прогнозування графіків криптовалют. Гібридна CNN–LSTM модель показала підвищення точності прогнозів на 12–18% порівняно з ARIMA, а F1-score для класифікації фінансових станів підприємств збільшився на 10% [3]. Це підтверджує практичну ефективність нейромережевих архітектур у порівнянні з традиційними методами, що робить їх перспективним інструментом для інвесторів і фінансових аналітиків. Додатково, результати показують, що гібридні моделі можуть зменшувати ризик помилкових рішень у критичних фінансових ситуаціях і підвищувати надійність прогнозів для стратегічного планування.

Наукова новизна полягає у кількісному порівнянні ефективності гібридних CNN–LSTM з традиційними статистичними моделями у задачах прогнозування фінансових часових рядів на прикладі NASDAQ 2020–2024 рр. та даних підприємств. Використання гібридних моделей забезпечило підвищення точності прогнозів на 12–18%, зменшення RMSE на 8–10% і покращення F1-score на 10%, що демонструє переваги нейромережевих архітектур при роботі з великими і складними даними. Ці результати можуть стати основою для впровадження більш точних систем управління ризиками та підтримки прийняття стратегічних рішень у фінансовому секторі. Крім того, вони підкреслюють перспективність нейромереж як основи для створення автоматизованих платформ аналітики та управління портфелями активів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення інтерпретованих моделей та оптимізацію обчислювальних витрат при використанні нейронних мереж у фінансовій аналітиці. Нейронні мережі є перспективним напрямом автоматизації фінансового аналізу завдяки здатності до самонавчання, масштабування та адаптації до змін ринку. Вони підвищують точність прогнозів, скорочують час обробки великих обсягів даних і підтримують прийняття обґрунтованих управлінських рішень у банківській та інвестиційній сферах, що робить їх стратегічно важливими для розвитку фінансових систем [1].

Застосування таких технологій дозволяє інтегрувати аналітичні системи з платформами прийняття рішень, що сприяє підвищенню ефективності корпоративного управління та стабільності фінансових інститутів. Додатково, ці рішення можуть слугувати основою для розробки прогнозних систем нового покоління та інструментів управління ризиками на рівні державних і міжнародних фінансових структур.

Список використаної літератури

[1] А. Гречановський, "Нейромережева модель аналізу фінансових показників компанії (на прикладі «УХЛ-МАШ»)," КНЕУ, Київ, 2023. [Online]. Available: https://ir.kneu.edu.ua

[2] С. Боярчук та І. Тищенко, "Моделі прогнозування часових рядів ARIMA та LSTM в економіці та фінансах," 2025. [Online]. Available: https://science.lpnu.ua

[3] Г. І. Тарасова, "Порівняльний аналіз CNN-моделей для прогнозування курсу криптовалют," 2025. [Online]. Available: https://ela.kpi.ua

UDC 004.8:004.9

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING INFORMATION RETRIEVAL SYSTEMS

Levenets I.O., Sotnik S.V.
(illia.levenets@nure.ua, svetlana.sotnik @nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The paper presents a comprehensive analysis of the application of artificial intelligence methods for the optimization of information retrieval systems. The main problems of modern IRS are investigated, particularly the inefficiency of traditional algorithms in the context of exponential growth of unstructured data volumes. Key AI methods for search improvement are systematized, including natural language processing, vector semantic search, Learning to Rank models, personalization systems, and thematic modeling. Particular attention is paid to the analysis of the balance between the power of intelligent search and ensuring information security. Promising directions for further research are identified, among which are the development of multimodal systems, the implementation of proactive search mechanisms, and the integration of dynamic ontologies.

Problem Statement.

In today's information society, the efficiency of searching for relevant data has become a critical factor in scientific, professional, and daily activities [1-3]. Classical algorithms of information retrieval systems (IRS), based on statistical methods, are increasingly proving ineffective in the context of exponential growth of unstructured data, polysemy of language constructs, and individualization of users' information needs.

A sharp contradiction arises between:

1. The growing need for accurate, contextual, and personalized search.
2. The limited capabilities of traditional IRS to adequately interpret complex queries, recognize user intent, and filter out information noise.

The problem lies in the insufficient intellectualization and low adaptability of modern IRS, leading to the loss of valuable information, decreased user productivity, and inefficient use of information resources.

This problem requires comprehensive research and implementation of innovative approaches, among which artificial intelligence (AI) methods and technologies occupy a key place, capable of fundamentally transforming the architecture and functionality of search systems.

Another critical aspect of the problem is ensuring information security in optimized IRS [4-6]. The integration of AI for data processing, including confidential or personal data from IoT networks, raises new challenges regarding protection against leaks, unauthorized access, and malicious attacks on the AI algorithms themselves (adversarial training, data poisoning). Therefore, finding a balance between the power of intelligent search and security reliability is a key aspect of optimization [7].

Essence of study.

The essence of this research lies in identifying and analyzing the potential applications of artificial intelligence methods and technologies for optimizing information retrieval systems. The study emphasizes the integration of intelligent algorithms into search, processing, and data interpretation processes with the goal of enhancing user efficiency amidst growing information flows.

To understand the specific application points for artificial intelligence methods, it is necessary to examine the typical operational algorithm of a modern IRS. A classical IRS functions through several sequential stages (Figure 1).

НТБОНТУ

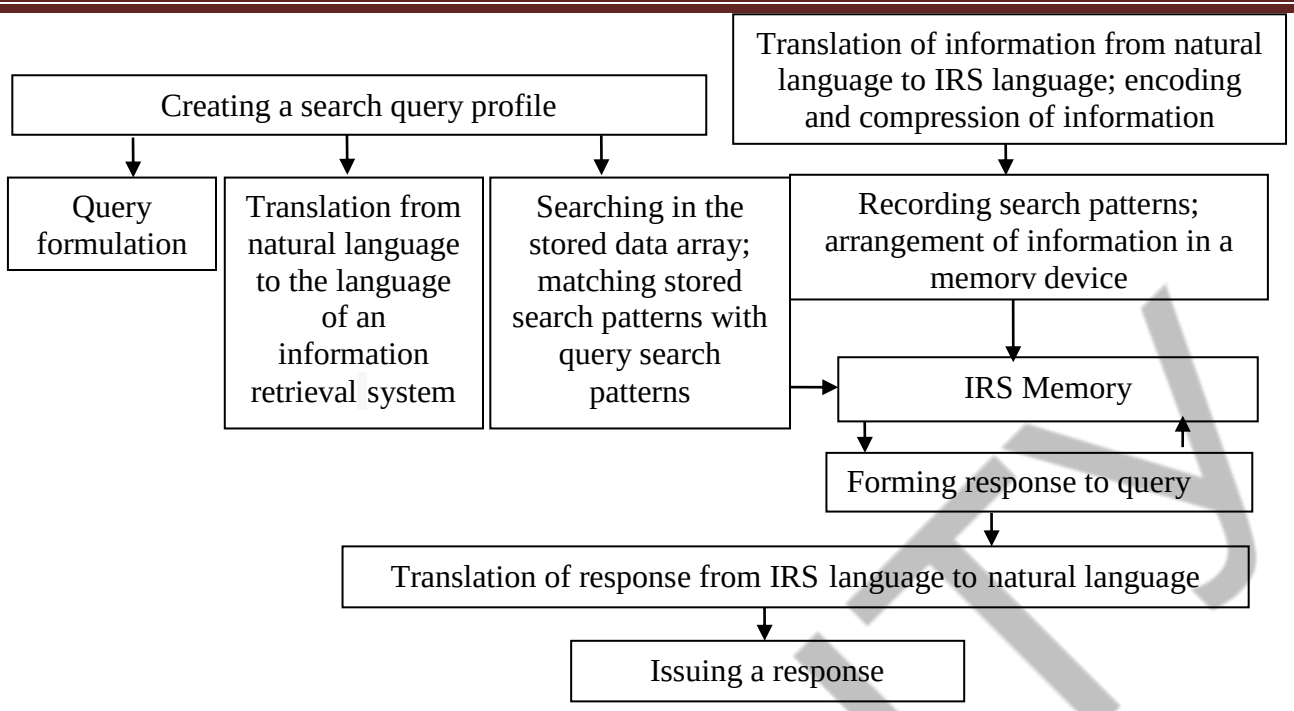


Figure 1. General Scheme of IRS Functioning

There are AI methods and technologies capable of fundamentally transforming the architecture, functionality, and security of search systems.

Table 1. Main classes of methods for improving search systems

Class of methods	Main features	Advantages
Natural Language Processing (NLP, Transformer models)	- semantic understanding of queries and documents (embeddings); - intent detection; - entity extraction (NER); - query reformulation (query rewriting / expansion).	- more precise semantic relevance; - better handling of polysemy; - coverage of synonyms and error correction.
Vector (semantic) search and vector databases	- search by vector representations; - ANN algorithms (HNSW, FAISS); - supplementing / replacing the inverted index.	- finding semantically similar documents; - working without exact keyword matching.
Ranking Models (Learning to Rank)	- gradient boosting (LightGBM, XGBoost); - neural rankers; - pairwise / triplet learning (pairwise / triplet loss); - feature combination (TF-IDF, PageRank, CTR).	- optimization of result ranking; - consideration of multiple relevance factors; - improvement of quality metrics.
Personalization and recommendations	- user profiling; - collaborative filtering; - hybrid systems; - dynamic ranking.	- individual relevance; - increased user satisfaction; - better conversion.
Clustering, topic modeling	- modern: BERTopic, Top2Vec, embeddings clustering; - classic: LDA (becoming outdated); - knowledge graphs/ontologies; - thematic analysis of collections.	- content structuring; - topic navigation; - identification of semantic connections.
Active learning, online learning	- collection of labels «on the fly»; - adaptation of models to changes; - incremental updating.	- quick adaptation to new conditions; - lower marking costs; - tracking trends.

To gain a deeper understanding of the mechanisms behind this transformation, it is appropriate to systematize the key artificial intelligence approaches used in information retrieval systems. Table 1 presents the main classes of methods and an analysis of their key capabilities.

As can be seen from Table 1, modern artificial intelligence methods provide comprehensive improvements to information retrieval systems at all stages – from query understanding to final result ranking. Particularly notable is the shift from lexical to semantic search, which opens up new opportunities for more accurately meeting users' information needs.

Conclusions

The conducted research confirms that the integration of artificial intelligence methods into information retrieval systems represents a fundamental transformation of approaches to information search, processing, and interpretation. The systematization of key AI approaches has revealed their significant potential for solving critical problems of modern IRS. The main artificial intelligence methods for IRS optimization have been identified and classified. The advantages of implementing each of the defined AI technologies have been analyzed. It has been proven that the comprehensive application of these methods enables the transition from lexical to semantic search, ensuring more accurate relevance, better understanding of complex queries, and an individual approach to user needs. The most promising directions for further research include the development of multimodal IRS that integrate semantic search with visual and audio content analysis, as well as the implementation of mechanisms for proactive satisfaction of information needs based on predictive analytics and dynamic ontologies. A generalized scheme of IRS operation has been developed, allowing the identification of critical points for the integration of AI methods at each stage of the search process.

References

[1] S. Sotnik, M. Rudenko, “Evaluating relational database scaling strategies in web engineering,” *International Conference on Advanced Trends In Radioelectronics and Infocommunications (ATRIC-2025) (May 21–22, 2025), Lviv Polytechnic Publishing House, Lviv, Ukraine*. 2025, pp. 224-228. [Online]

[2] С. Сотник, “Розробка автоматизованої інформаційно-пошукової системи вибору маніпулятора промислових роботів,” *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2025, 1 (68), pp. 52-58. [Online]

[3] K. A. Polikanov, et al., “Overview of modern technologies for residential automation,” *«Computer-integrated technologies, automation and robotics» CITAR-2025*. 2025, pp. 85-89. [Online]

[4] S. V. Sotnik, “Analysis of Personal Information Security Issues in Peacetime and Wartime,” *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*. 2024, Vol. 8, Issue 10, pp. 108-113. [Online]

[5] R. V. Marunich, et al., “Features of IoT application in the security sector,” *«Computer-integrated technologies, automation and robotics» CITAR-2025*. 2025, pp. 80-84. [Online]

[6] R.V. Marunich, et al., “Modern IoT technologies for creating automated access systems,” *Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Thesises of Reports*. 2025, pp. 38-39. [Online]

[7] A. Tverdokhlib, et al., “Intelligent tools for optimizing information and search engines,” *Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26*. 2024, pp. 28-31. [Online]

UDC 004.8+77.02

ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБРАЗІВ У ФОТО- ТА ВІДЕОСИСТЕМАХ: МЕТОДИ УСУНЕННЯ ШУМІВ ТА СПОТВОРЕНЬ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

Липовий А.Є.(arsen.y.lypovyi@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розглядаються методи покращення якості цифрових зображень у фото- та відеосистемах на етапі додрукарської підготовки. Аналізуються інформаційні характеристики

відеосигналів (динамічний діапазон, кольорові моделі) та основні джерела спотворень – шуми сенсорів, артефакти стискання, розмитість, інтерференції, несприятливі погодні умови

У сучасних фото- та відеосистемах цифрові зображення часто містять різноманітні спотворення, що негативно впливають на їхню якість. Навіть при коректних умовах зйомки практично завжди присутні шуми — випадкові коливання яскравості, спричинені фотонним шумом сенсорів або електронними перешкодами. Додатковими факторами деградації є рух об’єктів або неідеальне фокусування, що призводить до розмиття, а також артефакти, зумовлені операціями цифрового стискання, наприклад JPEG. Відомо, що основні типи візуальних спотворень класифікуються як шуми, розмитість, цифрові артефакти та атмосферні впливи (дощ, сніг, туман). Усі ці чинники знижують інформативність зображення та можуть унеможливлювати коректне розпізнавання об’єктів і символів, що є критичним для поліграфії. Етап додрукарської підготовки потребує високої точності й якості вхідних зображень, адже саме від них залежить кінцевий результат друку. Таким чином, постає завдання розроблення ефективних інформаційних технологій, здатних аналізувати і коригувати зображення, мінімізуючи вплив шумів і спотворень ще до подальшого використання матеріалів у друкарських або розпізнавальних процесах [1].

Суть дослідження. Дослідження спрямоване на вивчення джерел шумів і спотворень у цифрових фото- та відеозображеннях, а також на аналіз інформаційних характеристик відеосигналів — таких як роздільна здатність кадру, частота кадрів, глибина кольору та динамічний діапазон. Встановлено, що ці параметри безпосередньо впливають на достовірність і повноту переданої інформації. Розроблено алгоритми цифрової обробки зображень, що базуються на спектральних методах, зокрема на використанні перетворення Фур’є для фільтрації шумів та адаптивного оброблення частотних компонент. Здійснено корекцію розмитості, артефактів стискання, кольору і контрасту. Крім класичних методів, розглянуто використання інтелектуальних систем, побудованих на основі машинного навчання та глибоких нейронних мереж. Дані алгоритми забезпечують автоматичне налаштування параметрів обробки і підтримують завдання розпізнавання вмісту. На практиці доведено ефективність інтеграції інтелектуальних рішень у системи додрукарської підготовки, зокрема у таких програмних комплексах, як Adobe Sensei та PrintIQ. Вони здійснюють автоматичний аналіз, оптимізацію та перевірку (preflight) зображень, що істотно скорочує час обробки і знижує кількість помилок під час підготовки файлів до друку. Експериментальна перевірка підтвердила ефективність та продемонструвала покращення показників якості (зокрема, SNR, PSNR, точність кольоропередачі) і зростання точності автоматичного розпізнавання об’єктів та тексту.

Аналітичні дослідження показали, що застосування спектральних методів цифрової обробки, зокрема перетворення Фур’є, дозволяє розділяти зображення на складові за частотними діапазонами та ефективно виділяти низько- і високочастотні компоненти. Це забезпечує можливість локалізованого усунення шумів та артефактів без втрати важливих деталей. Фільтри, реалізовані на основі цих методів, продемонстрували значне підвищення відношення сигнал/шум при збереженні високої деталізації зображення. Водночас було встановлено, що стандартні засоби цифрової обробки (наприклад, у сканерах чи камерах) часто призводять до втрати тонової та колірної інформації. Впровадження індивідуальних кольорових профілів та оптимальних параметрів калібрування дозволило значно підвищити достовірність передачі кольору. Корекція налаштувань обладнання продемонструвала, що навіть незначні відхилення у профілях кольору можуть суттєво впливати на результат, а адаптивне калібрування повертає точну передачу відтінків і контрасту [2].

Алгоритми оптимізації, засновані на машинному навчанні, істотно підвищили швидкість і точність додрукарської обробки. Впровадження автоматичних систем аналізу(зокрема, Adobe Sensei та PrintIQ) спростило процедуру контролю якості, зменшило час на виявлення і виправлення помилок та дозволило уникнути повторних правок файлів. Поєднання традиційних цифрових перетворень і сучасних інтелектуальних підходів дало синергетичний ефект — візуальна якість кінцевих зображень істотно зросла, кольори стали більш природними, а контури об’єктів — чіткішими. Підвищення показників PSNR і покращення однорідності кольору підтвердили доцільність розробленого підходу.

Висновки. У результаті проведених досліджень було доведене автоматизоване усунення спотворень при мінімальному втручанні оператора під час використання спектральних фільтрів у

поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту, що є одним ключовим чинником для підвищення продуктивності та якості у системах додрукарської підготовки.

Список використаної літератури

[1] А. Є. Липовий, "Використання програмних засобів для післяобробки фотографій", Матеріали *IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Сучасна молодь в світі ІТ», Херсон,* 19 травня 2023 р., С. 62-63.

[2] Schewe, Jeff. The Digital Print: Preparing Images in Lightroom and Photoshop for Printing. Peachpit Press, 2013. 336 p.

УДК 004.891

ВИКОРИСТАННЯ CLIPS ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Ліщинська Л.Б. (LLB@vntu.edu.ua)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

В роботі розглядається використання CLIPS для створення експертних систем, наводяться його ключові особливості та перспективи застосування.

Для ефективної роботи штучного інтелекту він має вирішувати складні проблеми без будь-яких перешкод. Це може досягатися з використанням великих і складних процедурних кодів, але одним з простіших способів є застосування експертних систем [1].

Одним із найпопулярніших і продуктивних інструментів для розробки і реалізації експертних систем є CLIPS [2, 3], що забезпечує повне середовище для побудови експертних систем на підставі правил та/або об'єктів.

CLIPS знаходить своє використання користувачами як у державному так і у приватному секторах по всьому світу, зокрема, на об'єктах NASA та у підрозділах військових сил США, федеральних бюро, урядових організацій, університетів, різноманітних компаній.

Серед ключових особливостей CLIPS доцільно виділити:

- представлення знань;
- портативність;
- інтеграція/розширюваність;
- інтерактивність розробки;
- верифікація/валідація тощо.

Розглянемо детальніше ці особливості.

CLIPS надає у користування цілісний інструмент для обробки широкого спектру знань з підтримкою трьох різних парадигм програмування: на основі правил, об'єктно-орієнтованої та процедурної.

Програмування на основі правил дозволяє подавати знання у вигляді евристик або "емпіричних правил", які встановлюють набір дій, що мають бути виконані для конкретної ситуації.

Об'єктно-орієнтоване програмування дозволяє моделювати складні системи як модульні компоненти (які можуть бути легко повторно використані для моделювання інших систем або для створення нових компонентів).

Можливості процедурного програмування, що надаються CLIPS, подібні до можливостей, що надають більшість популярних мов програмування.

CLIPS для портативності та швидкості роботи може бути встановлений на комп'ютерах з різними платформами без змін коду. CLIPS постачається з усім вихідним кодом, який можна змінювати та налаштовувати відповідно до конкретних потреб користувача.

CLIPS можна вбудовувати у процедурний код, як підпрограму, та інтегрувати з мовами програмування. CLIPS може легко розширюватись користувачем за допомогою кількох чітко визначених протоколів.

Стандартна версія CLIPS забезпечує інтерактивне, текстово-орієнтоване середовище розробки, зокрема засоби налагодження, онлайн-довідку та інтегрований редактор.

Верифікація/валідація включає низку функцій для підтримки верифікації і валідації експертних систем, зокрема підтримку модульного проектування і розділення бази знань, статичну і динамічну перевірку обмежень значень слотів та аргументів функцій, а також семантичний аналіз шаблонів правил для можливості визначення, чи можуть невідповідності перешкоджати роботі правилі чи генерувати помилку.

Експертна система, яка є частиною штучного інтелекту, розробляється для вирішення складних проблем за допомогою правил, заснованих на знаннях, замість використання довгих процедурних кодів. Вона працює, застосовуючи визначені правила до бази знань системи за допомогою механізму логічного висновку. Експерт створює базу знань, яка є набором фактів з певних галузей. Далі на основі цієї бази знань і різних запитів користувачів розробляється набір правил. Механізм логічного висновку пов'язує базу знань і набір правил, з якими користувач може взаємодіяти через зручний інтерфейс користувача.

Визначення правил для створення експертної системи зі штучним інтелектом.

Кожне визначене правило може мати набір умов, які ґрунтуються на базі знань експертної системи. Якщо вони виконуються після відповіді користувача на запит, тоді можуть виконуватися певні дії.

Вхідні дані зчитуються користувачем після відповіді на ці запити. Далі ці вхідні дані стверджуються як факти для розширення бази знань експертної системи для подальшого використання.

CLIPS - це проста для розуміння мова програмування, яка працює на базових принципах, але водночас дозволяє створювати глибокі складні системи. Базового синтаксису і гарного розуміння правил і фактів достатньо, щоб почати створювати власні базові експертні системи зі штучним інтелектом.

CLIPS надає багато можливостей для вивчення і використання, зокрема можна інтегрувати з Android для створення експертних системних додатків. Експертні системи також можна використовувати на веб-сайтах для отримання бажаних результатів на основі вподобань користувачів.

У CLIPS можна використовувати безліч різних речей та елементів дизайну. Він дозволяє створювати надійні експертні системи, які можуть імітувати прийняття рішень користувачем.

Отже, CLIPS стає набагато більш життєздатним варіантом для створення експертних систем, ніж використання великих процедурних кодів.

Завдяки своїй портативності, розширюваності, можливостям і відносно низькій вартості, CLIPS отримує широке визнання, зокрема в уряді, промисловості та академічних колах різних провідних країн. CLIPS допомагає покращити можливості впровадження технології експертних систем у державному і приватному секторах для широкого спектру застосувань і різноманітних обчислювальних середовищ.

Список використаної літератури

[1] Giarratano J., Riley G. Expert Systems: Principles and Programming. English edition, Course Technology Inc., 2004. 842p.
[2] CLIPS Rule Based Programming Language. URL: https://sourceforge.net/projects/clipsrules/
[3] CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. URL: https://www.clipsrules.net/

УДК: 004.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МЕТОДУ РОЗПІЗНАВАННЯ МАНІПУЛЯТИВНИХ ФІШИНГОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У КОНТЕКСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Мазурець О.В., Назаров В.В.
(exe.chong@gmail.com, uuu.vich228@gmail.com)
Хмельницький національний університет, комунальний заклад загальної середньої освіти «Ліцей №17 Хмельницької міської ради» (Україна)

Досліджено ефективність нейромережевого методу розпізнавання маніпулятивних фішингових повідомлень, який реалізує двоетапний принцип аналізу: на першому етапі

відбувається бінарна класифікація повідомлень за ознакою «фішинг / не фішинг», а на другому визначення типу маніпулятивного впливу у виявлених фішингових текстах. Запропонований підхід поєднує компактні та багатомовні трансформерні архітектури, зокрема DistilBERT і XLM-RoBERTa, що дозволяє досягти високої точності при мінімальному споживанні обчислювальних ресурсів. За результатами експериментів отримано показники якості на рівні Accuracy 0.991, F1 0.991, F1-macro 0.991, що свідчить про стабільність методу та його здатність відтворювати семантичні маркери маніпуляцій типу urgency, authority та persuasion.

Сучасний розвиток цифрових комунікацій зумовив посилення ризиків, пов'язаних із соціотехнічними атаками, які ґрунтуються не лише на технічних вразливостях, а й на маніпулятивному впливі на користувачів [1]. Одним із найнебезпечніших проявів таких атак є фішингові повідомлення, що імітують достовірну комунікацію з метою отримання конфіденційних даних [2]. Проблема виявлення фішингу виходить за межі традиційних методів сигнатурного пошуку, оскільки зловмисники дедалі частіше використовують складні лінгвістичні стратегії переконання, апеляції до авторитету та створення штучного відчуття терміновості [3]. У цьому контексті актуальним є дослідження нейромережевих методів, здатних до виявлення прихованих маніпулятивних патернів у текстовому змісті електронних повідомлень.

Метою дослідження є перевірка ефективності двоетапного нейромережевого методу розпізнавання маніпулятивних фішингових повідомлень, який поєднує в собі попереднє бінарне виявлення фішингового контенту та подальшу класифікацію типу маніпулятивного впливу. Запропонований метод базується на використанні глибинних трансформерних архітектур різного масштабу, що дає змогу оцінити їхню точність, узагальнювальну здатність і ресурсну ефективність у єдиному обчислювальному середовищі. Експериментальне дослідження здійснено на двох репрезентативних корпусах текстів: перший охоплює приклади фішингових повідомлень із маркуванням за типами маніпуляцій: urgency, authority та persuasion, тоді як другий використовується для навчання бінарного класифікатора, що відрізняє фішингові повідомлення від звичайних електронних листів.

Метод реалізовано у вигляді двоетапного конвеєру, у якому на першому рівні працює бінарний детектор, призначений для швидкої фільтрації повідомлень за ознакою «фішинг / не фішинг», а на другому класифікатор маніпулятивних стратегій, який оцінює тип застосованої соціотехнічної маніпуляції у випадках, попередньо відфільтрованих як фішингові. На етапі попередньої обробки текст уніфікується, очищується від зайвих пробілів і токенізується із жорстким обмеженням довжини для мінімізації латентних витрат; бінарна модель працює в режимі низької затримки з налаштованою пороговою функцією та калібруванням ймовірностей, що дає змогу відсікати явні контр-приклади та направляти до другого етапу лише ті повідомлення, для яких довіра до позитивного висновку достатня. Другий етап використовує контекстно-чутливу трансформерну архітектуру, що аналізує семантичні і прагматичні маркери тексту і формує багатоваріантний розподіл ймовірностей по типах маніпуляцій.

Підготовка даних здійснювалася із дотриманням принципів чистоти вибірки: усуненням пропусків, очищенням текстів від надлишкових пробілів і стандартизацією маркування. Навчальні, валідаційні та тестові підмножини формувалися за стратифікованою схемою у пропорції 70:15:15. Для відтворюваності результатів використовувалося фіксоване зерно випадковості SEED = 42. Модель XLM-RoBERTa-base застосовувалася з максимальною довжиною послідовності 256 токенів і параметрами, орієнтованими на повноцінне відтворення контексту; модель DistilBERT-base-uncased з коротким контекстом 96 токенів, градієнтною акумуляцією та обмеженою кількістю епох, що забезпечувало низьке споживання графічної пам'яті. Усі обчислення виконувалися у середовищі PyTorch із використанням бібліотек Transformers і HuggingFace Datasets.

Отримані результати свідчать про виняткову точність нейромережевого підходу. Модель XLM-RoBERTa досягла повної збіжності вже після двох епох навчання з макропоказником F1 = 1.000 та відсутністю перехресних помилок між класами urgency, authority і persuasion. Матриця помилок наведена на рисунку 1.

Такі результати свідчать про високу чутливість трансформерної архітектури до семантичних і прагматичних маркерів маніпуляцій, зокрема модальних дієслів, форм наказового способу та риторичних конструкцій переконання. Модель DistilBERT продемонструвала аналогічну

стабільність із показником точності понад 99 %, зберігаючи при цьому компактність і ефективність у використанні пам'яті. Помилки класифікації становили менше одного відсотка, що дозволяє розглядати цей варіант для виявлення фішингових повідомлень.

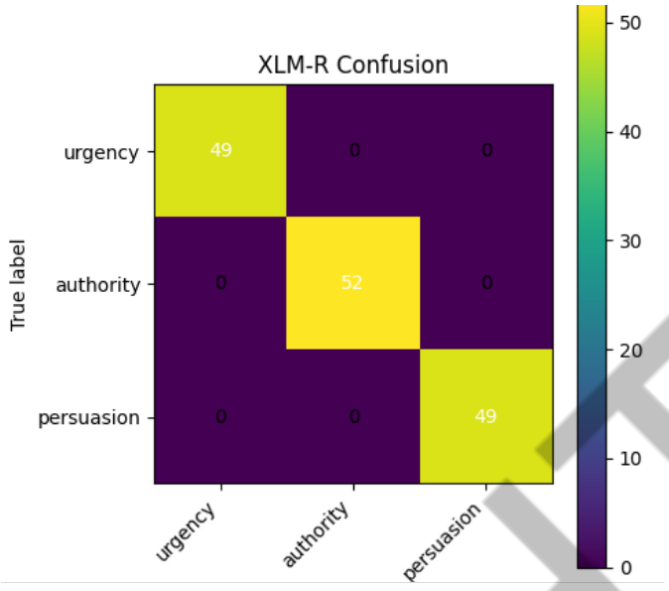


Рисунок 1 – Матриця помилок нейромережі XLM-RoBERTa

Аналіз ефективності продемонстрував, що контекстно-залежні трансформери істотно перевищують традиційні моделі машинного навчання на основі TF-IDF або bag-of-words, оскільки здатні відтворювати складні семантичні залежності та латентні прагматичні ознаки. Високі значення макро- та зваженого F1 пояснюються можливістю моделі адаптивно розпізнавати маніпулятивні стратегії, незалежно від довжини або тематики повідомлення. Виявлено, що наявність емоційно забарвлених лексем, конструкцій, які формують відчуття терміновості або авторитетності, є найінформативнішими для класифікатора, що підтверджує гіпотезу про лінгвістичну природу маніпуляцій.

Розроблений підхід має практичну цінність у контексті підвищення рівня інформаційної безпеки. Використання нейромережевих моделей для автоматичного аналізу текстів електронних повідомлень відкриває можливості створення систем раннього попередження фішингових атак і персональних засобів цифрової гігієни. Модель DistilBERT може бути інтегрована як легковаговий компонент у поштові клієнти, браузерні плагіни або внутрішні корпоративні системи моніторингу комунікацій. Такий підхід дозволяє виявляти не лише прямі фішингові атаки, а й приховані соціотехнічні маніпуляції, які формують поведінкові ризики користувачів.

Отримані результати засвідчують, що поєднання нейромережевих архітектур із високорівневим семантичним аналізом забезпечує нову якість виявлення фішингових загроз. Висока точність класифікації при низьких ресурсних вимогах дає підстави вважати метод придатним для широкого практичного застосування у сфері кіберзахисту та освітніх платформ. Подальший розвиток дослідження передбачає використання інтерпретованих методів атрибуції, таких як Integrated Gradients або LIME, для побудови пояснюваних профілів маніпулятивних стратегій та візуалізації токенів, що найбільше впливають на рішення моделі.

У підсумку доведено, що нейромережеві методи розпізнавання маніпулятивних фішингових повідомлень формують нову парадигму у сфері цифрової безпеки, поєднуючи точність глибинного навчання з інтерпретованістю поведінкових закономірностей. Такий підхід відповідає сучасним викликам кіберпростору, забезпечуючи адаптивність, масштабованість та відповідність принципам надійності й прозорості штучного інтелекту.

Список використаних джерел

[1] A. I. Champa, M. F. Rabbi, F. Eishita, and M. Zibran, "Trick or Treat: A Study of Human Detection of Manipulative Tactics in Phishing Emails" in Proceedings of the International Conference on

Computer Safety, Reliability, and Security, Cham, Switzerland: Springer Nature, Aug. 2025, pp. 299–311.

[2] М. О. Молчанова, О. В. Мазурець, О. В. Собко, Р. В. Віт, і В. В. Назаров, «Алгоритм виявлення аб'юзивного вмісту в україномовному аудіоконтенті для імплементації в об'єктно-орієнтовану інформаційну систему», Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, № 1 (331), с. 101–106, 2024. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-331-17.

[3] V. Nazarov and M. Molchanova, "Information System for Detecting Abusive Speech in Audio Content by Means of Natural Language" in Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference «Modern Strategies of Global Scientific Solutions», Stockholm, Sweden: International Scientific Unity, Dec. 27–29, 2023, pp. 132–135. [Online]. Available: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2023/12/Modern-strategies-of-global-scientific-solutions-Dec-27-29-2023-Stockholm-Sweden.pdf [Accessed: Oct. 22, 2025].

УДК 004.8:629.735.083.5

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Майданик О.О., Мацуй А.М., Мелешко Є.В.
(maidanyksmail@gmail.com, matsuiam@kntu.kr.ua, elismeleshko@gmail.com)
Центральноукраїнський національний технічний університет (Україна)

У роботі розглянуто основні напрями застосування штучного інтелекту (ШІ) у навігаційних системах безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Описано сучасні підходи до автономного ухилення від перешкод, планування траєкторії польоту та навігації без використання GPS. Даний підхід до навігації БПЛА з використанням ШІ повинен вирішити проблему польоту з високим рівнем автономності, енергоефективності та надійності в складних умовах середовища (робота в зонах дії радіоелектронної протидії).

Використання штучного інтелекту у навігаційних системах набуває все більше застосувань, як в комерційних так і у військових БПЛА. Перше і головне застосування в комерційних БПЛА – навігація та ухиляння від перешкод з відсутнім чи поганим сигналом GPS. Ця тема дуже актуальна для агродронів, які на сьогоднішній день, змушені працювати в умовах повітряних тривог та дії РЕБ (радіоелектронної протидії). Такі системи можуть швидко та безпечно повертати БПЛА до точки зльоту без його втрати.

Для військового застосування найпопулярніша задача систем навігації з ШІ – це утримання позиції БПЛА (коптерного типу, які використовуються для ретрансляції радіосигналу) на місці без використання GPS та донаведення на ціль. Наступна та дуже важлива задача – це навігація польоту без GPS (розвідка у радіомовчанні або повернення без радіосигналу).

Системи на основі ШІ дають змогу БПЛА розпізнавати перешкоди та ухилятися від них без участі оператора. Для цього використовуються дані з камер, лідарів (лазерних датчиків відстані) або радарів, які обробляються за допомогою нейронних мереж глибокого навчання. Такі рішення дозволяють забезпечити автономний політ у складному або невідомому середовищі [1], [2].

Застосування алгоритмів підкріпленого навчання (Reinforcement Learning, RL) дає змогу БПЛА самостійно планувати траєкторію польоту, мінімізуючи споживання енергії та час виконання місії. Поєднання цих алгоритмів із цифровими двійниками забезпечує можливість тренування моделей у віртуальному середовищі до реального застосування [3], [4].

В умовах де GPS-сигнал недоступний або зазнає перешкод (наприклад, у міській забудові чи під час РЕБ), ШІ використовується для оцінки положення апарата за допомогою комп'ютерного зору, аналізу оптичного потоку та мультисенсорної локалізації [5]. Це дозволяє підтримувати стабільний політ і точне позиціювання навіть у складних умовах.

Однак існуючі системи навігації, які доступні виробникам, мають серйозні недоліки, а саме нестійкість до завад та навмисного заглушення радіочастот керування і GPS-системи навігації. Це

зумовлено тим, що польотні системи розроблялись для хобі або для цивільної комерційної діяльності. Тому для навігації всіх цих систем використовується стандартні GPS модулі.

Для вирішення проблеми з навігацією необхідно використати зовнішній модуль навігації, який буде сумісний з наявними контролерами польоту (працювати за стандартними протоколами) та побудований на основі комп'ютерного бачення та ШІ з використанням окремих датчиків, камер, контролерів чи одноплатних комп'ютерів. На рис.1. зображено блок схему електронної частини БПЛА з окремим модулем навігації на основі одноплатного комп'ютера до якого підключаються камера, радіоприймач та GPS модуль. Камера може бути використана денна або тепловізійна, в залежності від задач використання БПЛА. Тепловізійна камера хоч і має низьку роздільну здатність та високу ціну, але має переваги в темну пору доби. В даному випадку модуль націлений на комерційне використання тому до нього підключається GPS модуль. Для цивільних БПЛА потрібна висока точність проходження маршруту тому, що вони працюють в міських умовах або для обльоту полів в агросфері. В такому випадку доцільно використання модулі для режиму повернення додому при заглушенні зв'язку та координат GPS. Алгоритм роботи повинен відслідковувати різкі відхилення в якості зв'язку радіоприймача та GPS модуля і у випадку заглушення брати керування на себе. Потім за попередньо вибраним та залогованим опорним точкам, опираючись на візуальну картинку з камери та окремої інерційної системи (гіроскоп та акселерометр) повертати БПЛА то точки зльоту. Окремим режимом роботи може бути утримання позиції на одному місці для використання БПЛА як ретранслятора для роботи на складному рельєфі.

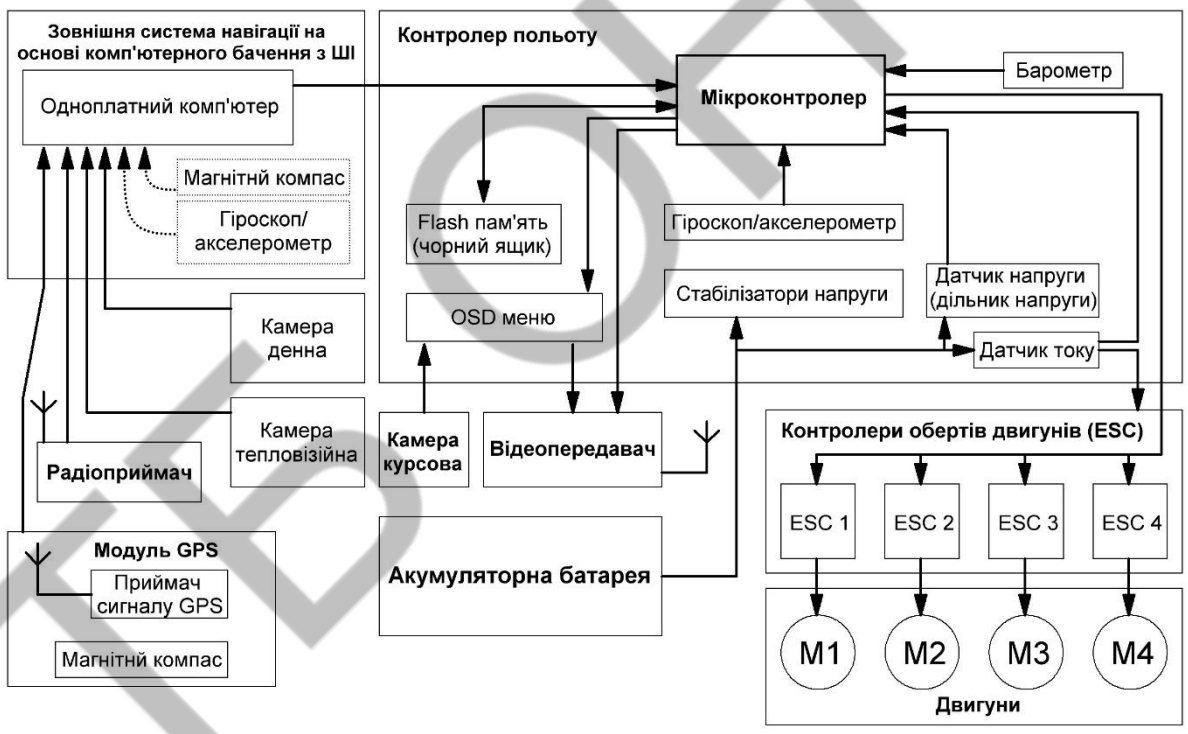


Рис.1 – Блок схема БПЛА квадрокоптерного типу з модулем навігації

Таким чином, застосування ШІ в навігаційних системах БПЛА суттєво розширює їхні можливості, забезпечуючи автономність, адаптивність і підвищену безпеку польоту, а в деяких випадках не мають альтернатив (військове застосування). Подальші дослідження зосереджені на підвищення систем навігації та вдосконаленні методів роботи в умовах відсутності GPS.

Список використаної літератури

[1] Zhu, Y. et al. Memory-Based Deep Reinforcement Learning for Obstacle Avoidance in UAV Navigation. arXiv preprint, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arxiv.org/abs/1811.03307.

[2] Kumar, A. et al. A Framework for Autonomous UAV Navigation Based on Monocular Depth Estimation. Drones, vol. 9, no. 4, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2504-446X/9/4/236.
[3] Elshafie, A. et al. AI-Based UAV Navigation Framework with Digital Twin Technology for Mobile Target Visitation. Applied Soft Computing, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://nchr.elsevierpure.com/en/publications/ai-based-uav-navigation-framework-with-digital-twin-technology-fo.
[4] Li, D., & Wang, H. Hybrid Artificial Intelligence Strategies for Drone Navigation. Machines, vol. 5, no. 4, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2673-2688/5/4/103.
[5] Rahman, M. et al. AI-Enabled UAVs for GPS-Denied Environments: Trends and Challenges. Springer AI Review, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://link.springer.com/article/10.1007/s44163-024-00209-1.

УДК 004.8

ВИКОРИСТАННЯ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ У ВЕБПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ КНИЖКОВИМИ КОЛЕКЦІЯМИ

Майоров І.А. (Maiorov.Ivan@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У тезах розглядається питання застосування мовних моделей для інтелектуального управління персональними книжковими колекціями. Аналізуються проблеми великого обсягу даних та різнорідності бібліографічних описів, що ускладнюють пошук і класифікацію літератури. Показано перспективність використання штучного інтелекту для підвищення точності пошуку, релевантності результатів та зручності роботи користувачів. Проведено оцінку ефективності методу за допомогою стандартних метрик для систем рекомендацій та ранжування, що дозволяє кількісно оцінити результати його використання.

Однією з основних проблем сучасних бібліотечних та книжкових платформ є велика кількість матеріалу та неоднорідність описів, що ускладнює пошук і підбір релевантних книг. Класичні алгоритми фільтрації за жанром або автором не враховують змістовні зв’язки між творами та індивідуальні вподобання користувачів, через що значна частина цікавих книг залишається непоміченою [1].

У зв’язку з цим актуальним напрямом є автоматизація управління персональними книжковими колекціями на основі мовних моделей штучного інтелекту. Сучасні мовні моделі штучного інтелекту, такі як трансформери, відрізняються здатністю обробляти великі обсяги тексту та виявляти складні семантичні зв’язки між словами, реченнями та документами. Вони навчаються на корпусах різноманітних текстів, що дозволяє розпізнавати синтаксичні структури, стилістичні особливості та контекстні відтінки значень. Завдяки цим властивостям мовні моделі здатні не лише генерувати текст, а й узагальнювати інформацію, класифікувати її, здійснювати семантичний пошук та створювати багатовимірні векторні представлення документів. Це відкриває широкі можливості для застосування у різних галузях, включаючи автоматизовану обробку даних, створення систем підтримки прийняття рішень та інтелектуальні аналітичні інструменти.

На відміну від класичних контентно-орієнтованих та колаборативних методів, що покладаються переважно на збіг ключових слів, рейтингів або поведінкових шаблонів, мовні моделі здатні враховувати багатовимірні семантичні подібності між творами. Це відкриває можливість побудови інтелектуальної системи, яка розуміє глибинні зв’язки між змістом книг, темами, стилем і навіть емоційним забарвленням тексту. Завдяки цьому рекомендації стають не лише точнішими, а й більш осмисленими — користувач отримує пропозиції, що відповідають його інтересам на рівні змісту, а не лише жанру. Такий підхід сприяє створенню динамічної системи, здатної адаптуватися до змін читацьких уподобань і зменшувати витрати часу на пошук.

Ефективність цього підходу можна кількісно оцінити за допомогою стандартних метрик для систем рекомендацій та ранжування, таких як Precision, Recall, F1-score, Mean Average Precision (MAP), Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG) та Mean Reciprocal Rank (MRR) [2]. Саме вони дозволяють кількісно підтвердити перевагу використання мовних моделей над класичними методами, демонструючи зростання точності та релевантності результатів.

Список використаної літератури

[1] F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira: Recommender Systems Handbook, 2022
[2] AI Testing & LLM Evaluation Platform: 10 metrics to evaluate recommender and ranking systems

УДК 004.02; 004.05; 004.09

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ТЕСТУВАННІ БЕЗПЕКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Максимович М.В. (maksym.v.maksymovych@lpnu.ua)
Національний університет «Львівська політехніка»

У тезах розглядаються сучасні підходи до автоматизованого тестування безпеки програмного забезпечення та можливості їх поєднання з методами на основі штучного інтелекту. Визначено основні типи аналізу безпеки та можливості інтеграції технологій генеративного штучного інтелекту у процеси тестування. Окремо розглянуто роль великих мовних моделей і агентних систем у створенні автоматизованих тестів, а також проблеми, пов'язані з їх передбачуваністю та надійністю. У висновках наголошено на перспективності поєднання традиційних методів тестування з технологіями на основі методів штучного інтелекту, що сприяє переходу до проактивного забезпечення безпеки.

Вступ. Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту зумовлює трансформацію традиційних методів аналізу безпеки програмного забезпечення. Зростання складності програмних систем і збільшення кількості потенційних загроз потребують більш гнучких та інтелектуальних підходів до тестування. Використання ШІ дозволяє автоматизувати процеси аналізу, підвищити точність і швидкодію виявлення вразливостей, а також створити адаптивні системи, здатні самостійно навчатися та вдосконалюватися. У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження інтеграції генеративного ШІ з традиційними методами тестування, що відкриває нові перспективи для побудови ефективних і надійних систем забезпечення безпеки.

Постановка проблеми. Зі стрімким розвитком генеративного штучного інтелекту відбувається суттєва трансформація підходів тестування безпеки програмного забезпечення. Традиційні методи автоматизованого тестування поступово втрачають ефективність, поступаючись місцем інтелектуальним системам в комбінації з підходами на основі великих мовних моделей. Інтеграція ШІ у процеси тестування безпеки відкриває нові можливості для підвищення точності, швидкодії та контекстного розуміння вразливостей. Водночас це зумовлює потребу у подальших дослідженнях, спрямованих на оптимізацію існуючих рішень і розроблення нових методів виявлення загроз.

Серед основних завдань даної роботи можна виділити аналіз сучасних методів автоматизованого тестування безпеки, дослідження можливостей інтеграції технологій штучного інтелекту у процеси виявлення вразливостей а також визначення перспектив застосування генеративного та агентного ШІ для підвищення точності й швидкодії тестування.

Методи тестування безпеки ПЗ.

Автоматизоване тестування безпеки представлено кількома основними типами аналізу: статичним (SAST), динамічним (DAST), інтерактивним (IAST) та композитним аналізом (SCA) (рис. 1).

Рис. 1 Методи автоматизованого тестування безпеки

Статичний аналіз коду (SAST) виконується без запуску програми - вихідний код аналізується на наявність вразливостей. Це дозволяє швидко ідентифікувати потенційні проблеми безпеки ще на стадії написання коду [1].

Динамічний аналіз (DAST) потребує запуску застосунку. В процесі виконання на нього здійснюються контрольовані атаки з метою виявлення вразливостей, що проявляються під час роботи [2].

Інтерактивне тестування (IAST) поєднує елементи SAST і DAST - агент, впроваджений у середовище виконання, відстежує потік даних та операції під час реального виконання програми розробником чи автоматизованими тестами, надаючи детальну інформацію про виникнення вразливостей у режимі реального часу [3].

Композитний аналіз (SCA) орієнтований на аналіз використаних у проекті сторонніх бібліотек та пакетів - він перевіряє версії залежностей на наявність відомих вразливостей з баз даних.

Розвиток генеративного ШІ. Розвиток генеративного штучного інтелекту сьогодні є одним із найбільш динамічних напрямів у сфері інформаційних технологій. Сучасні великі мовні моделі (LLM) вийшли за межі звичайної обробки тексту - тепер вони здатні аналізувати код, узагальнювати дані, виконувати логічні висновки, та самостійно розробляти логічні послідовності та реалізовувати їх шляхом ітеративної розробки та самостійного впровадження розроблених рішень.

Новим етапом розвитку стало поєднання мовних моделей з агентними системами, що забезпечують автономне виконання завдань. Такі системи не лише генерують відповіді, а й планують послідовність дій, взаємодіють з API, базами даних чи файлами, змінюючи поведінку залежно від зворотного зв’язку. Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту суттєво впливає на еволюцію традиційних методів автоматизованого тестування, що дозволяє зробити висновок про високу актуальність поєднання методів ШІ з класичними підходами до перевірки програмного забезпечення.

Застосування методів ШІ в тестуванні безпеки

Як зазначається в статті [4], традиційні інструменти динамічного тестування безпеки програмного забезпечення часто генерують значну кількість хибнопозитивних результатів, що потребують ручної перевірки аналітиками безпеки. Поєднання DAST із методами штучного інтелекту дозволяє частково автоматизувати процес класифікації вразливостей, зменшуючи кількість помилкових спрацьовувань і прискорюючи підтвердження реальних вразливостей. Автори пропонують методологію, що передбачає застосування моделей машинного навчання для класифікації результатів сканування за поведінковими ознаками застосунку. Такий підхід дозволив покращити точність виявлення вразливостей на понад 20%, що свідчить про високу ефективність інтеграції ШІ у процеси динамічного тестування безпеки.

У статті [5] проведено порівняльний аналіз ефективності традиційних інструментів статичного аналізу безпеки та великих мовних моделей. Автори виявили, що сучасні інструменти статичного тестування програмного забезпечення демонструють обмежене покриття, досягаючи в середньому лише 44,4% правильних спрацьовувань, тоді як підходи з використанням методів на основі штучного інтелекту здатні виявляти до 90-100% вразливостей. Перспективним напрямом

подальших досліджень визначено створення гібридних систем, здатних комбінувати методи статичного аналізу разом з методами штучного інтелекту для аналізу коду.

Інтерактивне тестування безпеки характеризується високою швидкодією, оскільки аналіз виконується під час реальної роботи з застосунком чи в процесі автоматизованого тестування. Такий підхід дозволяє виявляти вразливості в режимі реального часу з врахуванням контексту виконання, однак його ефективність обмежується необхідністю наявності розвиненої системи автоматизованих тестів, розробка яких є трудомістким і витратним процесом, що ускладнює масштабне впровадження методів інтерактивного тестування.

Перспективним рішенням є застосування агентних систем штучного інтелекту, здатних автоматизовано генерувати тестовий код на основі отриманої документації. Водночас, залишається актуальною проблема непередбачуваності результатів мовних моделей, що може призводити до генерації некоректних тестових сценаріїв і, як наслідок, до зниження точності виявлення вразливостей. Крім того, як зазначається в статті [6], серед основних обмежень сучасних ШІ-орієнтованих систем тестування варто виокремити складність адаптації до змін у користувацькому інтерфейсі та недостатній рівень контекстного розуміння під час аналізу програмного коду. Подібні похибки є особливо критичними, оскільки дефекти, що виникають у самому процесі тестування, підривають його надійність і знижують достовірність отриманих результатів, що підтверджує необхідність подальших досліджень в цій області.

Висновки. Штучний інтелект та машинне навчання суттєво трансформують методи аналізу безпеки програмного забезпечення. Вони підвищують точність виявлення вразливостей, зменшують кількість хибнопозитивних результатів і забезпечують більш ефективні та автоматизовані робочі процеси у сфері тестування безпеки. Найрезультативнішими вважаються стратегії, які поєднують кілька підходів до тестування з технологіями штучного інтелекту, адаптуючи їх до конкретних категорій ризиків і контексту застосунку.

Однак, залишаються суттєві виклики, пов'язані з інтеграцією з існуючими процесами чи проблемою передбачуваності роботи ШІ-систем. Ці аспекти вимагають подальших наукових досліджень, розроблення стандартів інтерпретації результатів та проведення експериментів у реальних умовах. Крім того, перспективним напрямом розвитку є створення агентних систем безпеки, здатних автономно координувати SAST, DAST та IAST-аналізи, пріоритизувати знайдені вразливості за рівнем ризику та формувати рекомендації розробникам.

Хоча технології тестування з використанням методів на основі штучного інтелекту ще потребують вдосконалення, поточні результати демонструють їх значний потенціал для підвищення ефективності, швидкості та надійності процесів забезпечення безпеки, що в свою чергу доводить актуальність досліджень в даній області.

Список використаної літератури

[1] J. Yang, L. Tan, J. Peyton, and K. A Duer, “Towards Better Utilizing Static Application Security Testing,” presented at the Proceedings - 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice, ICSE-SEIP 2019, 2019, pp. 51–60. doi: 10.1109/ICSE-SEIP.2019.00014.

[2] R. Singh, M. Kumar Gupta, D. R. Patil, and S. Maruti Patil, “Analysis of Web Application Vulnerabilities using Dynamic Application Security Testing,” presented at the 2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2024, 2024. doi: 10.1109/I2CT61223.2024.10543484.

[3] Y. Pan, “Interactive Application Security Testing,” *2019 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*, pp. 558–561, Aug. 2019, doi: 10.1109/ICSGEA.2019.00131.

[4] S. Millar, D. Podgurskii, D. Kuykendall, J. Martínez Del Rincón, and P. Miller, “Optimising Vulnerability Triage in DAST with Deep Learning,” in *Proceedings of the 15th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security,* Los Angeles CA USA: ACM, Nov. 2022, pp. 137–147. doi: 10.1145/3560830.3563724.

[5] X. Zhou *et al.*, “Comparison of Static Application Security Testing Tools and Large Language Models for Repo-level Vulnerability Detection,” arXiv.org. Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2407.16235v1

[6] V. Garousi *et al.*, “AI-powered software testing tools: A systematic review and empirical assessment of their features and limitations,” arXiv.org. Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2409.00411v3

УДК 004.89:004.93

ОЦІНКА ВПЛИВУ РІЗНИХ МЕТРИК НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ

Маріупольський Р. Ю., Жебко О. О.
(romario311204@gmail.com, al.zhebko@gmail.com)
Миколаївський національний аграрний університет (Україна)

Досліджено вплив різних метрик на оцінку продуктивності систем рекомендацій фільмів. Проаналізовано основні типи метрик: метрики точності прогнозування рейтингу (RMSE, MAE), метрики релевантності (Precision, Recall, F1-score) та метрику ранжування (NDCG). Показано, що RMSE та MAE ефективно оцінюють точність передбачення числових рейтингів, але не враховують релевантність та порядок рекомендацій. Метрики Precision, Recall та F1-score дозволяють визначити відповідність рекомендованих фільмів інтересам користувача, проте ігнорують позицію елементів у списку. NDCG є найповнішою метрикою, що одночасно враховує релевантність та якість ранжування рекомендацій. Обґрунтовано необхідність комплексного підходу до оцінки систем рекомендацій з використанням різних метрик залежно від конкретних цілей застосування та пріоритетів бізнесу.

Сучасні системи рекомендацій стали невід’ємною частиною цифрових платформ, які пропонують широкий вибір контенту. Основна їх задача – допомогти користувачу швидко знайти контент, що відповідає його смакам і інтересам. Проте для створення дійсно ефективної системи важливо не лише розробити якісний алгоритм, але й правильно оцінити його роботу за допомогою метрик продуктивності. Проблема полягає в тому, що різні метрики розкривають різні аспекти роботи системи, і неправильний вибір може призвести до ситуації, коли модель демонструє високі показники на папері, але не задовольняє реальні потреби користувачів. Наприклад, модель може точно прогнозувати рейтинги, але формувати нецікаві або погано організовані списки рекомендацій.

Метою роботи є аналіз впливу різних метрик на оцінку продуктивності системи рекомендацій фільмів та визначення оптимального підходу до їх вибору. Для досягнення мети вирішувалися наступні завдання: 1) проаналізувати метрики точності прогнозування рейтингу (RMSE та MAE) та визначити їх переваги й обмеження; 2) дослідити метрики релевантності (Precision, Recall, F1-score) та їх роль в оцінці якості рекомендованих списків; 3) вивчити метрику ранжування NDCG та її значення для покращення користувацького досвіду; 4) обґрунтувати необхідність комплексного підходу до оцінки систем рекомендацій.

Вибір метрик – це стратегічний крок, що визначає, які аспекти роботи системи будуть покращуватися. Кожна метрика розкриває окремі характеристики продуктивності, тому важливо розуміти їх сильні і слабкі сторони для комплексної оцінки. Дослідження впливу різних метрик дозволяє створювати системи, які не лише точно прогнозують оцінки, але й формують релевантні, зручно організовані рекомендації, що відповідають реальним потребам користувачів та цілям бізнесу. Наприклад, модель може дуже точно прогнозувати числові рейтинги фільмів, але при цьому формувати список рекомендацій, який користувачі вважають нецікавим або погано організованим. Тому важливо розуміти сильні і слабкі сторони кожної метрики, щоб комплексно оцінювати продуктивність [1].

Метрики точності прогнозування рейтингу: RMSE та MAE. Одними з найпоширеніших метрик для оцінки систем рекомендацій є RMSE (Root Mean Square Error) і MAE (Mean Absolute Error). Обидві метрики вимірюють розбіжність між передбаченими рейтинґами, які генерує модель, і реальними оцінками користувачів.

RMSE особливо чутлива до великих помилок, оскільки квадрат різниці між передбаченням і фактичним значенням посилює вплив відхилень. Це означає, що моделі з високим RMSE мають тенденцію робити значні помилки у передбаченні рейтингу. Відповідно, при оптимізації моделі за цією метрикою акцент робиться на мінімізації великих помилок, що іноді може призводити до "консервативних" прогнозів – модель намагається уникати крайніх значень і зменшує варіативність оцінок.

MAE, натомість, рахує середнє абсолютне відхилення і тому менш чутлива до викидів. Вона дає більш "прямий" показник середньої помилки, що часто є зрозумілішим для інтерпретації. Обираючи MAE, можна краще зрозуміти, наскільки в середньому прогноз відхиляється від істинного рейтингу.

Проте обидві ці метрики мають суттєвий недолік для задач систем рекомендацій: вони не враховують, який саме список фільмів отримує користувач і в якому порядку вони представлені. В реальному житті кінцевий користувач не просто дивиться на оцінки, а оцінює, наскільки корисними і зручними є самі рекомендації. Тобто навіть при низьких значеннях RMSE або MAE користувач може бути незадоволений системою, якщо вона, наприклад, пропонує йому фільми, які йому нецікаві або розташовані в незручному порядку.

Метрики релевантності: Precision, Recall, F1-score. Щоб оцінити, наскільки рекомендовані фільми відповідають інтересам користувача, використовують метрики релевантності, зокрема Precision, Recall та F1-score.

Precision відображає відсоток рекомендованих фільмів, які дійсно виявилися релевантними для користувача. Якщо Precision висока, це означає, що система рідко рекомендує «помилкові» або нерелевантні фільми. Висока точність є особливо важливою, коли користувач хоче отримати якісні рекомендації і не хоче витрачати час на перегляд непотрібних пропозицій.

Однак Precision не показує, чи система знайшла всі релевантні фільми, які могли б зацікавити користувача. Для цього існує Recall – метрика, що вимірює, яка частка всіх релевантних фільмів була успішно рекомендована. Високий Recall означає, що система не пропускає важливі для користувача фільми, проте це може призводити до зниження точності, якщо система рекомендує занадто багато фільмів, включно з нерелевантними.(рисунок.1).

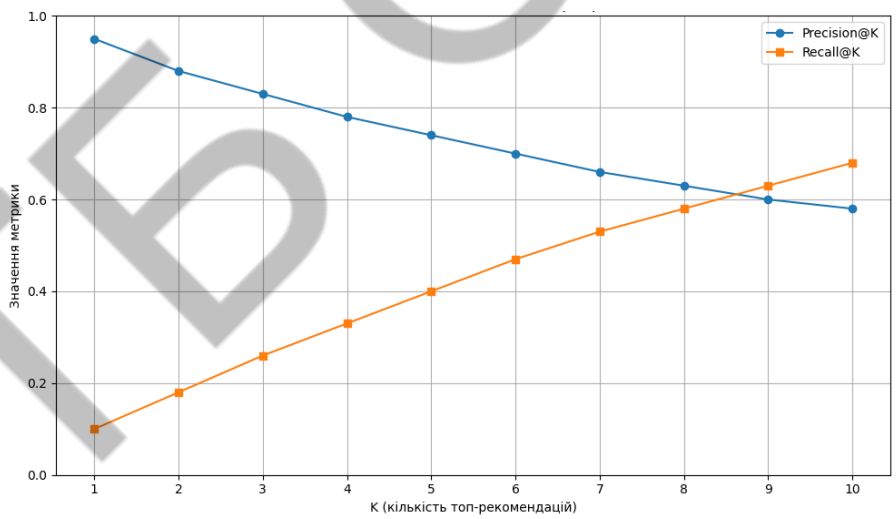


Рис. 1. Precision та Recall в залежності від K (Top-K рекомендації)

F1-score об’єднує ці дві метрики, представляючи їх гармонійне середнє. Він допомагає знайти баланс між точністю і повнотою рекомендацій, що робить цю метрику зручною для загальної оцінки продуктивності системи.

Попри те, що Precision, Recall і F1-score оцінюють якість рекомендованого списку, вони не враховують порядок, у якому фільми представлені. А оскільки користувачі зазвичай звертають увагу на перші позиції у списку, ігнорування ранжування може знизити якість користувацького досвіду [2].

Метрика ранжування: NDCG. Саме для оцінки якості ранжування у списках рекомендацій широко використовується метрика NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain). Вона поєднує два важливі аспекти: релевантність рекомендованих фільмів та їхню позицію в списку.

Ідея NDCG полягає у тому, що релевантні фільми, розташовані ближче до початку списку, мають більшу вагу для користувача, ніж ті, що знаходяться далеко. Також ця метрика підтримує градації релевантності, тобто різні рівні корисності фільмів для користувача, що робить її дуже гнучкою і точною.

Оптимізація системи за метрикою NDCG стимулює алгоритми не лише знаходити релевантний контент, а й розміщувати його у зручному для сприйняття порядку. Це значно покращує користувацький досвід, адже користувачі швидше знаходять потрібний контент і витрачають менше часу на пошук.

Комплексний підхід до оцінки системи рекомендацій. Кожна з описаних метрик розкриває лише певний аспект роботи системи. Тому для повної оцінки продуктивності доцільно використовувати їх у комплексі.

Наприклад, RMSE і MAE допоможуть оцінити, наскільки точно модель передбачає рейтинги, але щоб зрозуміти, наскільки ці передбачення корисні для кінцевого користувача, необхідно враховувати Precision, Recall, F1-score та NDCG. Відсутність хоча б однієї з цих метрик у аналізі може призвести до неправильних висновків щодо ефективності системи.

Вибір конкретної метрики або їх набору залежить від цілей і контексту застосування системи. Якщо пріоритет – точність передбачення рейтингу, то варто зосередитися на RMSE чи MAE. Якщо головна задача – надати користувачу максимально релевантні рекомендації, краще орієнтуватися на Precision, Recall і F1-score. Якщо ж важливим є зручне ранжування, то основну увагу слід приділити NDCG.

Робота системи рекомендацій фільмів – це складний процес, який потребує багатогранної оцінки. Метрики RMSE і MAE допомагають зрозуміти, наскільки модель точна в прогнозуванні числових оцінок, але не враховують релевантність чи порядок рекомендацій. Метрики Precision, Recall і F1-score відображають, наскільки рекомендовані фільми відповідають інтересам користувача, але не враховують, на яких позиціях вони розміщені. NDCG, в свою чергу, є найповнішою метрикою, що оцінює як релевантність, так і порядок рекомендацій.

У результаті проведеного дослідження вирішено поставлені завдання та отримано наступні результати. По-перше, встановлено, що метрики RMSE та MAE ефективно оцінюють точність прогнозування числових рейтингів, при цьому RMSE є чутливою до великих помилок і стимулює консервативні прогнози, тоді як MAE надає більш зрозумілий показник середньої помилки, проте обидві не враховують релевантність чи порядок рекомендацій. По-друге, доведено, що метрики Precision, Recall та F1-score відображають якість рекомендованого списку та його відповідність інтересам користувача, де Precision показує частку релевантних рекомендацій, Recall – повноту охоплення релевантного контенту, а F1-score забезпечує їх баланс, однак ці метрики не враховують позицію елементів у списку. По-третє, визначено, що NDCG є найповнішою метрикою, яка одночасно оцінює релевантність та якість ранжування, надаючи більшу вагу релевантним фільмам на перших позиціях списку, що значно покращує користувацький досвід. По-четверте, обґрунтовано необхідність комплексного підходу до оцінки систем рекомендацій, де вибір метрик залежить від конкретних цілей: RMSE/MAE – для точності прогнозування, Precision/Recall/F1-score – для релевантності, NDCG – для якості ранжування, що дозволяє створити справді корисну та зручну систему.

Список використаної літератури

[1] “Математичне та програмне забезпечення системи для рекомендації відеоконтенту”. DSpace :: ELAKPI :: Репозитарій КПІ ім. Ігоря Сікорського. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66840

[2] М. Аліпа, А. Куриленко та С. Волощук, “Оцінка ефективності рекомендаційних систем IPTV, що врахують неявні уподобання користувачів”, Наука та вир-во, № 23, с. 193–202, січ. 2021. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.31498/2522-9990232020240849

УДК 004.8

ОГЛЯД ПІДХОДУ ГЕНЕРАЦІЇ ВІДПОВІДЕЙ З ДОПОВНЕННЯМ ЧЕРЕЗ ПОШУК (RAG)

Марічев Д.О., Олійник А.О.
(marichevdenysmail@gmail.com, olejnikaa@gmail.com)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі розглядається один із варіантів взаємодії з великими мовними моделями (LLM), а саме Retrieval-Augmented Generation (RAG). Розглянуто основну архітектуру цього підходу, описано його основні етапи, переваги та недоліки. Продемонстровано, як вдається підвищити точність відповідей меделей штучного інтелекту завдяки використанню зовнішніх джерел даних.

За останні роки значно пришвидшився розвиток та обсяги використання великих мовних моделей (англ. Large Language Model) для генерації відповідей, наприклад GPT, Gemini чи DeepSeek. LLM використовують для роботи з нетривіальними задачами, вирішення яких було б важко описати звичайним кодом. Одним із найбільших недоліків таких моделей є обмеженість даних, на яких ця модель була натренована, саме через це модель може генерувати відповіді з застарілою або неточною інформацією.

Для розв'язання цієї проблеми було розроблено метод Retrieval-Augmented Generation (RAG), який також називають "генерацією з доповненням через пошук". Ідея цього методу полягає у використанні двох підходів: знаходження релевантної інформації у сторонній базі знань і подальшої генерації відповідей на базі знайдених даних. Виходячи з цього, RAG допомагає підвищити якість та правдивість згенерованих відповідей без необхідності постійного перенавчання моделей.

Навіть якщо джерела даних навчання для LLM відповідають потребам, зберегти актуальність даних досить складно. RAG дає розробникам унікальну можливість додавати в генеративні моделі новітні дослідження, статистику, внутрішню інформацію або новини. Вони можуть використовувати RAG для прямого підключення LLM в режимі реального часу до стрічок соціальних мереж, новинних сайтів або інших часто оновлюваних джерел інформації. Таким чином LLM може надавати користувачам найактуальнішу інформацію.

Якщо не використовувати RAG, LLM сприймає дані, що вводяться користувачем, і створює відповідь, ґрунтуючись на інформації, на якій її навчили, або на тому, що вона вже знає. У RAG представлений компонент пошуку інформації, який використовує дані, що вводяться користувачем, для першого вилучення інформації з нового джерела даних. Запит користувача і пов'язана з ним інформація передаються в LLM. А вже LLM, в свою чергу, використовує нові знання і навчальні дані для створення кращих відповідей [1].

RAG системи зазвичай отримують факти за допомогою пошуку, при цьому сучасні пошукові системи зараз використовують векторні бази даних для ефективного пошуку відповідних документів. Векторні бази даних зберігають документи як вектори, що дозволяє швидко і точно здійснювати пошук на основі семантичної схожості. Мультимодальна векторизація може використовуватися для зображень, аудіо та відео тощо.

Сучасні пошукові системи використовують семантичний пошук і пошук за ключовими словами разом (так званий гібридний пошук), а також систему ранжування, яка оцінює результати пошуку, щоб забезпечити релевантність найпопулярніших результатів. Крім того, пошук працює краще з чіткими, цілеспрямованими запитами без орфографічних помилок, тому перед пошуком сучасні пошукові системи перетворюють запит і виправляють орфографічні помилки [2].

Зазвичай RAG система складається з двох основних частин:

1. Модуль пошуку. Він здійснює пошук релевантних частин тексту у підготовлених документах на основі запиту користувача. Під час пошуку відбувається порівняння векторизованого запиту користувача з заздалегідь збереженим векторами шматочків тексту у векторній базі даних.

2. Модуль генерації. Відповідає за формування фінального запиту з додаванням оригінального запиту користувача та знайдених шматочків релевантного тексту з документів та відправку цього фінального запиту у велику мовну модель для отримання від неї відповіді.

Приблизна архітектура такої RAG системи наведена на рисунку 1.

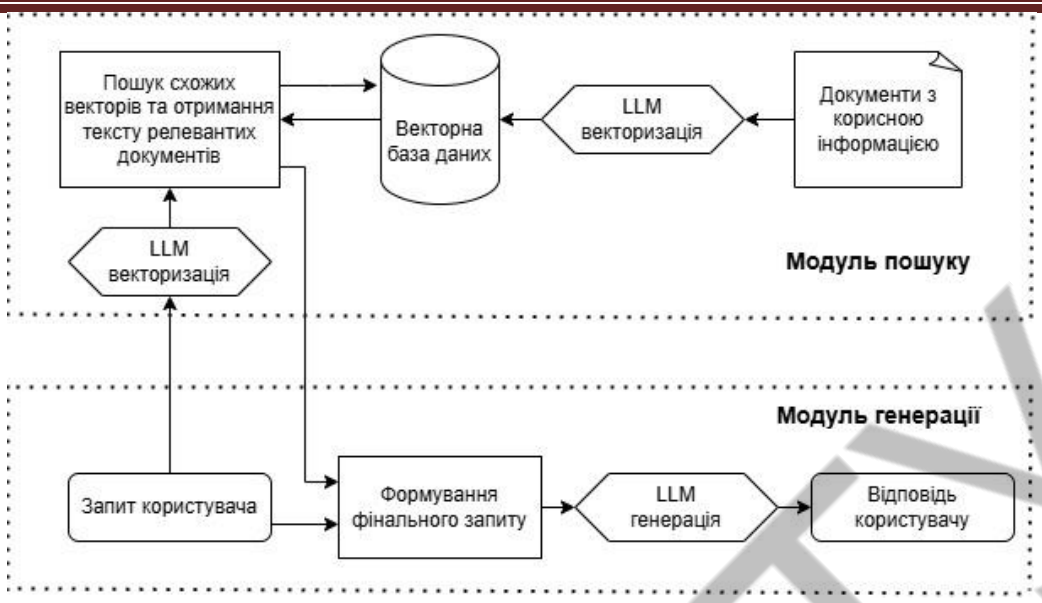


Рисунок 1 – Приклад RAG архітектури

RAG системи досить часто використовують в системах інтелектуального пошуку, наукових асистентах, чат-ботах підтримки, а також у корпоративній сфері для взаємодії з великими наборами документів. Наприклад, деякі компанії використовують RAG у своїм внутрішніх системах, що сприяє наданню швидких відповідей на основі наявних корпоративних документів. Часто можна зустріти використання RAG підходу у науковій сфері задля автоматичного узагальнення інформації та її пошуку у базах публікацій.

Популярні комплексні інструменти для побудови систем RAG, наприклад LangChain, LlamaIndex та DSPy, допомагають швидше та легше інмплементувати RAG підхід. Існує також ряд спеціалізованих інструментів, які служать різним цілям, таких як Flowise AI, що пропонує рішення з низьким рівнем кодування для побудови додатків RAG. Постачальники програмного забезпечення та хмарних послуг також мають послуги, орієнтовані на RAG, наприклад, Verba від Weaviate корисна для створення додатків персонального асистента, а Kendra від Amazon пропонує інтелектуальні послуги корпоративного пошуку [3].

Отже, виходячи з усього вище переліченого можна зазначити, що Retrieval-Augmented Generation (RAG) підхід є досить ефективним рішенням підвищення точності та актуальності великих мовних моделей. Цей підхід допомагає динамічно оновлювати знання без необхідності постійного донавчання моделей, поєднуючи найкращі характеристики пошукових систем та генеративних моделей. Найближчим часом прогнозується активний розвиток методів та способів оптимізації пошуку, векторизації та створення різноманітних гібридних архітектур.

Список використаної літератури

[1] “What is RAG? - Retrieval-Augmented Generation AI Explained - AWS”. Amazon Web Services, Inc. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://aws.amazon.com/what-is/retrieval-augmented-generation/

[2] “What is Retrieval-Augmented Generation (RAG)?” Google Cloud. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://cloud.google.com/use-cases/retrieval-augmented-generation

[3] “Retrieval Augmented Generation (RAG) for LLMs – Nextra”. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.promptingguide.ai/research/rag

УДК 004.8:342.7:004.056

ПРАВА ЛЮДИНИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА: НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ

Марусик А.І. (os25tim25@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

Робота пропонує децентралізовані блокчейн-платформи та AI-аудиторів як рішення для балансу між цифровими правами та безпекою, закликаючи університети готувати фахівців для нової епохи прозорих технологій.

Цифровий світ — це поле бою, де права людини та інформаційна безпека жорстко стикаються, немов лицарі в обладунках даних і свободи. Уявіть собі: близький друг раптом не може отримати доступ до життєво необхідного лікування, оскільки його профіль медичного страхування був заблокований через витік даних. Це суворе нагадування про вразливість у 2025 році, коли кібератаки, такі як витік даних Equifax у 2017 році або атака SolarWinds у 2020 році, нагадують нам про нашу вразливість. Алгоритми соціальних медіа продовжують формувати нашу реальність, змушуючи нас шукати критичний баланс. Як захистити дані, не обмежуючи свободу?

Щоб знайти цей баланс, варто звернути увагу на децентралізовані технології, які повертають контроль над даними самим користувачам, а не корпораціям чи урядам. Біометричні системи захищають, але створюють централізовані бази, вразливі до атак. Альтернативний підхід — це гейміфікована платформа на блокчейні, де користувачі, як у грі, керують доступом до даних. Уявімо DataQuest, де користувач прокачує свій профіль безпеки, дозволяючи доступ до даних лише через смарт-контракти [8]. Такий підхід повертає контроль людині, а не корпораціям. Реальний світовий приклад, який наближає цю концепцію до реальності, це Естонія з її використанням KSI Blockchain для безпечного управління національними даними. Цей пілотний проект демонструє, що децентралізовані системи можуть ефективно використовуватися для захисту даних на національному рівні, надаючи власникам даних контроль над їхньою інформацією. До того ж, дослідження, проведене в 2022 році в Університеті Лондону, показало, що учасники 87% випадків відчували більшу безпеку при використанні блокчейн-інфраструктури для управління своїми даними, що підкреслює успішність цього рішення.

GDPR уже встановив стандарти згоди, але централізовані сервери залишаються слабкою ланкою [9]. Блокчейн розподіляє дані, унеможливлюючи єдину точку відмови. Проте впровадження потребує освіти користувачів і масштабування мереж. Технічно, розподілені реєстри створюють так звану "криптографічну незмінність", коли кожна транзакція записується в блок і підтверджується мережею вузлів. Це означає, що навіть якщо хакер зламає один сервер, він не зможе змінити дані без контролю над більшістю мережі, що практично неможливо в масштабних системах. За даними Kaspersky Lab, у 2022 році понад 70% кібернападів були спрямовані на централізовані системи, у той час як випадки порушень у розподілених реєстрах становили лише 1.5%. Ця різниця підкреслює вразливість централізованої інфраструктури в порівнянні з розподіленими мережами.

Цікаво, що гейміфікація тут не просто розвага. Коли людина бачить свій "рівень безпеки" як 85%, а не абстрактне "ваші дані захищені", вона краще розуміє ризики. Психологія показує, що візуалізація загроз працює ефективніше за текстові попередження [3]. У майбутньому такі платформи можуть стати "цифровими сейфами", де кожен сам вирішує, кому відкрити двері. Однак виникає питання: чи готові люди взяти на себе відповідальність за власні дані? Досвід показує, що більшість користувачів обирають зручність над безпекою, тому інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим, мов Instagram, але з захистом Fort Knox. Щоб підтримати користувачів у цій відповідальності, університети можуть розробити навчальні модулі, що охоплюють права на приватність та управління даними. Також можливе впровадження інформаційно-просвітницьких кампаній, що підвищують свідомість у сфері цифрової безпеки. Це сприятиме формуванню культури відповідального ставлення до особистих даних серед студентів.

Якщо децентралізація даних захищає приватність, то етичне використання штучного інтелекту (AI) гарантує, що технології не обмежують свободу самовираження. AI у соцмережах може ненавмисно цензурувати контент, порушуючи свободу слова. Виходом із ситуації стають "AI-аудитори" з відкритим кодом, які перевіряють алгоритми на упередженість. Проєкт, подібний до Mozilla Common Voice, міг би створити "OpenGuard" для тестування AI на цензуру. Прозорість

коду забезпечує довіру [7]. Щоб такі аудитори залишалися незалежними від тиску платформи, вони повинні фінансуватися через гранти від незалежних організацій та університетів. Сертифікація їхньої польової роботи може проводитися комітетом, що складається з представників громадськості, технологій і права, щоб забезпечити об'єктивність і прозорість.

Але чому це важливо саме зараз? Алгоритмічна упередженість — не абстрактна проблема. Дослідження MIT показали, що системи розпізнавання облич помиляються у 34% випадків для темношкірих жінок, але лише у 1% для білих чоловіків [1]. Це означає, що технологія може системно дискримінувати певні групи. Відкритий код дозволяє незалежним дослідникам знаходити такі вразливості до того, як вони завдадуть шкоди. Однак відкрите програмне забезпечення не завжди вирішує проблему упереджень. Візьмемо за приклад проєкт ImageNet. Незважаючи на відкритість, критики вказують, що він містить упередження у класифікації зображень, що призводить до культурних стереотипів (Liang et al., 2020). Це наголошує на потребі в мультидисциплінарних аудитаційних командах, які можуть виявляти та усувати подібні проблеми до їх поширення.

Складність алгоритмів і брак експертів для аудиту — це бар'єри, так. Але подумайте: чи не варто інвестувати в підготовку цифрових аудиторів так само, як ми навчаємо фінансових ревізорів? Нейронні мережі, особливо глибокого навчання, працюють як "чорні скриньки" — навіть їхні творці не завжди розуміють, чому AI прийняв певне рішення (Lipton, 2018). Тому потрібні не просто програмісти, а міждисциплінарні команди: етики, юристи, соціологи, які разом розбиратимуть логіку машин. Етики можуть аналізувати потенційні моральні впливи рішень AI і розробляти етичні стандарти для роботи алгоритмів. Юристи займатимуться вивченням відповідності правовим нормам, захищаючи права користувачів від порушень. Соціологи досліджуватимуть вплив технологій на суспільство й аналізуватимуть поведінкові моделі користувачів у відповідь на штучний інтелект. Таке розподілення ролей дозволяє краще розуміти та керувати наслідками використання AI у соціальних системах. Для натхнення можна звернути увагу на успішні міждисциплінарні програми, такі як "Digital Ethics Lab" в Оксфордському університеті, яка зосереджується на впровадженні етичних стандартів у цифрові технології. Також варто звернути увагу на програму "AI for Social Good" в Університеті Каліфорнії в Берклі, яка застосовує міждисциплінарний підхід до розв'язання суспільно важливих проблем за допомогою AI.

У перспективі "AI-аудитори" можуть стати стандартом, як SSL-сертифікати для сайтів, гарантуючи, що технології поважають права. Уявіть значок "Перевірено OpenGuard" на платформі — це сигнал користувачам, що алгоритми тут чесні. Але треба бути реалістами: великі корпорації неохоче діляться своїми алгоритмами, бо це комерційна таємниця. Тут потрібен законодавчий тиск, як це сталося з GDPR — регулювання, що змушує прозорість стати нормою, а не винятком. Наприклад, стаття 15 GDPR, яка зобов’язує організації надавати фізичним особам доступ до особистих даних, може слугувати прототипом для обов’язкового розкриття алгоритмів. Таке статутне положення може перетворити наш заклик до прозорості з простої амбіції на дієву політику.

Університети можуть відігравати вирішальну роль у цьому процесі, активно беручи участь у дослідженні політичних наслідків та впливу таких законодавчих ініціатив. Вони можуть створити експертні панелі, де фахівці з різних областей збиратимуться для обговорення найкращих підходів до прозорості в технологіях. Крім того, університети здатні організовувати публічні консультації, залучаючи представників громадськості, аби врахувати їхні інтереси та побоювання. Така ініціатива може не лише підвищити обізнаність, але й надати адміністраторам інструменти для лідерства у внесенні змін.

Права людини та інформаційна безпека не є ворогами, а партнерами в цифровій дуелі. Гейміфіковані платформи та AI-аудитори відкривають горизонти, де технології стають щитом свободи. Майбутнє належить світу, де кожен контролює свій цифровий слід, де алгоритми прозорі, а приватність захищена. Однак це майбутнє не прийде само собою, воно потребує свідомих рішень сьогодні. Саме тому ми звертаємося до університетів як до ключових гравців у цій сфері.

Першим важливим кроком для університетів є впровадження спеціалізованих освітніх програм, які фокусуються на правах людини в цифрову епоху та інформаційній безпеці. Ці програми можуть включати курси з етичного використання даних, алгоритмічної справедливості

та кібербезпеки, які будуть готувати спеціалістів, здатних адаптуватися до швидкозмінних умов і захищати цифрові права.Наступний крок — активне залучення університетів у дослідження та створення консорціумів з технологічними компаніями для розвитку нових технологій і аналізу їх впливу на приватність. Це може включати в себе проведення спільних семінарів та конференцій, а також розробку систем безпеки в рамках пілотних проєктів. Університети також можуть брати участь у формуванні політики, співпрацюючи з державними органами та громадськими організаціями, щоб розробляти довгострокові стратегії захисту цифрових прав. Ці ініціативи зможуть перетворити наші амбіції в реальні політики, що сприятимуть епосі свободи замість цифрового рабства. Важливими показниками успіху цих ініціатив можуть стати кількість створених партнерств, прийняті зміни у політиці та рівень залученості студентів до відповідних програм. Крім того, моніторинг впливу через кількісне оцінювання таких факторів, як зростання чисельності учасників спільних досліджень та заходів, може допомогти університетам у стратегічному плануванні та гарантувати підзвітність цих ініціатив.

Список використаної літератури

[1] J. Buolamwini and T. Gebru, "Gender shades: Intersectional accuracy disparities in commercial gender classification," Proc. Mach. Learn. Res., vol. 81, pp. 1–15, 2018.

[2] A. K. Ekert, "Quantum cryptography based on Bell's theorem," Phys. Rev. Lett., vol. 67, no. 6, pp. 661–663, Aug. 1991.

[3] D. Kahneman, Thinking, Fast and Slow. New York, NY, USA: Farrar, Straus and Giroux, 2011.

[4] S. K. Liao et al., "Satellite-to-ground quantum key distribution," Nature, vol. 549, no. 7670, pp. 43–47, Sep. 2017.

[5] M. Mosca, "Cybersecurity in an era with quantum computers," IEEE Secur. Privacy, vol. 16, no. 5, pp. 38–41, Sep./Oct. 2018.

[6] National Institute of Standards and Technology, "Post-quantum cryptography standardization," 2022. [Online]. Available: https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography

[7] E. S. Raymond, The Cathedral and the Bazaar. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 1999.

[8] M. Swan, Blockchain: Blueprint for a New Economy. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015.

[9] P. Voigt and A. Von dem Bussche, The EU General Data Protection Regulation (GDPR). Cham, Switzerland: Springer, 2017.

[10] Q. Zhang et al., "Quantum key distribution with Micius satellite," Nature, vol. 582, no. 7813, pp. 501–505, Jun. 2020.

[11] O. Kovalchuk, Digital Rights in the Era of Cyber Threats. Kyiv, Ukraine: Scientific Thought, 2024.

[12] B. Schneier, Data and Goliath: The Hidden Battles to Collect Your Data. New York, NY, USA: W.W. Norton, 2023.

[13] European Commission, OPENQKD: Quantum Cryptography in Europe. Brussels, Belgium: EU Publications, 2024.

[14] W. Liang et al., "Advances, challenges and opportunities in creating data for trustworthy AI," Nature Mach. Intell., vol. 2, no. 8, pp. 427–435, Aug. 2020.

[15] Z. C. Lipton, "The mythos of model interpretability," Commun. ACM, vol. 61, no. 10, pp. 36–43, Oct. 2018.

УДК: 004.8

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАТИВНОСТІ КУТА ФОТОФІКСАЦІЇ

Масловська В.В., Кліменко В.І.
(vmaslovska1@gmail.com, ler.klimenko.8@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

Досліджено ефективність нейромережевої класифікації залишків зруйнованих будівель з урахуванням варіативності ракурсу зйомки, що дозволяє адаптувати розпізнавання матеріалів до реальних умов моніторингу. Експериментальна частина базується на аналізі впливу кута зйомки на результати класифікації для двох альтернативних архітектур: згорткової MobileNetV3 та трансформерної Vision Transformer, навчених на збалансованому наборі зображень фрагментів

будівельних конструкцій під різними просторовими орієнтаціями. Отримані результати свідчать, що при зміні кута зйомки понад 45° точність MobileNetV3-Large зменшується з 95,2 % до 87,4 %, тоді як Vision Transformer утримує показник на рівні 93,5 %, наводячи вищу інваріантність до геометричних спотворень. Використання розширених аугментацій підвищило загальну точність MobileNetV3 на 3,1 %, а ViT на 1,8 %, що підтверджує можливість застосування моделювання варіативності ракурсу на етапі навчання. Запропонований підхід підвищує надійність нейромережевих систем аналізу руйнувань і може бути застосований у безпілотних системах моніторингу та цифрового оцінювання стану інфраструктури..

Розпізнавання залишків зруйнованих будівель є складним завданням у сфері комп'ютерного зору, особливо у випадках, коли зображення отримані під різними кутами зйомки [1]. У реальних умовах спостереження фрагменти будівель фіксуються з безпілотних літальних апаратів або наземних камер, що змінюють положення відносно об'єкта. Така варіативність призводить до зміни проєкції текстури, освітлення та геометрії об'єкта, що ускладнює стабільну класифікацію матеріалів і структурних елементів руйнування. Забезпечення інваріантності моделей до зміни ракурсу є необхідною умовою для побудови надійних систем аналізу зруйнованих середовищ [2].

Метою дослідження є оцінювання ефективності нейромережевих архітектур, здатних зберігати високу точність класифікації за умов зміни кута зйомки. Для цього розроблено експериментальну методику, що включала формування підвибірок зображень фрагментів будівель при різних просторових орієнтаціях, створення синтетичних поворотів і перспективних викривлень, а також порівняльний аналіз результатів роботи різних архітектур глибинного навчання.

У дослідженні використано дві моделі, які представляють різні підходи до обробки візуальної інформації [3, 4]. Перша MobileNetV3-Large, що базується на згорткових шарах із механізмом адаптивного зважування каналів, і характеризується компактністю та високою швидкодією. Друга Vision Transformer, яка реалізує принципи самоуваги та здатна моделювати глобальні просторові залежності між патчами зображення. Для обох моделей проведено попереднє навчання на базі ImageNet і подальше донавчання на спеціалізованому наборі даних, який містив зображення залишків будівельних конструкцій з різними кутами нахилу камери від 0° до 60°.

Вибірка була поділена на навчальну та тестову у співвідношенні 80:20. Для компенсації класового дисбалансу використано вагові коефіцієнти у функції втрат. Процес навчання здійснювався протягом шести епох із використанням оптимізатора AdamW та швидкості навчання 5e-5. Для оцінки продуктивності застосовувалися метрики точності, повноти та F1-показника.

Результати показали, що зміна кута зйомки призводить до зниження точності класифікації для обох моделей, однак ступінь цього зниження суттєво різниться. Для MobileNetV3-Large середня точність при стандартному ракурсі становила 95,2 %, але при зміні кута зйомки понад 45° вона зменшувалася до 87,4 %. У випадку Vision Transformer початковий показник точності 96,7 % знизився лише до 93,5 %, що демонструє кращу стійкість до просторових трансформацій. Така поведінка пояснюється здатністю трансформерної архітектури аналізувати відносне розташування візуальних фрагментів, а не лише локальні шаблони.

Додатково було проведено оцінку чутливості моделей до різних типів геометричних спотворень. При поворотах на ±15° обидві архітектури зберігали стабільну точність класифікації. Однак при більших кутах MobileNetV3 втрачала здатність розрізняти окремі класи матеріалів, що свідчить про переважно локальний характер її ознак. Vision Transformer, навпаки, демонстрував більш плавне зниження результатів і здатність узагальнювати просторові варіації навіть при комбінації поворотів та перспективних викривлень.

Виявлено, що використання методів аугментації зображень таких як випадкові обертання, горизонтальні віддзеркалення та зміни масштабу сприяє підвищенню інваріантності обох моделей. Проте ViT реагував на такі зміни більш ефективно, що підтверджує його архітектурну гнучкість. У середньому використання розширених аугментацій підвищувало точність MobileNetV3 на 3,1 %, тоді як для ViT приріст становив 1,8 %, але зменшувалася варіативність результатів між класами. Приклад класифікації під кутом 30° наведено на рисунку 1.

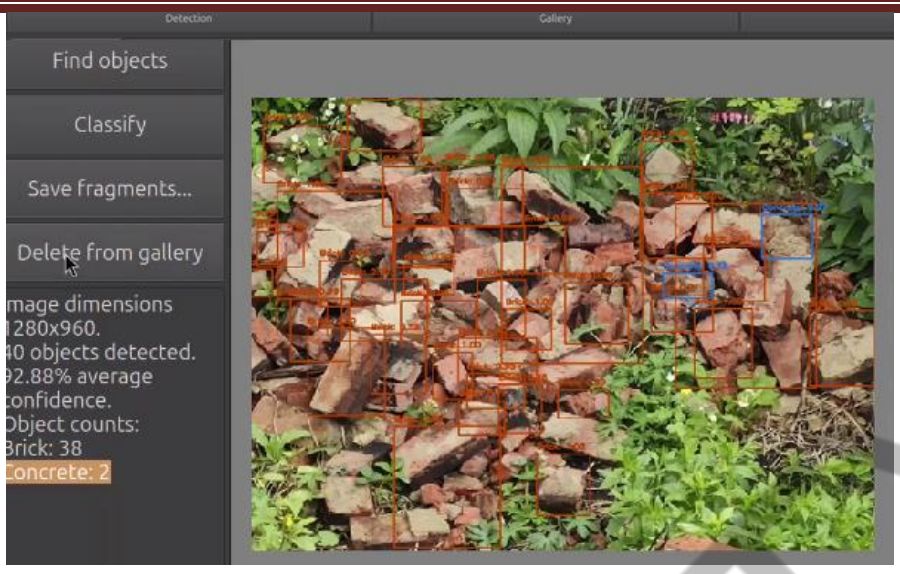


Рисунок 1 – Приклад класифікації під кутом 30°

Отримані дані дають підстави вважати, що у задачах класифікації зображень залишків зруйнованих будівель при змінних кутах зйомки доцільно застосовувати трансформерні архітектури або комбіновані гібридні моделі, які поєднують переваги згорткових і самоуважних механізмів. Це дозволяє підвищити стійкість системи до змін ракурсу без істотного зростання обчислювальної складності.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання таких моделей у безпілотних системах моніторингу, які здійснюють огляд зруйнованих територій під різними кутами. Запропонований підхід може бути інтегрований у модулі аналізу відеопотоку для реального часу з метою ідентифікації типів матеріалів, визначення ступеня руйнування та оптимізації процесів розчищення територій.

У подальших дослідженнях планується поєднання Vision Transformer з просторовими механізмами уваги, орієнтованими на корекцію перспективних викривлень, а також розширення датасету за рахунок аерофотозйомки різної висоти. Перспективним напрямом є використання 3D-реконструкцій і глибоких карт для додаткової просторової нормалізації зображень, що може підвищити точність класифікації при складних умовах зйомки.

Отримані результати підтверджують, що врахування варіативності ракурсу суттєво впливає на точність нейромережевої класифікації залишків зруйнованих будівель. Експерименти показали, що модель MobileNetV3-Large зберігає середню точність 95,2 % при стандартному ракурсі, але втрачає до 7,8 % ефективності при зміні кута зйомки понад 30° і до 87,4 % при нахилі 45° і більше. Натомість Vision Transformer демонструє вищу стабільність, утримуючи точність 93,5 % навіть за значних змін геометрії сцени. Використання розширених аугментацій дало змогу підвищити загальну точність MobileNetV3 на 3,1 %, а для ViT на 1,8 %, що свідчить про ефективність попереднього моделювання просторових варіацій. Отже, трансформерна архітектура забезпечує кращу інваріантність до зміни ракурсу, зменшує варіативність результатів між класами та в середньому перевищує згорткову модель на 6,1 % при нерівномірних кутах зйомки. Це підтверджує доцільність її використання у практичних системах комп'ютерного зору для моніторингу та оцінювання ступеня руйнування будівельних об'єктів.

Список використаних джерел

[1] K. Lin, Y. Zhao, T. Zhou, X. Gao, C. Zhang, B. Huang, and Q. Shi, "Applying Machine Learning to Fine Classify Construction and Demolition Waste Based on Deep Residual Network and Knowledge Transfer", Environment, Development and Sustainability, vol. 25, pp. 8819–8836, 2023. [Online]. Available: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10163944/ [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] В. О. Дідур, М. О. Молчанова, і О. В. Мазурець, "Спосіб виявлення та класифікації залишків зруйнованих будівель та будівельного сміття за фотографіями з використанням моделей CNN," Наука і техніка сьогодні, № 1 (42), с. 1162–1175, Київ, 2025.

[3] O. Mazurets, O. Zalutska, O. Tyschenko, and A. Bohdanova, “An Approach to Using MobileNet CNN-Model for Gesture Recognition,” in Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference «Problems of Science and Technology: The Search for Innovative Solutions», Munich, Germany, May 15–17, 2024, pp. 59–64.

[4] I. Kharysh, O. Sobko, and O. Mazurets, “Designing CNN Neural Network Model for Detecting Fractures of Lower Extremities by X-ray Images,” in Proceedings of the XLIV International Scientific and Practical Conference “The Impact of Scientific Research on the Development of the Modern World”, Dubrovnik, Croatia, Oct. 23–25, 2024, pp. 91–96.

УДК 004.8

ВИКЛИКИ ТА ЗАВДАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВІЙ ОСВІТІ

Махник С. І. (makhnyk.sofiia.soi22@rshu.edu.ua)
Остапчук Н. О. (nataliia.ostapchuk@rshu.edu.ua**)**
Рівненський державний гуманітарний університет (Україна)

В тезах розглядається поняття штучного інтелекту та його використання в освіті. Описано основні принципи роботи ШІ. Окреслено умови, виклики та завдання використання ШІ в освітньому процесі.

Сучасна освіта перебуває на етапі швидких змін, пов’язаних із розвитком цифрових технологій, серед яких особливе місце посідає штучний інтелект. Питання використання можливостей штучного інтелекту в цифровій освіті набуває особливої актуальності.

Штучний інтелект (ШІ, штучний розум, англ. artificial intelligence, AI) – це здатність обчислювальних систем виконувати завдання, які зазвичай властиві можливостям людського інтелекту (навчання, міркування, розв'язання питань, сприйняття та ухвалення рішень). Це розділ інформатики, який швидко розвивається та зосереджений на розробці інтелектуальних машин. Дана галузь досліджує, створює, вивчає методи і програмне забезпечення, які дозволяють машинам сприймати світ і використовувати самонавчання для здійснення інтелектуальних дій, які щоразу збільшують їхні спроможності для досягнення визначеної мети [1].

Стрімкий розвиток ШІ ставить перед суспільством нові виклики та завдання щодо підготовки людини до ефективного використання цих технологій. Освіта відіграє ключову роль у формуванні знань, умінь і навичок, необхідних для роботи з генеративними системами, а також для розвитку критичного мислення та цифрової грамотності.

Всі країни, які створюють стратегічні документи з розвитку штучного інтелекту, бачать приблизно однакову головну мету освіти у цьому процесі – гарантувати суспільству доступ до використання можливостей, які надає штучний інтелект. Для цього приділяється підвищена увага до STEM-освіти у школі, підготовка дослідників, розробників і кваліфікованих користувачів систем штучного інтелекту у закладах професійної та вищої освіти, підтримка програм перепідготовки і навчання протягом життя.

Близькі завдання ставить і проєкт Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. Зокрема**,** в загальній середній освіті передбачається підвищення рівня математичної компетентності випускників, популяризація природничих та інженерних спеціальностей для подальшого навчання. Втім, такі завдання в різних державних програмах присутні вже багато років, а ситуація зі STEM-освітою лише погіршується. Бо вона потребує і вчителів, які володіють сучасними технологіями, і відповідної матеріально-технічної бази, а головне, – значного збільшення фінансування освіти [2].

Важливо визначити ключові знання та компетентності, які повинні отримувати здобувачі освіти. Дослідниками визначено п’ять «великих ідей» у царині ШІ, які, на їхню думку, мають знати здобувачі освіти:

1. Комп'ютери сприймають світ за допомогою датчиків. Здатність комп'ютерів збирати інформацію про навколишній світ за допомогою датчиків (камери, мікрофони та інші пристрої). Ця інформація потім може бути використана для прийняття рішень і виконання дій.

2. Агенти підтримують моделі/представлення світу й використовують їх для міркувань. Здатність комп'ютерних агентів створювати внутрішні моделі або уявлення світу, засновані на інформації, отриманій від датчиків або інших джерел. Ці моделі потім використовуються для логічних міркувань і прийняття рішень.

3. Комп'ютери можуть навчатися на даних. Здатність комп'ютерів навчатися на основі даних за допомогою методів машинного навчання. Це дає змогу комп'ютерам покращувати свої моделі й алгоритми, щоб якісніше виконувати завдання та ухвалювати точніші рішення.

4. Змусити агентів взаємодіяти з людьми є серйозною проблемою для розробників ШІ. Складність створення комп'ютерних агентів, які можуть ефективно взаємодіяти з людьми. Це включає в себе розуміння природної мови, розпізнавання емоцій та інші складні завдання, які вимагають «просунутих» методів ШІ.

5. Додатки ШІ можуть впливати на суспільство як позитивно, так і негативно. Наприклад, ШІ може використовуватися для поліпшення охорони здоров'я або безпеки, але також може призвести до втрати робочих місць або посилення нерівності [3].

Отже, ШІ стає частиною сучасного життя, а його впровадження в освіту відкриває нові можливості для розвитку знань. Освіта, орієнтована на розвиток компетентностей у сфері ШІ, допомагає формувати критичне мислення та готовність працювати з ними. Вивчення «великих ідей» дає змогу здобувачам освіти зрозуміти принципи роботи сучасних технологій, ефективно взаємодіяти з ними та усвідомлювати їхній вплив на суспільство. Окрім цього, слід не забувати, що заклади загальної середньої освіти, насамперед, потребують фінансування та високо кваліфікованих педагогів. Дотримання усіх цих умов є вкрай необхідним, щоб учням було легше освоювати технології ШІ, які стають невід'ємною частиною сучасної освіти, спрощуючи роботу людини та підвищуючи ефективність її навчальної діяльності.

Список використаної літератури

[1] «Штучний інтелект» Вікіпедія, 2024. [Online]. Available: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82

[2] В. Бахрушин, «Штучний інтелект і освіта» Дзеркало тижня (ZN,UA), 2020. [Online]. Available: https://zn.ua/ukr/EDUCATION/shtuchniy-intelekt-i-osvita-350946_.html

[3] С. В. Толочко, А. В. Годунова. Теорико-методичний аналіз закордонних практик використання штучного інтелекту в освіті й науці. Вісник науки та освіти № 7(83), 2023. [Online]. Available: http://perspectives.pp.ua/index.php/vno/article/view/5765/5798

УДК 004.8

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ (ML) ДЛЯ ПРОАКТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КІБЕРАТАК ТИПУ ADVANCED PERSISTENT THREAT (APT)

Мацола А. С. (angelinamacola27@gmail.com)

Національна академія Служби безпеки України ***(Україна)***

У боротьбі з кібератаками типу Advanced Persistent Threat (APT), що відзначаються своєю тривалістю, витонченістю та здатністю залишатися непоміченими, традиційні методи захисту, що базуються на сигнатурах та правилах, виявляються неефективними. Це пов'язано з тим, що злодійники постійно адаптуються, використовують легітимні процеси та сховані канали передачі даних. Саме тому технології машинного навчання (ML) стають критично важливими для проактивного виявлення та нейтралізації таких загроз.

На сьогоднішній час існують великі проблеми щодо виявлення та нейтралізації кібератак під час експлуатації та супроводження програмного забезпечення. Існуючі методи, які використовуються для виявлення кібератак не до кінця забезпечують їх ідентифікацію та остаточний аналіз, тому що складні цільові атаки (APT) розгортаються поетапно, проходячи через низку стадій. Спершу злодійники проводять ретельне дослідження цілі (reconnaissance), потім отримують первинний доступ до системи (initial access). Далі вони розширюють свою присутність у мережі (lateral movement) та забезпечують собі постійний доступ (persistence).

Наступні кроки дії кібератаки включають викрадення інформації (exfiltration) та реалізацію кінцевої мети атаки (impact). На кожному етапі використовуються унікальні методи та прийоми (TTP), що допомагає кіберзлочинцям залишатися непоміченими протягом тривалої години. Прикладами таких атак є проникнення до фінансових установ та об'єктів критичної інфраструктури, де використовувалися методи соціальної інженерії, експлуатація програмних уразливостей та приховані шкідливі програми - бекдори.

Вирішити зазначену проблему можливо із застосуванням машинного навчання. Тому метою даних тез є застосування машинного навчання, яке дозволяє формувати системи, що спеціалізуються на виявленні відхилень у мережевому трафіку та системних журналах.

Ці системи також можуть моделювати поведінкові паттерні користувачів та процесів, а також ініціювати автоматичні контрзаходи проти потенційних загроз. Методики контрольованого навчання (supervised learning) використовуються для задач прогнозування, де наявні розмічені дані. На противагу цьому, неконтрольоване навчання (unsupervised learning) та підходи до виявлення аномалій (anomaly detection) фокусуються на ідентифікації відхилень від нормального стану без попереднього маркування.

Сучасні архітектури, зокрема глибокі нейронні мережі, LSTM, автоенкодери та трансформери, надають інструменти для аналізу часових послідовностей, розпізнавання неочевидних залежностей та класифікації загроз у складних контекстах.

Іншим методом є застосування системи аналізу поведінки користувачів та об'єктів (UEBA).Зазначені системи вивчають звичайну активність у системі, щоб створити "портрети" типової поведінки. Це допомагає швидко виявляти незвичайні дії, які можуть свідчити про атаку. Ці системи використовують спеціальні алгоритми для оцінки відхилень від норми та встановлюють рівні "тривоги". Якщо активність перевищує цей рівень, система автоматично сповіщає про це чи навіть блокує підозрілі дії.

Також для забезпечення ідентифікації та аналізу кіберзагроз використовується технолоогія Explainable AI (XAI),яка забезпечує прозорість рішень моделей ML, що дозволяє адміністраторам безпеки розуміти, чому система класифікувала подію як потенційну загрозу, та приймати обґрунтовані рішення .

Крім того, машинне навчання як елемент штучного інтелекту (XAI) робить процес прийняття рішень більш зрозумілим. Це дозволяє фахівцям з безпеки бачити, на основі яких даних система визначила подію як потенційну загрозу. Завдяки цьому вони можуть краще розуміти ситуацію та приймати обґрунтовані рішення щодо реагування на загрози.

Іншим шляхом є об'єднання машинного навчання (ML) із платформами SOAR (Security Orchestration, Automation and Response) відкриває шлях до автоматизованого реагування на загрози. Це значно прискорює процес від виявлення підозрілої активності до її усунення. Завдяки автоматизованим сценаріям (playbooks) система визначає пріоритетність інцидентів, оцінює можливі збитки та блокує шкідливі процеси (згідно з дослідженнями SEI CMU, 2023). Крім того, використання технології федеративного навчання (Federated Learning) покращує безпеку та конфіденційність даних. Це дозволяє навчати моделі ML, не збираючи чутливу інформацію на одному місці, а обмінюватися знаннями між різними організаціями.

Таким чином, виходячи із зазначеного можна сказати наступне, що машинне навчання (ML) відкриває шлях до створення передових систем, які можуть завчасно виявляти, передбачати та знешкоджувати складні кібератаки, такі як APT. Це значно посилює захист інформаційних систем – як державних, так і приватних – від сучасних кіберзагроз. Поєднання ML, великих даних (Big Data), пояснюваного штучного інтелекту (XAI) та федеративного навчання створює фундамент для інтелектуальної кіберзахисту, що ефективно протистоить сучасним загрозам.

Список використаних джерел

[1] M. Krishnapriya and S. Singh, "Комплексне дослідження методів виявлення Advanced Persistent Threat," *Computers, Materials & Continua*, vol. 80, no. 2, pp. 2837–2852, 2023.

[2] A. S. Al-Aamri, S. Al-Saadi, S. Al-Ajmi, and S. Al-Harthi, "Машинне навчання для виявлення APT," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13820, 2023.

[3] L. Stojanović *et al*., "Датасети APT та моделювання атак для автоматизованого виявлення," *Computers & Security*, vol. 92, p. 101743, 2020.

[4] M. Springer *et al*., "Пояснюване глибинне навчання для виявлення Advanced Persistent Threat," *Artificial Intelligence Review*, 2024.

[5] Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, "Використання штучного інтелекту для виявлення Advanced Persistent Threat," 2023.

[6] LogShield Research Team, "Система виявлення APT на основі трансформерів із механізмом self-attention," *arXiv preprint arXiv:2311.05733*, 2024.

[7] XFedHunter Research Team, "Пояснювана федеративна навчальна система для виявлення APT у SDN," *arXiv preprint arXiv:2309.08485*, 2024.

[8] APT-LLM Research Team, "Виявлення аномалій у APT за допомогою великих мовних моделей," *arXiv preprint arXiv:2502.09385*, 2025.

УДК 004.4:378.1

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ШІ-АГЕНТА ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ САЙТА ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мельников О. Ю., Щербина Б. Т. (alexandr@melnikov.in.ua)
Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)

Сформульовано постановку задачі створення агента штучного інтелекту для студентів, який має розширити функціональність пошукової системи або наявного Telegram-бота для обробки інформації з сайту закладу вищої освіти. Наведено основні функції пропонованого агента, можливий очікуваний сценарій роботи та перелік потрібних програмно-технічних засобів.

Ідея проєкту полягає у створенні ШІ(AI)-агента [1–2] для студентів, який розширює функціональність пошукової системи або наявного Telegram бота [3–5] для обробки інформації з сайту закладу вищої освіти.

Зазвичай бот працює за принципом статичних команд, використовуючи меню та кнопки, але AI-агент дозволяє спілкуватися з системою у звичній розмовній формі, розуміє контекст запиту, автоматично обробляє документи та видає лише релевантну інформацію. Мета – зробити взаємодію студента з університетськими сервісами (розклад, Moodle, новини, дедлайни, стипендії тощо) більш інтелектуальною, персоналізованою та автоматизованою.

Основні функції:

- Розуміння запитів природною мовою. Користувач може ставити питання у вільній формі: «Покажи мій розклад на завтра», «Коли наступна пара з математичного аналізу?». Агент самостійно визначає намір та шукає відповідні дані.
- Автоматичне витягування інформації з документів. AI-агент може працювати з розкладами, розпорядженнями, списками іспитів чи стипендій. Замість того щоб показувати весь документ, система знаходить і витягує лише потрібні фрагменти, з посиланням на документ та конкретний параграф, як джерело відповіді.
- Персоналізація під користувача. Агент враховує дані користувача, такі як курс, група та напрям підготовки, та показує тільки відповідну інформацію.
- 4. Інтеграція з зовнішніми сервісами: Google Calendar [6] – автоматичне додавання пар або іспитів у календар; Moodle [7] – відстеження дедлайнів завдань або нових повідомлень; інші внутрішні системи університету, наприклад, розклад, новини, стипендії.

- Автоматизація рутинних дій. Агент може нагадувати про дедлайни, повідомляти про зміни в розкладі, або пропонувати корисні дії: «Додати це до календаря?».
- Єдина точка доступу до всієї інформації. Усі сервіси, такі як розклад, Moodle, новини, документи, об'єднані у єдиному інтерфейсі – у Telegram чаті з розумним агентом.
- Отримання інформації для абітурієнтів про факультети, спеціальності, умови вступу, перелік необхідних документів та дати вступної кампанії. Агент може відповідати на типові запитання або надавати посилання на відповідні офіційні сторінки щоб розвантажити приймальну комісію.

Можливий очікуваний сценарій роботи:

6. Користувач запускає Telegram-бота.
7. AI-агент отримує контекст користувача – курс, групу, поточний семестр.
8. Студент ставить запитання у вільній формі, наприклад: «Покажи мої заняття на понеділок», «Коли буде наступний іспит?», «Які новини за сьогодні?».
9. Агент виконує пошук у векторному сховищі, де зберігаються університетські документи, та формує коротку відповідь.
10. Якщо потрібно – пропонує додаткові дії, наприклад, додати подію у Google Calendar.
11. У майбутньому агент може автоматично надсилати сповіщення про зміни в розкладі, або наближення дедлайнів.

Технічна архітектура:

– Telegram-бот – обробка повідомлень, автентифікація, інтеграція з наявними функціями.
– AI-агент (JavaScript / Node.js) – модуль обробки природної мови, робота з векторною базою даних, логіка розуміння намірів.
– PostgreSQL – зберігання користувацьких даних, історії запитів, документів.
– Vector DB [8] – семантичний пошук по документах.
– Google Calendar API / Moodle API – інтеграції для автоматизації.
– MCP Сервер [9] – центральний шар інтеграції між агентом і зовнішніми джерелами даних. Він надає єдиний інтерфейс доступу до сервісів університету. Кожен ресурс представлений як окремий інструмент, який агент може викликати для виконання конкретної дії, таких як отримати розклад, знайти документ, створити подію у календарі чи оновити дедлайн.

Список використаної літератури

[1] AI agents — what they are, and how they'll change the way we work [Online]. Available: https://news.microsoft.com/source/features/ai/ai-agents-what-they-are-and-how-theyll-change-the-way-we-work [Accessed: October 21, 2025].

[2] Telegram Bot Platform [Online]. Available: https://telegram.org/blog/bot-revolution [Accessed: October 21, 2025].

[3]. О. Ю. Мельников, Є. П. Пеліх, "Використання телеграм-ботів для спрощення доступу до інформації закладу вищої освіти**",** *Сучасна освіта – доступність, якість, визнання: збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-методичної конференції, 13–14 листопада 2024 року, мм. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль / [за заг. ред. д-ра техн. наук., проф. С. В. Ковалевського і Hon.D.Sc., prof. Predrag Dasic]*, – Краматорськ : ДДМА, с. 207–210, 2024.

[4]. Є. П. Пеліх, О. Ю. Мельников, "Задача створення «Телеграм-бота» для спрощення доступу до інформації закладу вищої освіти", *Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики: збірник тез за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених*, Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, с. 539–540, 2024.

[5]. О. Ю. Мельников, Є. П. Пеліх, "Спрощення доступу до навчальної інформації за допомогою Telegram-бота", *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції,* Черкаси, с. 125–128, 2025.

[6] Shareable Online Calendar [Online]. Available: https://workspace.google.com/products/calendar/ [Accessed: October 21, 2025].

[7] Online learning, delivered your way [Online]. Available: https://moodle.com/ [Accessed: October 21, 2025].

[8] What Is a Vector Database? [Online]. Available: https://www.oracle.com/ua/database/vector-database/ [Accessed: October 21, 2025].

[9] What is the Model Context Protocol (MCP)? [Online]. Available: https://modelcontextprotocol.io/docs/getting-started/intro [Accessed: October 21, 2025].

УДК 004.8

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У СКЛАДСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ

Журба А.О., Модзалевський Є.О.
(annette.zhurba@gmail.com, floppycatcher@gmail.com)
Український державний університет науки та технологій (Україна)

В роботі розглядаються можливості використання штучного інтелекту для вирішення логістичних задач, плюси і мінуси цього підходу та інтеграцію нейронних мереж з існуючими системами управління складом (WMS) та системами управління підприємством (ERP). Висновок відповідає на питання актуальності впровадження систем штучного інтелекту у складську логістику та висвітлює проблеми з якими стикаються підприємства при використанні нейронних мереж в цій галузі.

Науковою проблемою є те, що в Україні обмаль відкритої інформації щодо застосування технологій на основі нейромереж на українських складах, не позначено їх економічну ефективність для логістичних підприємств, а також недостатньо висвітлено складність інтеграції таких рішень [3].

У зв'язку з тим, що поліпшення логістики зменшує витрати підприємства-постачальника, а, значить, впливає на кінцеву вартість товарів, в Україні останні роки акцентують велику увагу на оптимізації роботи складів і логістичних ланцюжків. Створюються нові розподільчі центри, покращується інфраструктура існуючих складів, впроваджуються нові технології управління запасами, такі як системи ERP та WMS.

WMS системи на даному етапі розвитку мають обмежений функціонал у частині обробки інформації, а також прогнозування. Більшість параметрів все ще необхідно вносити або коригувати операторам у ручному режимі, а це несе ризики помилки операторів, а також збільшує трудовитрати на однотипні операції. Нейромережеві технології, які набули популярності останнім часом, мають потенціал застосування у сфері складської логістики як у поєднанні з існуючими WMS-системами, так і в автономному режимі без них.

Нейромережі використовують для планування запасів та для оптимізації маршрутів доставки.

Ще одним важливим застосуванням нейромереж у складській логістиці є автоматизація процесів обробки та класифікації товарів на складі. Системи комп'ютерного зору, засновані на нейромережах, можуть класифікувати товари в атоматичному або напівавтоматичному режимі, а також відстежувати їх переміщення по складу. Це допомагає компаніям покращити ефективність та точність складських операцій [1].

Найбільш популярні та перспективні технології штучного інтелекту (ШІ) у складській логістиці:

- Автономні складські роботи. Робототехніка, керована ШІ, використовується для автоматизації різних складських процесів. Автоматизовані системи складування та пошуку (AS/RS) включають роботизовані крани і навантажувачі, які переміщують товари всередині складу. Роботи можуть виконувати широкий спектр завдань: від переміщення палет до комплектації дрібних замовлень.

- Машинне навчання та аналітика. Алгоритми машинного навчання допомагають прогнозувати попит, оптимізувати маршрути доставки та покращувати управління запасами.

- Комп'ютерний зір (CV). Технології комп'ютерного зору використовуються для сканування та відстеження товарів, а також для перевірки якості продукції. Системи комп'ютерного зору можуть автоматично зчитувати штрих-коди, QR-коди і навіть розпізнавати пошкодження на упаковці. Це особливо корисно для автоматизації процесів інвентаризації та контролю якості. Системи комп'ютерного зору можуть сканувати товари на конвеєрі, автоматично ідентифікуючи

та відбраковуючи дефектні одиниці, що значно скорочує кількість помилок та покращує якість продукції.

- AGV і дрони. Автономні транспортні засоби (AGV) та дрони використовуються для переміщення товарів усередині складів і навіть для доставки замовлень кінцевому споживачу. Вони оснащені датчиками та штучним інтелектом для навігації та запобігання зіткненням. AGV можуть автоматизувати переміщення продукції усередині складу, знижуючи необхідність у ручній праці та зменшуючи ризик пошкодження товарів та травм співробітників. Дрони, у свою чергу, можуть використовуватися для інвентаризації великих складських просторів, швидко та точно скануючи полиці та визначаючи наявність товарів [4].

Плюси використання ШІ у складській логістиці: 1) підвищення ефективності; 2) зниження кількості помилок; 3) оптимізація управління запасами; 4) підвищення рівня безпеки; 5) гнучкість та адаптивність.

Мінуси використання штучного інтелекту у складській логістиці:

1) Високі початкові витрати. Впровадження ШІ потребує значних інвестицій у технології, обладнання та навчання персоналу. Для малих та середніх підприємств такі витрати можуть бути не окупними у короткостроковій перспективі.

2) Складнощі в інтеграції. Необхідність поєднувати різні програмні та апаратні рішення, що може спричинити додаткові труднощі. Інтеграція ШІ з існуючими системами управління складом (WMS) та системами управління підприємством (ERP) може вимагати також значних додаткових витрат.

3) Залежність даних. Ефективність роботи ШІ багато в чому залежить від якості та обсягу доступних даних. Неякісні дані можуть призвести до помилкових прогнозів та рішень. Крім того, збір та обробка даних потребують додаткових ресурсів та часу. Системи машинного навчання вимагають великого обсягу даних для навчання та оптимізації і, якщо дані неповні або неточні, це може негативно вплинути на результати.

4) Опір змінам з боку людей. Впровадження нових технологій часто зустрічає опір з боку персоналу, якщо воно пов'язане зі зміною звичних процесів.

5) Ризики безпеки та конфіденційності. Використання ШІ пов'язане з ризиками витоків даних та кібератак. Зберігання та обробка великого обсягу даних потребує суворих заходів безпеки для захисту конфіденційної інформації та запобіганню несанкціонованому доступу. Складські системи, підключені до глобальної мережі, можуть бути вразливими для кібератак – компанії повинні вживати заходів для захисту своїх даних та систем.

Таким чином, нейромережі – це інноваційний інструмент, який допомагає організаціям покращувати свою діяльність та досягати високих результатів. Програми, що використовують нейромережі, активно впроваджуються в діяльність людей [2]. У сфері складської логістики нейронні мережі можуть застосовуватися для таких завдань, як:

1) Активне сканування та відстеження товарів у складських осередках і під час комплектації в реальному часі.

2) Створення оптимальних маршрутів для працівників складу під час комплектації товару.

3) Розрахунок прогнозних значень по роботі складу (брак, кількість ручного складання, потреба у кількість людей у зміні).

4) Рівномірний розподіл навантаження серед працівників складу.

Програми на основі нейромереж дозволяють покращити показники складу, такі як:

1) Відсоток браку;

2) Швидкість комплектації замовлень;

3) Час на регулярну інвентаризацію;

4) Кількість помилок при комплектації та відвантаженні товару.

Однак, незважаючи на велику кількість плюсів щодо впровадження програм на основі нейромережі, найближчим часом на українських підприємствах їх зможуть впровадити лише найбільші розподільчі центри у зв'язку зі складністю впровадження та високою вартістю. Для впровадження нових технологій необхідно мати на складі вже налагоджені WMS системи, з якими можна було б інтегрувати нові інформаційні продукти. Також, для налагодження та підтримки програм на основі нейромереж потрібен час і дорогі сервери, де могла б зберігатися інформація для аналізу та навчання нейромережею.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] База данных о ведущих системах WMS и их разработчиках. Warehouse-logistics.com. [Електронний ресурс]. URL: http://www.warehouse-logistics.com/3/3/wms-online-selection.html (дата звернення: 08.10.2025).

[2] Smith L.S. Handbook of Nature-Inspired and Innovative Computing: Integrating Classical Models with Emerging Technologies. - New York: Springer, 2006. – 433-475 p.

[3] Фоміченко І.П., Баркова С.О. Смарт-логістика: концептуальні засади та перспективи розвитку в Україні. Економічний вісник Донбасу № 1(59), 2020. С. 63-71.

[4] Куницька О.М., Мержиєвська Є.В. Управління запасами з використанням сучасних підходів логістики та маркетингу. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2009. № 649: Логістика. С. 193-197.

UDC 004.8:621.9.048

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADDITIVE MANUFACTURING (3D PRINTING)

Nevludov I.Sh., Sotnik S.V.
(igor.nevliudov@nure.ua, svetlana.sotnik @nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The paper presents a comprehensive analysis of artificial intelligence application to improve additive manufacturing quality. Systemic problems of modern 3D printing are identified: quality instability, high defect probability, and labor-intensive model preparation. Six key AI-based quality control methods are analyzed: digital twin, intelligent monitoring, predictive modeling, defect classification, predictive maintenance, and generative design. The combination of deep learning methods (CNN, U-Net, LSTM/GRU) with classical machine learning algorithms (XGBoost, Random Forest) and explainable AI technologies (XAI) ensures high defect detection accuracy and decision interpretability. Particular attention is given to the digital twin concept as an integrating platform for creating a dynamic virtual replica of the printing process. The results confirm that AI integration represents a fundamental transformation of approaches to design, production, and quality control in additive technologies.

Problem Statement.

Artificial intelligence (AI) is becoming an increasingly important element in the daily operations of manufacturers worldwide. Autonomous robots and machine learning-based predictive analytics enable companies to optimize processes, increase productivity, and reduce environmental impact in a multitude of new ways [1-3]. It is important to note that for many organizations, the priority is not to replace employees but to augment human capabilities and enhance the safety and efficiency of their work [4, 5].

Today, the concept of using AI technologies in enterprises extends far beyond the robot-filled workstations characteristic of industry since the 1960s. It now encompasses smart, connected manufacturing facilities where humans and machines collaborate, and data and analytics enable more accurate predictions and decision-making at every stage of the process.

Additive manufacturing (3D printing) has evolved from a rapid prototyping tool into a full-fledged production technology. However, its widespread adoption in critical industries such as aerospace, medicine, and automotive is hindered by a number of systemic problems. These include: instability in the quality of finished products, a high probability of defects occurring during printing, the labor-intensive nature of model preparation and optimization, as well as significant consumption of material and energy. Modern 3D printing control systems are often unable to adapt in real-time to changes in material properties, temperature fluctuations, or the emergence of anomalies. Existing quality control methods are predominantly passive (offline) and are conducted after the process is completed, leading to wasted time and resources on manufacturing defective parts.

Simultaneously, AI technologies, particularly machine learning and deep neural networks, demonstrate significant potential for solving complex, non-linear tasks in optimization, prediction, and computer vision. This creates the preconditions for integrating AI into the additive manufacturing cycle.

However, the problem lies in the lack of comprehensive and adaptive AI-based solutions capable of simultaneously optimizing design, predicting and preventing defects in real-time, automating process preparation, and ensuring guaranteed product quality at all stages of 3D printing.

Essence of study.

The integration of artificial intelligence into 3D printing processes promises to fundamentally transform approaches to solving manufacturing challenges. The use of AI accelerates the entire production cycle – from product design to its delivery to the end user.

The research focus will be on real-time quality control (in-situ) during the 3D printing process itself. Monitoring based on digital twins enhances the precision of 3D printing, thereby strengthening the reliability of quality control for additive manufacturing.

A digital twin in 3D printing is a dynamic software model synchronized with the physical printing process, accurately replicating its key characteristics – from the thermomechanical properties of the material to the technological parameters of the equipment (Fig. 1).

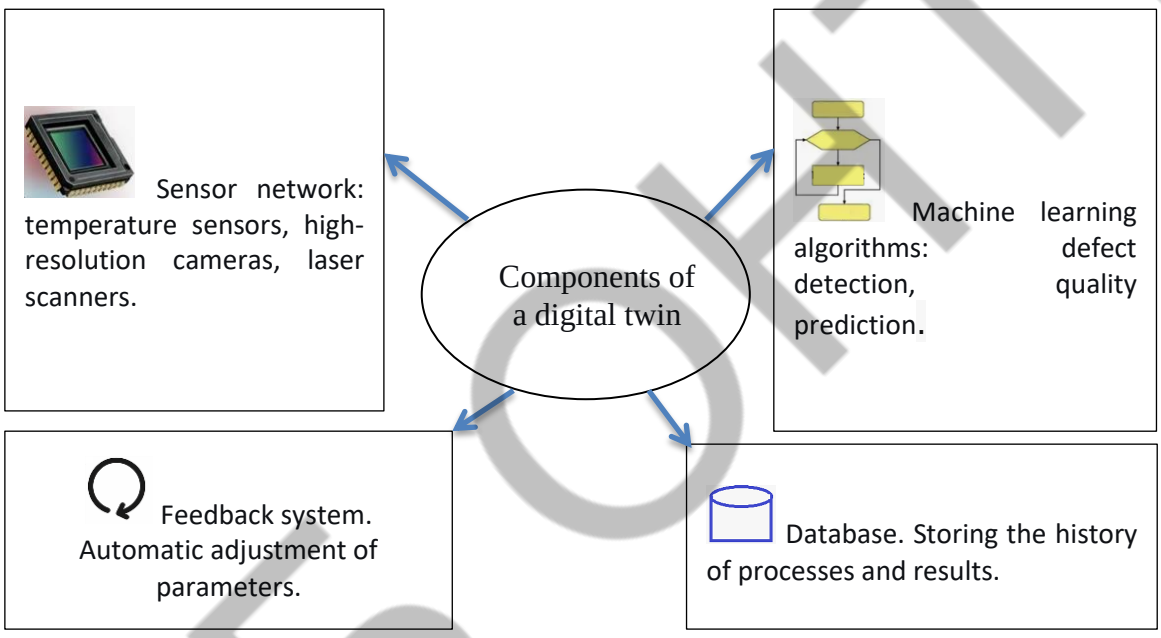


Figure 1. Components of a digital twin

An analysis of quality control methods in additive technologies using AI has been conducted (Table 1).

Note. Generative design (SIMP, ESO) is primarily based on classical optimization methods, where AI is used as an auxiliary tool to accelerate computations through surrogate modeling. The presented methods demonstrate a comprehensive approach to integrating artificial intelligence into additive manufacturing quality control processes. The analysis shows that modern AI systems cover the entire lifecycle of 3D printing – from predictive modeling during the preparation stage to continuous monitoring during production and predictive maintenance of equipment. A key feature is the combination of computer vision methods (CNN, U-Net) with classical machine learning algorithms (XGBoost, Random Forest) and explainable AI methods (XAI), which ensures not only high defect detection accuracy but also the ability to interpret the system's decisions.

Conclusions

The study conducted a comprehensive analysis of the application of artificial intelligence to improve the quality and efficiency of additive manufacturing. The research identified systemic problems in modern 3D printing – quality instability, a high likelihood of defects, labor-intensive model preparation, and significant resource consumption – which can be addressed through the integration of AI technologies into the production cycle. Analysis of quality control methods has shown that modern AI

systems cover three critical areas: preventive control (digital twin, predictive modeling), reactive monitoring (intelligent real-time defect detection), and analytical optimization (defect classification, predictive maintenance). Particular attention is paid to the concept of a digital twin as an integrating platform that combines physical sensors, ML models, and multiphysics simulations to create a dynamic virtual replica of the printing process. The research results confirm that the integration of AI into additive manufacturing is not merely a simple automation of existing processes, but represents a fundamental transformation of approaches to design, production, and quality control.

Table 1. Quality control methods in additive technologies using AI

Method	Description and principle of operation	Specific tasks and functions	Used technologies and data
Digital Twin	A virtual copy of the printing process with integrated sensor data and simulations.	Continuous quality control; prediction of material behavior; optimization of parameters in a virtual environment; reduction of failure risk.	Machine Learning (ML) +Physics-based models, IoT Integration.
AI-Powered In-situ Monitoring	Computer vision and DL for real-time defect detection.	Detection of deformations, cracks, layer displacements; semantic segmentation; anomaly detection; failure prediction.	CNN, U-Net, Mask R-CNN. LSTM/GRU only for sensor data (temperature, vibrations).
AI-Based Predictive Modeling	ML models for predicting the properties and quality of printing.	Prediction of mechanical properties; defect simulation; parameter optimization; assessment of printing time.	XGBoost, LightGBM, Random Forest, DNN.
Classification and clustering of defects	Automatic grouping of defects and identification of causes.	Classification of defect types; determination of cause parameters; clustering of new defects; recommendations for the user.	CNN, K-means, DBSCAN, XAI (Grad-CAM, SHAP).
Predictive Maintenance	Analysis of sensor data for predicting component failures.	Prediction of wear of nozzles, belts, bearings; optimization of the service schedule; early warning.	LSTM, GRU, Isolation Forest.
Generative design and optimization	AI for creating optimal 3D models and structures.	Topology optimization; generation of support structures; model orientation optimization; geometry adaptation.	Algorithms: SIMP, ESO; evolutionary Algorithms.

References

[1] D. A. Sukhomlinova, S.V. Sotnik, “Aerial robot in urban environments,” *Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Thesises of Reports*. 2025, pp. 45-46. [Online]

[2] I. Zarubin, et al., “Basic principles of building aerial robots,” *Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26*. 2024, pp. 32-36. [Online]

[3] M. S. Bielik, et al., “Analysis of the structures of mobile platforms for promoter robots,” *The 5th International scientific and practical conference “Global trends in science and education” (June 2-4, 2025) SPC “Sci-conf.com.ua”, Kyiv, Ukraine*. 2025, pp. 319-325. [Online]

[4] S. V. Sotnik, et al., “Analysis of searching methods for explosive objects using information technology and computer modeling,” *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і*

технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ. 2024, pp. 20-22. [Online]

[5] S. Sotnik, "Integration of IoT into security systems: opportunities and risks," *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*. 2024, 8 (11), pp. 56-61. [Online]

УДК 004.216

ВПЛИВ НЕЙРОМЕРЕЖ НА РИНОК ПРАЦІ: НОВІ ПРОФЕСІЇ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ

Нескреба М.С., Чорна В.В. (filjkto788@gmail.com, chvaleria1999@gmail.com)
ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури Українського державного університету науки і технологій (Україна)

Вступ. *Останні десятиліття характеризуються стрімким розвитком технологій штучного інтелекту (ШІ) та нейронних мереж, які дедалі глибше інтегруються у всі сфери людської діяльності. Те, що ще недавно вважалося науковою фантастикою, сьогодні стає буденністю — системи на основі нейромереж аналізують великі обсяги даних, генерують тексти, зображення, музику, здійснюють прогнозування, підтримують бізнес-процеси та взаємодіють із клієнтами.*

Такий технологічний прорив неминуче впливає на ринок праці. Одні професії втрачають актуальність, інші — трансформуються, а разом із тим з'являються абсолютно нові напрями діяльності. Зміни відбуваються настільки швидко, що суспільству доводиться адаптуватися до нових умов праці, вимог до навичок і способів взаємодії з технологіями.

Актуальність проблеми. Актуальність теми зумовлена глобальними зрушеннями на ринку праці, які спричинив розвиток нейромереж і автоматизація процесів. За прогнозами Всесвітнього економічного форуму, до 2030 року близько 30–40% професій частково або повністю змінять свій зміст через впровадження штучного інтелекту. Це означає, що сотні мільйонів людей будуть змушені здобувати нові компетенції або переорієнтовуватися на інші сфери діяльності.

Водночас виникають нові спеціальності, пов'язані з розробленням, навчанням і контролем нейромереж, аналізом даних, етикою штучного інтелекту, кібербезпекою та управлінням цифровими процесами. Саме тому дослідження впливу нейромереж на ринок праці має велике значення для формування стратегії освіти, зайнятості та соціальної адаптації населення.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є аналіз впливу розвитку нейромереж на сучасний ринок праці, визначення основних тенденцій, пов'язаних із появою нових професій, а також виявлення ризиків та викликів для працівників.

Основними завданнями є:

1. Визначити сфери, у яких нейромережі найбільше впливають на трансформацію праці.
2. Проаналізувати появу нових професій, що виникли завдяки розвитку штучного інтелекту.
3. Оцінити ключові ризики для працівників і необхідні навички для адаптації до нових умов.

Основна частина:

1. Трансформація традиційних професій. Завдяки нейромережам дедалі більше процесів, які раніше вимагали людської участі, тепер автоматизуються. Найбільший вплив спостерігається у сферах обробки даних, маркетингу, фінансів, освіти та дизайну. Наприклад, ChatGPT та інші мовні моделі вже частково замінюють копірайтерів, аналітиків, операторів підтримки клієнтів. У бухгалтерії алгоритми можуть автоматично обробляти звіти, здійснювати фінансові прогнози та виявляти аномалії. У сфері освіти штучний інтелект використовується для створення персоналізованих програм навчання, адаптованих до рівня знань і стилю мислення студента.

Водночас автоматизація рутинних завдань не обов'язково означає втрату робочих місць — вона звільняє людей від монотонної роботи, дозволяючи сконцентруватися на творчих і стратегічних завданнях.

2. Поява нових професій

Розвиток нейромереж породжує абсолютно нові напрями діяльності. Серед них можна виокремити:

- **Prompt engineer (інженер підказок)** — спеціаліст, який формулює ефективні запити до моделей ШІ для отримання потрібного результату.
- **AI trainer (тренер ШІ)** — експерт, який навчає моделі за прикладами даних, коригуючи помилки системи.
- **Data ethicist (етик даних)** — фахівець, який контролює дотримання принципів етики при використанні штучного інтелекту.
- **AI product manager** — координує створення продуктів із застосуванням нейромереж і відповідає за їхню інтеграцію у бізнес-процеси.
- **Human-AI interaction designer** — розробляє інтерфейси, що забезпечують комфортну взаємодію між людиною та штучним інтелектом.

Крім того, зростає потреба в аналітиках великих даних (Data Scientists), розробниках моделей машинного навчання (Machine Learning Engineers) та спеціалістах із кібербезпеки, здатних забезпечити захист алгоритмів від зловживань.

3. Виклики для працівників. Одним із найважливіших викликів є **необхідність постійного навчання**. Темп розвитку технологій настільки високий, що професійні навички застарівають упродовж кількох років. Знання про використання нейромереж стає базовою компетенцією, аналогічною володінню комп'ютером у минулому.

Також важливою проблемою є **психологічна адаптація** працівників до співпраці з алгоритмами. Деякі фахівці відчувають страх перед заміною їхньої роботи машинами, інші — недовіру до результатів ШІ. Тому компаніям варто інвестувати не лише у технології, а й у навчання персоналу, створення культури партнерства між людиною і штучним інтелектом.

Ще один виклик — **етичні питання**. Застосування нейромереж може призвести до викривлень у відборі персоналу, дискримінації чи порушення приватності даних. Це потребує впровадження нових стандартів прозорості та контролю у сфері використання ШІ.

Результати та перспективи. Проведений аналіз свідчить, що нейромережі не стільки призводять до зникнення робочих місць, скільки спричиняють їхню глибоку трансформацію. Автоматизація стандартних і повторюваних процесів сприяє зростанню ефективності праці та продуктивності, водночас створюючи попит на нове покоління спеціалістів, здатних мислити аналітично, критично та творчо.

Професії майбутнього вимагатимуть гармонійного поєднання **технічних компетенцій** із **соціально-комунікативними навичками**, адже взаємодія людини з алгоритмами передбачає розуміння їхніх принципів роботи, меж застосування та етичних аспектів використання.

Освітня сфера вже реагує на ці виклики — у навчальні програми впроваджуються дисципліни, присвячені штучному інтелекту, аналізу великих даних та цифровій етиці. Бізнес-середовище також активно адаптується, розробляючи внутрішні тренінги й програми підготовки фахівців до роботи з нейромережевими технологіями. Це формує нову модель взаємодії, у якій людина та штучний інтелект співпрацюють як партнери, створюючи ефективну екосистему майбутнього.

Висновки. Розвиток нейромереж є не лише технологічним, а й соціальним явищем, що визначає нову епоху трудових відносин. Він стимулює появу інноваційних професій, вимагає від працівників гнучкості, готовності до змін і постійного навчання. Водночас ці процеси несуть потенційні ризики — втрату частини робочих місць, збільшення соціальної нерівності та етичні проблеми.

Ключовим завданням сучасного суспільства є пошук балансу між технологічним прогресом і збереженням людських цінностей, створення умов, у яких нейромережі стануть не заміною, а продовженням людського інтелекту.

Список використаної літератури

1. World Economic Forum. *The Future of Jobs Report 2023.* – Geneva: WEF, 2023.
2. Brynjolfsson E., McAfee A. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies.* – W.W. Norton, 2016.
3. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* – 4th ed. – Pearson, 2021.

4. Davenport T., Kirby J. *Only Humans Need Apply: Winners and Losers in the Age of Smart Machines.* – HarperBusiness, 2017.
5. Floridi L. *Ethics of Artificial Intelligence.* – Oxford University Press, 2020.
6. OECD. *AI and the Future of Skills.* – Paris: OECD Publishing, 2022.
7. Баранов О. О., Ковальчук І. І. Штучний інтелект у бізнесі: виклики та перспективи**.** – Київ: Ліра, 2023.
8. Піляєв І. В. Трудові трансформації у цифрову епоху. – Харків: ХНУРЕ, 2021.

UDC 004.932:004.896+629.113

SEMANTIC SEGMENTATION AND ADAPTIVE ATTENTION IN AUTONOMOUS DRIVING

Nikolenko K. (kateryna.nikolenko@stud.onu.edu.ua)
Odesa I.I. Mechnikov National University (Ukraine)

Abstract. *Semantic segmentation is a core task in autonomous driving, enabling pixel-level classification of camera images to identify road conditions and surrounding objects. This paper explores the theoretical foundations of segmentation, the limitations of fixed-category models, and the challenges posed by dynamic environments. It also introduces adaptive attention mechanisms − spatial, scale, and channel-based − as a solution to improve robustness in scene understanding.*

Introduction. Semantic segmentation divides an image into pixel groups based on visual similarity, assigning each pixel a semantic label. In autonomous driving, this allows systems to detect roads, vehicles, pedestrians, and other elements critical for navigation. Deep learning models generate segmentation maps using annotated datasets, but their performance is sensitive to environmental variability. Even minor changes in lighting, weather, or object appearance can lead to misclassification, reducing system reliability.

Challenges in Segmentation. Traditional models rely on supervised learning and fixed categories, which limits their adaptability. Real-world driving involves unpredictable events, occlusions, and rare objects not present in training data. For example, a small obstacle on the road may be misclassified due to its unfamiliar shape or texture, as shown in Fig. 1.

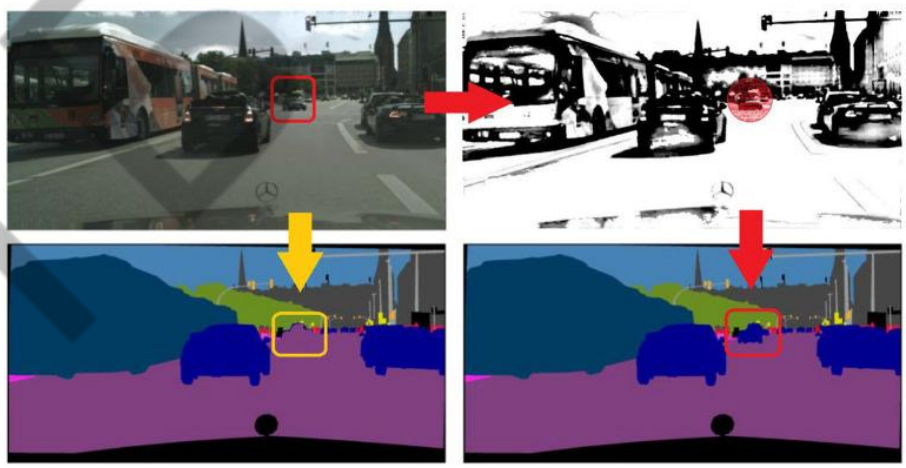


Fig. 1. Example of a dangerous scenario [1]

Such misclassifications can pose safety risks, especially in high-stakes environments like urban traffic. Therefore, segmentation models must be equipped to handle uncertainty and adapt to out-of-distribution inputs.

Approaches to Anomaly Detection. To address uncertainty, several methods are used:

- **Uncertainty estimation:** quantifies prediction confidence, flagging low-certainty regions as potential anomalies. However, these methods often produce noisy outputs and suffer from overconfidence.

- **Out-of-distribution (OoD) training:** introduces unfamiliar objects during training to improve generalization. This requires careful dataset design and may not scale well.
- **Generative models:** synthesize diverse scenarios to expose the model to rare cases. While effective, they are computationally expensive and complex to implement.

Attention Mechanisms. Inspired by human perception, attention mechanisms help models focus on relevant features. In semantic segmentation, three types of attention are particularly relevant:

- **Scale attention** adjusts for object size variations by analyzing features at multiple resolutions. This is crucial for detecting both distant and nearby objects.
- **Spatial attention** emphasizes important regions in the image, such as moving vehicles or pedestrians, while suppressing irrelevant background.
- **Channel attention** highlights key feature dimensions (e.g., color, texture) that distinguish between similar-looking objects.

These mechanisms address different aspects of scene complexity and must be integrated to function effectively in dynamic environments.

Toward Multi-Scale Adaptive Attention (MSAAM). While individual attention modules improve segmentation, their isolated use is insufficient for robust perception. The Multi-Scale Adaptive Attention Mechanism (MSAAM) combines scale, spatial, and channel attention into a unified framework. This allows the model to dynamically adjust its focus based on context, improving segmentation accuracy under varying conditions.

MSAAM also supports anomaly detection by amplifying attention gaps between known and unknown objects, making it a promising direction for future research in autonomous driving.

Conclusion. Understanding the theoretical limitations of semantic segmentation and the role of adaptive attention is essential for building resilient perception systems in autonomous vehicles. MSAAM offers a structured and biologically inspired approach to improving scene analysis, anomaly detection, and overall safety in autonomous vehicles.

References

[1] D. Liu, D. Zhang, L. Wang, and J. Wang, “Semantic segmentation of autonomous driving scenes based on multi-scale attention mechanisms,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 17, p. 1291674, 2025. [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2023.1291674/full

[2] H. Blum, P.-E. Sarlin, J. Nieto, R. Siegwart, and C. Cadena, “The Fishyscapes Benchmark: Measuring Blind Spots in Semantic Segmentation,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 129, pp. 2442–2485, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s11263-021-01511-6

[3] K. Muhammad, T. Hussain, H. Ullah, J. Del Ser, M. Rezaei, N. Kumar, M. Hijji, P. Bellavista, and V. H. C. de Albuquerque, “Vision-Based Semantic Segmentation in Scene Understanding for Autonomous Driving: Recent Achievements, Challenges, and Outlooks,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 23, no. 12, pp. 12345–12367, 2022. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9913352

УДК 004.8

ЗАСТОСУВАННЯ LLM ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ НА ОСНОВІ КОРИСТУВАЦЬКИХ ЗАПИСІВ

Овчаренко М.О.(Maksym.O.Ovcharenko@cs.khpi.edu.ua)
Літвінова Ю.С. (Uliya.Litvinova@khpi.edu.ua)
Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут» (Україна)

У роботі досліджується застосування великих мовних моделей для перетворення вільних текстових записів на узгоджені індикатори психоемоційного стану. Виявлено проблему відсутності чітких правил оброблення записів і труднощі з їх зіставленням у часі. Запропоновано рішення у вигляді моделі, яка перетворює ці записи на структуровані ознаки з контекстною мірою впливу на настрій та узагальненими категоріями. Отримані дані придатні для агрегації та відстеження динаміки, а також для формування рекомендацій.

Актуальність дослідження. Тривалі стресові чинники підвищують запит на доступні інструменти моніторінгу психоемоційного стану [1]. На практиці люди здебільшого фіксують переживання у звичайних нотатках чи особистих повідомленнях, які зберігають контекст, але лишаються розрізненими й важко зіставними в часі. Ключова складність полягає у перетворенні такого неструктурованого тексту на порівнювані показники змін стану. Традиційні словникові та вузькі ML-підходи часто губляться в контексті, іронії та різноманітті стилів письма. Потрібен підхід без ручного маркування даних, який інтерпретує зміст із урахуванням контексту та подає результати у формі, придатній до агрегування. Такі вимоги відповідають можливостям великих мовних моделей (LLM), здатних виявляти емоційні патерни та нюанси мовлення для моніторингу динаміки стану та створення рекомендацій [2].

Реалізація. Вхідними даними є тексти, що проходять базову нормалізацію та, за потреби, знеособлення, після чого аналізуються великою мовною моделлю у режимі zero-shot (модель отримує чітку роль і правила без навчання на розмічених прикладах, тож узагальнює зміст, спираючись на інструкцію та контекст) [3]. Результатом є стисла аналітична відповідь із персональними рекомендаціями та перелік тригерів із кількісною вагою впливу на настрій у неперервній шкалі від −1 (сильний негативний вплив) до +1 (сильний позитивний), що дає змогу фіксувати і слабкі, і змішані стани. Кожен тригер додатково відноситься до узагальненої категорії (сфери життя), що забезпечує змогу подальшого агрегування й порівняння результатів у часі та формування наочних оглядових звітів.

Підсумкові результати та висновки. Проведене дослідження дало змогу визначити, що застосування великих мовних моделей дозволяє отримувати зі звичайних користувацьких текстів стабільні, порівнювані в часі показники психоемоційного стану та практично корисні узагальнення для користувача. У підсумку досягається підвищення інтерпретованості самозвітів, зменшення лінгвістичної варіативності результатів і можливість формувати огляди динаміки та персональні рекомендації. Практична значущість полягає у можливості без додаткової розмітки даних вбудовувати підхід у цифрові сервіси підтримки людини для регулярного моніторингу психоемоційного стану.

Список використаної літератури

[1] UNICEF Ukraine, “Mental health and psychosocial support,” 06.06.2024. [Online]. Available: https://www.unicef.org/ukraine/en/documents/mental-health-and-psychosocial-support-0 [Accessed: October 04, 2025].

[2] Obradovich, N., et al., “Opportunities and Risks of Large Language Models in Psychiatry,” Nature Mental Health, 2024. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s44277-024-00010-z [Accessed: October 03, 2025].

[3] P. Liu, W. Yuan, et al., “Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods in Natural Language Processing,” ACM Computing Surveys, vol. 55, no. 9, 2023. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3560815 [Accessed: October 04, 2025].

УДК 004.4:005.8:005.336.4

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЗВОРОТНОГО ЗВ’ЯЗКУ

Овчаренко В.С. (viktor.ov4arenko@gmail.com)

Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У статті розглянуто проблему підвищення якості життєвого циклу інформаційних систем шляхом використання механізмів зворотного зв’язку та адаптивного управління процесами. Запропоновано модель, що розглядає життєвий цикл як замкнену систему контролю, де кожен етап — від збору вимог до експлуатації — має власні метрики, аналітичні модулі та регулювальні дії. Сформовано підхід до побудови багаторівневих контурів зворотного зв’язку, які забезпечують безперервний моніторинг, аналіз та автоматичне коригування процесів розробки. Проведено імітаційне моделювання ефективності моделі, яке показало зменшення часу виявлення дефектів та підвищення стабільності релізів. Отримані результати підтверджують доцільність

використання адаптивних методів управління якістю для створення керованих і стійких до змін інформаційних систем.

Постановка проблеми. Стрімка еволюція архітектур (мікросервіси, контейнеризація, хмара/edge), прискорені цикли релізів (CI/CD) та мінливість навантажень роблять якість інформаційних систем динамічним, а не статичним атрибутом. У таких умовах традиційні, «післяфактумні» підходи до забезпечення якості—з опорою на разові тестові кампанії, періодичні аудити та ручні перевірки—не встигають відслідковувати зміни стану системи між релізами та не дозволяють оперативно запобігати деградації надійності, продуктивності й безпеки. Це підвищує ризики інцидентів у продакшені, зростання технічного боргу та невідповідності регуляторним вимогам.

Адаптивне управління якістю на основі зворотного зв'язку пропонує перейти від реактивного контролю до замкнених, даноорієнтованих контурів (observe–analyze–act), у яких телеметрія (метрики, логи, трейси), SLO/SLA та інженерні показники процесу (DORA-метрики, code churn, дефектна щільність) безперервно живлять аналітику й автоматизовані рішення. Такі контури дають змогу динамічно калібрувати політики якості, пріоритизувати дефекти за впливом на користувача, застосовувати авто-ремедіацію, а також балансувати суперечливі критерії (швидкість поставки—надійність—вартість—ризик). Узгодження з галузевими стандартами (ISO/IEC 25010, 12207/20000, SRE-практики) підвищує керованість та відтворюваність процесу.

Додаткову вагу темі надає розгортання AI-асистованої інженерії (AIOps/MLOps), де обсяги та швидкість змін ще більші: моделі потребують моніторингу дрейфу, перевірки етичних/правових обмежень і швидкого відкату. У підсумку, адаптивні зворотні зв'язки стають ключовим механізмом підтримання цільових рівнів якості у реальному часі, зменшення MTTR, попередження інцидентів і раціоналізації витрат на якість упродовж усього життєвого циклу інформаційних систем.

Мета дослідження є розроблення адаптивної моделі управління якістю життєвого циклу інформаційних систем, що ґрунтується на принципах зворотного зв'язку та безперервного моніторингу показників процесів розробки, з метою підвищення стабільності, передбачуваності та ефективності життєвого циклу інформаційних систем у динамічному середовищі DevOps/CI-CD.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні підходи до управління якістю в життєвому циклі інформаційних систем і визначити їхні недоліки в динамічних середовищах розробки.
2. Побудувати концептуальну модель адаптивного управління якістю на основі зворотного зв'язку між етапами життєвого циклу.
3. Визначити систему ключових метрик, аналітичних умов і регулювальних дій для кожної фази життєвого циклу ІС.
4. Розробити імітаційну модель життєвого циклу з багаторівневими петлями зворотного зв'язку для оцінки ефективності управління.
5. Провести експериментальну перевірку моделі в середовищі DevOps/CI-CD і порівняти результати з традиційними методами контролю якості.

Суть дослідження. Сучасна розробка інформаційних систем (ІС) відзначається високою динамікою змін вимог, архітектурних рішень і технологічних середовищ. Традиційні підходи до управління якістю, побудовані на статичних оцінках і постфактум-контролі, вже не забезпечують необхідної гнучкості та оперативності.

В умовах безперервної інтеграції, частих релізів і розподілених DevOps-команд особливої актуальності набуває адаптивне управління якістю, засноване на принципі зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє не лише оцінювати якість після завершення етапу, а й активно впливати на її підтримку в процесі всього життєвого циклу системи.

Концепція адаптивного управління якістю. Запропонований підхід розглядає життєвий цикл ІС як замкнений контур управління, де кожен етап — від збору вимог до експлуатації — має власні сенсори (метрики), аналітичні механізми (обробку даних) і актуатори (керувальні дії).

Система функціонує за принципом безперервного моніторингу показників, порівняння їх із цільовими значеннями та динамічного коригування параметрів процесу, що дозволяє підтримувати якість на стабільному рівні навіть у змінних умовах.

Розглянемо узагальнену схема контуру управління (рис. 1).

Рисунок 1 - Схема контуру управління

Етапи життєвого циклу та механізми контролю. На кожній фазі життєвого циклу ІС формується власний набір метрик, критеріїв відхилення та регулювальних дій. Так, на етапі вимог фіксуються показники волатильності й трасованості, на етапі проєктування — архітектурна складність і технічний борг, на етапі реалізації — churn коду, дефектність, швидкість комітів.

Інформаційна модель спостереження та управління. Для кожного етапу передбачено власний підсистемний контур управління, що включає сенсори, аналітику й виконавчі механізми. Узагальнений фрагмент наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Приклад реалізації контурів зворотного зв'язку в життєвому циклі ІС

Етап	**Основні метрики**	**Аналітичні умови**	**Регулювальні дії**	**Горизонт реакції**
Вимоги	Волатильність вимог, трасованість	Зростання зміни > 20%	Валідація вимог, рев'ю сценаріїв	Тижні
Реалізація	Code churn, Defect rate	Збільшення дефектів	Підсилення статичного аналізу, обмеження WIP	Дні
Тестування	Coverage, Flaky rate	Зниження покриття < 80%	Перегенерація даних, перебудова тест-стратегії	Дні
Реліз	Change failure rate, MTTR	CFR > 5%	Автоматичний rollback, гейт-політика	Години
Експлуатація	Latency, Error rate, Cost/unit	SLO breach	Автоскейлінг, оптимізація ресурсів	Хвилини

Таким чином, система управління якістю функціонує як мультипетлева структура, де кожна петля відповідає за стабілізацію показників конкретного етапу.

Імітаційне моделювання. Для перевірки моделі створено експериментальне середовище DevOps-процесу з 6 фазами життєвого циклу. У ході тестування впроваджено механізми автоматичного збирання метрик (GitLab CI/CD, SonarQube, Prometheus) і систему зворотного зв'язку, яка здійснює перерозподіл пріоритетів тестів і частоти релізів залежно від відхилень метрик.

Результати експериментів показали, що застосування запропонованої моделі дозволяє:

НТБОНТУ

- скоротити середній час виявлення критичних дефектів на 27%;
- підвищити стабільність релізів на 20%;
- знизити технічний борг на 15–18%;
- збільшити передбачуваність циклів релізів на 25%.

Висновки. Запропонована адаптивна модель управління якістю життєвого циклу інформаційних систем формує єдину аналітичну структуру спостереження та корекції процесів. Її впровадження забезпечує узгодженість етапів розробки, скорочення часу реакції на відхилення та підвищення прозорості процесів. Модель може бути інтегрована у середовища DevOps, SRE або CI/CD, забезпечуючи перехід від реактивного до прогнозно-адаптивного управління якістю.

Список використаної літератури

[1] Forsgren N., Humble J., Kim G. Accelerate: The Science of DevOps — Building and Scaling High Performing Technology Organizations. Portland: IT Revolution Press, 2018. 288 p.

[2] Hidalgo A. Implementing Service Level Objectives: A Practical Guide to SLIs, SLOs, and Error Budgets. Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. 300 p.

[3] Google Cloud, DORA. 2023 Accelerate State of DevOps Report. 2023. URL: https://cloud.google.com/devops/state-of-devops (дата звернення: 21.10.2025).

[4] ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. Geneva: ISO/IEC, 2011. 34 p.

УДК: 004.8

ІНТЕРПРЕТОВАНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА РАННЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ ГРОМАДЯН З ПТСР

Овчарук О.М., Мазурець О.В.
(off4aruk@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

Робота присвячена розробленню інтерпретованої інтелектуальної нейромережевої системи раннього попередження деструктивної поведінки громадян із посттравматичним стресовим розладом. Запропоновано багатокроковий підхід до аналізу користувацького контенту, який поєднує методи обробки природної мови, глибинні трансформерні архітектури та часову аналітику. Інтерпретованість системи забезпечується за рахунок поетапної декомпозиції процесу аналізу, де окремо виділено рівні виявлення ознак ПТСР, коморбідних психоемоційних станів та емоційних характеристик текстів. На основі отриманих результатів формується інтегральний індекс ризику, який дозволяє пояснити внесок кожного компонента у підсумкове рішення моделі. Операційна поясненність підсилюється побудовою часових візуалізацій, що відображають динаміку зміни ризику у різні періоди та дають змогу виявляти критичні фази підвищеної загрози. Апробація системи на корпусі реальних користувацьких повідомлень підтвердила адекватність побудованих ризикових профілів і відповідність їх динаміки реальним поведінковим патернам. Практичне значення полягає у створенні засобу, здатного не лише детектувати, а й інтерпретувати ризики, забезпечуючи прозорість прийняття рішень у психоаналітичних та превентивних системах штучного інтелекту..

Сучасні тенденції розвитку штучного інтелекту у сфері цифрової безпеки та психоаналітики відкривають нові підходи до моделювання поведінкових ризиків громадян, що зазнали посттравматичних стресових розладів [1]. Актуальність завдання раннього виявлення деструктивної поведінки у таких осіб зумовлена зростанням кількості користувацьких текстових повідомлень, що відображають їхній емоційний стан, рівень соціальної адаптації та схильність до ризикованих дій [2, 3]. Традиційні психодіагностичні методи не дозволяють здійснювати

моніторинг у реальному часі, тому особливої значущості набувають інтелектуальні системи, здатні виявляти приховані поведінкові патерни в цифрових комунікаціях [4].

Запропонована інтерпретована нейромережева система базується на принципах багатокрокового аналізу користувацького контенту. Її архітектура передбачає поетапну обробку текстів із послідовним виявленням ознак ПТСР, коморбідних психоемоційних станів та емоційних характеристик повідомлень. Кожен етап моделі формує окремий рівень поясненності, який відображає внесок певного типу ознак у підсумковий ризиковий індекс. Таким чином, пояснення в цій системі реалізується не лише через постфактум інтерпретацію результатів моделі, а через прозору структурну декомпозицію процесу аналізу. Такий підхід дає змогу відстежити логіку прийняття рішення і визначити, які компоненти (ознаки ПТСР, супутні ментальні стани, емоційний фон) вплинули на формування ризикового профілю користувача.

На відміну від «чорних скриньок» глибинних моделей, де результат має суто предиктивний характер, розроблена система забезпечує операційну поясненність через обчислення інтегрального показника ризику, що відображає узгоджений вплив усіх виявлених складових. Отриманий індекс формується на основі кількісної оцінки інтенсивності проявів ПТСР у поєднанні з маркерами тривоги, депресії, гніву, паніки та іншими поведінковими предикторами [5]. Пояснюваність підвищується також завдяки часовим візуалізаціям, які демонструють динаміку змін ризику в обраному інтервалі. Це дає змогу виявляти не лише поточний стан користувача, але й прогнозувати критичні періоди зростання схильності до деструктивної поведінки.

Інтелектуальний модуль системи реалізовано у вигляді конвеєра, що поєднує засоби обробки природної мови, глибинні трансформерні архітектури та аналітичні алгоритми для побудови інтегрального індексу ризику. Така комбінація дозволяє поєднати точність нейронного прогнозування з людською зрозумілістю результатів. Отримані часові графіки та інтерпретовані ризикові профілі можуть застосовуватися для формування персоналізованих стратегій підтримки, у тому числі в межах цифрових сервісів психічного здоров’я, військових реабілітаційних платформ та систем превентивного моніторингу соціально небезпечних тенденцій.

Особливістю представленого підходу є те, що пояснення рішення не потребує зовнішніх інструментів інтерпретації, а виникає природно з архітектури методу. Кожен етап виконує функцію фільтрації та акумуляції семантичних характеристик, формуючи проміжні показники, які можна аналітично відслідковувати. Наприклад, на рівні аналізу ПТСР визначається ступінь прояву травматичних мовних патернів; на рівні коморбідних станів баланс між тривожністю та депресивними виразами; на рівні емоційного аналізу тональність висловлювань та рівень афективності. Підсумковий інтегральний індекс є функцією цих трьох компонент, що дозволяє інтерпретувати результат як сумарний поведінковий ризик з відомою структурою походження.

Запропонована система апробована на корпусі англомовних повідомлень з відкритого датасету «Depression: Twitter Dataset + Feature Extraction», який містить часові мітки та марковані класи емоційних станів користувачів. Це забезпечило можливість верифікації адекватності побудованих трендів і коректності інтегральних оцінок. Приклад візуального тренду наведено на рисунку 1.

Отримані результати засвідчили відповідність динаміки індексу реальним змінам у поведінкових патернах користувачів та підтвердили ефективність багатокрокового інтерпретованого підходу. Зокрема, у випадках підвищення показників тривожності та депресії спостерігалося різке зростання індексу ризику, тоді як його зниження відповідало періодам стабілізації емоційного стану.

Практична цінність дослідження полягає у створенні інструменту, що дозволяє здійснювати не лише детекцію, але й пояснення виявлених ризиків. Це забезпечує більшу довіру до результатів аналізу та можливість використання системи у міждисциплінарному середовищі, де з аналітичними висновками працюють як фахівці з ІТ, так і психологи, соціальні працівники чи представники правоохоронних структур. Такий формат поясненності сприяє прозорості прийняття рішень і мінімізує етичні ризики, пов’язані з використанням автоматизованих систем у сфері психоемоційної діагностики.

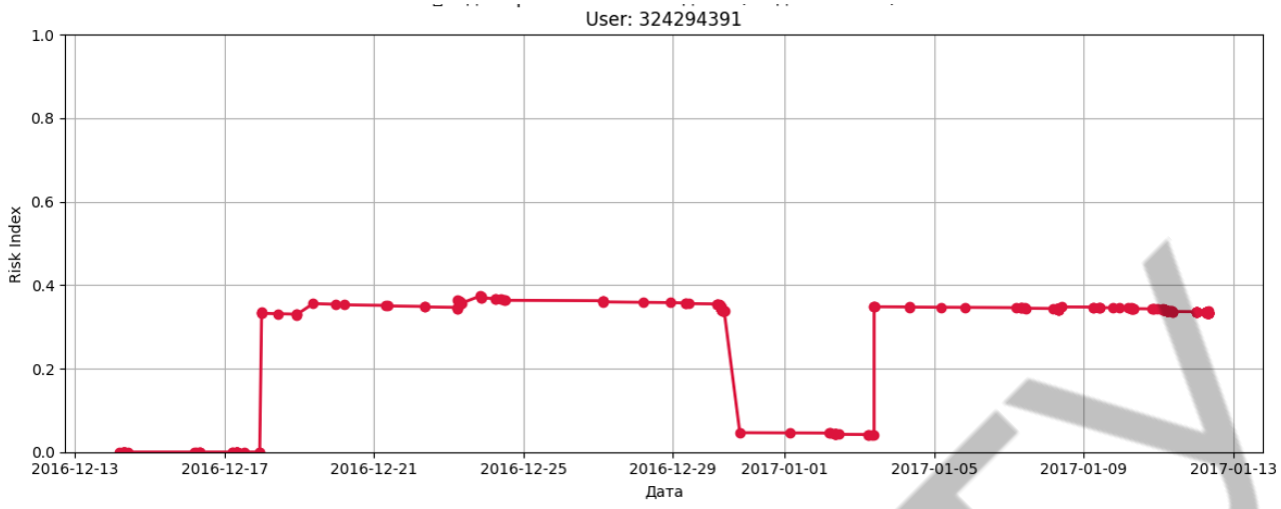


Рисунок 1 – Візуальний тренд схильності до ризикованої поведінки

Перспективами подальших досліджень є розширення системи за рахунок мультимодального аналізу контенту, включення зображень, відео та поведінкових метаданих користувачів. Це дозволить побудувати ще більш інформативний і пояснюваний профіль ризику, підвищити точність прогнозування та адаптувати систему до різних мовних і культурних контекстів. Також доцільним є створення україномовних корпусів даних, що забезпечить адекватність роботи моделі в національному середовищі та сприятиме розвитку вітчизняних технологій превенції соціально небезпечної поведінки.

Список використаних джерел

[1] A. F. Arena, M. Gregory, D. Collins, B. Vilus, R. Bryant, S. B. Harvey, and M. Deady, “Global PTSD Prevalence Among Active First Responders and Trends Over Recent Years: A Systematic Review and Meta-Analysis”, Clinical Psychology Review, p. 102622, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272735825000893 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] О. М. Овчарук і О. В. Мазурець, “Нейромережеве діагностування проявів ПТСР у текстовому контенті з використанням помилко-орієнтованого навчального набору даних,” Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, т. 1, № 6 (343), с. 195–200, Хмельницький, 2024. [Online]. Available: https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/854/875 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[3] О. М. Овчарук і О. В. Мазурець, “Нейромережевий метод діагностування психологічних розладів за аналізом повідомлень на основі роздільного підходу до класифікації”, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 1, с. 210–216, 2025. DOI: 10.31891/2219-9365-2025-81-25.

[4] Д. Ю. Юрченко, О. М. Овчарук, О. В. Мазурець, і П. О. Шевчук, “Метод використання нейромережі гібридної архітектури для визначення емоційної тональності текстових повідомлень,” Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 2, с. 136–141, 2025. DOI: 10.31891/2219-9365-2025-82-18.

[5] O. V. Mazurets and O. M. Ovcharuk, Methodology for Identifying Post-Traumatic Stress Disorder Indicators in Text Data. Information Control Systems and Intelligent Technologies. Advances and Applications, Monograph, Liha-Pres, 2025, pp. 43–58. ISBN 978-966-397-538-2. DOI: 10.36059/978-966-397-538-2-3.

НТБОНТУ

УДК 004.8; 681.518; 629.423

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

Очкасов О. Б. *(o.b.ochkasov@ust.edu.ua),* ***Гришечкіна Т.С.****(t.s.hryshechkina@ust.edu.ua)*
Український державний університет науки і технологій (Україна)
Очкасов М.О. (misha.ochkasov@gmail.com)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

У роботі обґрунтовано доцільність впровадження програмного забезпечення для моніторингу технічного стану промислового обладнання як інструмента переходу від регламентного до стан-орієнтованого технічного обслуговування. Розглянуто джерела даних, принципи попередньої обробки діагностичних сигналів, наведено приклади поєднання методів машинного навчання для виявлення відхилень в роботі обладнання. Узагальнено результати та підходи з результатів виконаних у контексті діагностування тягових електродвигунів локомотивів.

Забезпечення безперервності технологічних процесів та роботи обладнання напряму залежить від здатності обслуговуючого персоналу своєчасно виявляти деградацію вузлів і обґрунтовувати момент втручання в роботу обладнання. Переважна практика технічного обслуговування за плановими напрацюваннями не відображає індивідуальну динаміку зміни контрольних параметрів, що призводить до ранньої заміни працездатних елементів або до пропуску критичних станів та аварійних зупинок.

За наявності вбудованих технічних засобів для вимірювання вібрації, температури, тиску та електричних параметрів обладнання або технологічних процесів доцільним стає перехід до Condition-Based Maintenance (стан-орієнтоване обслуговування), де рішення ґрунтуються на діагностичних ознаках фактичного стану. Саме програмне забезпечення моніторингу забезпечує безперервне спостереження за параметрами, їх узгоджену обробку, виявлення відхилень від «нормальної» поведінки й формування пояснюваних індикаторів ризику для планування робіт з технічного обслуговування [1, 3].

Функціонально програмне забезпечення моніторингу включає модуль отримання й буферизації сигналів датчиків з різною частотою дискретизації, блок попередньої обробки (очистка шуму, синхронізація каналів, нормування), аналітичне ядро та користувацький інтерфейс.

На рівні аналітики використовуються моделі часових рядів для оцінки відхилення від історичних профілів, критерії граничних умов для контролю допусків безпеки, методи виявлення трендів і рівневих зсувів для ідентифікації повільних деградаційних процесів. Доцільним також є поєднання статистичних підходів із алгоритмами машинного навчання, що підвищує чутливість до ранніх змін контрольних параметрів та збереження прийнятної кількості хибних спрацювань. Ефективність моніторингу технічного стану обладнання підвищується за рахунок мультисенсорного зіставлення. Наприклад, кореляція вібраційних ознак із температурними та електричними показниками дозволяє відсіяти квазіаномалії процесуального походження та уточнити джерело відхилення контрольних параметрів.

Важливим аспектом є прив’язка індикаторів до умов експлуатації. Для агрегатів з декількома режимами експлуатації доцільно формувати режимно-специфічні «вікна нормальності» й використовувати адаптивні пороги, залежні від режимів роботи або технологічного етапу. У такому підході індикатор не є абстрактним числом – він пов’язується з конкретним вузлом, каналом контролю та режимом роботи, що критично для прийняття рішення фахівцями з обслуговування обладнання. Практична реалізація такого підходу передбачає ведення журналів подій із часовими мітками, пріоритетами та короткими поясненнями причин спрацювання, а також механізм експертного зворотного зв’язку для позначення «норма/не норма». Цей зворотний зв’язок використовується для періодичного донавчання моделей і поліпшення якості виявлення аномалій в роботі обладнання.

Приклади використання методів штучного інтелекту та статистичного аналізу для моніторингу стану обладнання, наведені у [1-5], ілюструють побудову діагностичних ознак для тягових електричних машин і підшипникових вузлів, зокрема використання індикаторних діаграм та вібраційних характеристик, узгоджених з реальними режимами експлуатації [2, 4, 5]. У цих

роботах показано, що фізична деградація обладнання формує певні шаблони – повільний зсув середнього рівня сигналу, зростання дисперсії або появу специфічних частотних компонентів – які можуть бути виявлені до настання відмови за умови коректної обробки сигналів та фільтрації впливу режимів експлуатації. Отримані результати підтверджують методичну та технологічну здійсненність переходу до стан-орієнтованих рішень в технічному обслуговуванні обладнання, а також вказують на доцільність узгодження порогів контрольних значень із локальними умовами експлуатації.

Штучний інтелект може бути використаний на всіх етапах контролю технічного стану обладнання. Наприклад, в [2] приведено результати використання методів машинного навчання без вчителя (unsupervised learning), зокрема DBSCAN, One-Class SVM, Elliptic Envelope та Isolation Forest для моніторингу технічного стану тягових електродвигунів підчас стендових випробувань. Як діагностичний параметр використовувався сигнал нерівномірності обертання якоря, отриманий з високоточного енкодера під час стендових випробувань. Сигнал подавався у вигляді часових рядів, по яких будувалися вектори з 625 значень, що відповідають одному оберту ротора. Метою аналізу було виявлення аномальних властивостей сигналу, пов'язаних із механічними дефектами, такими як перевищення радіального зазору підшипників, ослаблення посадок або мікротріщини в елементах валу.

Алгоритми показали різну чутливість і характер реакції на аномалії. One-Class SVM забезпечив найвищу точність розпізнавання (99,9 %), Elliptic Envelope - 99,5 %, DBSCAN - 99,1 %, Isolation Forest – близько 98 %. Для справного двигуна (еталонного) алгорими не виявили аномальних ділянок, тоді як для двигунів із підвищеним зазором або мікротріщинами фіксувалися відхилення у вигляді локальних піків швидкості обертання. Зокрема, для двигуна з граничним радіальним зазором (0,17 мм при нормі 0,20 мм) усі методи виділили характерні ділянки сигналу, що свідчить про можливість раннього виявлення деградації.

Результати підтвердили, що методи машинного навчання без вчителя можуть використовуватися для моніторингу технічного стану електромеханічних вузлів у реальному часі або під час випробувань без потреби у великих навчальних вибірках. Це створює основу для подальшої побудови моделей класифікації станів і типів несправностей з використанням контрольованого навчання та інженерії ознак.

Наступним етапом впровадження штучного інтелекту в процес контролю технічного стану обладнання є класифікація технічного стану на основі генерації ознак і методів машинного навчання. Сигнали отримані від датчиків мають бути додатково оброблені щоб підвищити їх діагностичну цінність.

Приклад розв'язку задачі класифікації технічного стану обладнання наведено в [1, 3, 4]. Сигнал частоти обертання у вигляді часового ряду попередньо розкладено на складові з використанням безперервного вейвлет-перетворення. Таким чином сформовавано нові діагностичні ознаки з різними рівнями декомпозиції. Сигнал розкладено на чотири рівні декомпозиції. Для кожного з рівнів декомпозиції обчислено статистичні показники: середнє, дисперсію, пікову амплітуду, імпульсний фактор, хрест-фактор, коефіцієнти асиметрії та ексцесу; таким чином отримано компактний набір числових дескрипторів, що відображає характер змін сигналу на різних масштабах. На цих ознаках побудовано двокласову модель «справний/несправний» із використанням XGBoost: для навчання використовували сигнали від справного двигуна m1 (37 % даних) і від двигунів із дефектами m2–m4 (63 %). Досягнута точність класифікації становила 97 %, при цьому найбільший внесок у прийняття рішень мали дисперсія четвертого рівня та коефіцієнт асиметрії третього рівня розкладу.

На основі цього ж набору даних, для ідентифікації типу несправності побудовано чотирикласову модель (мітки: m1 – справний 37 %, m2 – тип несправності 1, 20 %, m3 – тип несправності 2, 25 %, m4 – тип несправності 3, 18 %), також на основі XGBoost; отримана точність склала 92 %. Найбільш інформативними для мультикласової задачі виявилися дисперсія 4-го рівня, ексцес 1-го рівня та дисперсії 3-го і 1-го рівнів.

Зазначене підтверджує, що поєднання вейвлет-декомпозиції з узагальненими статистиками рівнів розкладу сигналу забезпечує відтворювану генерацію ознак та дозволяє не лише відокремлювати справний/несправний стани обладнання, а й попередньо класифікувати вид дефекту за додатковими діагностичними ознаками сигналу.

Архітектура впровадження засобів моніторингу технічного стану що базуються на методах штучного інтелекту має враховувати реальні обмеження виробництва. На першому етапі доцільно інтегрувати програмне забезпечення з існуючими SCADA/MES системами для формування базових індикаторів розвитку процесів. Наступний крок – підключення високочастотних каналів вимірювань додаткових параметрів обладнання (струм, вібрація) там, де це виправдано техніко-економічно. Можливо впровадження локального передобчислення діагностичних ознак на пристроях вимірювання для зменшення трафіку в системі. Візуалізація результатів має бути уніфікованою: один дашборд зі станом активів, журнал подій, сторінка результатів діагностування з прив'язкою до конкретного вузла. Важливим є також питання пояснюваності результатів роботи моделей машинного навчання: разом з результатом класифікацій доцільно надавати додаткову інформацію, що підвищує довіру користувачів і спрощує валідацію результатів.

Список використаної літератури

[1] B. Bodnar and O. Ochkasov, "Devising a Procedure to Form the Diagnostic Parameters for Locomotives Using a Principal Components Analysis," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 1 (110), pp. 97–103, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.230293.

[2] B. Bodnar, O. Ochkasov, V. Serdiuk, and M. Ochkasov, "Signal Analysis of the Armature Rotation Irregularities in the Traction Electric Motor by Unsupervised Anomaly Detection Methods," in *Proc. 26th Int. Sci. Conf. Transport Means 2022*, Kaunas, Lithuania, Oct. 5–7, 2022, pt. II, pp. 761–766.

[3] B. Bodnar, O. Ochkasov, D. Bobyr, and M. Ochkasov, "The Usage of Wavelet Analysis in the Construction of Machine Learning Models for Determining the Technical Condition of a Traction Electric Engine," in *Proc. 27th Int. Sci. Conf. Transport Means 2023*, Palanga, Lithuania, Oct. 4–5, 2023, pt. II, pp. 563–568.

[4] B. Bodnar, O. Ochkasov, V. Petrenko, and M. Martishevskij, "Implementing Intelligent Monitoring of the Technical Condition of Locomotive Hydraulic Transmissions," in *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology*, Proc. 13th Int. Conf., Vilnius, Lithuania, Sept. 15–16, 2022. Cham, Switzerland: Springer, 2023, pp. 726–736, doi: 10.1007/978-3-031-25863-3_70.

[5] B. Bodnar, O. Ochkasov, T. Hryshechkina, and V. Petrenko, "A Case Study of the Use of Statistical Processing of the Armature Rotation Irregularities for the Diagnostics of Locomotive Traction Electric Motors," *Transport*, vol. 40, no. 1, pp. 24–34, Apr. 2025, doi: 10.3846/transport.2025.23229.

УДК 004.89

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АСИСТЕНТА ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ «ОЩАДЛИВОГО» ІТ-СТАРТАПУ

Пархоменко І. А., Хоменко А. В., Дубровін В. І.
(illia100505parkhomenko@gmail.com, alicekhomenko5@gmail.com**,** vdubrovin@gmail.com)
Національний університет «Запорізька політехніка»(Україна)

В роботі показано актуальність використання методів та засобів генеративного штучного інтелекту (ГШІ) для розробки спрощеної структури бізнес-плану «ощадливого» ІТ-стартапу на передпосівній стадії. Обґрунтовано вибір великої мовної моделі (Large Language Model, LLM) для інтеграції з розроблюваним інтелектуальним асистентом для планування ІТ-стартапу. Наведено результати розробки структури системного промпта для підвищення ефективності взаємодії з LLM.

Вступ. На сьогоднішній день за статистикою лише один з десяти ІТ-стартапів стає успішним [1]. Це пов'язано з тим, що стартап є особливим підходом до бізнесу, якому притаманні висока невизначеність та ризик [2]. Традиційно вважається, що кожному стартапу потрібно розпочинати зі складання бізнес-плану, який зазвичай розрахований на тривалий період часу, містить докладний опис ідеї, проблему та шляхи її вирішення, прогноз фінансових показників. Але на практиці ІТ-стартапи виходять з концепції «ощадливого стартапу» (Learn Sturtup) [3], тож починають з пошуку життєздатної бізнес-моделі та не витрачають багато часу на планування. Ця

концепція разом з методологією «розвитку клієнтів» дозволяє суттєво скоротити ризики та націлює на те, що потрібно експериментувати та розробляти продукт короткими ітераціями замість слідування етапам детального бізнес-плану, що дозволяє швидше створити мінімально життєздатний продукт та отримати відгуки користувачів на нього [4]. Тому програмна підтримка передпосівної стадії планування «ощадливого» IT-стартапу, а саме розробки спрощеної структури бізнес-плану є важливою.

Постановка проблеми. Існуючі сьогодні потужні можливості генеративного штучного інтелекту (ГШІ) з успіхом можуть використовуватися при плануванні «ощадливих» IT-стартапів. Але існують певні складнощі як при використанні готових програмних засобів на основі ГШІ, так і при розробці власних інтелектуальних асистентів. Зокрема, ефективність взаємодії з LLM з точки зору введення та виведення інформації часто залишається низькою та потребує додаткових досліджень цього питання. Тому тема роботи є актуальною.

Метою роботи є дослідження та практична реалізація методів і моделей розробки інтелектуального асистента для покращення досвіду користувачів при плануванні «ощадливих» IT-стартапів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В ході досліджень було виявлено наступні підходи щодо програмної підтримки процесу планування «ощадливого» IT-стартапу: використання програм-генераторів бізнес-планів та бізнес-моделей (Bizplanr.ai, Upmetrics, Enloop, IdeaBuddy, PrometAI та ін.) [5]; використання інструментарію ГШІ, зокрема ChatGPT від OpenAI [6]; розробка власного інтелектуального асистента та його інтеграція з LLM за допомогою API [7]. Перші два підходи мають певні недоліки, які пов’язані з поганим досвідом користувачів щодо навчання, взаємодії та кінцевого результату роботи. Реалізація останнього варіанту є доцільною, оскільки API LLM надає інтерфейс для інтеграції з програмами та платформами, що спрощує впровадження технології ГШІ та дозволяє розробникам зосередитися на створенні найкращого досвіду користувача.

Актуальність використання LLM для планування підтверджують нещодавні дослідження [8-11]. Так в роботі [10] показано, що LLM не дуже добре підходять для використання як автономні планувальники, але вони надають величезні можливості щодо покращення програм планування в поєднанні з іншими підходами. Автори дослідження [11] показали, що можливо покращити продуктивність LLM у задачах планування за допомогою таких методів, як точне налаштування, модульне підказування, обмежене декодування тощо.

Матеріали та методи. Для порівняльного аналізу найбільш популярних LLM було розглянуто існуючі підходи [8-10] та сформовано список критеріїв вибору. На основі проведеного порівняльного аналізу для реалізації функціональності ГШІ у застосунку для планування IT-стартапу було обрано модель GPT-4.1 від OpenAI, яка забезпечує найкращу комбінацію передової продуктивності, простоти впровадження та передбачуваної вартості, що робить її оптимальним вибором для інтеграції з розроблюваним інтелектуальним асистентом для планування «ощадливих» IT-стартапів [11].

Дослідження показало, що ключовим викликом при використанні LLM для вирішення прикладних задач є перетворення їхньої універсальної функціональності на спеціалізований, надійний та керований інструмент. Просте звернення до LLM із загальним запитом "сплануй мій стартап" призводить до отримання поверхневих, неструктурованих та часто нерелевантних результатів. Тому було проведено аналіз існуючих методів промпт-інженерії для визначення таких, які допоможуть оптимізувати продуктивність відповідей на різних наборах даних без необхідності значного перенавчання або тонкого налаштування LLM. Зокрема, це такі методи як Контекстне навчання, Ланцюг думок, Генерація з доповненим пошуком, Покрокове мислення, Дерево думок та Самоузгодженість [12]. Хоча розглянуті методи промпт-інженерії є потужними, створення ефективних промптів користувача, які дають точні результати, може бути проблематичним, особливо для завдань, що потребують складного мислення. На відміну від користувацьких промптів, які спрямовують ГШІ до певного завдання чи питання, системні промпти надають ГШІ базовий набір інструкцій, які визначають його ідентичність, поведінку та обмеження. Системний промпт є найважливішим інструментом для керування вихідними даними та поведінкою LLM відповідно до певних цілей або характеристик [13]. Отже, системні промпти – це основа для проєктування масштабованих інтелектуальних систем. Добре розроблені системні промпти дозволяють створювати інтелектуальних асистентів, які є корисними, послідовними та

відповідають поставленим цілям [14]. Але існуючі дослідження щодо системних промптів зосереджуються лише на деяких ключових стратегіях, аспектах та загальних рекомендаціях [15-16]. Вони не надають чіткого фреймворку, що дозволить отримати контроль над результатами, які надає ГШІ, а також можливість швидкого внесення коректив для уточнення результатів. Тому було розроблено структуру системного промпта, що наведено на рис.1. Ця структура є універсальною та може бути адаптована для різних застосунків та моделей.

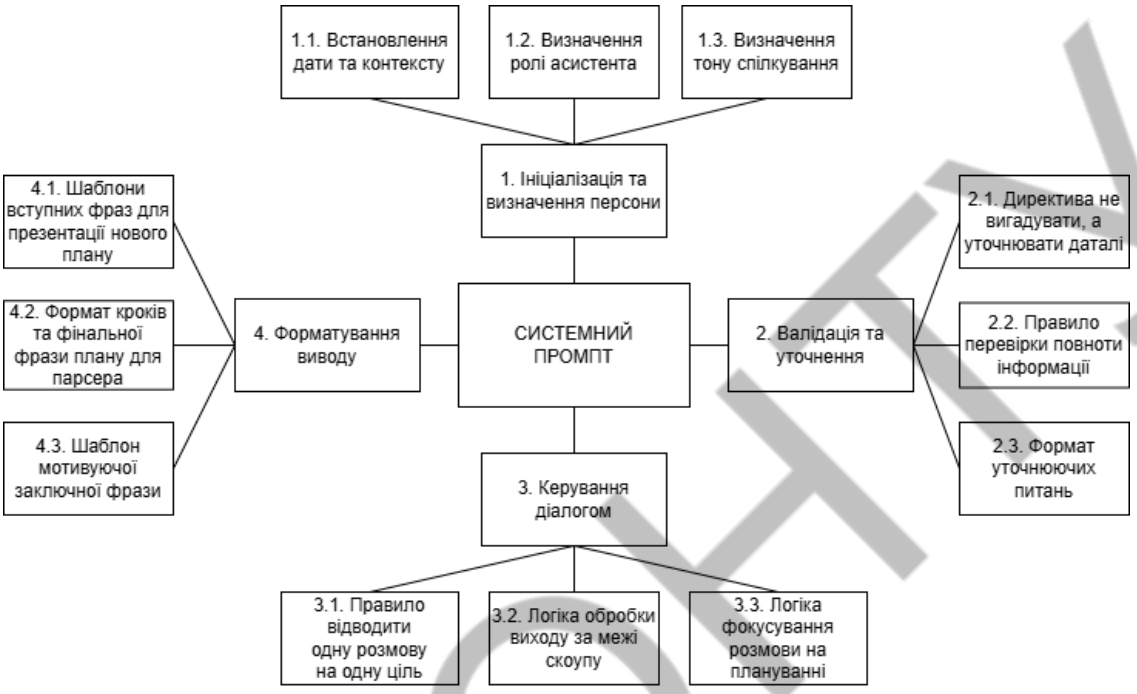


Рисунок 1 – Структура системного промпта

Її суть полягає у декомпозиції інструкцій на чотири фундаментальні функціональні блоки, що разом формують повний цикл керованої взаємодії. Для задачі розробки застосунку для планування «ощадливого» IT-стартапу узагальнена структура наповнюється конкретними директивами, що представлені у вигляді модулів для кожного блоку.

Висновки. Розроблена структура системного промпта є основою фреймворку взаємодії з LLM та забезпечує перетворення універсальної LLM на спеціалізованого інтелектуального асистента. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію структури системного промпту та застосуванні фреймворку при розробці інтелектуального асистента для планування «ощадливих» IT-стартапів.

Список використаної літератури

[1] С. Юрченко, “6 порад для швидкого запуску IT-стартапу”, 10.05.2023. [Online]. Available: https://freshtech.global/ua/blog/6-tips-for-a-quick-it-start-up-launch [Accessed: October 19, 2025].

[2] IT-стартапи для молоді: 10 головних принципів, як з невеликим досвідом втілювати великі ідеї, 31.01.2024. [Online]. Available: https://business.diia.gov.ua/history-of-success/IT-startapy_dlia_molodi_10_holovnykh_pryntsypiv_iak_z_nevelykym_dosvidom_vtiliuvaty_velyki_idei [Accessed: October 19, 2025].

[3] E. Ries, “The Lean Startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses”, Crown, 2017.

[4] S. Blank, “The four steps to the epiphany: Successful strategies for products that win”, K&S Ranch, 2013.

[5] V. Bonenkamp, “Top 10 alternatives to Bizplanr in 2025: Detailed review”, 25.06.2025. [Online]. Available: https://www.femaleswitch.com/directories/tpost/av0ijvbfu1-top-10-alternatives-to-bizplanr-in-2025 [Accessed: October 19, 2025].

[6] N. Parsons, “Can you use ChatGPT to write a business plan? Yes, here's how”, 08.07.2025. [Online]. Available: https://www.liveplan.com/blog/planning/write-business-plan-with-

chatgpt#:~:text=ChatGPT%20can%20be%20a%20valuable,business%20planning%20task%20to%20AI.&text=Only%20you%20have%20an%20understanding,unique%20position%20in%20the%20market [Accessed: October 19, 2025].
[7] R. D. Caballar, "LLM APIs: Tips for bridging the gap". [Online]. Available: https://www.ibm.com/de-de/think/insights/llm-apis [Accessed: October 19, 2025].
[8] V. Tran-Thien, "Key criteria when selecting an LLM", 18.07.2024. [Online]. Available: https://blog.dataiku.com/key-criteria-when-selecting-an-llm [Accessed: October 19, 2025].
[9] How to choose an LLM, 03.10.2025. [Online]. Available: https://agentic-support.konverso.ai/space/AS/4088561665/How+to+choose+an+LLM [Accessed:October 19,2025].
[10] A. Talwar, "LLM selection criteria", 28.10.2023. [Online]. Available: https://medium.com/@anmoltalwar/llm-selection-criteria-727f8c13c3ad [Accessed: October 19, 2025].
[11] A. Olteanu, "GPT-4.1: Features, access, GPT-4o comparison, and more", 19.05.2025. [Online]. Available: http://datacamp.com/blog/gpt-4-1 [Accessed: October 19, 2025].
[12] M. Son, Y.-J. Won, and S. Lee, "Optimizing Large Language Models: A deep dive into effective prompt engineering techniques", *Applied Sciences*, vol.15, 2025, pp. 1-32.
[13] R. Savage, "User prompts vs. system prompts: What's the difference?", 16.10.2024. [Online]. Available: https://www.regie.ai/blog/user-prompts-vs-system-prompts [Accessed: October 19, 2025].
[14] L. Gattra, "User prompts vs system prompts: Stop just asking AI questions", 11.07.2025. [Online]. Available: https://www.wwt.com/blog/user-prompts-vs-system-prompts-stop-just-asking-ai-questions [Accessed: October 19, 2025].
[15] System prompt [Online]. Available: https://www.promptlayer.com/glossary/system-prompt [Accessed: October 19, 2025].
[16] N. MacCallum, "GPT-4.1 prompting guide", 14.04.2025 [Online]. Available: https://cookbook.openai.com/examples/gpt4-1_prompting_guide [Accessed: October 19, 2025].

УДК 0004.056

ПРОБЛЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО МЕТОДІВ ЩОДО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЕРЖАВИ

Пересада Д.В (danielperesada@gmail.com), **Однорог М.Т.** (joedassin917@gmail.com)
,Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У сучасному світі інформація стала найціннішим ресурсом — вона визначає економічну, політичну та військову силу держави. Тому захист інформаційних ресурсів перетворився на ключовий елемент національної безпеки. Україна, яка щодня стикається з кібератаками, добре розуміє, що боротьба у цифровому просторі не менш важлива, ніж на фронті. І тут усе більшої ваги набуває штучний інтелект (ШІ). ШІ може не лише аналізувати великі обсяги даних, а й виявляти, запобігати та навіть прогнозувати загрози. Водночас такі системи самі стають мішенню атак, тому питання їхнього захисту є стратегічно важливим.

Інформаційні ресурси держави — це не лише бази даних міністерств чи оборонних структур. Це реєстри, системи електронного врядування, фінансові сервіси, засоби зв'язку, наукові сховища. Їх безперервна робота — основа стабільності держави. На ці системи щомісяця спрямовують тисячі атак. Україна вже пережила масштабні інциденти — від вірусу NotPetya у 2017 році до атаки на «Київстар» у 2023-му, коли мільйони користувачів залишилися без зв'язку. За цими діями стояли угруповання, пов'язані з російськими спецслужбами, що мали політичну мету — паралізувати державні сервіси й викрасти критичну інформацію. Класичні методи кіберзахисту дедалі частіше не справляються з новими загрозами. Саме тому технології штучного інтелекту стають ключем до створення гнучкої, адаптивної системи цифрової оборони. З одного — ризики, які створює сам ШІ. З іншого — можливості, які він відкриває для захисту. Загрози починаються із вразливості моделей до зовнішніх впливів. Наприклад, адверсаріальні атаки можуть змусити систему неправильно розпізнати вхідні дані. Якщо така система працює у державному секторі — скажімо, аналізує кіберзагрози або моніторить доступ до службових баз, — наслідки можуть бути критичними. Ще один ризик — отруєння даних: коли модель навчається на підробленій чи

маніпулятивній інформації, а потім починає приймати неправильні рішення. Не менш серйозною є проблема витоку даних. Системи на основі ШІ часто обробляють великі обсяги службової інформації, у тому числі конфіденційної. Якщо алгоритм побудований з помилками або має слабкий контроль доступу, існує ризик, що зловмисник отримає доступ до змісту моделі чи її навчальних даних. Для державних структур це може означати втрату документів, військових планів, персональних даних або навіть цілих баз реєстрів. Але головна цінність штучного інтелекту — у його здатності працювати на випередження. Методи машинного навчання дозволяють будувати системи виявлення аномалій, які постійно аналізують поведінку користувачів, пристроїв і програм. Наприклад, якщо державний сервер отримує запит із незвичного регіону чи з атипічною швидкістю, система одразу фіксує підозрілу активність. Такі рішення вже застосовуються в українських структурах, що відповідають за кіберзахист державних реєстрів і систем електронноговрядування.

Великий потенціал має автоматизоване реагування на інциденти. Тут ШІ не просто спостерігає, а діє: ізолює заражений вузол, блокує несанкціонований доступ, надсилає сповіщення адміністраторам. Такі технології особливо корисні у воєнний час, коли швидкість реакції вирішує, чи залишиться ресурс функціональним. У сфері захисту державних даних важливу роль відіграють також алгоритми прогнозування загроз. На основі аналізу попередніх атак, моделей поведінки зловмисників і тенденцій у кіберпросторі, система може передбачати, звідки прийде наступна атака і які об’єкти можуть стати цілями. Це дає можливість готуватися до ударів ще до того, як вони відбудуться.

Особливо перспективним напрямом є федеративне навчання — підхід, коли моделі навчаються не на одному сервері, а на кількох, розподілених між різними установами. Дані при цьому не передаються між ними, що знижує ризик витоку. Для держави це ідеальне рішення: міністерства, відомства, обласні адміністрації можуть удосконалювати власні захисні системи, не розкриваючи свої бази даних.

Захист інформаційних ресурсів не обмежується лише технологіями. Важливою частиною є організаційна безпека — політики доступу, аудит, резервне копіювання, контроль оновлень. Але навіть ці процеси сьогодні можна оптимізувати за допомогою ШІ. Наприклад, інтелектуальні системи можуть автоматично перевіряти, чи дотримуються співробітники вимог безпеки, відстежувати підозрілі дії або пропонувати оптимальні моменти для оновлення критичних систем.

Держава має створювати власні національні центри кіберзахисту, які працюватимуть із ШІ у реальному часі. Такі центри повинні не лише відслідковувати атаки, а й аналізувати загальносвітові тенденції, обмінюватися даними з міжнародними партнерами, будувати моделі колективного захисту. У перспективі це може стати частиною загальної архітектури цифрової оборони України. Важливо також формувати єдину інфраструктуру даних, що належить державі. Адже якщо дані зберігаються у приватних або закордонних сервісах, ризик компрометації зростає. Власні дата-центри, суверенні хмарні сервіси, стандарти безпечного обміну — усе це основа для стабільної роботи ШІ у сфері безпеки. Не можна оминути і правові аспекти. Україна має розробити законодавство, яке чітко визначатиме відповідальність за безпеку ШІ, порядок використання державних даних, стандарти кіберзахисту й аудиту систем. Це не лише захистить громадян, а й підвищить довіру до технологій у держсекторі.

Штучний інтелект уже став частиною інформаційної оборони України. Він дає змогу швидко виявляти загрози, аналізувати дані в реальному часі та навіть прогнозувати атаки. Але водночас потребує контролю, захисту й постійного розвитку. Завдання держави — зробити ШІ не слабкою ланкою, а надійним інструментом кібербезпеки. Якщо Україна навчиться ефективно використовувати інтелектуальні технології, вона отримає не лише технологічну, а й стратегічну перевагу у майбутній інформаційній війні.

Список використаної літератури

[1] European Parliament and Council, "Regulation (EU) 2024/1689 of 11 July 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EU) 2021/1676, (EU) 2022/1614, (EU) 2023/1615 and (EU) 2023/1688 and Directives 2002/58/EC and (EU) 2024/1688 (Artificial Intelligence Act)," *Official J. Eur. Union*, 2024. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng. [Accessed: Oct. 21, 2025].

[2] European Commission, "Regulatory framework for AI." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai.

[3] National Security and Defense Council of Ukraine (NSDC), "National Cybersecurity Strategy of Ukraine, 2023." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.rnbo.gov.ua/en/Diialnist/4976.html.

[4] Ministry of Digital Transformation of Ukraine. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://thedigital.gov.ua/.

[5] Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA), "2024 Year in Review." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.cisa.gov/about/2024YIR.

УДК 62-83:681.5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ НА БАЗІ MICRO:BIT З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Полешко Т.І., Назарова О.С.(poleshko.timas@gmail.com, nazarova16@gmail.com)

Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі представлено результати дослідження системи керування роботизованою мобільною платформою на базі мікроконтролера Micro:bit з використанням елементів штучного інтелекту. Актуальність теми зумовлена потребою у підвищенні практичної підготовки здобувачів освіти у галузі робототехніки та автоматизації. У процесі дослідження розроблено апаратно-програмний комплекс, що забезпечує інтеграцію контролера Micro:bit із сенсорами, виконавчими механізмами та інтелектуальними алгоритмами для адаптивного керування рухом мобільної платформи. Визначено педагогічні умови ефективного впровадження розробленої системи в освітній процес університету, зокрема поєднання теоретичного вивчення принципів машинного навчання з практичним моделюванням роботизованих систем. Запропонований підхід сприяє формуванню у студентів компетентностей у сфері автоматизації, програмування та інтелектуального керування, а також підвищенню їхньої мотивації до інженерної діяльності.

Актуальність дослідження системи керування роботизованою мобільною платформою на базі Micro:bit з використанням штучного інтелекту в освітній діяльності університету зумовлена кількома важливими факторами. Використання Micro:bit дає можливість здобувачам освіти отримати навички фізичного моделювання сучасних систем автоматизації з контролерами, датчиками, двигунами та іншими електронними компонентами [1, 2]. Це сприяє формуванню у здобувачів освіти цілісного розуміння принципів створення та налаштування роботизованих систем, а додавання модулів зі штучним інтелектом сприятиме формуванню у здобувачів освіти відповідних теоретичних знань та практичних навичок необхідних для опанування принципів машинного навчання.

Проблема дослідження: недостатній рівень практичної підготовки здобувачів освіти у сфері робототехніки та штучного інтелекту, зокрема відсутність ефективних методик інтеграції мікроконтролерів Micro:bit і модулів ШІ у навчальний процес для формування комплексних навичок проєктування та керування роботизованими системами.

Завдання дослідження. Розробити та дослідити систему керування роботизованою мобільною платформою на базі Micro:bit із використанням елементів штучного інтелекту. Визначити педагогічні умови ефективного застосування розробленої системи в освітньому процесі університету для формування у здобувачів освіти компетентностей у сфері автоматизації та машинного навчання.

Maqueen Plus V2.0 — це роботизована платформа з підтримкою Micro:bit (версій V1 та V2), знайшла широке застосування у STEAM-освіті та освітній діяльності здобувачів освіти [3]. STEAM-освіта спрямована на розвиток сучасних компетентностей з акцентом на ШІ та інженерного мислення через інтегровані навчальні проєкти, які допомагають студентам практично застосовувати теоретичні знання [4]. Робот Maqueen Plus V2.0 є інструментом для навчання з міждисциплінарним підходом, тому що сприяє розвитку навичок у програмуванні, інженерії та

робототехніці. Підтримка візуального та текстового програмування за допомогою різних середовищ програмування, таких як MakeCode, JavaScript, Python, Scratch, Mind+, дозволяє швидко опанувати навички керування роботом, суттєво спрощує програмування порівняно з іншими мовами. MakeCode, Mind+ та Scratch це прості візуальні середовища, де команди зображені як блоки, які легко переміщувати та поєднувати між собою [5]. Це дозволяє значно спростити процес програмування, уникнути складної роботи з кодом, робить можливим навчання учнів різного віку [6]. Вбудовані 5 датчиків для слідування за лінією, ультразвуковий сенсор (H-SRO4) та інфрачервоний приймач. Датчики слідування за лінією інфрачервоні, випромінюють світло та вимірюють його відбиття від поверхні. Вони дозволяють рухатися за чорною лінією на білому фоні, що у свою чергу дозволяє створювати різні маршрути. Для об'їзду перешкод може бути використаний ультразвуковий сенсор H-SRO4, який випромінює ультразвук та вимірює час між випроміненням і відбиттям від перешкоди, обчислюючи таким чином відстань. Інфрачервоний приймач дозволяє отримувати сигнали з пульта дистанційного керування. Порти 5 В/В (P0 P1 P2) x 3; 3.3 В/В (P0 P1 P2 P8 P9 P12 P16) x 7; 3.3 У I2C x 2; 5 В I2C x 1. Перші три входи це GPIO порти (General Purpose Input/Output), які підтримують як вхідні, так і вихідні сигнали напругою 5 вольт. Порти P0, P1, P2, P8, P9, P12, P16 це також GPIO, проте вони підтримують сигнали напругою тільки 3.3 вольти. Далі йдуть I2C порти, (Inter-Integrated Circuit) — це інтерфейси для підключення і комунікації між мікроконтролером і периферійними пристроями (наприклад, датчиками, дисплеями, тощо) через дві спільні лінії: SDA (для передачі даних) і SCL (для синхронізації). Вони дозволяють підключати кілька пристроїв до одного мікроконтролера, забезпечуючи зручне і гнучке розширення можливостей робота завдяки передачі даних на відносно великих відстанях без потреби у великій кількості проводів. Мотор-редуктор GA12-N20 на базі двигуна постійного струму для моделей та робототехніки, електронних замків з металевою системою шестерень. Надійний двигун N20 і циліндричний редуктор. Довжина валу або 4,5мм або 9мм. Двигуни контролюються через спеціальні порти, які дозволяють налаштовувати швидкість і напрямок. Завдяки програмованому керуванню, Maqueen Plus може виконувати складні траєкторії, слідувати за лінією чи уникати перешкод [7].

Додатковий модуль HuskyLens K210 AI Camera це камера з вбудованим штучним інтелектом, що сумісний з Micro:bit, Raspberry Pi та Arduino та може розпізнавати об'єкти, жести, лиця та кольори без програмування складних алгоритмів, що дуже корисно для опанування концепту машинного навчання. На модулі присутній екран з діагоналлю 2 дюйми за допомогою якого можна зручно контролювати процес навчання штучного інтелекту камери. За допомогою окремого процесора Kendryte K210 модуль виконує всі розрахунки, що значить швидкі відповіді у реальному часі без необхідності постійного підключення до комп'ютера або інернету. Камеру HuskyLens K210 можна застосувати і на роботі Maqueen Plus V2, що дозволить створити програму слідування за лінією, слідування за об'єктами, програму руху поміж перешкод, які будуть з'являтися в реальному часі з виконанням різних дій в залежності від кольору перешкоди або наявності ярлика на ній. Також існує можливість інтеграції інших додаткових та вбудованих модулів та сенсорів робота Maqueen Plus V2 в програму.

Програмування відбувається за допомогою MakeCode. Сутність процесу програмування полягає у взаємодії камери з вбудованим ШІ та інших систем робота та дозволяє створювати більш складні програми, не дивлячись на те, що модуль може бути використаний без написання програми. Принцип програмування камери полягає у тому, що камера запам'ятовує об'єкти як, наприклад, ID 1 та за допомогою відповідних блоків MakeCode можна перевірити, чи саме цей об'єкт запам'ятовувала камера. Також існують блоки за допомогою яких можна перевірити деякі параметри об'єкта, який бачить камера, як наприклад координати об'єкту відносно центру екрану камери, одиницею виміру яких є пікселі з яких складається екран, ширина та висота розпізнавальної рамки, які також вимірюються в пікселях та дозволяють розпізнавати приблизну відстань до об'єкту. За допомогою цих блоків можна, наприклад, створити програму за якою робот буде рухатись за об'єктом, що відповідає задачам слідкуючого електропривода.

Висновки. У результаті дослідження розроблено систему керування роботизованою мобільною платформою на базі контролера Micro:bit, яка забезпечує інтеграцію сенсорів, виконавчих механізмів та модулів штучного інтелекту для реалізації адаптивного керування рухом. Проведене моделювання підтвердило ефективність застосування Micro:bit як базового апаратного засобу для навчальних і наукових цілей у галузі робототехніки.

Визначено та обґрунтовано педагогічні умови ефективного використання розробленої системи у навчальному процесі університету. Зокрема, поєднання теоретичного вивчення принципів машинного навчання з практичним моделюванням роботизованих систем сприяє формуванню у здобувачів освіти ключових компетентностей у сфері автоматизації, програмування та інтелектуального керування.

Запропонований підхід до впровадження Micro:bit із модулями ШІ у навчальний процес довів свою результативність у підвищенні мотивації студентів, розвитку інженерного мислення та готовності до участі у міждисциплінарних проєктах сучасної цифрової інженерії.

Список використаної літератури

[1] J. Žufić, T. Žajgar, and A. Debeljuh, “Increasing Elementary School Students’ Motivation for Computer Science through the RobotDay Project Activities,” in Proc. 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), 2024, pp. 698–702. doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569906.

[2] P. Ponce, A. Molina, E. O. L. Caudana et al., “Improving education in developing countries using robotic platforms,” Int. J. Interact. Des. Manuf., vol. 13, pp. 1401–1422, 2019. doi: 10.1007/s12008-019-00576-5.

[3] P. Ponce, C. F. López-Orozco, G. E. B. Reyes, E. Lopez-Caudana, N. M. Parra, and A. Molina, “Use of Robotic Platforms as a Tool to Support STEM and Physical Education in Developed Countries: A Descriptive Analysis,” Sensors, vol. 22, p. 1037, 2022. doi: 10.3390/s22031037.

[4] S. Suwannakhun, D. Srikaew, and S. Yampinij, “Empowering education with artificial intelligence through learner robots,” in Proc. 17th Int. Conf. on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), 2023, pp. 452–456. doi: 10.1109/SITIS61268.2023.00081.

[5] B. Yashan and V. Dymashok, “Model program for learning robotics based on the Micro:bit board,” SWorldJournal, no. 3(21-03), pp. 3–7, 2023. doi: 10.30888/2663-5712.2023-21-03-002.

[6] O. Nazarova, A. Kazurova, and R. Bogunov, “Development and research of the software and hardware complex for controlling the lighting and alarm systems of the smart building,” Proc. Int. Sci. Conf. “Latest Achievements in Science and Technology and Their Importance for Society”, Częstochowa, Poland, Dec. 6–7, 2023, pp. 60–63. doi: 10.30525/978-9934-26-388-0-14.

[7] O. Nazarova, A. Kazurova, V. Osadchyi, and R. Bogunov, “Modeliuvannia robototekhnichnykh i mekhatronnykh system na bazi Micro:bit,” Proc. VI Int. Sci.-Pract. Conf. “Prykladni naukovo-tekhnichni doslidzhennia”, Ivano-Frankivsk, Ukraine: Kushnir H. M., 2024, pp. 103–105.

УДК 004.588

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Помпенко І.Г. (irochka5513@gmail.com)
Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій ОНТУ (Україна)

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в освіту — це впровадження інноваційних технологій у освітнє середовище з метою підвищення ефективності викладання, покращення якості навчання та створення індивідуальних освітніх траєкторій для кожного студента. Використання ШІ робить освіту більш доступною, гнучкою та орієнтованою на особисті потреби студентів.

Штучний інтелект змінює підхід до навчання, забезпечує персоналізацію освітнього процесу, автоматизацію рутинних завдань (наприклад, створення тестів чи коментарів до робіт), розробку інтелектуальних асистентів та адаптивних навчальних систем. Також ШІ сприяє розвитку інклюзивності, допомагаючи студентам з особливими потребами, та надає інструменти для аналітики успішності та удосконалення навчальних матеріалів. Водночас упровадження таких технологій вимагає етичного підходу, шанобливого ставлення до згенерованого контенту та захисту персональних даних.

Основні напрямки застосування ШІ в освіті:

НТБ ОНТУ

- персоналізація навчання;
- автоматизація процесів;
- використання інтелектуальних репетиторів та помічників;
- розвиток інклюзивності та доступності;
- аналітика освітніх даних.

Виклики та етичні аспекти використання ШІ:

- необхідність створення та дотримання етичних стандартів, що запобігають дискримінації, упередженості та забезпечують рівний доступ до освіти;
- захист конфіденційних даних студентів та викладачів, а також безпечне управління ними;
- потреба в критичному аналізі матеріалів, створених ШІ, для запобігання неточностям та підтримання академічної доброчесності;
- важливість того, щоб ШІ не замінював викладача, а доповнював його роботу, залишаючи за людиною роль у прийнятті рішень.

Чому варто впроваджувати ШІ у освітній процес?

Технології штучного інтелекту дають змогу зробити навчання більш індивідуалізованим та гнучким, оскільки вони здатні аналізувати дані про прогрес кожного студента.

1. Автоматизація

ШІ значно скорочує годину на виконання рутинних завдань викладача — створення лекційних матеріалів, опитувань, тестів, презентацій та інтерактивних вправ. Це дозволяє педагогам зосередитися на творчих та стратегічних аспектах навчання. Водночас не слід повністю покладатися на ШІ: створені ним тести чи матеріали можуть містити неточності, тому їх необхідно ретельно перевіряти. Попри це, інтелектуальні системи допомагають швидше генерувати ідеї та завдання, що особливо важливо за умов браку часу.

2. Персоналізація

Сучасні технології відкривають широкі можливості для індивідуального підходу до кожного студента. У групі з 20 осіб, де рівень знань у всіх різний, ШІ може допомогти створити завдання різної складності, адаптовані до потреб кожного. Наприклад, завдяки платформам на зразок ChatGPT викладач може швидко сформувати набір вправ певного рівня складності або запросити актуальні джерела, книги та посібники для оновлення змісту навчальних дисциплін.

Висновки

Інтеграція штучного інтелекту в освіті відкриває нову епоху навчання, де технології стають не лише інструментом, а й партнером у розвитку людини. Завдяки використанню ШІ освітній процес набуває більшої гнучкості, індивідуальності та ефективності. Викладачі отримують можливість оптимізувати підготовку навчальних матеріалів, зосереджуючись на творчій та методичній роботі, а студенти — навчаються у середовищі, яке враховує їх потреби, темп та стиль навчання. Разом з тим, впровадження ШІ потребує зваженого, етичного підходу. Важливо забезпечити достовірність створеного контенту, захист персональних даних та зберегти провідну роль людини у прийнятті освітніх рішень. Штучний інтелект не повинен замінювати викладача, а має стати його помічником, який сприяє створенню якіснішого, доступнішого та більш інклюзивного навчального середовища.

Отже, поєднання людського інтелекту, педагогічного досвіду та технологічних можливостей ШІ формує основу для розвитку освіти майбутнього — освіти, орієнтованої на особистість, інновації та безперервне удосконалення.

Список використаної літератури

[1] V. Yu. Bykov, O. M. Spirin, and S. H. Lytvynova, Tsyfrova transformatsiia osvity: suchasni tendentsii ta perspektyvy rozvytku [Digital Transformation of Education: Current Trends and Development Prospects]. Kyiv: IITZN NAPN Ukrainy, 2021.

[2] L. S. Shevchenko and V. V. Mykhailenko, “Shtuchnyi intelekt u suchasnii osviti: vyklyky ta mozhlyvosti” [Artificial Intelligence in Modern Education: Challenges and Opportunities], Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia, no. 3(95), pp. 45–56, 2023.

[3] W. Holmes, M. Bialik, and C. Fadel, Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Center for Curriculum Redesign, 2019.

[4] UNESCO, Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. Paris: UNESCO Publishing, 2021.

[5] R. Luckin, W. Holmes, M. Griffiths, and L. B. Forcier, Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. Pearson Education, 2016.

[6] OECD, AI and the Future of Skills, Volume 1: Capabilities and Assessments. Paris: OECD Publishing, 2023.

[7] V. M. Kukharenko, Innovatsiini tekhnolohii navchannia u tsyfrovu epokhu [Innovative Learning Technologies in the Digital Era]. Kharkiv: KhNURE, 2022.

УДК 004.8

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Проценко Є. В.(lisaprotsenko6@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У роботі досліджується вплив технологій штучного інтелекту на розвиток автоматизації робототехнічних систем. Показано, що поєднання машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки природної мови, Інтернету речей та хмарних обчислень сприяє створенню більш автономних, адаптивних і ефективних роботів. Розкрито застосування штучного інтелекту для підвищення безпеки, точності та продуктивності робототехнічних систем, а також можливості використання методів навчання для вдосконалення навичок роботів. Акцентовано увагу на етичних, безпекових і технічних аспектах розвитку інтелектуальної робототехніки та окреслено перспективи її подальшого вдосконалення, зокрема у напрямі створення гібридних систем, квантових алгоритмів і впровадження технологій доповненої реальності.

Сучасний етап розвитку робототехніки характеризується інтенсивним впровадженням технологій штучного інтелекту, що відкриває нові можливості для автоматизації складних технологічних процесів. Інтеграція ШІ з робототехнічними системами дозволяє створювати автономні рішення, здатні адаптуватися до змінних умов середовища, приймати рішення в режимі реального часу та виконувати завдання, які раніше вважалися прерогативою людини.

Мета роботи полягає в аналізі можливостей застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності автоматизації робототехнічних систем та визначенні перспективних напрямків розвитку цієї галузі.

Робототехніка як прикладна наука займається розробкою автоматизованих технічних систем, призначених для заміни людини у виконанні складної, важкої та небезпечної роботи. Традиційно роботи програмувалися на виконання чітко визначених послідовностей дій за заздалегідь розробленими алгоритмами, що обмежувало їхню гнучкість та адаптивність. Однак впровадження штучного інтелекту радикально змінює парадигму функціонування роботизованих систем, надаючи їм здатність самостійно навчатися, приймати рішення та адаптуватися до нових умов.

Сучасний етап розвитку характеризується конвергенцією кількох ключових технологій: машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки природної мови, технологій Інтернету речей та хмарних обчислень. Ця синергія створює принципово нові можливості для автоматизації виробничих та сервісних процесів.

Використання методів машинного навчання дозволяє роботам самостійно виявляти закономірності у вхідних даних та покращувати свою продуктивність без явного програмування кожної операції. Алгоритми глибокого навчання, включаючи згорткові нейронні мережі, забезпечують робота можливостями комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів, просторової навігації та взаємодії з навколишнім середовищем. Рекурентні нейронні мережі та трансформатори дозволяють обробляти послідовності дій та прогнозувати майбутні стани системи.

Важливим напрямком є розвиток колаборативних робототехнічних систем (коботів), де роботи безпечно працюють разом з людьми у спільному робочому просторі. Технології штучного інтелекту забезпечують розпізнавання намірів оператора, прогнозування його дій та динамічну

адаптацію траєкторій руху робота для запобігання зіткненням. Системи зору в режимі реального часу відстежують положення людей у робочій зоні, а алгоритми планування шляху забезпечують плавне уповільнення або зупинку робота при виявленні потенційної небезпеки. Це особливо важливо для промислових підприємств, де впроваджуються гнучкі виробничі системи, а також для логістичних центрів, де автономні мобільні роботи переміщуються між персоналом.

У сфері автономної навігації штучний інтелект надає роботам можливість планувати маршрути в динамічних середовищах, уникати перешкод та приймати рішення в умовах невизначеності. Алгоритми SLAM (одночасної локалізації та картографування) у поєднанні з методами машинного навчання дозволяють роботам будувати тривимірні карти навколишнього середовища та визначати на них своє положення з високою точністю. Сучасні підходи використовують багатосенсорну інтеграцію, поєднуючи дані лідарів, камер, інерціальних датчиків та одометрії для забезпечення надійної навігації навіть у складних умовах з обмеженою видимістю або сигналом GPS. Використання алгоритмів глибокого навчання з підкріпленням дозволяє роботам вивчати оптимальні стратегії навігації через взаємодію з навколишнім середовищем, адаптуючись до специфіки конкретних місць.

Системи обробки природної мови розширюють можливості людино-машинної взаємодії, дозволяючи операторам керувати роботами за допомогою голосових команд та отримувати від них інформацію у зрозумілій формі. Це спрощує процес навчання персоналу та підвищує гнучкість виробничих процесів.

Перспективним напрямком є створення мультиагентних робототехнічних систем, де група роботів координує свої дії для виконання складних завдань. Застосування алгоритмів розподіленого штучного інтелекту забезпечує ефективну комунікацію між агентами, динамічний розподіл завдань та синхронізацію операцій. Особливо важливим є розвиток методів колективного прийняття рішень, де група роботів може досягати консенсусу навіть за умов часткової недоступності комунікаційних каналів або відмови окремих агентів. Такі системи знаходять застосування у складських комплексах, де десятки автономних роботів координовано переміщують вантажі, а також у пошуково-рятувальних операціях, де рій безпілотників спільно обстежує великі території.

Особливу увагу слід приділити розвитку систем прогнозувального обслуговування робототехнічного обладнання. Аналіз телеметричних даних за допомогою алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти ознаки майбутніх несправностей та планувати технічне обслуговування до виникнення аварійних ситуацій, що значно знижує витрати та підвищує надійність виробничих процесів. Нейронні мережі аналізують вібрації, температурні режими, споживання енергії та інші параметри роботи обладнання, ідентифікуючи аномалії на ранніх стадіях. Це дозволяє переходити від реактивного обслуговування до проактивного, зменшуючи час простою обладнання та оптимізуючи витрати на експлуатацію.

Окремим напрямком є розвиток адаптивних систем керування маніпуляторами з використанням методів імітаційного навчання. Роботи можуть навчатися виконувати складні маніпуляційні операції, спостерігаючи за діями експертів-операторів. Технології захоплення рухів людини та їх перенесення на робототехнічну систему з урахуванням відмінностей у кінематиці значно скорочують час навчання роботів новим операціям. Подальше удосконалення навичок відбувається через самостійну практику з використанням алгоритмів навчання з підкріпленням.

Сучасні тенденції включають впровадження методів reinforcement learning для навчання роботів складним маніпуляційним навичкам, використання генеративних нейронних мереж для синтезу реалістичних тренувальних середовищ та застосування федеративного навчання для обміну знаннями між розподіленими робототехнічними системами без передачі чутливих даних. Симуляційні середовища з фізично точним моделюванням дозволяють навчати роботів у віртуальному просторі мільйони разів швидше, ніж у реальному світі, з подальшим переносом навичок на фізичні системи. Технології transfer learning забезпечують можливість застосування знань, отриманих при вирішенні одного завдання, до споріднених завдань, що прискорює процес адаптації роботів до нових умов експлуатації.

Важливим аспектом є забезпечення безпеки та надійності інтелектуальних робототехнічних систем. Розробляються методи формальної верифікації нейронних мереж, що використовуються в системах керування, для гарантування їхньої коректної поведінки в критичних ситуаціях. Застосовуються підходи до пояснюваного штучного інтелекту, що дозволяють зрозуміти логіку

прийняття рішень роботом, що особливо важливо в медичній робототехніці та системах, де помилка може призвести до серйозних наслідків.

Висновки. Інтеграція штучного інтелекту з робототехнічними системами відкриває нові горизонти автоматизації виробничих та сервісних процесів. Технології машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки природної мови та автономної навігації забезпечують роботам здатність до адаптивної поведінки в складних динамічних середовищах. Розвиток колаборативної робототехніки, мультиагентних систем та методів прогнозувального обслуговування створює передумови для широкого впровадження інтелектуальних роботів у різних галузях економіки.

Подальший розвиток цього напрямку потребує вирішення завдань забезпечення безпеки, надійності та етичності функціонування інтелектуальних робототехнічних систем. Актуальними залишаються питання енергоефективності, стандартизації протоколів взаємодії між різнорідними робототехнічними системами та розробки універсальних архітектур ШІ, придатних для широкого спектру застосувань. Перспективними є дослідження в галузі створення гібридних систем, що поєднують символьні методи представлення знань з нейронними мережами, розробки квантових алгоритмів для оптимізації роботи робототехнічних систем та інтеграції технологій доповненої реальності для покращення людино-машинної взаємодії.

Список використаної літератури

[1] A. Asimov, Three Laws of Robotics: Ethical Foundations of Human–AI Interaction, in Classics of Science Fiction, 1950.

[2] Application of Machine Learning Methods in the Automation of Robotic Processes, Modern AI Research Journal, 2024.

[3] Automation and Artificial Intelligence Systems in Robotics, OpenArchive NTU “KhPI”, 2024.

УДК 004.4

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ

Савіцький Р.С., Бабіцький Б О.
(roman.savitskyi@gmail.com, dandan250899@gmail.com)
Державний університет «Житомирська політехніка» (Україна)

У тезах проведено порівняльний аналіз ефективності трьох архітектур нейронних мереж — VGG-Face, FaceNet та ArcFace — для задач розпізнавання облич. Оцінка моделей здійснювалася за критеріями точності, площі під ROC-кривою (AUC), швидкодії та споживання обчислювальних ресурсів. За результатами експериментів встановлено, що модель ArcFace демонструє оптимальний баланс між високою точністю та ефективністю, що робить її найбільш доцільною для впровадження у сучасні системи реального часу.

Системи розпізнавання облич активно застосовуються для ідентифікації та автентифікації у сферах безпеки, фінансових технологій, мобільних застосунків та сервісів персоналізації. Висока точність таких систем є критично важливою, оскільки навіть незначні помилки можуть призвести до серйозних наслідків – від витоку конфіденційних даних до порушення безпеки.

Разом з тим, окрім точності, важливими характеристиками моделей є швидкодія та ефективне використання обчислювальних ресурсів. У реальних умовах системи мають обробляти великі обсяги даних у режимі реального часу, що вимагає оптимального балансу між продуктивністю та якістю. Тому порівняння моделей з точки зору швидкості обробки, споживання пам’яті та можливостей розгортання на різних апаратних платформах має практичну цінність.

Додатково, значним фактором є здатність моделей до донавчання на нових даних, оскільки реальні сценарії використання часто потребують адаптації до конкретних умов чи користувацьких наборів даних. Це дозволяє підвищити точність у спеціалізованих задачах і робить системи більш гнучкими.

Таким чином, актуальність роботи зумовлена потребою у виборі оптимальних архітектур для розпізнавання облич, які поєднують високу точність, швидкодію, ефективність використання ресурсів і можливість адаптації до нових умов.

Метою даного дослідження є порівняння ефективності сучасних архітектур нейронних мереж для розпізнавання облич, зокрема моделей VGG-Face, FaceNet та ArcFace, за різними критеріями: точністю класифікації, здатністю розрізняти обличчя різних людей (AUC), швидкістю обробки та використанням пам'яті.

Дослідження спрямоване на визначення оптимальної моделі для застосування у практичних задачах розпізнавання облич, таких як системи контролю доступу, відеоспостереження або мобільні додатки.

Для об'єктивного порівняння ефективності моделей розпізнавання облич VGG-Face, FaceNet та ArcFace було застосовано низку класифікаційних та ресурсних метрик. Оцінювання здійснювалося на підмножині набору даних LFW (Labeled Faces in the Wild), що містить фотографії осіб у різних умовах зйомки. Для аналізу було сформовано по 50 пар зображень (половина - позитивні пари, половина - негативні), після чого для кожної моделі виконувалося тестування з фіксацією результатів.

Основними метриками дослідження стали:

1. Accuracy (точність класифікації). Ця метрика відображає частку правильно класифікованих прикладів (позитивних і негативних пар). Вона обчислюється за формулою:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN'}$$

де TP - кількість правильно розпізнаних збігів, TN - правильно відхилені різні обличчя, FP - хибні збіги, FN - хибні відхилення. У реалізації метрика обчислювалась за допомогою функції accuracy_score() із бібліотеки scikit-learn.

2. ROC-крива та AUC (Area Under Curve). ROC-крива демонструє залежність між показниками True Positive Rate (TPR) та False Positive Rate (FPR) при зміні порогу прийняття рішення. Площа під ROC-кривою (AUC) відображає загальну здатність моделі розрізняти позитивні та негативні приклади незалежно від порогу. Чим ближче значення AUC до 1, тим якісніше модель виконує розпізнавання. У дослідженні побудову кривих виконано за допомогою функцій roc_curve() та roc_auc_score() з пакета scikit-learn.

3. Cosine Similarity / Distance. Оскільки сучасні архітектури моделей (зокрема FaceNet та ArcFace) виконують порівняння не за категоріями, а за відстанями у просторі ознак (embeddings), для оцінки схожості між двома зображеннями використовується метрика відстані. У бібліотеці DeepFace ця відстань позначається як distance (чим менше значення, тим вища схожість). Для побудови ROC-кривої у дослідженні застосовувався обернений показник:

$$scores = -distance$$

4. Середній час обробки пари (Average Processing Time). Під час тестування вимірювався середній час, необхідний моделі для обробки однієї пари зображень. Цей показник визначався як:

$$t_{avg} = \frac{\sum t_i}{N}$$

де t_{avg} - час обробки окремої пари, N - загальна кількість перевірок. Обчислення проводилось із використанням модуля time у Python. Даний параметр характеризує швидкодію моделі, що має особливе значення для реального застосування в системах відеоспостереження або мобільних пристроях.

5. Пікове споживання пам'яті (Peak Memory Usage). Для оцінки ефективності використання ресурсів проводився замір максимальної кількості оперативної пам'яті, яку споживала модель під час обробки однієї пари. Фіксація показників здійснювалась за допомогою бібліотеки tracemalloc.

Для порівняння ефективності нейронних мереж у задачі розпізнавання облич були обрані три моделі: VGG-Face, FaceNet та ArcFace.

VGG-Face – одна з перших глибоких нейронних мереж для розпізнавання облич, розроблена дослідниками Оксфордського університету. Модель базується на архітектурі VGG-16, що складається з 13 згорткових шарів та 3 повнозв'язних шарів. Вона була навчена на великому наборі зображень VGGFace, що містить понад 2,6 мільйона зображень 2 622 осіб. VGG-Face добре показує себе на стандартних наборах даних, таких як LFW, і відзначається стабільністю результатів та інтерпретованістю моделі[1, с. 5].

FaceNet, розроблений дослідниками Google, реалізує підхід learning embeddings: зображення облич перетворюються на 128-вимірні вектори у евклідовому просторі, а подібність між обличчями оцінюється за відстанню між цими векторами. FaceNet використовує triplet loss для навчання і досягає високої точності на LFW (близько 99,63%), при цьому забезпечує хорошу швидкість обробки та масштабованість Schroff et al., 2015 [2].

ArcFace – сучасна модель, яка застосовує Additive Angular Margin Loss для навчання більш дискретних та геометрично інтерпретованих ознак облич. Використання ResNet як базової архітектури дозволяє моделі досягати високої точності на різних наборах даних, включаючи LFW, YTF та CPLFW, та забезпечує стійкість до змін у позі, освітленні та виразі обличчя [3].

Табл.1. Результати експериментів

	VGG-Face	Facenet	ArcFace
Accuracy	0.92	0.87	0.92
AUC	0.98	0.94	0.95
Середній час на перевірку	0.3821 сек	1.0888 сек	0.4791 сек
Пікова пам'ять	1109.53 MB	144.15 MB	258.42 MB

Таким чином, всі три моделі застосовують глибокі згорткові мережі, але відрізняються підходом до навчання та представлення ознак: VGG-Face використовує класичну архітектуру VGG, FaceNet навчає embeddings за допомогою triplet loss, а ArcFace вводить кутову маржу для підвищення роздільної здатності простору ознак. Ці відмінності визначають їх продуктивність на різних задачах розпізнавання облич і роблять доцільним їх порівняння в експериментальному дослідженні (Табл. 1).

У результаті експериментального порівняння популярних моделей для розпізнавання облич — VGG-Face, FaceNet та ArcFace — було оцінено їхню точність, якість класифікації (AUC), середній час обробки зображень та використання оперативної пам’яті (Рис.1).

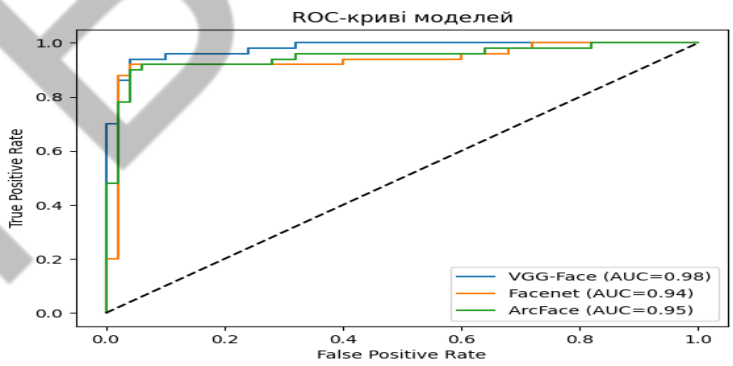


Рис. 1 - ROC-криві моделей.

Модель VGG-Face показала найвищу точність (0.92) та найбільшу площу під ROC-кривою (AUC = 0.98), що свідчить про її високу ефективність у задачах верифікації облич. Проте її середній час обробки (0.38 с) є більшим порівняно з ArcFace, а споживання пам’яті — значно вищим (понад 1 ГБ).

ArcFace продемонструвала баланс між точністю (0.92), AUC (0.95) та ефективністю обчислень, маючи відносно малий час перевірки (0.48 с) і помірне споживання пам’яті (≈258 МБ). Це підтверджує доцільність використання ArcFace у практичних застосуваннях, де важливими є швидкодія та масштабованість.

FaceNet забезпечила нижчі показники точності (0.87) та AUC (0.94) при найбільшому середньому часі обробки (понад 1 с), що вказує на її нижчу ефективність у порівнянні з двома іншими моделями в даному експериментальному середовищі.

Загалом, результати дослідження підтверджують, що VGG-Face залишається найточнішою моделлю для статичних наборів даних. Таким чином, ArcFace можна вважати найкращим вибором для систем розпізнавання облич у реальному часі.

Список використаної літератури

[1] Q. Cao, L. Shen, W. Xie, O. M. Parkhi, and A. Zisserman, "VGGFace2: A dataset for recognising faces across pose and age," arXiv preprint arXiv:1710.08092, 2017. doi: 10.48550/arXiv.1710.08092.

[2] F. Schroff, D. Kalenichenko, and J. Philbin, "FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering," in 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, USA, 2015, pp. 815-823. doi: 10.1109/CVPR.2015.7298682.

[3] J. Deng, J. Guo, J. Yang, N. Xue, I. Kotsia, and S. Zafeiriou, "ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 44, no. 10, pp. 5962-5979, 1 Oct. 2022. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3087709.

УДК 004.89:629.7.05

АЛГОРИТМИ, АРХІТЕКТУРА ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В АВТОНОМНИХ БОЙОВИХ СИСТЕМАХ

Семенишин Б.Т., Вовк Р.Б.
(bohdan.semenyshyn-ipm252@nung.edu.ua)
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)

У роботі розглянуто сучасні тенденції розвитку автономних бойових систем із використанням технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (ML) на прикладі застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у військових операціях. Особливу увагу приділено українському досвіду впровадження ШІ в бойові дрони, проаналізовано роль алгоритмів глибинного навчання, згорткових нейронних мереж (CNN), модифікованих архітектур типу YOLO, а також підходів навчання з підкріпленням у забезпеченні автономної навігації, виявленні та супроводженні цілей. Описано використання edge-комп'ютингу для обробки даних на борту, адаптивних контролерів типу MPPI у поєднанні з нейромережами, а також гібридних рішень для підвищення точності навігації. Наведено приклади використання ML у прогнозуванні траєкторій, ухваленні рішень у реальному часі та плануванні місій. Зазначено, що інтеграція ШІ-модулів у БПЛА не лише підвищує автономність і точність бойових дій, але й відкриває перспективи для мирного застосування – у сфері рятувальних операцій, медицини, агросекторі та логістиці.

Сучасні збройні конфлікти XXI століття дедалі більше залежать від застосування автономних та напівавтономних бойових систем, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Навіть на рівні координації роїв фронтових дронів все ширше використовуються елементи штучного інтелекту (ШІ), що забезпечують стабілізацію польоту, обробку відеопотоку й допомогу у наведенні ударів. Так, під час української операції «Павутина» було зафіксовано випадки використання рою FPV-дронів, які поєднували дистанційне керування людиною та бортові ШІ-модулі для стабілізації й наведення ударів [1].

Інновації на світовому й національному рівнях демонструють тісну інтеграцію методів машинного навчання з апаратною та програмною складовою дронів: від застосування глибинних нейронних мереж для розпізнавання цілей до створення комплексних автоматизованих систем наведення. Алгоритми машинного навчання впроваджуються у функції навігації, планування місії та прийняття тактичних рішень, що дозволяє підвищувати швидкість й точність реагування на бойові ситуації.

Бойові БПЛА продукують значні обсяги сенсорних даних, які використовуються як навчальні набори для ШІ. Наприклад, волонтерська система «ОСНІ» зібрала понад 2 млн годин відео з фронту у період 2022–2024 рр., що становить великий масив бойових даних (Big Data) для навчання моделей ідентифікації цілей та оцінки ефективності засобів ураження. Аналогічно, державні ініціативи, зокрема система «Месники», централізують відеопотоки з дронів і камер спостереження; за офіційними твердженнями, цей комплекс застосовує інструменти ідентифікації на основі ШІ для виявлення великої кількості платформ противника щотижнево, хоча детальна інформація про архітектуру системи частково залишається закритою для публіки [2].

У сучасних системах БПЛА застосовується широкий спектр алгоритмів машинного навчання. Для обробки відеопотоків у режимі реального часу використовуються згорткові нейронні мережі (CNN), адаптовані архітектури типу YOLO, MobileNet-SSD, а також посилені багаторівневими фічами (наприклад PAFPN та інші модулі), що підвищує чутливість до малих або частково перекритих об’єктів на аерознімках [3]. Такі модифікації дозволяють підвищити ймовірність коректного виявлення техніки та особового складу противника з висоти, забезпечуючи здатність БПЛА автоматично відстежувати рухомі цілі й надавати оператору або здійснювати автономне наведення з високою точністю.

Для прогнозування руху цілей і побудови траєкторій перехоплення застосовуються моделі машинного навчання, що оцінюють параметри руху та генерують оптимальні маршрути. У випадках реагування на реактивні ворожі апарати використовують поєднання прогнозних алгоритмів траєкторій та евристичних планувальників, які адаптуються в реальному часі, що дозволяє зменшити час реакції й підвищити ймовірність нейтралізації загрози. Сучасні автопілоти та системи підтримки польоту вже здатні динамічно коригувати маршрут з урахуванням оперативних змін у бойовому середовищі (приклади – дослідницькі та комерційні рішення, включно з проєктами типу DARPA ALIAS).

Методи навчання з підкріпленням досліджуються як інструмент для автономної стабілізації польоту та ухвалення складних тактичних рішень під час маневрування. Хоча їх практичне впровадження в бойових безпілотниках все ще перебуває на стадії розробки, ці підходи дозволяють агентам навчатися оптимальній поведінці у взаємодії з середовищем (наприклад, уникнення засобів ППО чи реагування на електронні контрзаходи), що є перспективним напрямком підвищення автономності платформ.

Інтегровані системи підтримки ухвалення рішень, оснащені AI-модулями, дають змогу БПЛА автономно реагувати на динаміку обстановки. У рамках операції «Павутина» спостережувальний ШІ виступав як «другий пілот», аналізуючи зображення та вказуючи оптимальні точки ураження; водночас остаточне рішення щодо застосування вогню, зазвичай, залишалося за людиною-оператором, балансуючи між автономією та контролем людини [1].

Практична реалізація бортових ШІ значною мірою покладається на архітектуру edge-комп’ютингу: легкі та оптимізовані моделі (TensorFlow Lite, TinyML) виконуються безпосередньо на апаратних платформах обмежених ресурсів (Raspberry Pi, Jetson Nano та ін.), забезпечуючи швидку локальну обробку сенсорних даних і можливість автономного прийняття рішень у реальному часі. Такий підхід дозволяє аналізувати кадри під час польоту, ухилятися від перешкод та коригувати місію без необхідності передавати дані на наземні центри обробки.

У мобільних та малогабаритних платформах, що широко застосовуються в Україні (зокрема FPV-дрони з модульною конструкцією), досягається багатофункціональність шляхом заміни платформи та датчиків: один апарат може виконувати ролі ударного БПЛА, «камікадзе», ретранслятора зв’язку чи станції РЕБ. Інтегровані захищені модулі з бортовим ПЗ ШІ забезпечують сприйняття довкілля, автономне планування та розпізнавання цілей. За рахунок цього автономна навігація й автоматичне виявлення цілей (ATR) підвищують ефективність уражень; за оприлюдненими оцінками, ймовірність влучення може зростати до 70–80 % при застосуванні автономних алгоритмів у порівнянні з ручним керуванням. Водночас повна автономність у прийнятті ключових рішень наразі не досягнута: вибір цілей у більшості випадків залишається під контролем людини. Українські розробки, як правило, орієнтовані на легкі моделі ШІ з невеликими наборами даних для швидкої адаптації алгоритмів до мінливих умов фронту [4].

Щодо навігації, використовуються як класичні алгоритми пошуку шляху (A*, RRT та ін.), так і підходи на основі машинного навчання. Емпіричні дослідження показали, що поєднання візуальної навігації з монокулярної камери, оцінки глибини та алгоритму A* дозволяє ефективно

генерувати траєкторії з обходом перешкод; відповідні моделі формують карту оточення і використовують її для планування маршруту [5]. Альтернативно, підхід навчання з підкріпленням, де агент отримує винагороду за прогрес до мети та штрафи за зіткнення, показав успішні результати у симуляційних експериментах із використанням середовищ OpenAI Gym і PyBullet, де алгоритми типу A2C, PPO, SAC, DDPG, TD3 виявилися ефективними для маневрування та безпечної посадки в середовищі з перешкодами [6]. Водночас вибір конкретного алгоритму залежить від специфіки задачі, проєктування функції винагороди та точності моделі середовища.

Гібридні схеми управління, що поєднують методи підкріплення з класичними контролерами, демонструють додаткові переваги. Наведений підхід, що інтегрує Model Predictive Path Integral (MPPI) контролер та багатошарову персептронну мережу (MLP), де MLP апроксимує динаміку платформи й передає цю інформацію MPC-контролеру, дозволяє зменшувати відхилення від траєкторії – за експериментальними даними зниження помилок спостерігалося порівняно з традиційними реалізаціями MPPI та іншими конфігураціями контролерів. Такі підходи особливо цінні в умовах нестабільності (змінні вітри, навантаження), коли адаптивність контролера критично важлива.

Планування місії також посилюється за рахунок ML-рішень: моделі прогнозування руху цілей, аналіз рельєфу та розрахунок безпечних маршрутів. Зокрема, гібридні рішення, що поєднують методи кластеризації (наприклад K-Means) із глибокими регресійними мережами (DL-KMA), дозволяють точніше оцінювати висоту без залучення дорогих сенсорів (LiDAR), знижуючи середньоквадратичну помилку оцінки порівняно з традиційними методами і підвищуючи надійність навігації легких дронів [7].

Хоча значна частина розробок має військове спрямування, принципи інтеграції ШІ з БПЛА знаходять застосування й у цивільних задачах: пошуково-рятувальні операції, моніторинг, медицина, агросектор та логістика. За даними виробників, дрони (оптичні та тепловізійні) вже сприяли порятунку значної кількості людей у екстремальних умовах; українські платформи також використовувалися для пошуку поранених під час бойових дій та у водних просторах у рамках окремих спеціальних операцій.

Підсумовуючи, сучасні дослідження та практичні реалізації підтверджують, що поєднання методів машинного навчання з автоматизацією суттєво підвищує інтелектуальні можливості БПЛА, їхню ефективність та автономність. Водночас для досягнення стійких операційних результатів необхідні ретельне тестування й донавчання моделей в польових умовах, удосконалення засобів захисту інформації, а також систематичний збір і обробка великих обсягів даних. Подальший розвиток технологій передбачає поглиблення інтеграції БПЛА з комплексними інформаційними системами (C4ISR), широке впровадження прогнозних алгоритмів та підвищення стійкості до засобів електронної боротьби – напрями, що мають стратегічне значення для України та її союзників у контексті збереження переваги у безпілотних операціях.

Список використаної літератури:

[1] М. Бровінська, "Операція «Павутина» від СБУ: як це працює з технічного погляду, яку роль відігравали AI-алгоритми, і чому цей кейс важливий для IT-спільноти", Dev.ua, 6 серпня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://dev.ua/news/pavutyna-1754427944. [Дата доступу: 20.10.2025].

[2] M. Hunder, "Ukraine collects vast war data trove to train AI models", Reuters, 20 грудня 2024. [Онлайн]. Доступно: https://www.reuters.com/technology/ukraine-collects-vast-war-data-trove-train-ai-models-2024-12-20. [Дата доступу: 20.10.2025].

[3] Z. Zhang, "Drone-YOLO: An Efficient Neural Network Method for Target Detection in Drone Images", Drones, vol. 7, no. 8, p. 526, 2023. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.3390/drones7080526. [Дата доступу: 20.10.2025].

[4] K. Bondar, "Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare", CSIS, 6 березня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare. [Дата доступу: 20.10.2025].

[5] J. Gaigalas, L. Perkauskas, H. Gricius, T. Kanapickas, and A. Kriščiūnas, "A Framework for Autonomous UAV Navigation Based on Monocular Depth Estimation", Drones, vol. 9, no. 4, p. 236, 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.3390/drones9040236. [Дата доступу: 20.10.2025].

[6] T. Czarnecki, M. Stawowy, and A. Kadłubowski, "Cost-Effective Autonomous Drone Navigation Using Reinforcement Learning: Simulation and Real-World Validation", Appl. Sci., vol. 15, no. 1, p. 179, 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.3390/app15010179. [Дата доступу: 20.10.2025].
[7] P. Piyakawanich and P. Phasukkit, "An AI-Based Deep Learning with K-Mean Approach for Enhancing Altitude Estimation Accuracy in Unmanned Aerial Vehicles", Drones, vol. 8, no. 12, p. 718, 2024. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.3390/drones8120718. [Дата доступу: 20.10.2025].

УДК 004.8:519.876.5

МЕТОДИ САМООРГАНІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ СИСТЕМ У ЗАДАЧАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Симоненко О. В. (morden2k@gmail.com)
Інститут програмних систем Національної академії наук України (Україна)

У роботі розглянуто проблему побудови нейронних систем, здатних працювати в режимі реального часу за умов змінного середовища та зсуву розподілу даних. Показано, що класичні штучні нейронні мережі, навчені один раз і зафіксовані у своїй архітектурі, не забезпечують належної стійкості в потокових задачах. Запропоновано модель самоорганізації, у якій нейромережа розглядається як адаптивна система з замкненим контуром керування: стан середовища оцінюється безперервно, похибка рішень та показники нестабільності аналізуються в реальному часі, після чого мережа змінює власну структуру й параметри. Наведено узагальнену схему адаптаційного циклу та визначено ключові метрики ефективності (точність, стабільність, затримка, обчислювальні витрати). Імітаційне моделювання показало, що самоорганізовна модель скорочує час відновлення адекватної якості рішення після різкої зміни даних приблизно у 3–4 рази порівняно зі статичною мережею, при помірному зростанні обчислювальних витрат. Запропонований підхід може бути використаний у потоковій аналітиці, автономних системах керування та системах оперативного виявлення аномалій.

Постановка проблеми. У сучасних інтелектуальних системах, які функціонують у середовищах із високою динамікою змін — кіберфізичних системах, автономних платформах, інтернеті речей (IoT) чи потоковій аналітиці — ключовою проблемою є необхідність обробки даних у реальному часі при нестаціонарних умовах. Класичні штучні нейронні мережі (ШНМ) виявляють низьку здатність до адаптації після навчання: вони потребують повторного тренування при зміні розподілу вхідних даних, що є неприйнятним у потокових або критично швидкодіючих системах. Проблема полягає у створенні методів самоорганізації нейронних структур, здатних до автономного оновлення архітектури, вагових коефіцієнтів і функцій активації без зовнішнього втручання. Такі методи мають забезпечувати баланс між швидкістю адаптації, стабільністю і точністю в умовах неповних або шумових даних.

Метою дослідження є розроблення методів самоорганізації нейронних систем, що забезпечують адаптивне функціонування моделей у режимі реального часу шляхом еволюційного перебудовування архітектури, вагових параметрів і механізмів навчання на основі потокових даних.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати існуючі підходи до побудови самоорганізовних нейронних систем (Self-Organizing Maps, Growing Neural Gas, NEAT, ELM) та визначити їхні обмеження у контексті обробки даних у реальному часі.
2. Формалізувати модель самоорганізації, що описує процес динамічного додавання, видалення або злиття нейронів залежно від статистичних характеристик вхідного потоку.
3. Розробити алгоритм адаптивного оновлення параметрів нейромережі із використанням метрик зміни середовища (наприклад, темп оновлення даних, ентропія, похибка прогнозу).
4. Запропонувати критерії ефективності самоорганізації — швидкість адаптації, стабільність прогнозу, середня похибка та обчислювальні витрати.

5. Провести експериментальне моделювання розроблених методів на прикладах потокових задач класифікації, прогнозування або керування, що потребують обробки даних у реальному часі.

Суть дослідження. Самоорганізовні нейронні системи як клас включають кілька усталених підходів.

- Карти, що самоорганізуються (Self-Organizing Maps, SOM, Кохонен) будують топологічно впорядковане відображення багатовимірних даних на низьковимірну сітку шляхом локальної адаптації ваг під час надходження нових прикладів. SOM добре відображають структуру простору ознак, але не змінюють кардинально власну архітектуру після ініціалізації сітки, що обмежує їх придатність у сценаріях, де з'являються принципово нові стани системи [1].
- Мережі, що ростуть (Growing Neural Gas, Growing SOM та споріднені підходи) можуть динамічно додавати або видаляти вузли та ребра. Вони краще пристосовані до змін статистики потоку даних, але їх стійкість залежить від вибору порогів «додавання»/«видалення» нейронів. Некоректні пороги можуть призвести до «вибуху» кількості вузлів або, навпаки, до втрати різноманіття представлення сигналу [1].
- Нейроеволюційні методи (наприклад, NeuroEvolution of Augmenting Topologies, NEAT) застосовують еволюційні алгоритми для одночасної оптимізації структури і ваг мережі. Вони здатні знаходити ефективні нестандартні архітектури під конкретні умови середовища, зокрема в задачах керування агентами в режимі реального часу [2]. Обмеженням є висока обчислювальна вартість пошуку, особливо коли рішення повинно оновлюватись онлайн.
- Безперервне навчання (continual learning) і методи боротьби з «катастрофічним забуванням» спрямовані на збереження попередньо набутого знання при адаптації до нових даних. Ці методи дозволяють утримувати історичні патерни, але часто працюють у батчевому режимі, а значить — вимагають мікропакетів даних, буферизації та спеціальних стратегій регуляризації [3; 4].

Загальна слабка ланка перерахованих підходів полягає в тому, що більшість із них або не гарантує стабільності при швидких змінах потоку (онлайн-режим), або вимагає значних ресурсів для реоптимізації архітектури. Це критично для реального часу, коли рішення має формуватися за мілісекунди–секунди, а не за хвилини.

Розглянемо ситуаційна модель стану середовища та мережі. Щоб надати нейромережі механізм самоорганізації, необхідно формалізувати:

- стан середовища у поточний момент часу t;
- поточну архітектуру й параметри мережі;
- правило, за яким приймається рішення про перебудову мережі.

Уведемо вектор стану середовища:

$$X_t = \langle d_t, \sigma_t, e_t \rangle,$$

де d_t — поточний фрагмент вхідних даних (ознаковий вектор потоку);

σ_t — оцінка нестабільності/зсуву розподілу (наприклад, зміна статистики за останнє вікно часу);

e_t — миттєва похибка моделі (наприклад, різниця між прогнозом і фактичним значенням).

Поточний стан мережі описується через параметри Θ_t (ваги, топологія, активні зв'язки, кількість нейронів у прихованих шарах). Таким чином, самоорганізація — це кероване перетворення $\Theta_t \rightarrow \Theta_{t+1}$ залежно від X_t.

На практиці це означає: якщо σ_t різко зростає (середовище змінилося), а e_t перевищує припустиме значення, система має право:

- додати новий нейрон чи підмережу для відображення нового патерну;
- підсилити (перевагова вага) ті шляхи обчислення, що показують нижчу похибку;
- приглушити або відключити малокорисні вузли.

Цей процес ілюструється узагальненою схемою адаптаційного циклу (рис. 1).

Схема показує замкнутий цикл: система не просто «прогнозує», а й постійно оцінює власний стан та якість роботи, а потім адаптує себе. Це наближає нейронну обробку до принципів адаптивного керування, де об'єкт керування і регулятор співіснують всередині однієї архітектури.

Розглянемо адаптивне оновлення архітектури. На рівні алгоритму пропонується така логіка:

Крок 1. Оцінка відхилення. Якщо похибка $e_t < \varepsilon$ та σ_t низька — поточна архітектура вважається стабільною, зміни не потрібні.

НТБОНТУ

Крок 2. Локальна адаптація. Якщо e_t зростає, але зміни локальні (стосуються обмеженої підмножини ознак), допускається оновлення ваг без зміни структури (градієнтний донавчальний крок, як у continual learning [3; 4]).

Крок 3. Структурна адаптація. Якщо e_t висока і σ_t вказує на появу нового режиму середовища, викликається оператор структурування: додавання нового вузла/шару/гілки обчислення. Логіка подібна до підходів нейроеволюції (NEAT), але в спрощеному онлайн-форматі: додається не «будь-що», а модуль, локально пристосований до аномального фрагмента потоку [2].

Крок 4. Придушення надлишкового. Якщо деякі гілки мережі систематично не вносять внеску в зменшення похибки, вони позначаються як «низькокорисні» і з часом відключаються — щоб обмежити ріст обчислювальної складності.

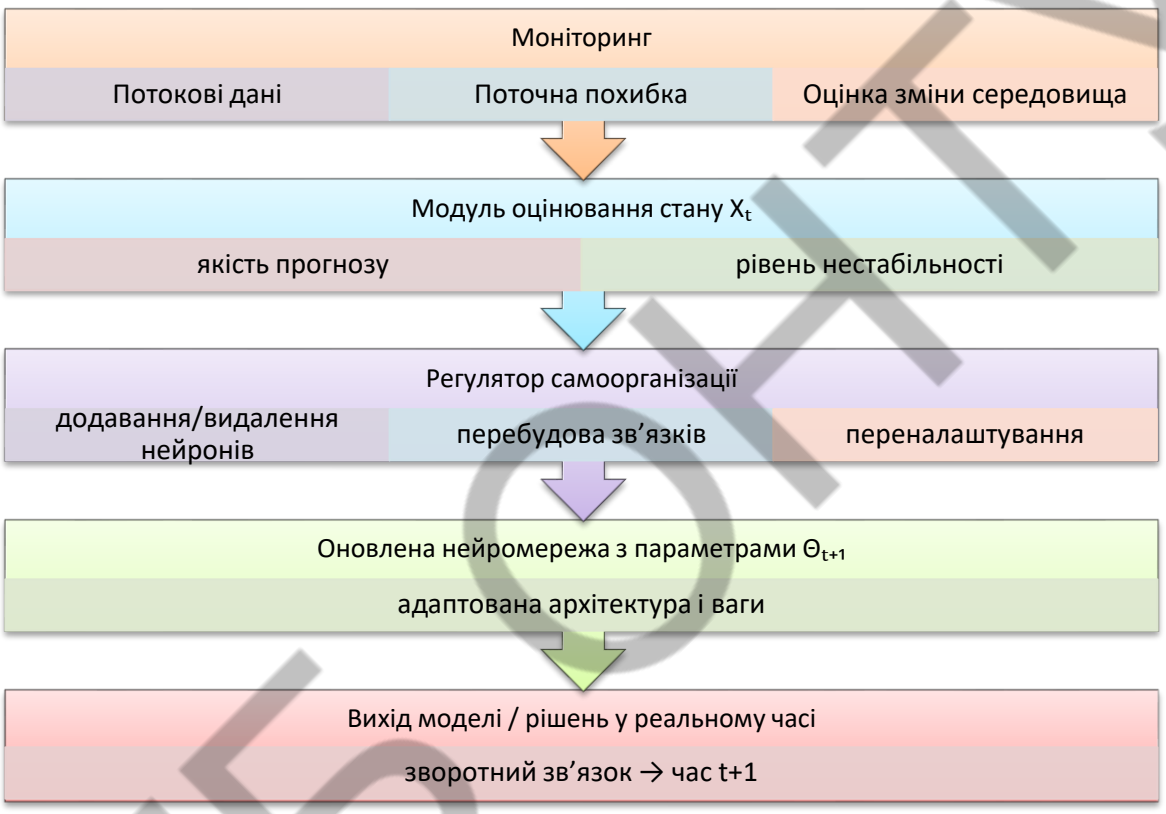


Рисунок 1 - Узагальнена схема самоорганізації нейронної системи в реальному часі

Ключова ідея тут — не дати моделі або «розпухнути» (занадто багато нових вузлів), або «застигнути» (ігнорувати нові стани середовища). Самоорганізація стає регульованою, а не хаотичною.

Для оцінки працездатності пропонованого підходу вводяться чотири групи метрик:

- якість розпізнавання / прогнозу (середня похибка, точність класифікації, F1-score);
- стабільність у часі (як швидко модель відновлює прийнятну точність після виникнення нового режиму даних);
- затримка прийняття рішення (latency обробки одного пакету вхідних даних);
- обчислювальні витрати (кількість активних нейронів / операцій на крок).

Ілюстративні результати імітаційного експерименту наведено в таблиці 1. Умовно порівнювалися:

– базова фіксована модель (статична мережа без структурних змін);
– запропонована самоорганізовна модель.

Кількість активних нейронних вузлів фіксована динамічна (+12 % після зсуву)

Отримані результати свідчать: самоорганізація дозволяє швидше адаптуватися до нових режимів даних (скорочення часу відновлення точності майже вчетверо) за рахунок невеликого

зростання обчислювальних витрат і збільшення латентності обробки на кілька мілісекунд. Такий компроміс є прийнятним для більшості задач оперативного аналізу, де критично важливо зберегти адекватність рішень у нових умовах (наприклад, виявлення аномалій у телеметрії або ситуаційне керування безпілотними платформами).

Таблиця 1 Порівняння статичної та самоорганізовної моделі в умовах зсуву концепції

Показник	Статична модель	Самоорганізовна модель
Середня похибка після зсуву даних	0,21	0,14
Час відновлення прийнятної точності	~120 с	~35 с
Середня затримка обробки пакета	12 мс	16 мс

Висновки.

У дослідженні запропоновано підхід до побудови самоорганізовних нейронних систем, що працюють у реальному часі та здатні адаптувати як параметри, так і структуру моделі внаслідок змін статистики вхідних потоків. Показано, що інтеграція механізмів оцінки стану середовища, регулятора самоорганізації та модуля оновлення архітектури дозволяє уникнути як катастрофічного забування, так і «замороженої» моделі, яка деградує під час зміни умов. У порівнянні зі статичними ШНМ запропонована система забезпечує швидше відновлення точності після зсуву концепції та підтримку релевантності прийнятих рішень без повної зупинки процесу. Це створює підґрунтя для впровадження таких моделей у критично важливі застосування _ від кібербезпеки та моніторингу до автономних агентів і інтелектуального керування потоками даних.

Список використаної літератури

[1] Kohonen T. Self-Organizing Maps. 3rd ed. Berlin : Springer, 2001. 501 p.

[2] Stanley K. O., Miikkulainen R. Evolving Neural Networks Through Augmenting Topologies. Evolutionary Computation. 2002. Vol. 10, No. 2. P. 99–127.

[3] Gama J., Žliobaitė I., Bifet A., Pechenizkiy M., Bouchachia A. A Survey on Concept Drift Adaptation. ACM Computing Surveys. 2014. Vol. 46, No. 4. Article 44. 37 p.

[4] Parisi G. I., Kemker R., Part J. L., Kanan C., Wermter S. Continual Lifelong Learning with Neural Networks: A Review. Neural Networks. 2019. Vol. 113. P. 54–71.

УДК 004.8

ЗАСТОСУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ LEARNLM В МОДЕЛЯХ GEMINI ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ситник Л.Г. (l.sitnik@snau.edu.ua)
Сумський національний аграрний університет (Україна)

Розглянуто моделі Gemini з можливостями LearnLM, засновані на принципах науки про навчання, що пропонують педагогічно обґрунтований підхід до створення адаптивних, інтерактивних та інклюзивних освітніх інструментів. Дослідження розкриває потенціал цієї технології для автоматизації завдань педагогів та створення персоналізованого навчального досвіду для кожного здобувача освіти, перетворюючи штучний інтелект (ШІ) на ефективного асистента в освітньому процесі.

Незважаючи на десятиліття цифрових інновацій в освіті, фундаментальні проблеми, такі як низька залученість здобувачів освіти та професійне вигорання педагогів, залишаються системно невирішеними. Однак поява генеративного штучного інтелекту, побудованого на наукових засадах навчання, створює унікальний прецедент для їх системного вирішення.

Постановка проблеми. Аналіз поточного стану розвитку виявляє п'ять основних перешкод:

НТБОНТУ

1. Недостатня залученість та мотивація студентів: здобувачі освіти відчувають брак залученості до освітнього процесу. Часто це пов'язано з тим, що вони не бачать зв'язку між академічними темами та реальним життям, а також відчувають обмежений контроль над власним освітнім шляхом.

2. Потреба в персоналізованому та адаптивному навчанні: викладачі прагнуть використовувати підходи, що базуються на даних, для адаптації освітнього процесу до індивідуальних потреб кожного здобувача освіти. Однак на практиці поєднання персоналізованих траєкторій із загальнообов'язковими освітніми стандартами є складним завданням.

3. Питання доступності та інклюзивності: освітній процес може бути неефективним, коли контент не адаптований до різноманітних потреб здобувачів освіти. Це особливо актуально для багатомовних студентів та здобувачів освіти з різними стилями навчання, для яких стандартні матеріали можуть стати бар'єром на шляху до знань.

4. Використання навчальних даних: сучасні освітні технології генерують величезні обсяги даних про успішність та взаємодію студентів з матеріалом. Парадоксально, але ця інформація не завжди трансформується в дієві освітні стратегії та практичні рішення, які могли б покращити результати навчання.

5. Зростання професійного вигорання педагогів: надмірне навантаження залишається однією з головних проблем освітньої сфери. Більшість педагогів вказують на потребу у більш збалансованому робочому графіку. Існуючі технологічні рішення не завжди допомагають зменшити навантаження, а іноді навіть ускладнюють його.

Для ефективного вирішення цих системних проблем необхідний пошук та аналіз інноваційних інструментів, здатних запропонувати масштабовані та педагогічно обґрунтовані рішення.

Мета дослідження. Аналіз можливостей сімейства моделей LearnLM, інтегрованих у платформу Gemini, як інструменту для вирішення визначених освітніх проблем. Дослідження фокусується на тому, як цей технологічний підхід, що базується на науці про навчання, дозволяє розробникам та освітянам створювати педагогічно обґрунтовані, персоналізовані, інклюзивні та масштабовані навчальні рішення, здатні підвищити залученість здобувачів освіти та оптимізувати роботу педагогів.

Виклад основного матеріалу дослідження. LearnLM - це сімейство моделей штучного інтелекту від Google, спеціально оптимізованих для освітніх завдань. Їхньою ключовою відмінністю є те, що вони розроблені на основі фундаментальних принципів науки про навчання (learning science). Це дозволяє моделям Gemini, в які інтегровано LearnLM, не просто надавати відповіді, а й стимулювати пізнавальність, керувати когнітивним навантаженням та заохочувати активну участь у освітньому процесі.

В основі LearnLM лежать п'ять ключових принципів:

Принцип 1. Надихання на активне навчання. Активне навчання вирішує ключову проблему пасивного засвоєння інформації. Замість того, щоб просто слухати чи читати, студент стаєте активним творцем власного знання, застосовуючи концепції. Gemini заохочує такий підхід, створюючи простір для продуктивної роботи над завданнями та надаючи своєчасну підтримку.

Приклад: студент розв'язуєте задачу з фізики і з’являються труднощі. Замість прямої відповіді, Gemini ставить навідне запитання: "Яка основна формула пов'язує силу та прискорення? Спробуймо застосувати її до цього випадку". Це спонукає студента до самостійного пошуку рішення, а не пасивного отримання результату.

Принцип 2. Керування когнітивним навантаженням. Керування когнітивним навантаженням ґрунтується на науковому факті, що робоча пам'ять обмежена. Gemini використовує цей принцип, щоб уникнути інформаційного перевантаження, розбиваючи складні ідеї на керовані, логічно пов'язані частини. Це допомагає вам зосередитися на суті матеріалу і глибше його зрозуміти.

Приклад: при використанні "Пошук Google" (Google Search) є можливість засобами Gemini спростити мову в "Оглядах ШІ" (AI Overviews) або розбити складну відповідь на покрокові інструкції. Це робить навіть найскладніші концепції доступними та зрозумілими.

Принцип 3. Адаптація до учня. Адаптивне навчання означає, що освітній досвід персоналізується відповідно до потреб користувача. Gemini може реагувати на відповіді користувача, підлаштовуючи складність матеріалу, тон спілкування та спосіб подачі інформації,

створюючи індивідуальну траєкторію навчання, яка є найбільш ефективною для конкретного студента.

Приклад: Gemini може функціонувати як "адаптивний генератор вікторин". Якщо відповідь правильнаа, складність зростає. Якщо ж помилкова, Gemini не просто вказує на помилку, а пропонує підказку або спрощує запитання, щоб допомогти користувачу дійти до правильної відповіді самостійно.

Принцип 4. Стимулювання допитливості. Справжнє навчання починається з зацікавленості. Gemini створений, щоб підвищувати мотивацію, ставлячи відкриті запитання, пропонуючи несподівані зв'язки між темами та наводячи приклади з реального життя. Це допомагає побачити актуальність того, що вивчається, і заохочує досліджувати далі.

Таблиця 1. Фреймворк PARTS

Елемент	**Значення та важливість**
P: Persona (Роль)	Визначення ролі (наприклад, "тьютор з математики", "тренер з критичного мислення", "дизайнер навчальних програм") задає тон, рівень експертизи та стиль комунікації Gemini. Це дозволяє моделі діяти як справжній освітній фахівець.
A: Act (Дія)	Використання чітких дієслів ("створи", "перепиши", "проаналізуй", "поясни") гарантує, що модель виконає конкретне завдання. Це ключ до отримання прогнозованих результатів.
R: Recipient (Аудиторія)	Вказівка на цільову аудиторію ("студенти 1 курсу", "викладачі", "батьки") дозволяє Gemini адаптувати складність лексики, глибину пояснень та стиль подачі контенту відповідно до потреб отримувача.
T: Theme (Тема)	Надання чіткого контексту ("структура ДНК", "соціально-емоційне навчання") фокусує модель на конкретній предметній області та забезпечує релевантність згенерованого контенту.
S: Structure (Структура)	Зазначення бажаного формату виводу ("план уроку за моделлю", "рубрика для оцінювання", "список запитань") гарантує, що результат буде представлений у практично корисному та структурованому вигляді.

Приклад: під час перегляду навчального відео на YouTube ви можете "підняти руку" і поставити Gemini запитання про те, що є цікавим. Це дозволяє миттєво заглибитися в тему, не перериваючи основного процесу навчання, і дослідити її глибше.

Принцип 5. Поглиблення метапізнання. Метапізнання - це, по суті, "мислення про власне мислення". Gemini допомагає розвивати цей важливий навик, спонукаючи до роздумів користувачів над тим, як отримати правильну відповідь. Це заохочує аналізувати власні стратегії розв'язання проблем, виявляти помилки у міркуваннях та краще розуміти індивідуальну траєкторію навчання.

Приклад: якщо Gemini працює у ролі "тренера з математичного дискурсу", то по завершенню розв'язання задачі він може запитати: "Чи правильний підхід. Чи були інші шляхи для розв'язання цієї задачі? " Це допомагає нам зрозуміти хід думок і закріпити знання.

Ці п'ять принципів не працюють ізольовано. Вони взаємопов'язані та разом створюють цілісний, підтримуючий та ефективний навчальний досвід.

Сукупно ці принципи зміщують фокус ШІ з простої генерації відповідей на моделювання процесу мислення та навчання, перетворюючи його на співрозмовника. Незалежні оцінки підтвердили ефективність цього підходу: експерти з педагогіки віддали перевагу LearnLM у порівнянні з GPT-4o та Claude 3.7 за якістю навчальних інструкцій.

Однак реалізація цього педагогічного потенціалу залежить не від самої моделі, а від здатності педагога чітко сформулювати освітнє завдання через структуровані запити, що робить інженерію промптів ключовою компетенцією.

Щоб повною мірою розкрити педагогічний потенціал LearnLM у Gemini, недостатньо ставити загальні питання. Необхідно створювати структуровані запити (промпти), які чітко визначають очікувану поведінку моделі. Для цього був розроблений простий та ефективний фреймворк PARTS (табл. 1).

Такий підхід дозволяє перетворити Gemini на гнучкий інструмент для створення найрізноманітніших освітніх продуктів та матеріалів.

Висновки.

Штучний інтелект, подібний до Gemini з можливостями LearnLM, має потенціал кардинально змінити майбутнє освіти. Він може стати тим самим інструментом, що реалізує давню мету освітніх технологів: надати персонального репетитора для кожного учня та ефективного асистента для кожного вчителя, роблячи якісну освіту більш доступною та ефективною для всіх. Завдяки інтеграції можливостей LearnLM, Gemini - це не просто генератор відповідей, а продуманий освітній інструмент, створений на основі перевірених наукових методів, який адаптується, спрямовує та навчає. Тепер кожен користувач може мати доступ до персонального помічника у навчанні, який допоможе досліджувати світ, розуміти складні концепції та досягати нових освітніх вершин.

Список використаної літератури

1. Gemini 2.5: the leading model for learning. LearnLM in Gemini. URL: https://services.google.com/fh/files/misc/learnlm_prompt_guide.pdf.

УДК 004.8:623.495:355.4

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З АВТОНОМНИМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ГУМАНІТАРНОМУ РОЗМІНУВАННІ

Скорлупін О. В., Подорожняк А. О.
(oleksandr.skorlupin@cit.khpi.edu.ua,
andrii.podorozhniak@khpi.edu.ua)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"(Україна)

В тезах розглянуто інтеграцію штучного інтелекту з автономними системами в гуманітарному розмінуванні. Проаналізовано роль мультимодальних сенсорних мереж, глибокого навчання та федеративних підходів у підвищенні точності виявлення вибухових пристроїв. Підкреслено важливість принципу "людина в контурі управління", етичних стандартів, пояснюваності алгоритмів та захисту даних для безпечного і гуманного впровадження ШІ-технологій у системи гуманітарного розмінування.

Подальший розвиток у сфері виявлення вибухових пристроїв неминуче залежить від органічного злиття систем комп'ютерного зору з розгалуженими сенсорними мережами та високоінтелектуальними механізмами управління. Самі лише візуальні дані, навіть якщо вони походять від найпередовіших RGB-камер, є недостатніми, особливо в умовах, коли мета пошуку частково прихована, або повністю заглиблена під ґрунтовим шаром [1, 2].

Незважаючи на бурхливий поступ автономних технологій, фінальне слово у сфері гуманітарного розмінування все ще належить людині. Важливо наголосити – система не замінює кваліфікованого фахівця, а слугує інструментом для розширення його можливостей, забезпечуючи безпечніші та результативніші дії.

Метою проведеного дослідження є аналіз шляхів подальшого розвитку автономних систем у гуманітарному розмінування, включаючи особливості співпраці між людиною-оператором і

штучним інтелектом (ШІ), та етичні і безпекові аспекти впровадження систем штучного інтелекту у галузі гуманітарного розмінування.

Наступний логічний крок розвитку сучасних автономних систем у гуманітарному розмінуванні полягає в агрегації інформації з кількох незалежних сенсорних джерел. До них належать засоби мультиспектральної зйомки, тепловізійні прилади, магнітометри, лідарні установки та радари, що застосовуються для підповерхневого зондування [3, 4]. Такий багатосенсорний синтез є основою для формування єдиного інтелектуального інформаційного простору в якому алгоритми глибокого навчання (deep learning) отримують значно повніше й достовірніше відображення середовища [5]. Це надасть моделям штучного інтелекту наступного покоління здатність не лише ідентифікувати об'єкти за їхніми зовнішніми атрибутами, але й формувати висновки щодо їхньої внутрішньої структури, теплового і магнітного профілю та точного просторового розміщення.

Сучасні дослідження в площині "мультимодальної інтеграції" (multimodal fusion) підтверджують, що комбінування різнорідних даних (візуальна інформація, спектральні підписи, теплові карти, географічні координати) забезпечує зростання точності виявлення на рівні 10–15%. При цьому обчислювальні витрати збільшуються незначною мірою. Цей прогрес відкриває шлях до створення високоавтономних "розумних" дронів, здатних самостійно прокладати оптимальні траєкторії руху, миттєво інтерпретувати зібрані відомості та приймати необхідні рішення без постійного втручання або зв'язку з оператором [6].

Одним із ключових напрямків подальшого вдосконалення є імплементація федеративного навчання (federated learning) [7]. Ця методологія надасть змогу системам навчатися безпосередньо на даних, зібраних у польових умовах, без необхідності їхнього перевантаження на централізовані сервери. Як наслідок, підвищиться конфіденційність інформації, зменшиться залежність від стабільності інтернет-з'єднання, а сама система стане значно адаптивнішою до специфічних умов конкретного регіону.

Отже, розбудова мережі взаємодіючих автономних комплексів зробить можливою координацію дій кількох безпілотних апаратів. Вони зможуть колективно виконувати місії з розмінування, обмінюючись критично важливою інформацією в реальному часі. Цей підхід є предметом інтенсивного вивчення в межах європейських програм, таких як HORIZON, і він має потенціал стати фундаментом для розгортання в Україні комплексної національної системи моніторингу та оцінки мінної небезпеки.

Ми розглядаємо не "цілковиту автоматизацію без оператора", а модель співпраці між людиною та штучним інтелектом. Оператор виконує роль центрального елементу прийняття рішень: він контролює роботу кількох безпілотників, аналізує висновки нейронної мережі та формує остаточне судження щодо подальших кроків. Цей підхід, відомий як “Human-in-the-loop AI” (ШІ з людиною в контурі управління), дає можливість зберегти людський контроль, водночас мінімізуючи ймовірність помилок, спричинених людським фактором [8].

Систему слід будувати таким чином, щоб забезпечити повну довіру оператора. Це вимагає розробки таких інтерфейсів, які не просто відображають координати та зображення об'єктів, а й надають повне пояснення логіки, якою користувався алгоритм для прийняття конкретного рішення. Критично важливим тут є розвиток напряму “Explainable AI”, або “Пояснювального штучного інтелекту”. Прозорість роботи алгоритмів підвищить рівень довіри до системи, знизить частоту хибних спрацьовувань та зробить процес розмінування значно більш керованим.

Крім цього, гостро постає питання підготовки кадрів. Персонал, який працює з подібними технологіями, мусить володіти не лише технічними навичками, а й глибоко розуміти принципи функціонування моделей машинного навчання, їхні потенційні обмеження та можливі збої. Отже, створення структурованих програм для навчання операторів є одним із ключових завдань для успішного впровадження цих систем у практичну діяльність.

Звертаємо особливу увагу на те, що за кожним рішенням на полі, за кожним натисканням кнопки “підтвердити” стоїть людина, з її усвідомленням відповідальності, емоційним сприйняттям та розумінням абсолютної цінності людського життя. І саме тому, навіть найдосконаліший штучний інтелект повинен залишатися лише інструментом у руках людини, а не домінуючою силою.

Створення розумних систем для розмінування територій, що постраждали від конфліктів, є не суто інженерною проблемою, а глибоко вкоріненою у гуманістичних цінностях справою. Етичні

дилеми, питання захисту інформації та встановлення відповідальності тут набувають особливої значущості.

Передусім, комплекс, який обробляє інформацію, отриману з дронів, зобов'язаний забезпечити непорушну секретність та надійний захист усіх відомостей. На знімках поверхонь часто фіксуються об'єкти, що стосуються цивільного життя, або ж елементи, які можна вважати особистими даними. Таким чином, усі вхідні дані мають підлягати обробці згідно з міжнародними стандартами кібербезпеки (зокрема, ISO/IEC 27001) та обов'язково бути зашифровані під час будь-якого передавання.

По-друге, критично важливим є забезпечення відповідального та етичного застосування розробок на базі штучного інтелекту. Такі технології можуть використовуватись виключно для гуманітарних цілей – для мінімізації втрат людських життів, а не для використання у військових атакуючих діях. Саме в цьому місці наукова діяльність сходиться з моральною відповідальністю: наше завдання – формувати технології, які сприяють збереженню, а не спричиняють руйнування.

По-третє, необхідно звертати увагу на потенційний ризик, відомий як ефект “непрозорої системи” (або “чорної скриньки”), коли логіка, за якою приймається рішення моделлю, є незрозумілою і непідзвітною навіть для інженерів-розробників. Ця проблема є особливо загрозливою у тих системах, від яких безпосередньо залежить фізична безпека людей. Отже, розвиток напрямку “підзвітності” моделей (auditability) – тобто спроможності системи фіксувати повний протокол усіх прийнятих рішень для можливості подальшого аналізу – має стати інтегральною вимогою до таких проектів.

Завжди необхідно враховувати, що основною рушійною силою цієї діяльності є прагнення врятувати людські життя. У кожній візуальній інформації, яку інтерпретує нейронна мережа, у кожному окресленому зеленому прямокутнику, що позначає знахідку, міститься частка тієї надії, яка свідомо вкладається у технологічні рішення. Наш професійний обов’язок полягає в тому, щоб гарантувати, що ці передові системи служитимуть людству, а не навпаки.

Перспективи подальшого розвитку автономних систем у гуманітарному розмінуванні полягають у створенні високоінтегрованих багатосенсорних систем з «пояснюваним» ШІ, що функціонують у моделі співпраці «людина-в-контурі» для колективної роботи взаємодіючих автономних дронів безпілотників. Ключовими завданнями для їх реалізації є впровадження федеративного навчання, розробка зрозумілих інтерфейсів, забезпечення безпеки функціонування цих систем та створення комплексних програм підготовки операторів.

Список використаної літератури

1. Podorozhniak, A., Liubchenko, N., Skorlupin, O., Korolenko, and S., Stas, A. (2025) Mobile explosive object detection system for humanitarian demining needs. 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology, KhPIWeek 20245. Kharkiv, Ukraine, 2025, pp. 1-6.
2. Levchenko, D., Podorozhniak, A., and Liubchenko, N. (2025). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. Navigation and Communication Systems, 3 (81), pp. 117 – 121. DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.3.117.
3. Qiu, Z., Guo, H., Hu, J., Jiang, H., and Luo, C. (2023) Joint Fusion and Detection via Deep Learning in UAV-Borne Multispectral Sensing of Scatterable Landmine. Sensors, 2023, vol. 23, iss. 12, article number 5693. DOI: https://doi.org/10.3390/s23125693.
4. Sineglazov, V., Lesohorskyi, K. and Lytvynenko, V. (2024). Intelligent hyperspectral image processing for landmine detection and classification. CEUR Workshop Proceedings, 2024, vol. 3777. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-3777/paper4.pdf [Accessed: October 10, 2025]
5. Mishchuk, V., Podorozhniak, A. (2024). Analysis of Trade-Offs Between Accuracy and Speed of Real-Time Object Detectors for the Tasks of Explosive Ordnance Detection. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology, KhPIWeek 2024. Kharkiv, Ukraine, 2024, pp. 1-5. doi: https://doi.org/10.1109/KHPIWEEK61434.2024.10878035.
6. Huang, W., Wang, D., Ouyang, X., Wan, J., Liu J., and Li, T. (2024). Multimodal federated learning: Concept, methods, applications and future directions. Information Fusion, 2024, vol. 112, article number 102576. DOI: https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102576.
7. Wang, Z., Yang, W., Xu, Z., Chen, W., Liu, J., Xu, T., Wang, Zehua., and Leung, V. C. M. (2025). SDANet: A Federated Efficient Remote Sensing Object Detection for Space-Air–Ground IoT. IEEE

Internet of Things Journal, vol. 12, no. 17, pp. 35634-35648, 2025. DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3579027.
8. Skorlupin, O., and Podorozhniak, A. (2025) Mobile explosive detection system for civil defense needs. Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2025). Тези двадцять п'ятої міжнародної науково-технічної конференції (25 – 28 вересня 2025 р.). – Харків: НТУ "ХПІ", 2025. – С. 86. [Online]. Available: http://web.kpi.kharkov.ua/pim/wp-content/uploads/sites/248/2025/09/Tezy_PIM_2025.pdf [Accessed: October 10, 2025].

УДК 004.8

ЗАСТОСУВАННЯ ML-МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛУ LIFESTYLE-ВЕБЗАСТОСУНКІВ

Сокол Д. В. (Daria.Sokol@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі розглянуто проблему обмеженості наявного функціоналу у вебзастосунках для керування повсякденними процесами і перспективи його розширення шляхом впровадження методів машинного навчання. Проаналізовано існуючі підходи та запропоновано рішення на основі використання алгоритмів Online Gradient Descent та Multi-Armed Bandit.

Розробники уже певний час інтегрують у вебзастосунки ML-методи для вирішення щоденних завдань. Найбільш розповсюдженими напрямами використання машинного навчання є рекомендаційні системи, інтелектуальний пошук і прогнозування тенденцій. Системи надання рекомендацій та аналізу поведінки користувачів дозволяють підвищувати релевантність контенту (Strava, Headspace). Інтелектуальний пошук поєднує алгоритми ранжування з NLP для покращення результатів пошуку (Notion, Todoist), а прогнозні моделі передбачають майбутні зміни для прийняття обґрунтованих рішень (Calm, Mint). Попри активне впровадження ML у вебзастосунки, його використання здебільшого фрагментарне, адже зводиться до розв'язання окремих задач. Це створює потребу у вдосконаленні наявних практик і пошуку нових способів їх застосування, здатних розширити можливості вебзастосунків.

Пропонується доповнювати вебзастосунки методами, які дозволятимуть їм адаптуватися та самостійно оптимізувати свою роботу в режимі реального часу. Зокрема, Online Gradient Descent (OGD) [1] дає змогу моделі оновлювати параметри під час кожної нової взаємодії з користувачем. Це відкриває можливості для створення систем, які динамічно підлаштовуються до змін у даних, наприклад, автоматично регулюють розподіл серверних ресурсів залежно від навантаження або попереджають про можливі затримки. А також можливе комбіноване застосування алгоритмів: OGD – для прогнозування впливу вибору різних опцій на бажаний результат і Multi-Armed Bandit– для визначення оптимальних дій користувача [2], балансуючи між випробуванням нових та використанням уже перевірених ефективних. Сукупність цих методів дозволить динамічно адаптувати функціонал, пропонуючи найбільш оптимальні варіанти та одночасно покращуючи точність прогнозів на основі поточної поведінки користувача. Таке рішення буде корисним у вебзастосунках для управління розкладом і планування задач, моніторингу бюджету, способу життя, звичок тощо, адже система постійно навчатиметься та оптимізуватиме взаємодію, значно розширивши межі стандартних можливостей подібних продуктів. Недоліки включають потребу в ретельних налаштуваннях і великій кількості даних для навчання та ризик неточних рекомендацій на початку (cold start).

Машинне навчання у lifestyle-вебзастосунках вже стало стандартним інструментом для персоналізації, пошуку та прогнозування, проте розвиток технологій відкриває нові можливості для його впровадження з метою розширення наявного функціоналу. Методи Online Gradient Descent та Multi-Armed Bandit демонструють здатність безпосередньо розширювати стандартні можливості систем, роблячи їх ще більш динамічними й адаптивними. Попри певні виклики,

пов’язані з їх впровадженням, ці підходи окреслюють нові перспективи в розробці зазначених вебзастосунків.

Список використаної літератури

[1] E. Hazan, Introduction to Online Convex Optimization. Foundations and Trends in Optimization, 2016, 169 p.
[2] T. Lattimore, C. Szepesvari, Bandit Algorithms. Cambridge University Press, 2020, 398 p.

УДК 378.4

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ КОДУ СТУДЕНТІВ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЮ

Ковалюк Т.В., Сорока С.М.
(tetyana.kovalyuk@knu.ua, s.soroka31@icloud.com)
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

У роботі досліджено можливості застосування генеративного штучного інтелекту для автоматизованої перевірки якості коду студентів у процесі навчання програмуванню. Проаналізовано переваги використанняШІ для оцінювання стилю кодування, виявлення логічних помилок, аналізу ефективності алгоритмів та надання персоналізованих рекомендацій щодо покращення коду. Результати дослідження довели, що інтеграція генеративного ШІ в освітній процес значно підвищує якість зворотного зв'язку, скорочує навантаження на викладачів та прискорює процес навчання завдяки миттєвому аналізу програмного коду. Обґрунтовано ефективність застосування ШІ-асистентів для формування навичок написання якісного, читабельного та оптимізованого коду.

Постановка проблеми. Навчання програмуванню у сучасних умовах стикається з низкою викликів, пов'язаних із забезпеченням якісного та своєчасного індивідуалізовано підходу в та зворотного зв'язку для студентів. Традиційні методи перевірки програмного коду часто обмежуються автоматизованим тестуванням на правильність виконання, не враховуючи якісні аспекти програмування: стиль кодування, читабельність, ефективність алгоритмів, дотримання принципів проєктування та найкращих практик індустрії. Студенти можуть отримати позитивну оцінку за функціонально коректний код, який при цьому є неоптимальним, важкочитабельним або містить антипатерни, що формує неправильні навички програмування. Викладачі, перевантажені обсягом роботи з перевірки, часто не мають можливості надати детальні коментарі та персоналізовані рекомендації кожному студенту.

Розвиток технологій генеративного штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизованого аналізу якості коду з урахуванням не лише функціональної коректності, а й якісних характеристик програмування. Однак питання практичного застосування ШІ-інструментів в освітньому процесі, їхньої ефективності, обмежень та впливу на формування професійних навичок студентів залишається недостатньо дослідженим та потребує системного аналізу.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні можливості та ефективності застосування генеративного штучного інтелекту для автоматизованої перевірки якості коду студентів, визначенні переваг та обмежень ШІ-інструментів в освітньому процесі та аналізі їхнього впливу на підвищення якості навчання програмуванню та формування професійних компетентностей майбутніх фахівців.

Суть дослідження. Визначені такі завдання дослідження: визначити критерії оцінювання якості коду, проаналізувати зауваження ШІ до студентського коду, оцінити переваги та обмеження ШІ-аналізу. В якості матеріалу дослідження задіяна вибірка з 8-ми лабораторних робіт з дисципліни «Функціональне програмування», кількість студентів 50 осіб 4-го курсу спеціальності «Інженерія програмного забезпечення». Автори аналізували результати навчання програмуванню мовою Scheme у середовищі DrRacket. Типи завдань: рекурсивні алгоритми, роботу зі списками, теками, чергами, векторами, чисельні методи, обчислювальна математика, обробка текстів і

файлів. символьне програмування. В якості інструментів ШІ використовувалися ChatGPT-4, Claude, Gemini. Приклад запитів до інструментів ШІ «Проаналізуй код на відповідність принципам Clean Code, зокрема: читабельність, правила іменування, простота структури, політика документування коду, визначення недоліків та переваг наданого коду».

В якості критеріїв оцінювання Clean Code використовувалися такі показники:

– читабельність — зрозумілість логіки коду;
– іменування — дотримання мнемонічності ідентифікаторів;
– простота — відсутність надмірної складності, декомпозиція складних і великих функцій на множину функцій меншої складності і величини;
– DRY-принцип — мінімізація дублювання коду;
– структурованість — логічна організація коду;
– документування коду.

Узагальнені результати аналізу значень показників якісного коду, визначених ШІ-асистентом, подані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл зауважень ШІ за показниками якості коду

Показник якості	Кількість	Частка(%) файлів	Приклад проблеми
Іменування	187	28.5	Неінформативні назви функцій
Структура	156	23.8	Довгі функції без декомпозиції (>20 рядків)
Дублювання	98	14.9	Повторювані рядки коду
Складність	112	17.1	Велика вкладеність дужок (>=10)
Коментарі	730	11.1	Низька або надмірна частка коментарів
Магічні числа	30	4.6	Літерали без пояснення
Разом	656	100	

Аналіз даних таблиці 1 показав, що в групі з 50 студентів найчастішими порушеннями є відсутність мнемонічних ідентифікаторів та неінформативне іменування функцій (28.5%). Структура програми – друга за величиною категорія, що включає проблеми організації коду. Дублювання як виявлення повторюваного коду, що потребує винесення в окремі функції, спостерігалося у 15% студентів. 11% студентів не коментують або недостатньо документують код. Середня кількість зауважень на одного студента складає 13.1

Результати дослідження показали такі переваги застосування ШІ-асистентів в процесі навчання програмуванню:

– швидкість: аналіз коду триває секунди замість ручного перегляду;
– детальність: конкретні рекомендації з прикладами;
– доступність: ШІ-аналіз можна застосовувати самостійно перед здачею роботи;
– об'єктивність: усі роботи перевіряються за однаковими критеріям;
– навчальний ефект: ШІ пропонує пояснення принципів Clean Code.

Разом з тим виявлені такі недоліки (обмеження) застосування ШІ-аналізу:

– ШІ не враховує педагогічний контекст завдання (наприклад, спрощення для навчальних цілей)
– рекомендації ШІ іноді надто загальні або надлишкові;
– явні помилки.

Висновки. Дослідження довело, що застосування генеративного штучного інтелекту для перевірки якості коду студентів є ефективним інструментом модернізації освітнього процесу у галузі програмування. Генеративний ШІ демонструє високу ефективність у виявленні проблем якості коду: помилок стилю, порушень найкращих практик, неоптимальних алгоритмічних рішень та проблем читабельності. ШІ-інструменти сприяють формуванню культури якісного програмування, привчаючи студентів до дотримання стандартів індустрії та написання читабельного коду.

Водночас виявлено певні обмеження: можливість генерування некоректних рекомендацій, залежність якості аналізу від формулювання запитів та необхідність критичного осмислення порад

студентами. Оптимальною стратегією є гібридний підхід, що поєднує автоматизований ШІ-аналіз із викладацькою експертизою, створюючи синергетичний ефект.

Отримані результати відкривають перспективи для поглибленого вивчення застосування генеративного ШІ в освітньому процесі, зокрема доцільним є порівнянням результатів навчання студентів, які використовують ШІ-асистентів, із контрольною групою, яка не користується ГШІ; дослідження впливу ШІ на формування здатності студентів самостійно аналізувати код та критично оцінювати рекомендації ШІ; дослідження питань академічної доброчесності при використанні генеративного ШІ.

Список використаної літератури

[1] R. C. Martin, *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2008.
[2] OpenAI, "ChatGPT technical report," OpenAI, Tech. Rep., 2024.
[3] M. Fowler, *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*, 2nd ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2019.
[4] O. Zawacki-Richter, V. I. Marín, M. Bond, and F. Gouverneur, "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education," *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–27, 2019.
[5] M. Kazemitabaar et al., "CodeAid: Leveraging large language models for automated code feedback in introductory programming courses," in *Proc. ACM CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*, Hamburg, Germany, Apr. 2023, pp. 1–18.
[6] B. A. Becker and K. Quille, "50 years of CS1 at SIGCSE: A review of the evolution of introductory programming education research," in *Proc. 50th ACM Tech. Symp. Comput. Sci. Educ. (SIGCSE)*, Minneapolis, MN, USA, Feb. 2019, pp. 338–344.

УДК 004.67

АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ АГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ В E-COMMERCE

Сосін Д.О., Сагайдак В.А. (mag4706130@stud.duikt.edu.ua, qsagvict@gmail.com)
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій (Україна)

У роботі представлено архітектуру гібридної агентної системи, що призначена для автоматизації аналізу великих масивів клієнтських відгуків у ecommerce індустрії та приведення результатів для зручного перегляду людиною. Архітектура реалізована за принципом конвеєра текстової аналітики, де кожний проміжний етап заснований на використанні великих мовних моделей (LLM) Конвейер заснований на агентах та оркестраторі що забезпечує їх неперервну та узгоджену роботу. Агенти мають на меті оцінку тональності та розподіл на негативні та позитивні уривки коментарів, визначення використання продукту та виділення цитат із прикладами застосування, агент математичної класифікації та кластеризації що заснований на бібліотеці FAISS, яка забезпечує фінальну обробку результатів попередніх етапів.

Важливою рисою системи є використання Universal Model Client що дозволяє використовувати на кожному етапі роботи різні локальні LLM моделі через Ollama або різні моделі на хмарних сервісах (OpenAI, Google), це підвищує гнучкість та якість фінального результату через індивідуальний підхід.

Постановка проблеми

У сучасній екосистемі e-commerce коментарі до продукту мають велику цінність, через наявність зворотного зв'язку. Але кількість коментарів пропорційно зростають зі збільшенням кількості продуктів. І коли бізнес потребує проаналізувати великий обсяг коментарів вручну ця задача виявиться нерентабельна. Наявні автоматизовані системи, попри певні переваги мають певні недоліки: правила-орієнтовані систему мають обмежену гнучкість до нових даних, тоді як передові хмарні сервіси пов'язані з високими витратами та ризиком залежності від постачальника

цих послуг (vendor lock-in), що знижує керованість та гнучкість у поводження з даними. Також дуже важливо мати структурований та повний звіт, без галюцинацій від нейромереж та узагальнення. Щоб отриманий звіт був детальний але водночас зручний та зрозумілий у перегляді. З цих умов актуальним є створення системи що має на меті бути вузько заточеною і тим самим більш ефективною ніж багатоцільові сервіси, виявляти приховані закономірності та інсайти для обґрувань бізнес-рішень [2].

Архітектура та дизайн системи

Запропонована архітектура заснована на принципі розподілу відповідальності що робить її ефективною, масштабованою та гнучкою. Кожний етап аналізу виконує окремий спеціалізований агент що зменшує взаємозалежність, спрощує розробку та підтримку. Також з цим підвищується надійність, бо відмова одного модуля не призводить до збою усієї системи [3].

Коли один модуль завершує роботу, він записує результат в окремий файл що дозволяє системі з такою архітектурою пропускати деякі етапи і переходити к наступним за потребую клієнта. Архітектура системи позначена на рисунку 1.

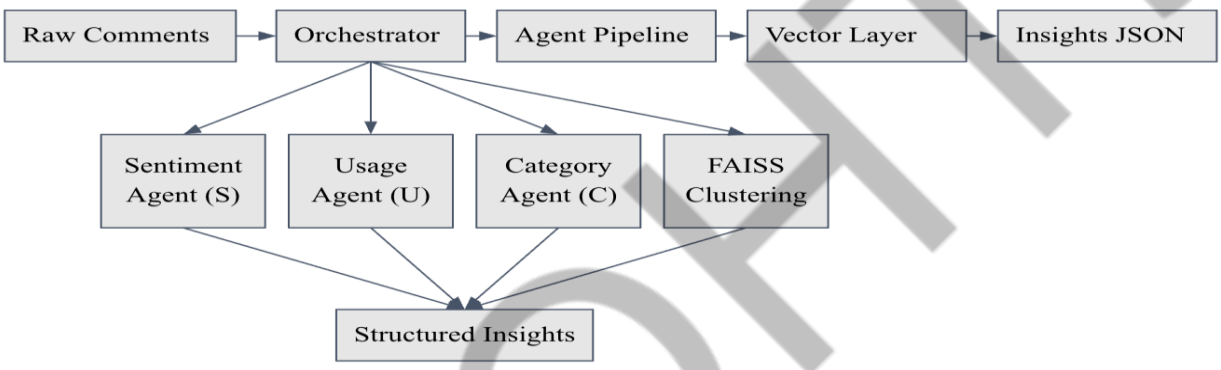


Рисунок 1 – Концептуальна модель імітаційної системи

Головною частиною системи є **Конвеєр LLM-агентів** що забезпечує повну обробку даних під керівництвом оркестратора. Першим агентом який приймає сирі коментарі для обробки є **Sentiment Classification Agent** що проводить класифікацію тональності, витягує негативні та позитивні цитати з відгуків та зберігає результат в окремий файл.

Наступний агент у системі **Usage Scenario Extraction Agent** вибирають конкретні цитати які демонструють реальні сценарії використання продукту. Ці дані також записується в окремий файл **JSON** формату, що забезпечує легкість у перегляді для підтримки системи.

Останній агент **Dynamic Categorization Agent** займається автоматичною та тематичною класифікацією цитат без попередніх міток, система сама може визначити назви категорій, та розподілити цитати по ним. За цей процес відповідає механізм динамічної категоризації, він поєднує векторні подання та кластеризацію. На першому етапі виконується генерація векторних подані **(Embedding)**. Цитати з попередніх двох агентів перетворюються у вектори за допомогою локальних або хмарних моделей, ці вектора за допомогою бібліотеки **FAISS**[4] зберігаються в базу даних та проводиться групування за семантичною близькістю. Наступний етап це автовибір кількості кластерів **(k)** о саме k визначають за максимом **Silhouette Score** на заданому інтервалі, що усуває потребу ручного налаштування [5]. Після формування категорій назви кластерів формуються через LLM на основі цитат у межах кожної групи.

Однією з архітектурних особливостей що дозволяє системі бути максимально ефективною та адаптивною це такий елемент як **Universal Model Client.** Це єдиний клієнт що абстагує взаємодію з API різних LLM-провайдерів (OpenAI GPT-4/3.5, Google Gemini, Ollama), що дозволяє динамічно обрати моделі та балансувати між точністю, вартістю і приватністю. Наприклад, локальне розгортання Mistral-7B[6] через Ollama забезпечує максимальний контроль над даними та гарний результат.

Висновки

Реалізована архітектура поєднує сильні сторони спеціалізованих LLM-агентів і методів векторного пошуку, забезпечуючи гнучкість, масштабованість і здатність розв’язувати задачу

аналізу великих масивів відгуків у сфері e-commerce. Система результативно виявляє приховані тренди, неочікувані сценарії використання, несподівані недоліки та дозволяє покращувати сам продукт, його опис чи фотографії для збільшення продажів.

Критичною перевагою є адаптованість до різних бізнес-вимог: від максимізації точності до оптимізації витрат чи суворих вимог до приватності. Це досягається завдяки підтримці багатьох провайдерів LLM і можливості перемикання між моделями (OpenAI GPT-4/3.5, Google Gemini, Ollama), що дозволяє знаходити збалансовану конфігурацію.

Отже, система демонструє потенціал для автоматизації отримання корисних висновків з клієнтських відгуків і підсилення якості управлінських рішень у e-commerce, сприяючи зростанню конкурентоспроможності бізнесу та задоволеності споживачів. Крім того, вона долає недоліки правил-орієнтованих систем та обмеження хмарних сервісів, пов’язані з вартістю і vendor lock-in, пропонуючи гнучку платформу для глибокого аналізу коментарів.

Список використаної літератури

[1] Brown T.B., Mann B., Ryder N. et al. Language Models are Few-Shot Learners // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 1877–1901.
[2] LLM-Enhanced Sentiment Analysis in E-commerce: A Deep Learning Approach to Customer Feedback // ResearchGate. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/383025586.
[3] Design multi-agent orchestration with reasoning using Amazon Bedrock and open source frameworks // AWS Machine Learning Blog. 2024. URL: https://aws.amazon.com/blogs/machine-learning/design-multi-agent-orchestration.
[4] Douze M., Guzhva A., Deng C. et al. The Faiss Library // arXiv:2401.08281. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2401.08281.
[5] Rousseeuw P.J. Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis // Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987. Vol. 20. P. 53–65.
[6] Jiang A.Q., Sablayrolles A., Mensch A. et al. Mistral 7B // arXiv:2310.06825. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2310.06825.

УДК 330.43

ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ АРХІТЕКТУРИ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Страхов Є.М., Чачко Н.Л.
(strakhov.e.m@onu.edu.ua, natan.chachko@stud.onu.edu.ua)
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (Україна)

У тезах розглядається проблема автоматизованого пошуку оптимальних архітектур згорткових нейронних мереж (CNN) шляхом застосування генетичних алгоритмів (ГА) — одного з різновидів еволюційних підходів. Наведено короткий огляд основних принципів та переваг ГА при задачах оптимізації складних моделей. Ключовою особливістю дослідження є формалізація пошуку архітектури у вигляді задачі глобальної оптимізації з використанням програмної реалізації на Java-платформі. Представлено результати попередніх експериментів на датасеті MNIST, що демонструють збіжність алгоритму до стабільного рішення.

Сучасний розвиток глибинного навчання значно залежить від якості архітектур штучних нейронних мереж, зокрема згорткових (CNN [1]). Окрім класичних підходів (ручна розробка, підбір гіперпараметрів вручну) все активніше використовуються автоматизовані методи пошуку найкращих структур, серед яких особливо виділяються глобальні оптимізаційні алгоритми.

Метою дослідження є створення, дослідження та програмна реалізація методу пошуку оптимальних архітектур CNN на основі генетичних алгоритмів, що дозволяє підвищити якість класифікації та автоматизувати роботу архітектора моделі.

Основні завдання:

- Аналіз існуючих підходів до побудови й оптимізації CNN;

- Синтез моделі генетичного алгоритму для пошуку архітектур;
- Реалізація експериментальної платформи для застосування ГА з використанням Java;
- Проведення серії експериментів на репрезентативному датасеті (MNIST [2]);
- Порівняння отриманих архітектур з традиційними варіантами CNN.

Методи дослідження.

Розробка базується на концепції еволюційного пошуку з використанням операторів схрещування, мутації та відбору (roulette wheel selection), що підтримує різноманітність популяції та дозволяє уникати локальних мінімумів. Кодування рішень (архітектур) включає: кількість згорткових шарів, кількість фільтрів у кожному шарі, розмірність вікна згортки, тип функції активації (ReLU, LeakyReLU, Sigmoid). Функція пристосованості базується на мінімізації error rate на валідаційному наборі даних.

Постановка експерименту.

Реалізовано програмну платформу для автоматичного пошуку архітектур CNN за допомогою ГА. Основні фази алгоритму: ініціалізація популяції випадковими архітектурами, оцінка функції пристосованості (error rate), селекція батьківських особин, схрещування та мутація для створення нащадків. Експеримент проведено на підмножині датасету MNIST (600 зображень для навчання, 100 для тестування) з наступними параметрами: розмір популяції — 40 особин, кількість генерацій — 5.:

Таблиця результатів роботи генетичного алгоритму

Generation	Best fitness	numFilters	filterSizes	activation	Time
1	70.0	[64, 8]	[3, 3]	ReLU	4:11
2	66.666664	[8, 16]	[7, 3]	LeakyReLU	5:21
3	66.666664	[8, 16]	[7, 3]	LeakyReLU	3:22
4	66.666664	[8, 16]	[7, 3]	LeakyReLU	4:43
5	66.666664	[8, 16]	[7, 3]	LeakyReLU	4:10

Аналіз результатів:

- Найкраща знайдена архітектура: 2 згорткових шари з конфігурацією [8→16 фільтрів], розміром ядра [7×7, 3×3], активація LeakyReLU;
-
- Error rate знижено з 70% до 66.7% (покращення на 3.3%);
- Алгоритм досяг збіжності після 2-ої генерації;
- Загальний час роботи: ~22 хвилини;
- Стабільність рішення: архітектура залишалася незмінною протягом генерацій 2–5.

Висновки та перспективи.

Застосування генетичного алгоритму продемонструвало можливість автоматичного пошуку архітектури CNN з досягненням стабільної збіжності. Алгоритм ефективно знайшов компактну архітектуру, що підтверджує здатність ГА балансувати між складністю моделі та обчислювальними ресурсами. Наразі робота знаходиться на стадії розширення: планується збільшення розміру навчальної вибірки до повного датасету MNIST (60000 зображень), додавання більшої кількості генерацій, тестування різних операторів селекції та мутації, а також порівняння з існуючими методами Neural Architecture Search (NAS). Очікується суттєве покращення результатів після оптимізації параметрів алгоритму та збільшення обчислювальних ресурсів.

Список використаної літератури

[1] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning representations by back-propagating errors," Nature, vol. 323, pp. 533–536, 1986, doi: 10.1038/323533a0.

[2] Y. LeCun, C. Cortes, and C. J. C. Burges, "The MNIST database of handwritten digits," 2010. [Online]. Available: http://yann.lecun.com/exdb/mnist

[3] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," Proc. IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, 1998.

[4] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), vol. 25, 2012, pp. 1097–1105.

[5] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770–778.

УДК 004.85

АНСАМБЛЕВІ МЕТОДИ В СИСТЕМАХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Сулейманов Є.С., Байбуз О.Г., Зайцева Т.А.
(suleimanov_e@365.dnu.edu.ua, baibuz_o@365.dnu.edu.ua, zaitseva_t@365.dnu.edu.ua)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

Розглянуто використання різних стратегій ансамблювання передбачень декількох моделей нейронних мереж з метою поліпшення якості прогнозів та підвищення обчислювальної стабільності результатів. Наведено методи для формування фінального результату ансамблю відповідно до типу задачі та структури вихідних даних.

Навчання нейронних мереж здійснюється за допомогою методу градієнтного спуску та його модифікацій. Основним недоліком цього підходу є те, що він не гарантує досягнення глобального мінімуму функції втрат, обмежуючись лише пошуком локального мінімуму або сідлової точки. Залежно від архітектури нейронної мережі, значень гіперпараметрів, методики організації тренувальної вибірки, параметрів навчання та початкової ініціалізації ваг і зміщень можна отримати різні результати, що зумовлює обчислювальну нестабільність прогнозів моделі.

Для підвищення ефективності та стабільності передбачень замість використання єдиного прогнозу однієї мережі можуть застосовуватися наступні ансамблеві стратегії:

– Bagging (Bootstrap Aggregating) – бутстреп-агрегування – для навчання кожної з моделей створюється власний тренувальний набір як підвибірка з базового набору з поверненням, тобто деякі зразки можуть потрапляти декілька разів, а певні – не потрапляти взагалі. Основною метою методу є зменшення дисперсії моделі без суттєвого збільшення зміщення [1].

– Pasting – пастинг – метод, подібний до bagging, але індивідуальні тренувальні набори для кожної з моделей створюються з базового набору без повернення, тобто кожна модель навчається на різних даних. Використовується, коли дані великі і дублювання не потрібно, або коли потрібно зберегти більшу різноманітність між підвибірками [2].

– Random Subspaces – випадкові підпростори – кожна базова модель навчається не на всіх ознаках, а лише на випадково обраній підмножині ознак. Залежно від конкретної реалізації, ознаки можуть повторюватися у різних моделях або бути унікальними для кожної з них. Цей підхід зменшує кореляцію між моделями та підвищує різноманітність ансамблю [3].

– Random Patches – випадкові патчі – комбінує ідеї bagging і random subspaces. Кожна модель навчається на випадковій підмножині зразків і випадковій підмножині ознак одночасно, що підвищує різноманітність моделей і може покращувати продуктивність, особливо на даних високої розмірності [4].

– Boosting – бустинг – моделі навчаються послідовно, і кожна наступна модель фокусується на прикладах, які були неправильно класифіковані попередніми, збільшуючи їхню вагу. Кінцевий прогноз формується як зважена комбінація всіх моделей **[5]**.

– Stacking – стекінг – кілька базових моделей навчаються на одному наборі даних, а їхні передбачення використовуються як вхідні ознаки для тренування метамоделі, яка формує кінцевий прогноз. Базові моделі можуть відрізнятися за типом, а метамодель навчається оптимально комбінувати їхні прогнози, враховуючи сильні та слабкі сторони кожної [6].

– Blending – блендінг – подібний до stacking, але для навчання метамоделі використовується окрема валідаційна вибірка, що відділена від основного тренувального набору. Базові моделі навчаються на тренувальних даних, а їхні передбачення на валідаційній вибірці застосовуються як вхідні ознаки для метамоделі [7].

– Mixture of Experts – суміш експертів – кожна модель "експерт" спеціалізується на частині простору ознак або певних підзадачах, а гейтінг-модель вирішує, яка саме модель або їх вагова комбінація має використовуватися для конкретного входу [8].

– Snapshot Ensembles – знімкові ансамблі – навчається одна нейронна мережа за спеціальним графіком навчання, наприклад, із циклічною зміною кроку навчання, при цьому з різних моментів зберігаються ваги моделі як окремі елементи ансамблю, що дозволяє уникнути тренування паралельних моделей, забезпечуючи економію обчислювальних ресурсів [9].

– Randomization – рандомізація – підхід, при якому для створення різноманітних варіантів базових моделей застосовуються випадкові модифікації елементів моделі (ініціалізація ваг, порядок вибору ознак, архітектурні варіації, додавання шуму). Цей загальний принцип лежить в основі багатьох ансамблевих методів, серед яких випадкові нейронні мережі, dropout як "внутрішній ансамбль", моделі з різною ініціалізацією та шари зі стохастичними компонентами [10].

Після отримання результатів передбачень від декількох моделей ансамблеві стратегії потребують їх додаткового узагальнення для формування фінального прогнозу, застосовуючи наступні методи:

– Averaging – усереднення – кінцевий прогноз ансамблю обчислюється як середнє значення виходів усіх базових моделей. Такий підхід згладжує індивідуальні похибки окремих моделей і знижує дисперсію результатів. Залежно від задачі, можуть застосовуватися просте, зважене або геометричне усереднення.

– Hard Voting – жорстке голосування – кожен класифікатор робить власний прогноз, а остаточне рішення формується на основі більшості голосів.

– Soft Voting – м’яке голосування – класифікатори обчислюють ймовірності належності зразка до кожного класу. Ці ймовірності підсумовуються для всіх класів, після чого обирається той, який має найбільшу сумарну ймовірність [11].

– Borda Count – метод Борда – специфічний вид рангового голосування, у якому класам призначають бали залежно від їхньої позиції у ранжованому списку, сформованому класифікатором. Клас із найбільшою сумою балів від усіх класифікаторів обирається як фінальний прогноз [12].

Таким чином, застосування ансамблевих методів забезпечує підвищення якості та стабільності прогнозів. Залежно від обраної стратегії, це може супроводжуватися як зростанням обчислювальних витрат через навчання множини моделей, так і їх зниженням завдяки використанню комбінацій простіших базових моделей.

Список використаної літератури

[1] L. Breiman, "Bagging predictors," *Machine Learning*, vol. 24, pp. 123-140, 1996. doi: https://doi.org/10.1007/BF00058655

[2] L. Breiman, "Pasting small votes for classification in large databases and on-line," *Machine Learning*, vol. 36, pp. 85-103, 1999. doi: https://doi.org/10.1023/A:1007563306331

[3] T. Ho, "The random subspace method for constructing decision forests," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, pp. 832-844, 1998. doi: https://doi.org/10.1109/34.709601

[4] G. Louppe and P. Geurts, "Ensembles on Random Patches," *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, vol. 7523, pp. 346-361, 2012. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33460-3_28

[5] Y. Freund and R. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting," *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 55, no. 1, pp. 119-139, 1997. doi: https://doi.org/10.1006/jcss.1997.1504

[6] D. H.Wolpert, "Stacked generalization," *Neural Networks*, vol. 5, no. 2, pp. 241-259, 1992. doi: https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1

[7] S. Kumar, P. Kaur and A. Gosain, "A Comprehensive Survey on Ensemble Methods," *2022 IEEE 7th International conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Mumbai, India, 2022, pp. 1-7. doi: https://doi.org/10.1109/I2CT54291.2022.9825269

[8] M. I. Jordan and R. A. Jacobs, "Hierarchical Mixtures of Experts and the EM Algorithm," *Neural Computation, vol. 6, no. 2*, pp. 181–214, 1994. doi: https://doi.org/10.1162/neco.1994.6.2.181

[9] G. Huang, Y. Li, G. Pleiss, Z. Liu, J. E. Hopcroft and K. Q. Weinberger, "Snapshot ensembles: Train 1, get M for free, " *5th International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2017. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.00109
[10] A. Mohammed and R. Kora, "A comprehensive review on ensemble deep learning: Opportunities and challenges," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 757–774, 2023. doi: https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.01.014
[11] M. Simic and M. Aibin, "Hard vs. soft voting classifiers," *Baeldung*, Feb. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.baeldung.com/cs/hard-vs-soft-voting-classifiers
[12] P. Drotar, M. Gazda, and L. Vokorokos, "Ensemble feature selection using election methods and ranker clustering," *Information Sciences*, vol. 480, pp. 365–380, 2019.
doi: https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.12.033

УДК 004.8 + 004.032.26

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДОВКІЛЛЯ

Суровцев І.В.[1], Галімова В.М.[2], Савченко-Синякова Є.А.[1],
Ляхов В.С.[1], Ханевич А.К.[1], Антонюк Я.М.[1]
(igorsur52@gmail.com, galimova2201@gmail.com,
savchenko_e@meta.ua, dep115@irtc.org.ua)
[1] Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
[2] Національний університет біоресурсів і природокористування України

В тезах досліджується питання проведення екологічного моніторингу води із застосуванням розробленого авторами приладу для швидкого визначення токсичних речовин у водних об'єктах. Такі дослідження можуть відбуватися прямо на місці для оцінки якості та безпеки води. Це дозволяє вирішити проблему здійснення екологічного моніторингу у польових умовах, що вимагає ефективної організації даних для збору, зберігання, оброблення та аналізу екологічних даних.

Визначення екологічного стану водних ресурсів в умовах війни є критично важливими для забезпечення життєдіяльності населення, підтримки економіки та запобігання екологічним катастрофам. Воєнна агресія росії завдала значної шкоди водній інфраструктурі України, призвела до руйнування систем водопостачання, забруднення річок та підземних вод, а також дефіциту якісної питної води. В першу чергу це пов'язано з артилерійськими обстрілами, ракетними та безпілотними атаками, а також прямими руйнуваннями, спричиненими в результаті підриву Каховської дамби в червні 2023 р. В результаті військових дій до поверхневих та підземних вод потрапляє значна кількість важких металів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин.

На даний час досить актуальною є проблема розширення можливостей екологічного моніторингу водних об'єктів шляхом розроблення нових технологій та систем швидкого визначення концентрацій токсичних речовин, які потрапляють у водні ресурси. Використання таких систем для забезпечення військових формувань і потерпілого населення питною та побутовою водою дасть змогу у польових умовах швидко оцінити екологічний стан води, визначити ступінь небезпеки та ризики появи захворювань у разі споживання забрудненої питної води.

Системи швидкого визначення екологічного стану водних ресурсів повинні бути портативними, з автономним електроживленням, надійними аналітичними властивостями моніторингу води у режимі реального часу та відповідати сучасним вимогам мережевих і хмарних рішень для збереження екологічних даних.

Портативна система екологічного моніторингу води. В Інституті інформаційних технологій та систем НАН України розроблено портативну комп'ютерну систему, яка складається з ноутбука, де розміщені програмні засоби інформаційної технології швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді, та з переносного пристрою (рис. 1), який виконує

вимірювання концентрацій важких металів електрохімічними методами інверсійної хронопотенціометрії та реалізує у реальному часі взаємодію з ноутбуком через інтерфейс *Wi-Fi.*

Технічно переносний пристрій вимірювання концентрацій розміщено у протиударному та водонепроникному боксі з вбудованою магнітною мішалкою та системою безпровідного зв'язку *Wi-Fi*, встановлюваним штативом для електродів, автономним електроживленням на літій-іонних акумуляторах з робочою напругою 5 вольт, що дозволяє виконувати вимірювання концентрацій у польових умовах на протязі робочого дня. Фотографію даного переносного пристрою наведено на рис. 1.

воді, на відміну від існуючих подібних рішень, може бути універсальним засобом екологічного моніторингу, здатним швидко визначати забрудненість водних об'єктів токсичними елементами свинець, кадмій, мідь, цинк, фосфор у польових умовах, а також використовуватись у лабораторних умовах як аналітична система, виконуючи розширені дослідження з визначення екологічного стану об'єктів довкілля. Аналітична система дозволяє у лабораторних умовах визначати методами інверсійної хронопотенціометрії концентрації 15 хімічних елементів у воді: *Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, As, Ni, Co, Mn, Cr, Fe, Sn, I, Se, P* з чутливістю до 0,05 мкг/дм^3 (*Hg*).

Рис. 1 - Переносний пристрій вимірювання

Розроблена портативна система швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у

Метрологічні характеристики портативної системи швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді відповідають гігієнічним нормативам якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [1] та Державним санітарним нормам і правилам "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" [2].

Збереження даних екологічного моніторингу водних ресурсів. При проведенні досліджень з визначення екологічного стану водного об'єкту необхідно забезпечити надійність та довготривале зберігання даних моніторингу. При роботі в автономному режимі у польових умовах без підключення до Інтернету одержані дані зберігаються у локальній СУБД *MariaDB* на ноутбуці, а при наявності доступу до Інтернету, одержані результати моніторингу зберігаються у зовнішній базі даних на хмарному сервері, відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.

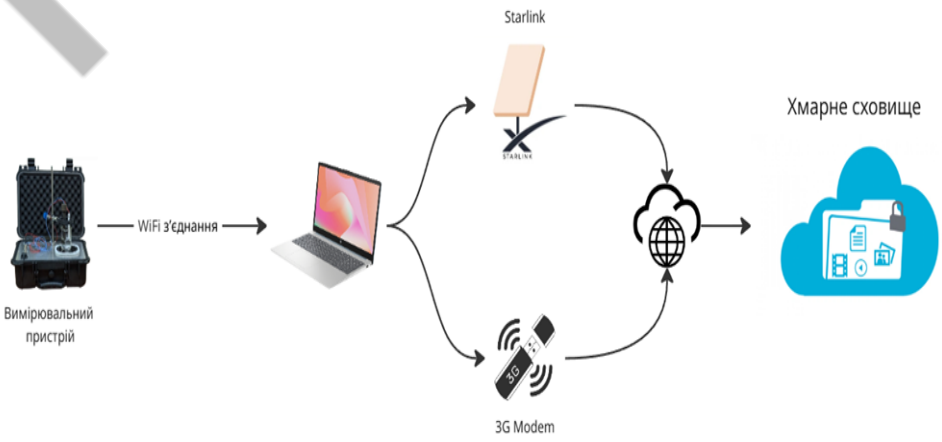


Рис. 2 - Схема збереження даних моніторингу на хмарному сервері

Особливістю зазначеної схеми збереження даних на хмарному сервері є необхідність під'єднання ноутбука через провідний зв'язок *LAN* з модемом до Інтернету, оскільки через *Wi-Fi* здійснюється керування пристроєм швидкого вимірювання концентрацій.

Оцінювання ризиків при споживання забрудненої води. При здійсненні екологічного моніторингу водних об'єктів можна оцінити ступінь небезпеки та ризики появи захворювань у разі споживання забрудненої води. Для оцінювання ризику для здоров'я людини, пов'язаного із забрудненням токсичними речовинами, в Гігієнічних нормативах [1] використовують індекс оцінки важких металів *HEI* (*Heavy metal Evaluation Inde*x) для визначення сумарного ризику від впливу всіх забруднювальних речовин у вигляді суми відношень фактично виміряної концентрації кожної з них до відповідного значення гранично допустимої концентрації (ГДК). Якщо одержана оцінка сумарного ризику HEI не перевищує одиницю вважають, що якість та безпечність води є задовільною для використання.

У світовій практиці екологічних досліджень загальну оцінку якості води, забрудненої важкими металами, та екологічний ризик водного об'єкту найчастіше здійснюють за значенням індексу забруднення важкими металами *HPI* (*Heavy metal Pollution Index*). Так в роботах *Appiah-Opong* [2] та *Chiamsathit* [3] аналізуються практичні підходи до оцінки якості питних та підземних вод за значенням індексу *HPI*, в роботі *Tokatlı* [4] розглянуті оцінки екологічних ризиків та ризиків для здоров'я людини за джерелами розчинених металів у ставках, що використовуються для пиття та зрошення, в роботі *Ahirvar* [5] розглядаються та досліджуються різноманітні індекси забруднення важкими металами для оцінки забруднення води, ґрунтів та осадових порід.

Висновки. Застосування переносних систем швидкого визначення токсичних речовин у водних об'єктах на місці для оцінки якості та безпеки води дозволяє вирішити проблему здійснення екологічного моніторингу у польових умовах, що вимагає ефективної організації даних для збору, зберігання, оброблення та аналізу екологічних даних. Використання мережевих та хмарних рішень забезпечує надійність, масштабованість та доступність даних, що дозволяє ефективно інтегрувати польові системи вимірювання концентрацій в автоматизовані системи збору та оброблення екологічних даних, зменшити ризик втрати інформації, підвищити продуктивність та забезпечити аналіз даних у режимі реального часу. Оцінити ступінь небезпеки та ризики появи захворювань у разі споживання забрудненої води можна за допомогою індексів забруднення важкими металами *HPI*, або інших індексів забруднення.

Фінансування. Це дослідження виконано за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проекту «Портативний програмно-апаратний комплекс для швидкого визначення токсичних речовин у водоймах, забруднених внаслідок військових дій» (реєстраційний номер 2023.04/0128), що реалізується за напрямком «Наука для зміцнення обороноздатності України».

Список використаної літератури

[1]. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ МОЗ України від 02.05.2022 № 721. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#n25 [Accessed: September 18, 2025].

[2] R. Appiah-Opong, A. Ofori, M. Ofosuhene, E. Ofori-Attah, F.K.E. Nunoo, I. Tuffour, C. Gordon, D.K. Arhinful, A.K. Nyarko, B.Y. Fosu-Mensah. 2021. "Heavy metals concentration and pol lution index (HPI) in drinking water along the southwest coast of Ghana". *Appl Water Sci.* 11(3). pp. 1–10. doi: https://doi.org/10.1007/s13201-021-01386-5

[3] C. Chiamsathit, A. Supunnika, S. Thammarakcharoen. 2020. "Heavy metal pollution index for assessment of seasonal groundwater supply quality in hillside area", Kalasin, Thailand. *Appl Water Sci.* 10(6). pp.142. doi: https://doi.org/10.1007/s13201-020-01230-2

[4] C. Tokatlı, M. Varol, F. Ustaoğlu. 2023. "Ecological and health risk assessment and quantitative source apportionment of dissolved metals in ponds used for drinking and irrigation pur poses". *Environ Sci Pollut Res Int*. 30(18). pp. 52818–52829. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-023-26492-2

[5] B. Prasad Ahirvar, V. Srivastava, M. Kumar. "Perspectives of heavy metal pollution indices for soil, sediment, and water pollution evaluation". *An insight, Total Environment Research Themes*, Vol. 6, June 2023, 100039.

HTPOHTY

UDC 629.735

ANALYSIS OF MAIN TASKS AND CHALLENGES IN DRONE REMOTE CONTROL

Sukhomlinova D.A., Sotnik S.V.
(diana.sukhomlinova@nure.ua, svetlana.sotnik @nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

The study conducts a comprehensive analysis of the main tasks and challenges in remote drone control within military, civilian, and commercial sectors. It systematizes the functional tasks of drones and structures organizational challenges by application areas, including regulatory frameworks for air traffic, cybersecurity protection, logistics optimization, and multi-drone fleet management. Technical challenges are classified into four categories: ensuring stable communication, power supply, navigation, and automation of control. The potential of artificial intelligence methods for addressing technical problems is analyzed, particularly the application of CNNs for obstacle detection, DRL for trajectory optimization, Edge AI for latency reduction, and Swarm Intelligence for group coordination. Promising research directions are identified, including adaptive swarm control, quantum-resistant encryption, and the integration of 5G/6G technologies.

Problem Statement.

The modern development of robotics and drone technology is creating new opportunities for military, civilian, and commercial sectors, establishing these technologies as one of the most relevant directions in engineering and information systems [1-6]. Simultaneously, the remote control of drones is accompanied by a number of challenges: the need for a stable and secure communication channel, the minimization of command and telemetry transmission delays, resilience to interference and cyberattacks, as well as limited power resources during extended missions. Given the increasing complexity of tasks and the rising demands for control system reliability, the implementation of automated solutions is gaining greater importance. These solutions must be capable of reducing operator workload, enhancing flight execution accuracy and safety, and ensuring integration with other robotic complexes. Insufficient automation, combined with technical limitations, creates risks for both efficiency and safety. This is precisely why a comprehensive analysis of the main tasks and challenges in the remote control of drones – considering the development trends in robotics and unmanned systems – is highly relevant.

Essence of study.

The core objective of this study is to systematize and analyze the principal tasks, along with organizational and technical challenges, associated with remote drone control across different operational domains.

Drones perform a wide range of tasks in military, civilian, and commercial domains. The primary functions of drones include:

- reconnaissance and surveillance operations – aerial information gathering, territory monitoring, object surveillance;
- cargo and mail delivery – transportation of small and medium-sized loads in challenging or hard-to-access environments;
- search and rescue and emergency response operations – locating people in disaster areas, assessing infrastructure damage;
- scientific and environmental research – collecting data on atmospheric conditions, water resources, forest areas, studying wildlife;
- traffic flow and infrastructure monitoring – monitoring roads, bridges, construction sites;
- training and demonstration tasks – operator training, testing new technologies, participation in competitions and exhibitions.

Each of these tasks imposes specific requirements on the drone control system regarding navigation accuracy, communication stability, autonomy, and safety, making research into automation methods and enhanced control reliability particularly relevant.

Remote drone control is accompanied by a number of organizational challenges that depend on the specific application domain (Fig. 1).

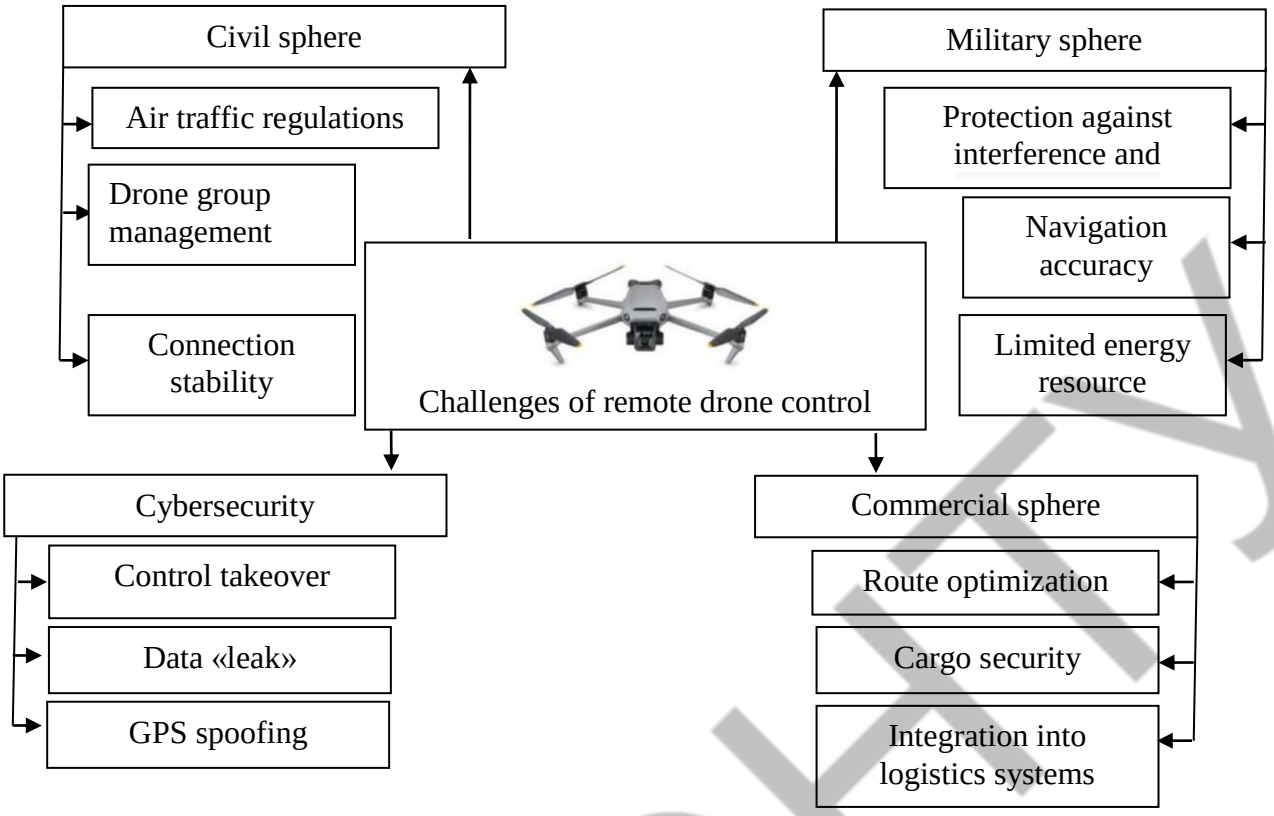


Figure 1. Main challenges of remote drone control

In Fig. 1, each block describes a separate problem or group of problems that need to be addressed when working with drones in the respective field. In addition to the specifics of application in different areas, remote control of drones is accompanied by a number of universal technical challenges that require a comprehensive approach to their solution (Table 1).

Table 1. Technical challenges of remote drone control

Technical challenges	Description
Ensuring stable communication	- minimizing command and telemetry transmission delays; - ensuring resilience to electromagnetic interference; - maintaining communication connectivity in complex terrain; - limited operational range of radio channels.
Energy supply issues	- limited flight endurance / battery life; - need for power consumption optimization; - distribution of power resources between drone subsystems; - organization of battery charging/replacement systems.
Navigation and positioning accuracy	- ensuring navigation accuracy in GPS-denied environments; - utilizing alternative positioning systems; - compensation for external factors (wind, turbulence); - maintaining stable hovering and precise maneuvering capabilities.
Management automation	- development of swarm control algorithms; - implementation of obstacle avoidance systems; - creation of intelligent decision-making systems; - ensuring safe return-to-home upon communication loss.

As can be seen from Table 1, technical challenges can be structured into four main areas: communication, power supply, navigation, and automation. Each of these areas contains specific problems requiring specialized solutions, while being closely interconnected with other components of the control system.

Thus, the integration of artificial intelligence methods addresses a substantial subset of technical challenges in unmanned aerial vehicle teleoperation. Computer vision algorithms utilizing Convolutional Neural Networks (CNNs) demonstrate automated obstacle detection accuracy of 90–94 % in laboratory

and simulation testing. Deep Reinforcement Learning (DRL) based systems facilitate flight trajectory optimization, reducing energy consumption by approximately 20–25 % in evaluated scenarios. A particularly promising approach involves Edge AI, where processing occurs directly onboard the UAV, diminishing reliance on communication links and achieving latencies of 15–20 ms in flight tests (compared to 100–300 ms for cloud-based computation). Swarm Intelligence frameworks allow coordinated control of drone groups numbering in the tens with minimal human oversight, while scalability beyond 100 units remains under active investigation in laboratory and simulated environments.

Conclusions

The paper presents a comprehensive analysis of the main tasks and challenges in remote control of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) within the context of modern developments in robotics and information systems. The functional tasks of drones in three key application areas – military, civil, and commercial – are systematized, allowing for the identification of specific requirements for control systems in each field of use. The potential of artificial intelligence methods for solving technical challenges is analyzed. Technical challenges are classified into four areas: ensuring stable communication, energy supply, navigation and positioning, and automation of control. This enables the targeted development of specialized solutions for each area, considering their interrelation. The practical value of the work lies in forming a holistic vision of the challenges in remote drone control, which creates a basis for: developing integrated control systems considering application-specific requirements; making informed choices regarding automation and artificial intelligence technologies; and identifying priority directions for further research in the field of autonomous drones.

References

[1] S. V. Sotnik, I. S. Zarubin, “Modeling design of mobile robotic platform,” *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів.* 2024, pp. 481-482

[2] M. S. Bielik, et al., “Analysis of the structures of mobile platforms for promoter robots,” *The 5th International scientific and practical conference “Global trends in science and education” (June 2-4, 2025) SPC “Sci-conf.com.ua”, Kyiv, Ukraine*. 2025, pp. 319-325

[3] A. S. Andreiev, et al., “Analysis of robotics platforms for educational and research purposes,” *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2024 / Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 26-27 вересня 2024 р*. 2024, pp. 25-27

[4] D. A. Sukhomlinova, et al., “Aerial robot in urban environments,” *Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Thesises of Reports*. 2025. pp. 45-46

[5] T.A. Lykho, et al., “Pattern recognition and computer vision technologies in decision support systems of robotic systems,” *Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024»*. 2024. – pp. 645-648

[6] І. С. Зарубін, та інш., “Ефективність використання роботизованих систем у виробництв,” *Комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки 2024: матеріали І-ої Всеукраїнської конференції, Харків, 16-17 травня 2024 (CITAR-2024)*. 2024, pp. 150-153

УДК 004.8:004.42:004.94

ЗАСОБИ КРОСПЛАТФОРМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Таволжан Д.О., Петрівський В.Я.
(dianatavolzhan@knu.ua,volodymyr.petrivskyi@knu.ua)
Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка (Україна)

Засоби кросплатформного програмування відіграють ключову роль у створенні інтелектуальних робототехнічних систем, дозволяючи забезпечити сумісність між різними апаратними платформами та операційними системами. Сучасні фреймворки, такі як AirSim, MRPT, URBI, Webots та Node Primitives, пропонують інструменти для моделювання, симуляції та

управління мобільними роботами з підтримкою різних мов програмування і протоколів взаємодії. Використання цих засобів сприяє пришвидшенню розробки, підвищенню гнучкості систем та інтеграції різнорідних робототехнічних компонентів у єдину інтелектуальну мережу. Окрім цього, реалізація розподілених систем із гетерогенними роботами дозволяє виконувати складні задачі у реальному часі з високою точністю та надійністю, що є важливим для автономних та адаптивних робототехнічних систем.

Постановка проблеми.

Розвиток інтелектуальних робототехнічних систем потребує ефективних кросплатформених засобів програмування, які забезпечують сумісність і інтеграцію гетерогенних компонентів на різних апаратних платформах та ОС. Різноманітність роботів, сенсорів і виконавчих механізмів зі специфічними вимогами ускладнює створення універсальних і масштабованих рішень. Багато сучасних платформ обмежені певною ОС або мовою програмування, що гальмує гнучку розробку та тестування інтелектуальних алгоритмів. Відсутність ефективних кросплатформених інструментів збільшує час, вартість і складність масштабування та інтеграції розподілених систем.

Метою дослідження є аналіз сучасних кросплатформених засобів програмування для інтелектуальних робототехнічних систем із фокусом на підтримку гетерогенних апаратних архітектур, різних мов програмування та інтеграцію інтелектуальних алгоритмів. Особлива увага приділяється платформам AirSim, MRPT, URBI, Webots і Node Primitives, їхнім можливостям моделювання, симуляції, управління і розробки розподілених систем із гетерогенними роботами. Дослідження має на меті визначити, як ці інструменти можуть прискорити розробку, покращити тестування і забезпечити масштабованість і адаптивність систем у реальному часі.

AirSim — це відкрита платформа для симуляції автономних робототехнічних систем, розроблена для створення високоточних віртуальних середовищ із реалістичним фізичним моделюванням. Вона підтримує роботу на різних операційних системах, зокрема Windows і Linux, що робить її кросплатформеною. AirSim дозволяє використовувати різні мови програмування, такі як C++ і Python, для створення сценаріїв управління та тестування алгоритмів автономної навігації. Платформа широко застосовується для розробки і тестування інтелектуальних алгоритмів машинного навчання, що підвищує якість симуляцій і точність експериментів у сфері робототехніки. [1].

Mobile Robot Programming Toolkit MRPT є набором відкритих бібліотек, призначених для обробки сенсорних даних, локалізації, картографії та планування руху мобільних роботів. Вона підтримує різні операційні системи, зокрема Windows і Linux, що забезпечує гнучкість застосування у різних середовищах. MRPT дозволяє легко інтегруватися з іншими програмними компонентами, що спрощує створення комплексних робототехнічних систем. Цей інструмент активно використовується для розробки автономних мобільних роботів і наукових досліджень, що підвищує ефективність і точність роботи роботів [2].

URBI — це програмне середовище, орієнтоване на розподілене управління гетерогенними робототехнічними компонентами. Його основою є мова програмування urbiscript, яка підтримує паралелізм і асинхронну взаємодію, що дозволяє реалізовувати складні сценарії роботи роботів. URBI надає можливість створювати кросплатформені програми, які працюють на різних апаратних платформах і операційних системах, що спрощує розробку гнучких і масштабованих систем управління [3].

Webots — професійний симулятор мобільних роботів, що підтримує популярні платформи Windows, macOS і Linux. Він надає розробникам інструменти для візуального моделювання 3D-середовищ, симуляції руху роботів і налагодження алгоритмів поведінки. Webots дозволяє тестувати і оптимізувати робототехнічні рішення в умовах, максимально наближених до реальних, що суттєво знижує ризики і витрати при подальшому впровадженні на реальному обладнанні [4].

Node Primitives — це платформа, яка забезпечує кросплатформену взаємодію людина-робот із акцентом на модульність і гнучкість. Вона дозволяє інтегрувати різноманітні пристрої та програмні компоненти, підтримуючи роботу в реальному часі. Завдяки цьому Node Primitives сприяє створенню складних сценаріїв співпраці між роботами та сенсорними мережами, що є важливим для розробки адаптивних і інтерактивних робототехнічних систем [5].

CyPhyHouse — інструментальний набір, призначений для розробки розподілених систем із гетерогенними роботами. Він забезпечує ефективну координацію роботи різних типів

робототехнічних пристроїв у складних і динамічних задачах. Ця платформа підкреслює важливість інтеграції та узгодження різнорідних робототехнічних систем, що дозволяє підвищити адаптивність, надійність і продуктивність таких систем у реальному часі[6].

Висновки.

Кросплатформні засоби програмування є фундаментальними для розвитку інтелектуальних робототехнічних систем. Сучасні програмні рішення для робототехніки, серед яких AirSim, MRPT, URBI, Webots, Node Primitives та CyPhyHouse, надають широкий спектр можливостей для моделювання, симуляції і керування мобільними та розподіленими роботами, забезпечуючи сумісність із різними апаратними і програмними середовищами.

Ці платформи й інструменти сприяють підвищенню ефективності розробки, полегшують тестування і налагодження, а також дозволяють інтегрувати інтелектуальні алгоритми у реальних робототехнічних системах. Особливо важливо, що кросплатформені рішення підтримують розподілені гетерогенні системи, що є перспективою для створення автономних та адаптивних роботів у складних задачах.

Подальший розвиток таких інструментів, зокрема інтеграція з методами штучного інтелекту та глибокого навчання, дозволить значно розширити функціонал і можливості робототехнічних систем, що працюють у реальному часі та різних середовищах.

Список використаної літератури

[1] Wikipedia contributors, "AirSim," *Wikipedia,* 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/AirSim. [Accessed: 05-Oct-2025].

[2] Wikipedia contributors, "Mobile Robot Programming Toolkit," *Wikipedia,* 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Robot_Programming_Toolkit. [Accessed: 05-Oct-2025].

[3] Wikipedia contributors, "URBI," *Wikipedia,* 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/URBI. [Accessed: 05-Oct-2025].

[4] J. Smith et al., "Webots: Professional Mobile Robot Simulation," *arXiv preprint,* 2004. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/cs/0412052. [Accessed: 05-Oct-2025].

[5] A. Perez et al., "Node Primitives: A Platform Independent Human-Robot Interaction Framework," *PMC,* 2020. [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7085798/. [Accessed: 05-Oct-2025].

[6] L. Garcia et al., "CyPhyHouse: Instrumental Set for Distributed Heterogeneous Robots," *arXiv preprint,* 2019. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1910.01557. [Accessed: 05-Oct-2025].

УДК 004.93’1 : 004.8

КОМБІНОВАНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ СИГНАЛІВ РІВНЯ ПАЛЬНОГО НА МОБІЛЬНИХ ПЛАТФОРМАХ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДАНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Тенета Є. В., Ситніков В. С.
(9526686@gmail.com, sitnikov@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

Подано практичну схему комбінованої фільтрації сигналів з датчиків рівня пального (ДРП), що поєднує медіанну фільтрацію, ковзне середнє (МА), двонапрямне експоненційне згладжування (ЕМА) та просту IMU-модуляцію коефіцієнта згладжування за модулем прискорення. Показано, що додавання акселерометричного фактора дозволяє пригнічувати «плескання» під час розгону/гальмування та поворотів без втрати чутливості до реальних подій (заправка, поступова витрата). Наведено формули, налаштування параметрів і узагальнені результати випробувань на реальних трасах.

Сигнали ДРП на рухомих платформах спотворюються шумом та інерційними коливаннями рідини (sloshing), спричиненими прискоренням/нахилом. Просте згладжування або надмірно «розмазує» заправки, або пропускає хибні підйоми. Доцільним є каскад із кількох простих

фільтрів плюс мінімальний облік динаміки руху через IMU-дані — зокрема, модуль лінійного прискорення.

Мета

Покращити стабільність і швидкодію оцінки рівня пального, додавши IMU-модуляцію до класичної каскадної фільтрації, не ускладнюючи модель.

Методика

1) Медіанна фільтрація (пригнічення поодиноких викидів) [1]

$$\tilde{x}_t = \text{median}\{x_{t-k}, \dots, x_t, \dots, x_{t+k}\}.$$

2) Ковзне середнє (базове згладжування високочастотних флуктуацій) [2]

$$\bar{x}_t = \frac{1}{m}\sum_{i=0}^{m-1} \tilde{x}_{t-i}.$$

3) EMA з нульовою фазою (офлайн) або каузальне EMA (онлайн) [3]

$$y_t = \alpha_t\, \bar{x}_t + (1-\alpha_t) y_{t-1}.$$

4) Проста IMU-модуляція α_t

Нехай $a_t = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ — модуль горизонтального прискорення з акселерометра (IMU)[4]. Для режимів зі значним a_t потрібен менший вклад нових спостережень (щоб не підхоплювати «плескання»), а при спокої — більший вклад (щоб оперативно реагувати на реальні події). Тому використаємо обмежену лінійну модуляцію:

$$\alpha_t = \text{clip}(\alpha_{\min} + \kappa\,(a_0 - a_t),\ \alpha_{\min},\ \alpha_{\max}),$$

де a_0 — поріг «спокою» (типово 0.05–0.10 g), $\kappa > 0$ — чутливість, clip(·) обмежує α_t у $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$.

5) Детектор подій «заправка/злив» (гістерезис) [5]

$$S_t = \sum_{i=1}^{h} (\bar{x}_{t-i+1} - \bar{x}_{t-i})\,; \quad \text{refuel, якщо } S_t > \Theta_{\uparrow}, \quad \text{drain, якщо } S_t < -\Theta_{\downarrow}.$$

У зонах refuel/drain згладжування обмежується, щоб не «з'їдати» реальні стрибки.

Результати

Розроблений комбінований підхід продемонстрував помітне поліпшення якості сигналу порівняно з традиційними методами фільтрації. Отримані результати показують, що рівень шуму суттєво зменшується, крива рівня пального стає більш стабільною під час руху, а відгук на реальні події — плавним та без артефактів. Система зберігає здатність коректно реагувати на заправку чи витрату пального навіть за складних динамічних умов (розгони, повороти, гальмування), що підтверджує ефективність інтеграції акселерометричних даних у схему фільтрації.

Висновки

Проста IMU-модуляція коефіцієнта EMA підсилює каскад «median→MA→EMA» без ускладнення системи. Підхід сумісний із потоковим режимом і дає змогу зменшити фазовий зсув двонапрямним EMA. У подальшому — інтеграція IMU-ознак у детектор подій.

Список використаної літератури

1. Pitas, I.; Venetsanopoulos, A. N. Nonlinear Digital Filters: Principles and Applications. Springer/Kluwer, 1990.
2. The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing, 1999. — Розділ 15: Moving Average Filters.
3. Брус А.А., Дікусар Є.В., Ситніков В.С., Яценко Т.П. Частотний аналіз експоненційного згладжування // *УСИМ*, 2012.
4. Ibrahim R.A. Liquid Sloshing Dynamics: Theory and Applications. Cambridge University Press, 2005
5. US Patent US20140196526A1 Diagnostic method for a refueling event detection system. Assignee: Ford Global Technologies, LLC. Publication date: 17 Jul 2014.Scikit-learn Devs. mean_absolute_error (документація).

УДК 004.6

АНАЛІЗ ДАНИХ У ВЕБ-МАГАЗИНІ ДЛЯ ПРОДАЖУ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР: ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКОВАНИХ РЕЙТИНГІВ І ВІДГУКІВ У СИСТЕМАХ ОЦІНЮВАННЯ ІГОР

Терещенко О.О. (oleksandr.tereshchenko1@nure.ua**)**
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В тезах розглядається проблема фальсифікації користувацьких рейтингів і відгуків у вебмагазинах комп'ютерних ігор, що суттєво впливає на довіру користувачів і точність рекомендаційних систем. Метою роботи є розроблення підходів до виявлення штучно створених оцінок та недостовірних коментарів на основі статистичних і машинних методів. Для попереднього аналізу застосовано Z-score як інструмент виявлення статистичних відхилень у розподілах рейтингових даних. Для точнішої ідентифікації аномалій використано алгоритм Isolation Forest, що дає змогу визначати ізольовані спостереження без попереднього навчання моделі. Додатково виконано текстовий аналіз відгуків за допомогою методу TF-IDF, який дозволяє оцінити інформативність слів і виявити підозрілі шаблони в текстах. Отримані результати демонструють ефективність комбінованого підходу до автоматизованого фільтрування недостовірних даних. Запропоновані методи можуть бути використані для покращення якості оцінювання ігор, формування об'єктивних рекомендацій та зниження впливу шахрайських дій на репутацію онлайн-платформ.

Проблема правдивості користувацьких оцінок у системах оцінювання комп'ютерних ігор полягає в тому, що значна частина відгуків може бути створена не реальними користувачами, а ботами або замовними групами, які штучно підвищують чи знижують загальну оцінку продукту. Такі маніпуляції спотворюють уявлення про якість контенту, впливають на алгоритми рекомендацій та створюють хибну довіру серед аудиторії [4]. Для виявлення подібних викривлень у роботі застосовано комбінацію статистичних і машинних методів, які дозволяють автоматично ідентифікувати потенційно недостовірні оцінки та відгуки.

На першому етапі дослідження проведено статистичну перевірку достовірності рейтингів за допомогою стандартного показника Z-score, що визначає ступінь відхилення окремої оцінки від середнього значення для певної гри [5]:

$$z_{u,i} = \frac{r_{u,i} - \mu_i}{\sigma_i}$$

де:

$r_{u,i}$ – рейтинг гри i, виставлений користувачем u;

μ_i – середнє значення рейтингу для гри i;

σ_i – стандартне відхилення рейтингу;

Якщо $|z_{u,i}| > 3$, оцінка вважається потенційною аномалією, що може свідчити про накручування або штучне зниження рейтингу.

Для підвищення точності виявлення застосовано метод Isolation Forest, який дозволяє ізолювати аномальні спостереження, аналізуючи глибину їх розташування у деревоподібній структурі [2]. Його аномальність оцінюється за формулою:

$$s(x, n) = 2 - \frac{E[h(x)]}{c(n)}$$

де:

$E[h(x)]$ – середня довжина шляху до ізоляції точки x;

$c(n)$ – нормувальний коефіцієнт для вибірки з n елементів.

Якщо $s(x, n)$ близьке до 1, то спостереження вважається ізольованим – тобто ймовірно фальсифікованим.

Окрім числових показників, значну роль відіграє змістовна частина текстових коментарів. Для її аналізу використано метод TF–IDF (Term Frequency–Inverse Document Frequency), який

дозволяє визначати вагомість окремих термінів у межах кожного відгуку [3]. Частота появи терміна t у відгуку і визначається як

$$TF = \frac{n_i}{\Sigma_k n_k}$$

де:

n_i – кількість появ терміна в і у відгуку;

$\Sigma_k n_k$ – загальна кількість усіх термінів у відгуку.

Цей показник показує локальну важливість словах в межах одного відгука

$$IDF = log\frac{|D|}{|(d_i \supset t_i)|}$$

де:

$|D|$ – загальна кількість відгуків у корпусі;

$|(d_i \supset t_i)|$ – кількість відгуків у яких зустрічається термін t_i.

Значення IDF зменшується для слів, що трапляються у більшості відгуків і зростає для рідкісних термінів

$$TF - IDF = TF \cdot IDF.$$

Чим вищий показник TF-IDF, тим більш значимим слово є для конкретного відгука. На основі TF-IDF відгуки класифікуються для визначення їхньої достовірності [3].

Отримані результати демонструють, що поєднання статистичного аналізу, методів виявлення аномалій та текстової обробки даних забезпечує ефективну автоматизацію процесу виявлення фальсифікованих рейтингів і відгуків. Запропонований підхід інтегрує статистичні техніки, алгоритми машинного навчання й методи обробки природної мови, що дозволяє істотно зменшити вплив шахрайських дій на систему оцінювання, підвищити об'єктивність рекомендацій і загальний рівень довіри користувачів до вебплатформи.

Крім того, такий підхід створює основу для подальшого вдосконалення системи аналізу користувацьких оцінок шляхом упровадження глибоких нейронних мереж для семантичного аналізу коментарів, розпізнавання емоційних маркерів і побудови більш точних моделей оцінювання достовірності відгуків.

Список використаної літератури

[1] Bishop, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

[2] Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z.-H. Isolation Forest. IEEE ICDM, 2008.

[3] Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press, 2008.

[4] Ott, M., Choi, Y., Cardie, C., & Hancock, J. T. Finding Deceptive Opinion Spam by Any Stretch of the Imagination. ACL, 2011.

[5] Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2009.

УДК: 004.8

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ВИЯВЛЕННЯ ДЕПРЕСИВНИХ ПАТЕРНІВ СОЦІАЛЬНО-ДЕСТРУКТИВНИХ НАРАТИВІВ У ТЕКСТАХ ІЗ ВІЗУАЛЬНИМ ПОЯСНЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ

Тимофієв І.А., Мазурець О.В.
(ilia.tumofiev@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

У роботі представлено нейромережевий підхід до виявлення депресивних патернів соціально-деструктивних наративів у текстах із візуальним поясненням результатів. Запропоновано гібридну архітектуру на основі трансформерних моделей BERT і GPT-2, що забезпечує інтегроване моделювання синтаксичних і семантичних ознак тексту. Система доповнена

пояснювальним модулем LIME, який візуалізує вплив окремих лексичних одиниць на класифікаційне рішення, дозволяючи ідентифікувати ключові емоційні тригери депресивних патернів. Експериментальні результати на корпусі Student-Depression-Text доводять ефективність моделі (точність понад 0.9, AUC = 0.98) та релевантність виявлених емоційних закономірностей.

Проблематика дослідження пов'язана з актуальним завданням раннього виявлення депресивних станів, що проявляються у текстовій поведінці користувачів цифрових середовищ [1]. В умовах інтенсивної цифровізації соціальні мережі стали не лише майданчиком комунікації, але й джерелом даних про психоемоційний стан користувачів. Тексти, що містять приховані ознаки апатії, безнадії чи емоційного виснаження, відображають депресивні патерни, які можуть бути маркерами соціально-деструктивних наративів від самоізоляції до поширення девіантних поведінкових моделей [2]. Виявлення таких патернів є складним завданням, оскільки емоційна семантика тексту часто виражена імпліцитно, а традиційні методи лінгвістичного аналізу не забезпечують необхідної глибини контекстуального розуміння [3]. Це зумовлює потребу у використанні глибинних нейронних архітектур, здатних навчатися на великих корпусах даних і відтворювати приховані когнітивні структури, притаманні депресивним висловлюванням.

У роботі запропоновано нейромережеву технологію, яка поєднує методи обробки природної мови з інструментами візуальної пояснюваності результатів. Основою підходу є гібридна архітектура на базі двох трансформерних моделей BERT і GPT-2, об'єднаних у дуальну систему (рисунок 1). Потік BERT виконує синтаксичний аналіз, фіксуючи структуру висловлювання, тоді як GPT-2 моделює семантичний контекст, що дозволяє врахувати змістові та емоційні відтінки. Злиття результатів обох потоків здійснюється у повнозв'язному шарі, який формує інтегрований векторний опис тексту. Такий підхід забезпечує виявлення латентних ознак депресивних станів навіть у коротких і фрагментованих висловлюваннях, характерних для мікроблогів та коментарів.

Важливою складовою дослідження є інтерпретованість результатів. На відміну від традиційних моделей, які працюють як «чорна скринька», запропонована система інтегрує пояснювальний модуль LIME, що локально апроксимує поведінку нейромережі в околі конкретного тексту. Це дає змогу візуалізувати вплив окремих токенів або фраз на класифікаційне рішення. Візуальні карти емоційної насиченості дозволяють ідентифікувати ключові тригери депресивних патернів слова, що підсилюють негативну тональність, посилюють відчуття ізоляції або самознецінення. Така інтерпретація надає дослідникам інструмент для глибшого когнітивного розуміння того, як формуються соціально-деструктивні наративи, та створює можливість для психолінгвістичної верифікації отриманих результатів.

Експериментальна частина дослідження здійснювалася на основі англомовного набору даних Student-Depression-Text, який містить понад сім тисяч текстів, розмічених за наявністю або відсутністю депресивних ознак. Проведено попередню очистку даних, токенізацію та балансування вибірки для уникнення класового перекосу. Навчання здійснювалося із застосуванням GPU-акселерації та методів регуляризації, що забезпечило стабільну збіжність і високу узагальнювальну здатність моделі. Отримані результати демонструють точність класифікації понад 0.9 та площу під ROC-кривою 0.98, що перевищує показники базових моделей BERT і RedditBERT.

Візуальна інтерпретація результатів показала, що для депресивних висловлювань характерна асиметрія емоційного навантаження: початкові частини тексту зазвичай мають нейтральний або занижено-позитивний тон, тоді як завершення містить експресивні елементи безнадії, втоми чи самозвинувачення. Така динаміка емоційного зсуву була зафіксована у понад 80% випадків, що підтверджує релевантність моделі не лише як класифікатора, а й як аналітичного інструменту для когнітивного вивчення депресивного дискурсу. Візуальні карти LIME дозволили виділити типові емоційні домінанти вирази, пов'язані з відчуттям марності («nothing matters»), самознеціненням («I am useless»), відсутністю контролю («can't handle anymore») які є маркерами соціально-деструктивних тенденцій у комунікаційному просторі.

Застосування запропонованої моделі має не лише дослідницьке, а й практичне значення. Вона може бути інтегрована у системи моніторингу цифрових платформ для виявлення ризикових користувацьких повідомлень у режимі реального часу. Інтерпретованість результатів створює можливість їх використання в освітньому та психологічному середовищі для підтримки студентів,

профілактики емоційного вигорання, а також у межах інформаційної безпеки, де депресивні патерни часто стають частиною ширших соціально-деструктивних наративів.

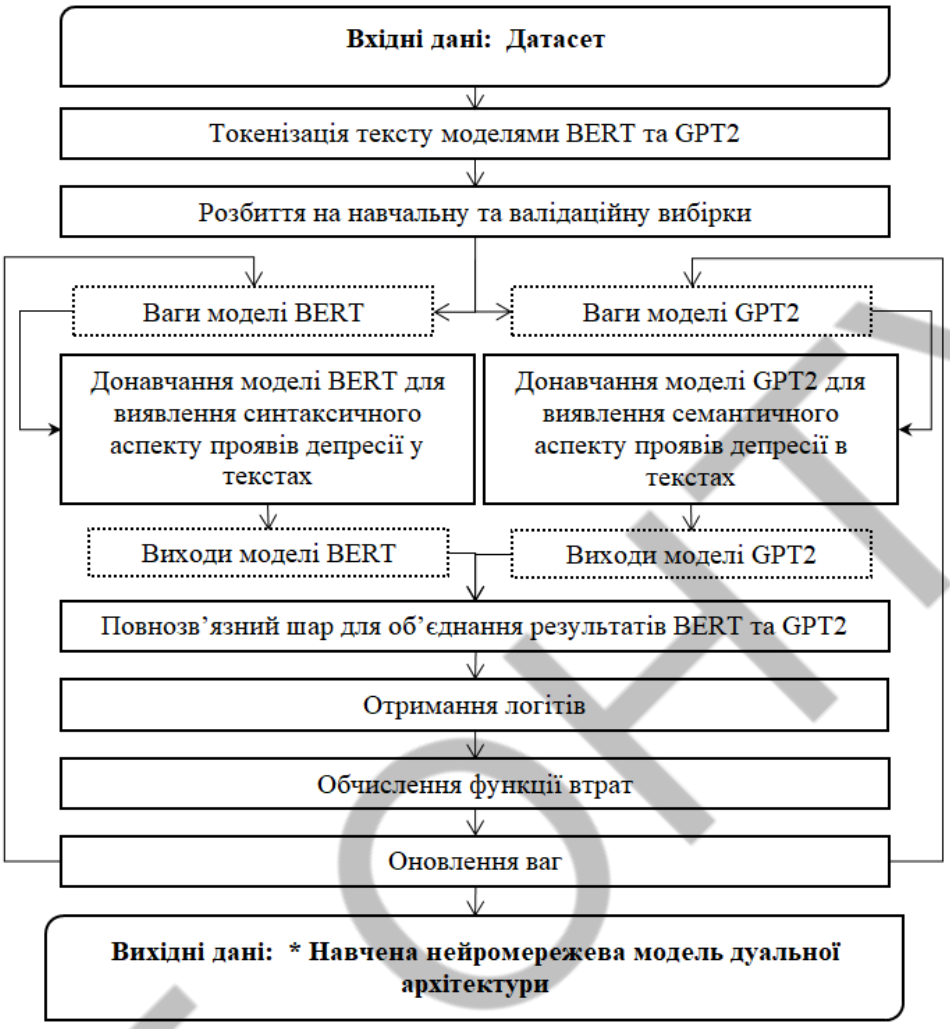


Рисунок 1 – Архітектура нейромережі

Наукова новизна роботи полягає у розробленні нейромережевого методу, що поєднує трансформерну дуальну архітектуру з візуальною пояснюваністю результатів. Це дозволяє одночасно підвищити точність класифікації та забезпечити когнітивну прозорість прийнятих рішень, що є ключовою вимогою до систем пояснюваного штучного інтелекту. Запропонований підхід формує методологічне підґрунтя для побудови інтелектуальних систем цифрової емпатії таких, що не лише реагують на дані, а й розуміють емоційні стани користувачів у контексті їх соціальної взаємодії.

У перспективі дослідження передбачає розширення корпусу текстів за рахунок багатомовних джерел і впровадження багатоканальних моделей, які поєднують текстові, візуальні та аудіальні ознаки. Це відкриває можливості для комплексного аналізу емоційного стану користувачів і створення мультисенсорних систем раннього попередження депресивних епізодів. Таким чином, нейромережеве виявлення депресивних патернів із візуальним поясненням результатів становить новий крок у розвитку когнітивно-орієнтованого штучного інтелекту, який об'єднує аналітичну точність, інтерпретованість і гуманістичну спрямованість.

Список використаних джерел

[1] S. Zhou and M. Mohd, "Mental Health Safety and Depression Detection in Social Media Text Data: A Classification Approach Based on a Deep Learning Model" IEEE Access, 2025. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10960428/ [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] О. В. Мазурець, І. А. Тимофієв, В. І. Кліменко, і О. О. Тищенко, "Метод виявлення депресивного стану, пов'язаного із навчанням у закладах освіти, із використанням нейромережі

дуальної архітектури", Вісник Херсонського національного технічного університету, № 4 (91), с. 311–318, 2024. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.4.41.

[3] I. Tymofiiev, O. Mazurets, D. Hardysh, and M. Molchanova, "Neural Network Dual Architecture for Depression Detection Using Cloud Services" in Proceedings of the XLVI International Scientific and Practical Conference "Scientific Research in the Era of Digital Technologies: Challenges and Opportunities", Barcelona, Spain, Nov. 6–8, 2024, pp. 84–88. DOI: 10.70286/ISU-06.11.2024.

УДК 004

РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ ОС ДЛЯ БАГАТОПОТОКОВИХ AI-ДОДАТКІВ

Фуркало Д.Ю. (daniilf077@knu.ua)
Ткаченко О. М. (olga.tkachenko@knu.ua)
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

Сучасні додатки штучного інтелекту (ШІ), такі як системи глибокого навчання та обробки великих даних, активно використовують багатопоточність. У таких умовах операційна система (ОС) виконує ключову роль у забезпеченні ефективного використання обчислювальних ресурсів.

Попри значний прогрес у розвитку операційних систем, багатопотокові AI-додатки стикаються із низкою системних викликів, що безпосередньо впливають на їхню продуктивність. Одним із ключових факторів є надмірне переключення контексту між потоками, яке зростає при великій кількості дрібнозернистих завдань і призводить до додаткових накладних витрат на синхронізацію та управління потоками. Крім того, відсутність інтегрованого планування CPU та GPU у багатьох ОС зумовлює неефективне використання гетерогенних обчислювальних ресурсів, оскільки завдання на GPU часто виконуються асинхронно від потоків CPU. Особливо критичною проблемою є обмеженість пам'яті GPU під час роботи з великими моделями глибокого навчання (Large Language Models), що може призводити до частих операцій обміну даними між CPU та GPU і, як наслідок, до зниження продуктивності.

Сучасні AI-додатки, особливо системи глибокого навчання та обробки великих даних, вимагають одночасного використання численних потоків CPU та GPU, а також ефективного управління пам'яттю та I/O. Для оптимальної роботи таких додатків операційні системи реалізують різні механізми керування ресурсами, що націлені на зменшення затримок, уникнення надмірних переключень контексту та балансування навантаження між процесорними ядрами та графічними прискорювачами.

Windows. У середовищі Windows для багатопотокових AI-навантажень ключовим механізмом є апаратне планування GPU (Hardware-Accelerated GPU Scheduling, HAGS). Цей підхід дозволяє частково делегувати управління виконанням графічних задач безпосередньо GPU, що знижує накладні витрати на CPU та дозволяє прискорити обробку паралельних завдань. Крім того, Windows використовує пріоритетно-орієнтоване планування CPU із динамічною адаптацією пріоритетів потоків, що забезпечує ефективний розподіл процесорного часу між критичними та фоновими процесами. Такий підхід дозволяє більш гнучко управляти ресурсами при одночасному виконанні численних AI-операцій, наприклад, тренування нейронних мереж або інференс великих моделей.

Проте інтеграція CPU і GPU у Windows реалізована на двох окремих рівнях: CPU керує підготовкою та відправкою завдань на GPU, а сам GPU управляє їх виконанням. У результаті при високому навантаженні може спостерігатися збільшення латентності через несинхронізоване планування потоків, що вимагає додаткових оптимізацій на рівні драйверів або фреймворків AI.

Linux. Linux пропонує масштабовану та гнучку архітектуру для багатопотокових AI-навантажень завдяки поєднанню планувальника Completely Fair Scheduler (CFS) і драйверів GPU, таких як CUDA та ROCm. CFS забезпечує справедливий розподіл процесорного часу між усіма

потоками, дозволяючи ефективно балансувати навантаження на багатоядерних системах. Такий підхід особливо важливий для серверних AI-завдань, де кількість потоків може перевищувати сотні.

Драйвери GPU у Linux дозволяють створювати пріоритети виконання для потоків GPU, керувати контекстами паралельних обчислень та інтегрувати роботу декількох процесів.

Крім того, Linux підтримує NUMA-балансування та Transparent HugePages, що оптимізує доступ до великих обчислювальних наборів даних, мінімізує витрати на переміщення пам'яті та зменшує латентність доступу до ресурсів. Основним викликом Linux залишається відсутність повної інтеграції CPU-GPU планування на рівні ядра, через що ефективність використання гетерогенних систем сильно залежить від драйверів та AI-фреймворків.

macOS. На macOS, особливо на платформах Apple Silicon, вирішення проблем багатопотокових AI-навантажень відбувається комплексно та системно. Використання уніфікованої пам'яті дозволяє CPU і GPU працювати з одними й тими ж даними без дублювання, що значно знижує витрати часу на копіювання та синхронізацію між різними обчислювальними блоками.

Grand Central Dispatch (GCD) забезпечує динамічний розподіл потоків між продуктивними P-ядрами та енергоефективними E-ядрами, що дозволяє оптимізувати співвідношення між швидкістю виконання обчислень і енергоспоживанням. Така інтеграція дозволяє зменшити джиттер у латентності, підвищити ефективність багатопоточності та збільшити пропускну здатність AI-додатків у реальному часі. MacOS також підтримує механізми оптимізації управління чергами задач, що дозволяє адаптивно масштабувати ресурси під конкретне навантаження, забезпечуючи стабільну продуктивність навіть при високій конкуренції потоків.

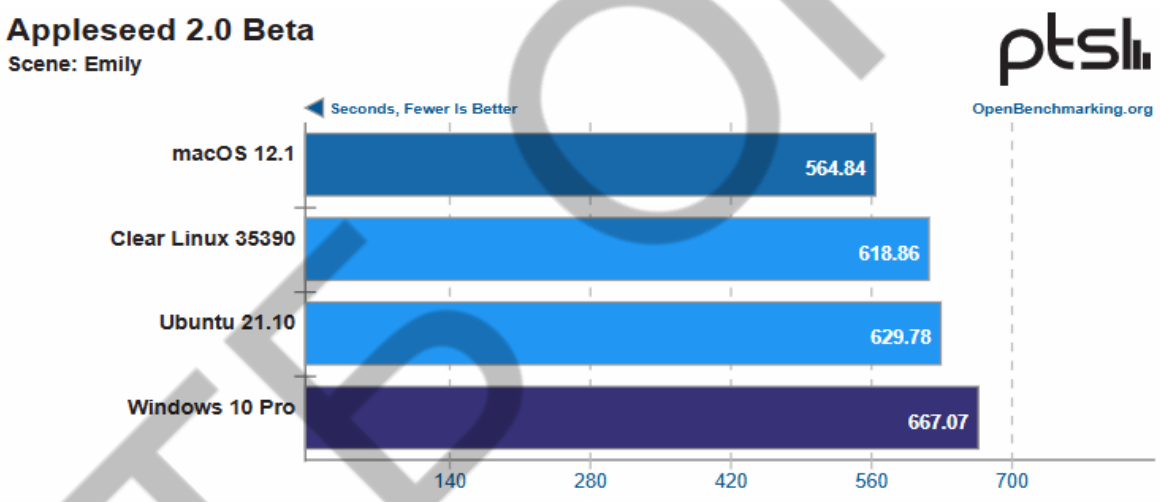


Рисунок 1 - Порівняння продуктивності операційних систем у рендерингу Appleseed 2.0 Beta (сцена: Emily)

На представленому графіку показані результати тесту Appleseed 2.0 Beta (сцена: Emily) для чотирьох операційних систем: macOS 12.1, Clear Linux 35390, Ubuntu 21.10 та Windows 10 Pro. По осі X відображено час виконання рендерингу в секундах, де менші значення відповідають кращій продуктивності. Графік має горизонтальні стовпчики, кожен із яких відповідає певній ОС.

З графіка видно, що macOS 12.1 продемонструвала найкращу продуктивність із часом 564,84 секунди, що є найменшим серед усіх систем. Clear Linux 35390 показала дещо гірший результат - 618,86 секунди, проте все ще кращий за Ubuntu та Windows. Ubuntu 21.10 виконала рендеринг за 629,78 секунди, трохи повільніше за Clear Linux. Найгірший результат показала Windows 10 Pro із часом 667,07 секунди, що приблизно на 18% більше, ніж у macOS.

Ці результати свідчать, що у тесті рендерингу Appleseed 2.0 Beta macOS 12.1 забезпечує найвищу ефективність серед досліджених операційних систем. Лінуксові дистрибутиви, Clear Linux та Ubuntu, демонструють середню продуктивність, при цьому Clear Linux виглядає суттєво оптимізованим для завдань високої продуктивності. Windows 10 Pro виявилася найповільнішою, що вказує на відносно нижчу ефективність у задачах рендерингу, пов'язаних із обробкою графіки

та потенційними AI-навантаженнями. Дані підтверджують, що вибір операційної системи може істотно впливати на продуктивність у специфічних графічних та AI-завданнях

Список використаної літератури

1. Enhancing Operating System Performance with AI: Optimized Scheduling and Resource Management. Vasuki Shankar, Krishna B Srivatsava, Xiaoyong Li [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/391880725_Enhancing_Operating_System_Performance_with_AI_Optimized_Scheduling_and_Resource_Management
2. Operating System And Artificial Intelligence: A Systematic Review [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://arxiv.org/html/2407.14567v1
3. Jean-Jerome Levy [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://scalastic.io/en/apple-silicon-vs-nvidia-cuda-ai-2025/
4. Michael Larabel [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://openbenchmarking.org/result/2112211-TJ-MACWINLIN08%26sgm%3D1%26swl%3D1%26hgv%3DmacOS%2B12.1%26sor

УДК 004.932:681.3

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕТАЛОННОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СКАНОВАНИХ ПРОСТОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Камелія ЧІНКУЕ, Паола ЧІНКУЕ
(kameliia.chinkue.ki.2023@lpnu.ua),
Інститут поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка» (Україна)

Розглядається застосування методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту для автоматизації контролю якості 3D-моделей просторових зображень в інтерактивних середовищах. Обґрунтовано необхідність переходу від ручного візуального контролю до автоматизованих систем, що дозволяють підвищити точність та швидкість оцінки цифрових зображень.

Постановка проблеми та актуальність. Розвиток технологій сканування та відтворення тривимірних об'єктів сприяє значним змінам у багатьох сферах науки та техніки. Однією з найбільш перспективних галузей є створення інтерактивних електронних видань, що інтегрують 3D-моделі для покращення якості сприйняття та взаємодії з контентом [1]. Важливим аспектом у цьому процесі є контроль якості тривимірних зображень, оскільки саме точність та деталізація моделей визначають ефективність їх використання в навчальних, дослідницьких та презентаційних цілях. Особливу увагу привертає проблема забезпечення високої якості сканування об'єктів, оскільки недоліки в моделюванні можуть значно вплинути на достовірність результатів та впливати на користувацький досвід. У зв'язку з цим необхідно розробити ефективні методи оцінки якості 3D зображень, що дозволяють автоматизувати цей процес та знижувати ризики виникнення помилок. У статті розглядаються основні підходи до оцінки якості 3D сканування, а також роль інтерактивних середовищ у наданні можливості глибокого аналізу та інтерпретації даних.

Мета: розробити та обґрунтувати підхід до автоматизації контролю якості цифрових зображень на основі методів комп'ютерного зору, що забезпечує об'єктивну, швидку та ефективну оцінку зображень для подальшого використання в інформаційних системах, мультимедіа та цифрових виданнях. **Завдання**: побудувати ієрархію інтелектуальної системи автоматизованої оцінки якості зображень з урахуванням ключових метричних показників.

Виклад суті дослідження. Створення тривимірних моделей об'єктів шляхом сканування забезпечує можливість їх точного збереження, аналізу та віртуальної репрезентації. Проте у процесі оцифрування можуть виникати різноманітні дефекти, що суттєво знижують якість 3D-моделей, зокрема геометричні спотворення, втрати топології, шуми, артефакти, а також помилки текстурування [2]. У зв'язку з цим постає потреба у впровадженні автоматизованих систем

контролю якості, здатних забезпечити об'єктивну, стабільну та масштабовану перевірку сканованих цифрових моделей.

Контроль якості 3D-зображень суттєво ускладнюється порівняно з 2D-зображеннями через багатовимірність даних, необхідність врахування як геометричних, так і візуальних параметрів об’єкта, а також складність представлення результатів оцінки [3]. У загальному випадку 3D-зображення представлене у вигляді полігональної сітки, точкової хмари або воксельної структури, до якої може бути прив’язана текстурна інформація. Кожен із цих форматів потребує окремих методів аналізу. Основними завданнями автоматизованого контролю є виявлення таких дефектів, як відсутні або перекручені полігони, топологічні розриви, надлишкова деталізація, шумові викривлення, неправильне вирівнювання, а також неузгодженості між геометрією та текстурою (рис. 1). Крім того, важливо враховувати симетричність, згладженість поверхонь, правильність розміщення нормалей та відповідність геометричних параметрів оригінальному об’єкту.

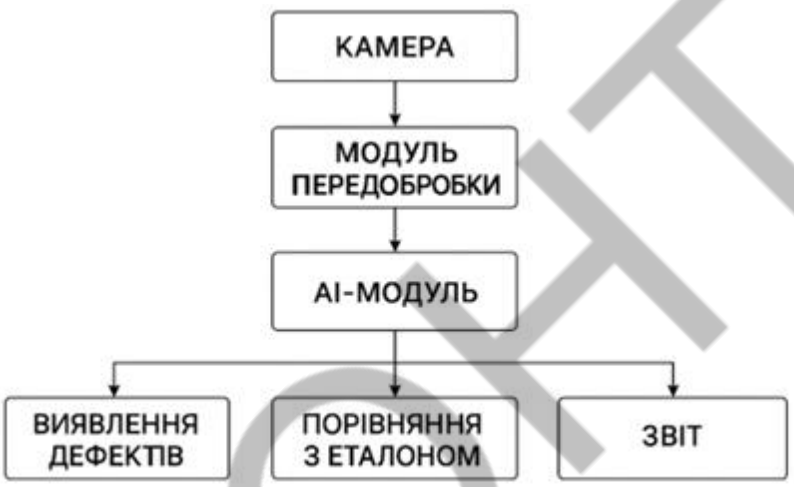


Рис. 1 – Ієрархія інтелектуальної системи контролю якості поліграфічної продукції

Для розв’язання поставлених завдань у межах автоматизованих систем контролю якості вирішено застосувати методи комп’ютерного зору, що поєднують класичні алгоритми геометричного аналізу з сучасними підходами штучного інтелекту. Дослідження показали, що одним із базових підходів є аналіз відхилень між сканованою моделлю та еталонною 3D-моделлю або CAD-об’єктом. За допомогою метрик, таких як середньоквадратичне відхилення точок (RMSD), максимальна відстань між відповідними вершинами (Hausdorff Distance) та відносне відхилення об’ємів, можна кількісно оцінити точність сканування.

Основна перевага еталонного підходу полягає в його об’єктивності та високій чутливості до мікровідхилень, що особливо важливо в контексті метрології, інженерного аналізу, медичної візуалізації, а також при збереженні культурної спадщини. Методологія еталонного контролю передбачає попереднє вирівнювання сканованої моделі та еталону в єдину систему координат. Для цього застосовуються алгоритми реєстрації, зокрема ітеративний метод найближчих точок (ICP), що забезпечує мінімізацію відстаней між відповідними точками двох поверхонь. Точність реєстрації суттєво впливає на достовірність подальшого аналізу, тому можуть додатково використовуватися методи грубого вирівнювання за характерними ознаками, такими як орієнтири, ключові точки або анатомічні/геометричні особливості об'єкта. Як зазначалось, після вирівнювання обчислюються метрики схожості, серед яких найбільш поширеними є середньоквадратична похибка (Root Mean Square Error), максимальна та середня евклідова відстань, поверхнева похибка Hausdorff'а, а також нормалізовані показники на основі відносного масштабу об’єкта.

Важливим аспектом еталонного контролю є вибір типу (формату) представлення моделі. Кожен із форматів передбачає специфічні методи порівняння. Так, для хмар точок проводиться аналіз щільності та просторової однорідності, тоді як у полігональних сітках додатково враховуються топологічні характеристики, зокрема кількість вершин, ребер, типи поверхонь та наявність топологічних дефектів. У випадках, коли модель має текстурну або колірну інформацію,

здійснюється комбінована оцінка геометричної та візуальної відповідності. Це може включати обчислення різниці кольорових компонентів у відповідних ділянках поверхні, аналіз мап нормалей, оцінку точності UV-розгортки або перевірку на наявність зміщення текстури.

Впровадження AI-модуля машинного навчання (рис. 1) дозволяє суттєво підвищити точність виявлення дефектів за рахунок автоматичного навчання на основі великих наборів попередньо впорядкованих прикладів. Зокрема, застосування 3D-згорткових нейронних мереж (3D-CNN) та графових нейронних мереж (GNN) [#] дає змогу моделювати залежності між точками або вершинами сітки та класифікувати їх за ступенем відхилення від нормативних характеристик. Нейронні мережі також здатні виявляти комплексні дефекти, які важко формалізувати у вигляді ручних правил. Ефективність таких моделей залежить від репрезентативності навчальних даних, тому важливо забезпечити розмаїття бази прикладів, що включають різні типи дефектів, масштаби об’єктів та формати представлення.

У практичному застосуванні при підготовці інтерактивних електронних видань еталонний контроль дає змогу не лише визначити загальну відповідність моделі еталону, але й здійснити локалізований аналіз помилок. На основі візуалізації карти відхилень оператор або система може точно визначити ділянки з надмірним викривленням, прогалинами або іншими порушеннями, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо повторного сканування, післяобробки або виключення дефектних моделей із подальшої обробки. Такі карти відхилень можуть бути представлені у вигляді псевдокольорових зображень, тривимірних теплових мап або текстових звітів із детальною статистикою. Серед обмежень еталонного підходу виявлено необхідність високоточної відповідності геометрії сканованого об’єкта з еталонною моделлю, що у випадку біооб’єктів або органічних структур є складним через природну варіативність. Також обчислювальна складність вирівнювання та порівняння великих 3D-моделей обмежує швидкість обробки, особливо в умовах масового сканування.

Висновки. Показаний автоматизований підхід до еталонного контролю якості 3D-зображень гарантує зменшення впливу людського чинника, прискорення обробки великих обсягів даних, а також можливість створення стандартизованих процедур візуального контролю. У перспективі розвитку проєкту інтерактивних середовищ підтримки електронних видань планується подальша інтенсифікація досліджень у напрямі поєднання комп’ютерного зору з технологіями доповненої реальності, моделювання фізичних властивостей об’єктів та семантичної обробки 3D-даних.

Перелік використаних джерел

1. Чінкуе П., Чінкуе К. Інтерактивне AI-середовище як засіб оптимізації навчання поліграфічних спеціальностей. Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2025 / Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 25-26 вересня 2025. С. 409-410.
2. Іванов С., Олійник П. Застосування тривимірного сканування для контролю деталей машин. Прикладна геометрія та інженерна графіка, № 106 (1), 2024. С. 119-132
3. Білинський Й. Й., Животівський С. М., Огляд методів 3D-контролю геометричних розмірів деталей. Вісник ВПІ, № 2. С. 114-122

УДК 004.8:681.5

ЕВОЛЮЦІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ: ВІД ЖОРСТКИХ АЛГОРИТМІВ ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РОБОТІВ

Шепель А.С., Франчук Т.М. (a.shepel_fit_13_23_b_d@knute.edu.ua, t.franchuk@knute.edu.ua)
Державний торговельно-економічний університет (Україна)

Автоматизація, що історично розглядалася як процес заміщення рутинної фізичної праці, на сучасному етапі трансформувалася у фундаментальний драйвер когнітивної та креативної еволюції виробничих і соціальних систем. Її розвиток - це не просто лінійне вдосконалення механізмів, а зміна підходу від точного дотримання інструкцій до самостійних і гнучких дій розумних систем. Ця еволюція пройшла шлях від механічних автоматів до глобальних мереж

інтелектуальних агентів, що функціонують у рамках концепцій Industry 4.0 та Industry 5.0, і демонструє чіткий вектор розвитку: від повної підконтрольності до повноцінної колаборації з людиною.

На початковому етапі, що домінував у XX столітті, панувала концепція жорсткої автоматизації. Її технологічною основою були програмовані логічні контролери (ПЛК) та верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ), які працювали за парадигмою "один продукт - одна лінія". Такі системи були ідеально оптимізовані для масового виробництва, де головними показниками були швидкість та низька вартість одиниці продукції. Однак фундаментальним обмеженням цього підходу була його критична негнучкість. Переналагодження виробництва під новий продукт було економічно невигідним, що унеможливлювало кастомізацію.

Відповіддю на цей виклик у 1970-80-х роках стала гнучка, або програмована, автоматизація, рушієм якої стала поява мікропроцесорів та промислових роботів-маніпуляторів. Парадигма змінилася на "одна лінія - сімейство продуктів", що дозволило виробляти різні модифікації виробу на одному обладнанні шляхом зміни програмного забезпечення, а не апаратної частини. Незважаючи на значний крок уперед, ці системи залишалися "сліпими" та "глухими". Вони функціонували в строго структурованому, ізольованому від людини середовищі й не могли адаптуватися до непередбачуваних змін.

Наступний еволюційний стрибок був пов'язаний з інтеграцією сенсорних систем та алгоритмів штучного інтелекту, що започаткувало еру інтелектуальної автоматизації. Поява систем машинного зору, силомоментних датчиків та лідарів (LiDAR) надала роботам здатність до перцепції - сприйняття навколишнього світу. Завдяки алгоритмам розпізнавання образів на базі згорткових нейронних мереж (CNN) та технологіям одночасної локалізації та картографування (SLAM), роботи навчилися адаптуватися до неструктурованого середовища: сортувати об'єкти, переміщатися динамічними складами та виконувати операції з неідеально розташованими деталями.

Проте цей інтелект залишався переважно реактивним; дії робота базувалися на заздалегідь прописаних сценаріях реагування. Справжній прорив стався з інтеграцією машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning), яке дозволило роботам оптимізувати свої дії на основі власного досвіду. Це, у поєднанні з розвитком систем безпеки, відкрило шлях до створення колаборативних роботів (коботів). На відміну від промислових гігантів, коботи працюють пліч-о-пліч з людиною, реалізуючи парадигму Industry 5.0: "людина та робот як партнери". Вони доповнюють людські можливості, беручи на себе рутинні та фізично важкі завдання.

Сьогодні ми є свідками нової революції, де роботи переходять від простого виконання завдань до їх глибокого розуміння та самостійної декомпозиції. Цей етап визначається інтеграцією генеративного ШІ, зокрема великих мовних (LLM) та візуально-мовних (VLM) моделей, у системи управління. Концепція "втіленого інтелекту" (Embodied AI) дозволяє ШІ навчатися через фізичну взаємодію зі світом. Це відкриває фантастичні можливості: оператор може віддавати команди природною мовою, а робот, оснащений такими моделями, самостійно генерує послідовність дій для вирішення комплексного завдання, навіть якщо його цьому не навчали напряму. Технології перенесення навичок із симуляції в реальність (Sim-to-Real) кардинально прискорюють цей процес. Парадигма знову змінюється, перетворюючи робота на автономного когнітивного агента, здатного до узагальнення та вирішення проблем у нових, раніше не бачених ситуаціях.

На завершення, еволюція автоматизації демонструє нестримний рух від жорсткого детермінізму до когнітивної автономії. Кожен етап розширював горизонти можливого, переносячи фокус з механічної ефективності на інтелектуальну гнучкість. Сучасний етап, керований генеративним ШІ, обіцяє створити системи, що не просто виконують накази, а розуміють наміри. Це ставить перед суспільством фундаментальні виклики: від трансформації ринку праці до розробки етичних норм для автономних систем, спонукаючи до пошуку нової синергії, де технології посилюють, а не витісняють унікальний людський потенціал.

Список використаних джерел

1. Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (5th ed.)*. Pearson.

2. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer.
3. Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*. European Commission.
4. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.)*. MIT Press.
5. Ahn, M., Brohan, A., Brown, N., et al. (2022). *Do As I Can, Not As I Say: Grounding Language in Robotic Affordances*. arXiv preprint arXiv:2204.01691.
6. Shvets, V., Yanushkevych, D., & Galkin, A. (2022). *Cyber-physical systems as a basis for intelligent production in the context of Industry 4.0.* Journal of Physics: Conference Series, 2289(1), 012028.
7. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
8. Team, G. P., et al. (2023). *RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control*. arXiv preprint arXiv:2307.15818.

УДК 621.398:623.368:004.896

АПАРАТНО-ПРОГРАМНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ ДЕТЕКТОРОМ МІН НА БАЗІ ГЕКСАПОДА

Шишканич Т.В. (tshyshkanych@gmail.com)
Ужгородський національний університет (Україна)

Розглянуто розробку апаратно-програмної системи мобільного детектора мін, створеного на базі шестиногого робота-гексапода. Система поєднує технології мікроконтролерного керування, бездротової передачі даних LoRa, просторової навігації GPS та аналізу сигналів металошукача імпульсного типу [1; 4; 5]. Результатом є автономна мобільна платформа, здатна виконувати обстеження території за заданим маршрутом із дистанційним моніторингом результатів через мобільний застосунок.

Постановка проблеми. Проблема виявлення мін і вибухонебезпечних предметів на звільнених територіях України залишається критичною для безпеки населення та відновлення інфраструктури. Традиційні методи розмінування передбачають безпосередню участь людини, що створює високий ризик для саперів [2]. Тому актуальним є створення мобільних роботизованих систем, здатних проводити первинне обстеження місцевості автономно або під дистанційним контролем оператора [3].

Запропонований у роботі підхід спрямований на розробку апаратно-програмної системи мобільного детектора мін, який базується на шестиногому гексаподі, оснащеному металошукачем, навігаційними та комунікаційними модулями.

Матеріали і методи. Основою системи є мікроконтролер STM32F401CCU (ядро ARM Cortex-M4), який виконує керування рухом гексапода, обробку сигналів металошукача та збір телеметрії [8]. Для керування 18 сервоприводами типу MG996R застосовано два драйвери PCA9685, які забезпечують точне формування ШІМ-сигналів по шині I²C.

Передавання даних реалізовано через пару модулів LoRa Ra-02 (SX1278), які забезпечують стабільний канал зв’язку між польовим модулем STM32 і базовим модулем ESP32-WROOM на відстані до 2–5 км [9]. ESP32 передає дані користувачу через Bluetooth Low Energy (BLE) у вигляді координат і сповіщень про виявлення металевих об’єктів [10]. Для позиціювання використовується GPS-модуль NEO-6M.

Металодетектор побудований на основі імпульсного модуля M158.1, який працює за принципом Pulse Induction (PI) [5; 11] та здатний виявляти металеві об’єкти на глибині до 25 см. Сигнал обробляється через АЦП STM32 із подальшою цифровою фільтрацією та передачею результату у вигляді події детекції.

Живлення системи здійснюється від акумулятора Li-Po 3S (11.1 В, 5200 мА·год, 25C) із використанням DC-DC перетворювачів для стабілізації напруги. Корпус і механічні частини виготовлені методом 3D-друку з PETG, що забезпечує баланс між міцністю та гнучкістю [12].

Суть дослідження. Система базується на мікроконтролерному керуванні рухом гексапода та одночасному зборі сигналів від імпульсного металошукача. Обробка даних виконується STM32 із цифровою фільтрацією сигналів, після чого результати передаються по LoRa-каналу до ESP32 [4; 9].

Гексапод пересувається за заданим маршрутом, коригуючи рух у разі виявлення металевих об'єктів. Передбачено можливість відображення координат виявлення у мобільному додатку та збереження результатів у пам'яті системи. Така архітектура забезпечує низьке енергоспоживання, великий радіус дії (до 2 км) і підвищену безпеку оператора [7; 13].

Результати. Розроблений прототип гексапода має шість незалежних кінцівок із трьома ступенями свободи кожна (coxa, femur, tibia), що дозволяє пересуватись по нерівній поверхні з підтриманням стабільності корпусу [14]. Польові випробування прототипу показали стабільну передачу даних LoRa на відстані до 1,8 км у відкритій місцевості. Металодетектор M158.1 демонструє впевнене виявлення металевих об'єктів діаметром понад 3 см на глибині 20–22 см у сухому ґрунті.

Автономність системи становить близько 50 хвилин активної роботи. Розроблено мобільний застосунок для Android, який дозволяє оператору керувати напрямком руху гексапода, задавати маршрут обходу та отримувати повідомлення з координатами точок виявлення [10; 14].

Висновки. Створена апаратно-програмна система підтвердила ефективність поєднання мікроконтролерів STM32 і ESP32, LoRa-комунікації та імпульсного металодетектора в межах однієї мобільної платформи [4; 9]. Запропоноване рішення забезпечує безпечне дистанційне обстеження територій із можливістю автоматизованого обходу. Подальші дослідження передбачають інтеграцію георадарного модуля (GPR) для підвищення точності класифікації об'єктів та використання нейронних мереж для фільтрації хибних сигналів [16; 17].

Список використаної літератури

[1] L. A. Marsh, D. Daniels, and S. Watts, *Combining Electromagnetic Spectroscopy and Ground-Penetrating Radar for the Detection of Anti-Personnel Landmines,* Sensors, vol. 19, no. 9, pp. 2015–2030, 2019.

[2] U. Abhijith and S. Sreeja, *Land Mine Detection Robot,* Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 13, no. 2, pp. 88–94, 2024.

[3] I. V. Bryakin, D. O. Khazieva, and N. Yu. Rudometkin, *Developing a Combined Method for Detection of Buried Metal Objects,* Machines, vol. 9, no. 2, p. 25, 2021.

[4] W. A. Salah and A. A. A. Shabaneh, *Development and Implementation of a Low-Cost Metal Detector Device,* Bull. Electr. Eng. Inform., vol. 13, no. 5, pp. 3100–3111, 2024.

[5] H. Citak, *Pulse Induction Metal Detector: A Performance Application,* IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 48, no. 6, pp. 2210–2223, 2020.

[6] B.-M. Jung, Y.-S. Chang, and S.-H. Han, *Coil Design of Pulse Induction Metal Detector,* J. Korean Inst. Electromagn. Eng. Sci., vol. 26, no. 4, pp. 389–396, 2015.

[7] K. Koyama, H. Hoshikawa, and T. Sakon, *Study on Metal Detection with Electromagnetic Induction Probe Utilizing Rotating Magnetic Field,* Electr. Eng. Jpn., vol. 177, no. 4, pp. 1–11, 2011.

[8] STMicroelectronics, *STM32F401 Reference Manual,* RM0368, 2022. [Online]. Available: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0368-stm32f401-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf

[9] Semtech Corporation, *SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver,* Datasheet, 2023. [Online]. Available: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3179/sx1276_77_78_79.pdf

[10] Android Developers, *Bluetooth Low Energy Overview,* 2024. [Online]. Available: https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/ble/ble-overview

[11] Instructables, *Clone PI-W Atmega8 (Arduino) Metal Detector Short Review,* 2023. [Online]. Available: https://www.instructables.com/Clone-PI-W-Atmega8-Arduino-Metal-Detector-Short-Re

[12] All3DP, *3D Printing Materials Comparison: PLA vs ABS vs PETG,* 2024. [Online]. Available: https://all3dp.com/1/pla-vs-abs-vs-petg/

[13] J. Coelho, P. Lima, and A. Bonarini, *Trends in the Control of Hexapod Robots: A Survey,* Robotics, vol. 10, no. 3, p. 100, 2021.

[14] Instructables, *3D Printed Hexapod: Full Model and Assembly Guide*, 2022. [Online]. Available: https://www.instructables.com/3D-Printed-Hexapod/

[15] Y.-X. Ya and J. Bo, *Gait Generation and Control of a Hexapod Walking Robot,* Open Electr. Electron. Eng. J., vol. 8, no. 1, pp. 335–341, 2014.

[16] C. Bruschini, M. Sahli, and J. P. Groen, *Combined Metal Detector and Ground-Penetrating Radar Performance Evaluation,* in *Proc. Detection Technologies Conf.*, pp. 120–125, 2020.

[17] A. Zyada, R. Nassar, and H. El-Fouly, *Neural Signal Processing for Landmine Detection Systems,* Appl. Sci., vol. 12, no. 3, p. 2107, 2022.

УДК 004.9; 004.8

АНСАМБЛЕВИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРНО-ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ТА ГЛИБИННИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Шквір І.Е. (ivanshkvir@gmail.com), **Ємець К.В., Ізонін І.В., Гентош Л.І.**
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розроблено новий ансамблевий метод для прогнозування часових рядів, який поєднує структурний та частотний аналізи даних із використанням глибинних нейронних мереж. В його основі покладено використання декомпозиції STL (Seasonal-Trend decomposition using Loess) та швидкого перетворення Фур'є (FFT) для формування розширеного набору ознак. Такий підхід дозволяє більш повно відобразити як сезонно-трендову, так і спектральну структуру даних. Отримані результати експериментів свідчать про суттєве підвищення точності прогнозування у порівнянні з класичними підходами на базі MLP.

Сучасні системи прогнозування часових рядів відіграють ключову роль у широкому спектрі галузей – від енергетики та екології до фінансів і медицини. Одним із найскладніших завдань у цій сфері є побудова моделей, здатних ефективно враховувати як коротко-, так і довгострокові залежності у даних. Зазвичай застосування глибинних нейронних мереж дає змогу моделювати нелінійні зв'язки, проте без урахування структури ряду та його частотної характеристики ці моделі часто не здатні досягти необхідної точності прогнозу.

У цій роботі розроблено новий ансамблевий метод, який поєднує два важливі типи аналізу часових рядів – структурний та частотний. Структурний аналіз виконується за допомогою STL-декомпозиції, яка розділяє часовий ряд на трендову, сезонну та залишкову (шумову) компоненти. Для успішної декомпозиції розраховується вікно сезонності всього часового ряду за допомогою періодограмми, яка була побудована на основі швидкого перетворення Фур'є. Для кожної компоненти окремо виконується навчання власної глибинної нейронної мережі, а кінцевий прогноз отримується шляхом агрегування часткових прогнозів. Частотний аналіз реалізовано також через застосування швидкого перетворення Фур'є (FFT) до вікон часового ряду. Амплітудно-частотні характеристики сигналу додаються до вхідного простору ознак, що дозволяє мережі враховувати приховані циклічні закономірності [1]-[2].

Для оцінювання ефективності запропонованого методу було проведено серію експериментів на різних наборах даних:

- Saugeen River Flow Dataset [3] – добові спостереження об'єму стоку води у річці Саугін (1915–1979), загальна кількість спостережень – 23741.
- Solar Power Dataset [4] – дані про виробництво сонячної енергії (2019 р.), агреговані у 10-хвилинні інтервали, загальна кількість записів після агрегації – 49315.
- Wind Power Dataset [5] – дані про виробництво вітрової енергії (2019 р.), також агреговані у 10-хвилинні інтервали, загальна кількість записів після агрегації – 49315.
- Sunspot Daily Dataset [6] – щоденна кількість сонячних плям (1818–2020), загальна кількість спостережень – 73924.

Експерименти виконувалися для різних розмірів вхідного часового вікна (64, 96, 192, 336, 720), причому розмір прогнозованого вікна дорівнював розміру вхідного. В якості базової нейронної мережі глибинного навчання для усіх експериментів обрано багатошаровий перцептрон

(MLP). Ефективність розробленого ансамблю визначалася шляхом порівняння з ефективністю за іншими методами, зокрема:

1. Базова MLP без додаткових перетворень.
2. MLP з використанням ознак після FFT (частотний аналіз).
3. STL-декомпозиція з окремими MLP для кожної компоненти часового ряду (структурний аналіз).

Моделі порівнювалися за наступними метриками: середня абсолютна похибка (MAE), корінь з середньоквадратичної похибки (RMSE), середня абсолютна масштабована похибка (MASE).

Результати наведені у таблиці1. Найкраще значення метрик серед усіх розглянутих методів для різних вибірок даних та різних горизонтів прогнозування виділено червоним кольором.

Таблиця 1. Результати порівняння ефективності усіх досліджуваних методів

		Модель 1			Модель 2			Модель 3			Запропонований підхід		
Набір даних	Розмір вікна	MAE	RMSE	MASE	MAE	RMSE	MASE	MAE	RMSE	MASE	MAE	RMSE	MASE
Saugeen	64	24.6545	44.3492	0.9515	21.5515	42.5120	0.8317	22.6272	44.1574	0.8733	**20.7753**	**42.4752**	**0.8018**
	96	23.6942	44.3953	0.8096	22.1433	43.1207	0.7566	21.6629	43.3655	0.7402	**20.3176**	**41.9891**	**0.6942**
	192	22.7089	43.8638	0.6868	**20.1209**	42.2446	**0.6086**	23.2952	43.1943	0.7046	20.3586	**39.7670**	0.6157
	336	22.8290	46.2211	0.7346	21.9498	43.8807	0.7063	23.4193	45.0811	0.7536	**21.6673**	**41.9738**	**0.6972**
	720	22.9538	42.7544	0.7406	23.5346	42.1478	0.7594	**22.5321**	42.7394	**0.7270**	23.1193	**41.7970**	0.7460
Sunspot	64	24.8148	34.3042	0.8727	24.0423	33.7618	0.8455	23.5241	32.8367	0.8273	**21.6869**	**30.1663**	**0.7627**
	96	24.9701	34.2561	0.8494	24.5104	34.0871	0.8337	24.3509	33.4662	0.8283	**23.0355**	**31.8754**	**0.7835**
	192	26.5596	35.5470	0.8732	25.6378	35.0722	0.8429	25.7722	35.0280	0.8473	**24.0625**	**33.2071**	**0.7911**
	336	30.2782	38.6058	0.9542	29.6408	38.4300	0.9342	30.7083	38.8763	0.9678	**25.9789**	**35.4821**	**0.8188**
	720	41.5930	48.2717	1.1476	35.9099	44.4644	0.9908	45.2811	52.2573	1.2494	**32.7568**	**41.5185**	**0.9038**
Solar	64	26.2063	31.4346	0.8407	15.6218	21.9895	0.5011	22.3141	27.5774	0.7158	**10.7879**	**14.7979**	**0.3461**
	96	25.3563	30.9685	0.6822	15.2872	21.0096	0.4113	21.4600	27.2441	0.5773	**11.4810**	**15.7838**	**0.3089**
	192	26.7638	32.2581	0.8292	17.4483	23.2766	0.5406	24.4432	29.8865	0.7573	**15.0915**	**19.8768**	**0.4676**
	336	28.3051	33.2267	0.8402	20.0452	25.7950	0.5950	25.1172	30.5927	0.7456	**17.4995**	**22.6619**	**0.5194**
	720	33.3822	36.9093	0.9463	**25.9719**	31.1789	**0.7362**	33.4440	36.8486	0.9480	26.4609	**31.1201**	0.7501
Wind	64	20.3074	25.0944	1.1713	18.2696	22.8390	1.0537	18.0790	23.2047	1.0428	**17.0319**	**21.9221**	**0.9824**
	96	21.4289	26.0823	1.0534	19.6538	24.1634	0.9662	19.0205	24.0259	0.9350	**17.5711**	**22.3122**	**0.8638**
	192	24.6669	28.5253	1.0894	22.7503	26.6853	1.0047	20.5259	25.1584	0.9065	**17.5710**	**21.8038**	**0.7760**
	336	26.6029	30.2395	1.0274	25.2339	29.2795	0.9746	23.4342	27.1603	0.9051	**19.4288**	**23.4899**	**0.7504**
	720	26.7785	30.3150	0.9335	26.3200	30.1907	0.9175	26.7511	30.4160	0.9326	**24.1449**	**28.1724**	**0.8417**

Результати показали, що розроблений ансамблевий метод забезпечує найменші значення похибок (MAE, RMSE, та MASE) в абсолютній більшості експериментів серед усіх наборів даних та усіх розмірів часового вікна. Отримані результати підтверджують ефективність використання ансамблю моделей із врахування структурно-частотного аналізу даних для задач прогнозування часових рядів.

Подальші дослідження буде спрямовано на тестування розробленого ансамблевого методу з використанням інших архітектур глибинних нейронних мереж різної складності, а також на його оцінювання під час аналізу інших наборів даних.

Список використаної літератури

1. K. Yemets, I. Izonin, and I. Dronyuk, “Enhancing the FFT-LSTM time-series forecasting model via a novel FFT-based feature extraction–extension scheme,” *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 9, no. 2, p. 35, Feb. 2025, doi: 10.3390/bdcc9020035.

2. K. Yemets, I. Izonin, and I. Dronyuk, “Time series forecasting model based on the adapted transformer neural network and FFT-based feature extraction,” *Sensors*, vol. 25, no. 3, p. 652, Jan. 2025, doi: 10.3390/s25030652.

3. R. Godahewa, C. Bergmeir, G. Webb, R. Hyndman, and P. Montero-Manso, “Saugeen River Flow (SaugeenDay) Dataset,” *Zenodo*, Jun. 22, 2020, doi: 10.5281/zenodo.4656058.

4. R. Godahewa, C. Bergmeir, G. Webb, M. Abolghasemi, R. Hyndman, and P. Montero-Manso, “Solar Power Dataset (4 Seconds Observations),” *Zenodo*, Aug. 20, 2020, doi: 10.5281/zenodo.4656027.

5. R. Godahewa, C. Bergmeir, G. Webb, M. Abolghasemi, R. Hyndman, and P. Montero-Manso, “Wind Power Dataset (4 Seconds Observations),” *Zenodo*, Aug. 20, 2020, doi: 10.5281/zenodo.4656032.

6. R. Godahewa, C. Bergmeir, G. Webb, R. Hyndman, and P. Montero-Manso, “Sunspot Daily Dataset (without Missing Values),” Zenodo, Jun. 11, 2020, doi: 10.5281/zenodo.4654722.

UDC 004.8

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: AN OVERVIEW OF ADVANTAGES, RISKS AND CHALLENGES

Shmatko O. V., Shabanov M. V.
(oleksandr.shmatko@khpi.edu.ua, Mykola.Shabanov@cs.khpi.edu.ua)
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Ukraine)

The paper provides an analytical review of the application of artificial intelligence (AI) technologies in human resource management (HRM). The main areas of implementation are considered: recruiting, competency assessment, HR analytics, and adaptive testing. The key advantages of using AI (scalability, speed of decision-making, reduction of human bias) and the main challenges (transparency of algorithms, ethical risks, the problem of employee trust) are identified. Based on the analysis, the need to develop explainable AI models to increase the transparency and acceptability of technologies in human resource management is justified.

The rapid digitalisation of business is significantly changing traditional approaches to human resource management. Machine learning algorithms, natural language processing and computer vision systems are increasingly being used to automate HR processes, including candidate selection, interviewing, competency assessment and management decision support [1, 2]. This opens up new opportunities for improving the efficiency of HR processes, but also creates a number of risks that require scientific consideration.

Let us outline the main areas of AI implementation in HRM. One of the key areas is recruitment automation. CV analysis algorithms enable rapid pre-selection, determination of a candidate's suitability for a vacancy, and minimisation of the time required to process a large number of applications [3]. Another area is the assessment of competencies and performance. The use of Big Data methods allows for the consideration of work results, development dynamics, participation in projects, and the formation of a comprehensive description of professional skills [4]. Adaptive testing, in which the complexity of tasks automatically changes according to the employee's answers, also appears to be promising. This personalises the assessment process and increases its accuracy [5]. In the field of HR analytics, AI is used to forecast staffing needs, identify the risk of staff turnover, and support strategic planning [6].

The following challenges and risks arise when using AI. Despite its significant advantages, the implementation of AI in HR processes is accompanied by a number of problems. In particular, the opacity of algorithms and their ‘black box’ nature reduce employee confidence in automated decisions [7]. An additional challenge is data bias: if the source data sets contain discriminatory patterns, the system reproduces and reinforces them [8]. Ethical issues are also relevant: the balance between automation and human control, responsibility for AI decisions, and the impact of algorithms on corporate culture [9].

To overcome these challenges, it is advisable to use explainable AI approaches, which make the decision-making process transparent and understandable to users [10]. This is achieved through the integration of interpretable models that explain which factors influenced the result. To minimise the risk of bias, it is recommended to use data debiasing methods, regular algorithm audits and testing on representative samples [11]. In addition, it is important to implement adaptive testing, which allows for the assessment of competencies in a personalised mode. This helps to increase the accuracy of candidate selection and reduce the influence of the human factor. It is also worth combining algorithmic solutions with the analysis of candidates' emotional reactions for a comprehensive assessment. To increase employee trust, it is important to implement hybrid systems where automated decisions are verified by a human expert. In addition, multi-level encryption and personal data protection are used to ensure compliance with ethical and legal standards [12]. An important role is played by the development of internal corporate policies on the use of AI in HRM, which combine technical standards, security

requirements and principles of fairness. Also, AI systems can be integrated with HR analytics to predict staff performance and development. It is necessary to take into account the psychological aspects of the perception of algorithmic management of employees. Finally, the development and training of HR professionals in working with AI increases the effectiveness of technology implementation.

Thus, the use of AI in human resource management contributes to the optimisation of recruitment, increased effectiveness of assessment and the development of HR analytics. At the same time, automation creates challenges related to transparency, data bias and ethical aspects. Further research should focus on developing explainable AI, establishing ethical standards for the use of AI in HRM, and creating a regulatory framework to govern this process. It is worth implementing practices for regular auditing of algorithms and assessing their impact on different groups of employees. The use of hybrid models that combine the analytical capabilities of machine learning and computer vision systems with human critical thinking ensures a balance between technological efficiency and ethical principles of personnel management.

List of references

[1] P. Tambe, P. Cappelli, and V. Yakubovich, “Artificial intelligence in human resources management: Challenges and opportunities,” California Management Review, vol. 61, no. 4, pp. 15–42, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.1177/0008125619867910 [Accessed: September 20, 2025].
[2] G. Gong, Y. Fan, and T. Bartram, “Human resource management in the era of AI: Practices and prospects,” International Journal of Human Resource Studies, vol. 10, no. 2, pp. 34–52, 2020.
[3] R. Arora and S. Mittal, “AI-powered recruitment: A study of algorithmic hiring,” Journal of Business Research, vol. 123, pp. 293–304, 2021.
[4] S. Weber, A. Müller, J. Schmidt, and K. Becker, “Explainable AI in HRM: Building trust in algorithmic decisions,” AI & Society, vol. 36, no. 2, pp. 245–259, 2021.
[5] H. Ghedabna, A. Benali, and L. Goutas, “Bias in AI recruitment tools: Risks and solutions,” Information Systems Frontiers, vol. 24, pp. 1181–1197, 2022.
[6] E. Walker and J. Larson, “Generative AI in learning and development: Opportunities for HR,” Computers in Human Behavior Reports, vol. 7, 100226, 2022.
[7] J. Atkinson and C. McKay, “Ethical challenges of AI in HRM: Toward responsible algorithmic management,” Human Resource Development International, vol. 25, no. 1, pp. 58–75, 2022.
[8] A. Brown and T. Kostova, “Algorithmic bias in human resource management systems,” European Journal of Information Systems, vol. 31, no. 3, pp. 265–280, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1080/0960085X.2021.1955628 [Accessed: September 20, 2025].
[9] M. Park, K. Kim, and J. Lee, “Employee trust in AI-driven HRM: The role of transparency and fairness,” Journal of Business Ethics, vol. 179, no. 4, pp. 1041–1058, 2023.
[10] D. Ribeiro, L. G. Silva, and M. Paes, “Explainable artificial intelligence for decision-making in human resources: Opportunities and limitations,” Expert Systems with Applications, vol. 213, 118879, 2023.
[11] A. Gupta and R. Kumar, “Debiasing techniques in AI recruitment systems: Toward fair HR analytics,” Information Processing & Management, vol. 60, no. 2, 103181, 2023.
[12] L. Fernandez and P. Johnson, “AI governance in HR: Ethical frameworks and data protection,” Journal of Information Technology, vol. 38, no. 1, pp. 44–59, 2023.

УДК 004.9; 004.8

БАГАТОРІВНЕВИЙ КАСКАДНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ДРОБІВ

Щербій О. А. (ostap.shcherbii.mknssh.2024@lpnu.ua),
Ізонін І.В., Ємець К.В., Музика Р.Т.
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розроблено новий каскадний метод для підвищення точності розв’язання задач регресійного моделювання алгоритмами машинного навчання у випадку аналізу даних великих обсягів. В основі методу покладено використання формули раціонального дробу, для апроксимації

даних, між рівнями каскаду, що дозволяє компенсувати похибку базової моделі. Експериментальним шляхом на великому наборі даних встановлено, що розроблений каскадний метод дозволяє суттєво підвищити точність розв'язання задач регресії в порівнянні з існуючими методами машинного навчання.

Сучасний світ характеризується невпинним зростанням обсягів інформації, що робить алгоритми машинного навчання ключовим інструментом для її автоматизованого опрацювання та аналізу. Однією з головних задач машинного навчання є регресія, яка дозволяє прогнозувати числові значення на основі вхідних даних. У багатьох задачах, зокрема в біомедичній інженерії, фінансах та промисловій діагностиці, точність регресійних моделей має вирішальне значення. Помилковий прогноз може призвести до значних фінансових втрат або навіть становити загрозу для здоров'я та життя людини.

Незважаючи на існування безлічі регресійних алгоритмів, на практиці їх точність може бути недостатньою, особливо при аналізі великих та складних наборів даних. Часто виникає ситуація, коли ми маємо певний метод прогнозування, проте його точність є незадовільною. Проблема особливо загострюється при роботі з великими наборами даних, де обчислювальна складність накладає ряд обмежень на використання надто складних моделей. Тому розроблення нових підходів, які б дозволяли підвищувати точність існуючих методів машинного навчання без значного збільшення затрат ресурсів, є актуальною задачею.

З метою підвищення точності регресійного моделювання у цій роботі розроблено каскадний метод, що складається з кількох рівнів.

На першому рівні каскаду відбувається навчання першого базового методу (method_1) на вхідному наборі даних. Точність його прогнозу може бути недостатньою для практичного застосування. Тому з метою підвищення точності пропонується використовувати формулу раціонального дробу, яка апроксимує дані, отримані на виході першого рівня. Це дозволяє створити новий, трансформований набір даних, який містить інформацію про похибку та складніші залежності, не враховані базовою моделлю. На трансформованому наборі даних навчається другий метод машинного навчання (method_2) , який уточнює результат [1]. Загальна схема розробленого регресора наведено на рис. 1.

Якщо точність дворівневого каскаду все ще є недостатньою, запропоновано ітеративно повторювати попередні кроки або формувати багаторівневу архітектуру каскаду. На кожному наступному рівні формула раціонального дробу застосовується до результатів попереднього рівня, створюючи нові значення цільового атрибуту для навчання наступної моделі в каскаді. Процедура триває доти, доки точність прогнозування не досягне задовільного рівня або перестане покращуватись.

Для перевірки ефективності розробленого методу було проведено моделювання на реальному наборі даних для прогнозування частоти серцевих скорочень. Набір даних складається з 369 289 записів та має 18 стовпців, з яких 17 є вхідними ознаками, а останній — цільовим значенням [2].

В експерименті було сформовано каскад, де в якості першого базового методу використано стохастичний градієнтний спуск (SGD), а в якості другого - гребеневу регресію (Ridge).

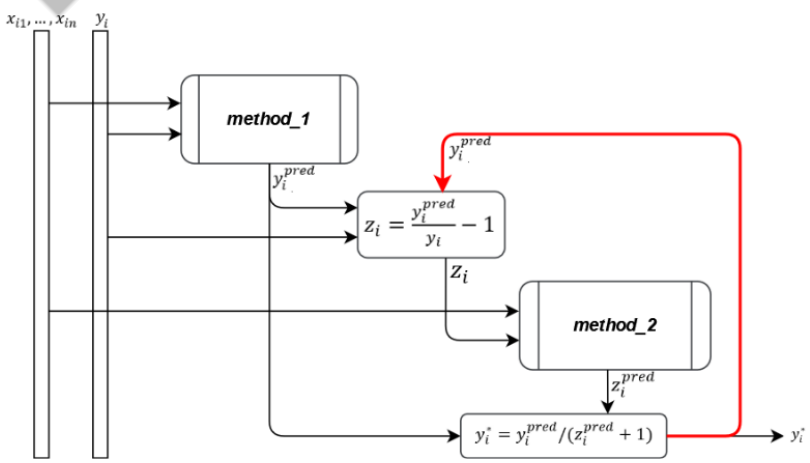


Рис. 1 - Спрощена (дворівнева) схема розробленого каскадного регресора.

На рис. 2 наведено загальне порівняння точності розроблених каскадних методів (дворівневий каскад – Метод 1 та багаторівневий – Метод 2) із базовими алгоритмами SGD та Ridge.

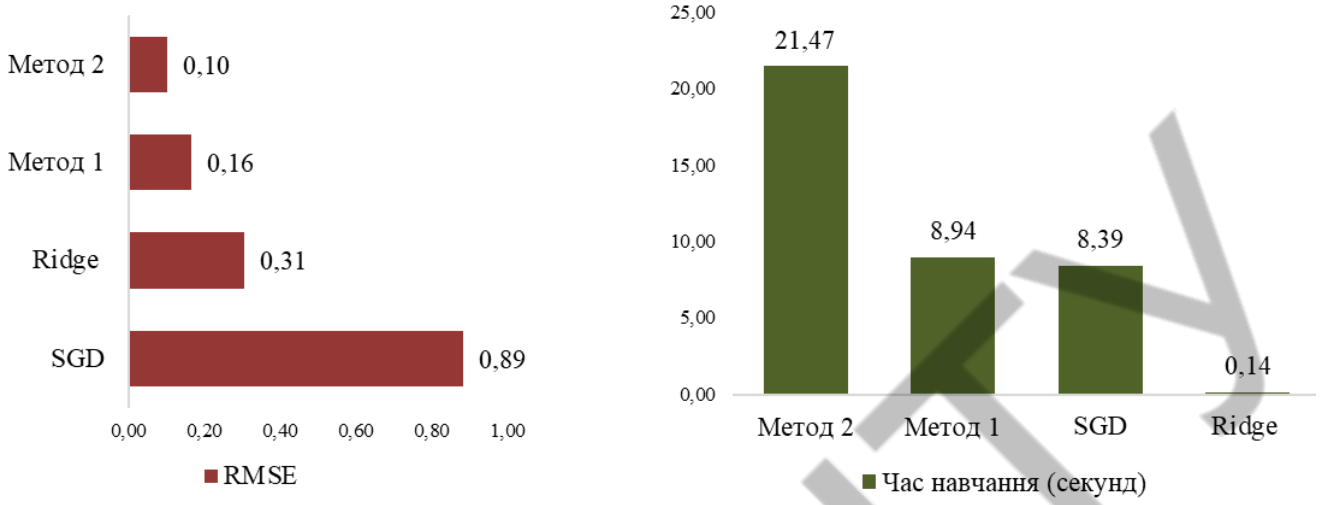


Рис. 2 - Результати роботи розробленого каскадного регресора.

Як видно з рис. 2, розроблений багаторівневий каскадний метод (Метод 2) забезпечує найкраще значення похибки RMSE, суттєво перевершуючи як базові методи, так і класичний дворівневий каскад (Метод 1). Водночас, підвищення точності досягається за рахунок збільшення тривалості процедури навчання, що є наслідком багаторівневої архітектури методу. Проте, отримане значення часу навчання є задовільним для практичного застосування зважаючи на суттєве підвищення точності результату.

Список використаної літератури

1. I. Izonin, R. Tkachenko, O. Shcherbii, O. Berezsky, I. Krak, and M. Oliinyk, "An Approximation Cascade Scheme via Rational Fractions for Biomedical Data Analysis," in Proc. 2023 IEEE 18th Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. (CSIT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1–4. doi: 10.1109/CSIT61576.2023.1032412249 .

2. "heart-rate-prediction-to-monitor-stress-level," Kaggle. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/vinayakshanawad/heart-rate-prediction-to-monitor-stress-level/data . [Accessed: Oct. 4, 2025].

УДК 004.93

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ТА АНАЛІЗ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Юзвишин І. С. (ivan.yuzvyshyn@lnu.edu.ua)
Львівський національний університет імені Івана Франка (Україна)

Сучасні моделі комп'ютерного зору є ресурсоємними і потребують значних обчислювальних потужностей та пам'яті. Водночас актуальною залишається проблема пошуку ефективних підходів до застосування таких алгоритмів на компактних і доступних мікрокомп'ютерах з обмеженою продуктивністю та енергоспоживанням. У даній роботі здійснено порівняння мікрокомп'ютерів Raspberry Pi 5, Jetson Nano і Jetson Orin на матеріалах з уніфікованим вхідним розширенням. Показано, що апаратне прискорення є ключовим чинником

для обробки зображень у режимі реального часу та зменшення енергоспоживання в задачах комп'ютерного зору.

Штучний інтелект (ШІ) поступово перетворюється на ключовий інструмент майбутнього розвитку людства, впливаючи на всі аспекти нашого життя – від економіки та промисловості до науки та побуту. Інтеграція ШІ у різні галузі відкриває нові горизонти для інновацій та підвищення ефективності. Одним із найважливіших напрямків розвитку ШІ є комп'ютерний зір – галузь, яка дозволяє машинам «бачити» та розуміти візуальну інформацію так само, як це роблять люди. Сучасні задачі комп'ютерного зору стають більш складними та ресурсозатратними, адже вимагають значних обчислювальних потужностей і пам'яті. Водночас актуальною залишається проблема пошуку ефективних підходів до застосування таких алгоритмів на компактних мікрокомп'ютерах із обмеженою продуктивністю та енергоспоживанням.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу різних мікрокомп'ютерних платформ для задач розпізнавання об'єктів у режимі потокової обробки, із використанням єдиної методики вимірювання. У роботі здійснено експериментальне порівняння мікрокомп'ютерів, призначених спеціально для роботи в умовах обмежених ресурсів, зокрема різних моделей Raspberry Pi та Jetson. Оцінювання проводилося на тестових матеріалах із уніфікованим вхідним розширенням 640×640.

Для тестування було використано наступні одноплатні системи:

- Raspberry Pi 5, ARM Cortex-A76 (2.4 ГГц), до 8 ГБ LPDDR4X, GPU VideoCore VII, енергоспоживання 4–9 Вт [1].
- Jetson Nano, ARM Cortex-A57 (1.43 ГГц), 128 CUDA-ядер Maxwell, 4 ГБ LPDDR4, продуктивність до 0.5 TFLOPS FP16, споживання 5-10 Вт [2].
- Jetson Orin Nano, CPU Cortex-A78AE, GPU Ampere (1024 CUDA-ядра), 8 ГБ LPDDR5, продуктивність до 67 TOPS AI, споживання 7-25 Вт [2].
- Raspberry Pi + Hailo-8 AI HAT, акселератор нейронних мереж із продуктивністю до 26 TOPS, оптимізований для моделей YOLO та MobileNet; працює в парі з Raspberry Pi через M.2 інтерфейс, споживання приблизно 2- 3 Вт, разом з Raspberry Pi 6-12 Вт [1].

Як моделі для тестування було обрано представників сімейства YOLO – широко відомої архітектури комп'ютерного зору з великою кількістю версій з різними напрямками роботи, від виявлення до класифікації та сегментації.

Для порівняння продуктивності було обрано уніфікований підхід, що передбачає аналіз відеопотоку з камери в реальному часі та використанням моделей YOLO різної розмірності. Такий метод дозволяє оцінити реальну швидкодію системи, час обробки одного кадру, затримку та енерговитрати. Основними показниками дослідження є кількість кадрів за секунду, затримка та енергія, спожита на кадр.

Інференція (Inference, t_{inf}) – тривалість обробки одного кадру нейронною мережею, вимірюється у мілісекундах або секундах.

Затримка (Latency, t_{lat}) – повний час від моменту надходження кадру до отримання результату, що включає інференцію і додаткові етапи попередньої (t_{pre})та післяобробки (t_{post}):

$$t_{\text{lat}} = t_{\text{pre}} + t_{\text{inf}} + t_{\text{post}}$$

FPS (frames per second) – кількість кадрів, які система здатна обробити за одну секунду. Чим більше значення FPS, тим швидше модель працює та тим ближче вона до режиму реального часу.

$$FPS = \frac{1}{t_{\text{lat}}}$$

Також для точнішої оцінки ефективності пристроїв використано показник енерговитрат на кадр (E_{frame}), що вимірюється у Вт·с/кадр та відображає фактичну кількість енергії, необхідну для обробки одного кадру. Ця метрика є більш репрезентативною для систем із низьким FPS, де час інференції вимірюється у секундах.

$$E_{frame} = P_{avg} \times t_{lat} \ ,$$

де P_{avg} *– середнє споживання мікрокомп'ютера, зазначене розробником.*

На основі наведених формул розраховано ключові показники продуктивності для кожної протестованої конфігурації. У Таблиці 1 узагальнено результати експериментів, отриманих під час реальної обробки відеопотоку.

Таблиця 1. Порівняння продуктивності YOLO11 на мікроплатформах

Платформа	Модель	Інференція	FPS	Споживання	Енерговитрати на кадр
Raspberry Pi 5 (CPU)	YOLO11n	0,485	2,06	8	3,88
Raspberry Pi 5 (CPU)	YOLO11m	1,923	0,52	8	15,38
Raspberry Pi 5 (CPU)	YOLO11l	2,564	0,39	8	20,51
Jetson Nano (CPU)	YOLO11s	1,0926	0,92	9	9,83
Jetson Nano (CPU)	YOLO11m	4,1923	0,24	9	37,73
Jetson Nano (CPU)	YOLO11l	8,2206	0,12	9	73,99
Jetson Orin (GPU)	YOLO11n	0,025	39,47	20	0,5
Jetson Orin (GPU)	YOLO11s	0,024	42,12	20	0,48
Jetson Orin (GPU)	YOLO11m	0,032	31,62	20	0,64
Jetson Orin (GPU)	YOLO11l	0,041	24,42	20	0,82

Результати порівняння демонструють суттєву різницю в продуктивності та енерговитратах між протестованими мікрокомп'ютерними платформами. Jetson Orin (GPU) забезпечує роботу в режимі реального часу та обробляє до 42 кадрів за секунду, що у десятки разів перевищує показники Raspberry Pi 5 та Jetson Nano (CPU). Незважаючи на більшу потужність (20 Вт), Orin є найбільш енергоефективним: витрати енергії на кадр становлять 0,48-0,82 Дж, що в середньому у 10-50 разів менше, ніж у Raspberry Pi 5 (3,9-20,5 Дж/кадр) та у 50-100 разів менше, ніж у Jetson Nano (CPU) (9,8-74 Дж/кадр). Зі зростанням розміру моделі (від YOLO11n до YOLO11l) час інференції та енерговитрати збільшуються майже лінійно, тоді як FPS зменшується у 10-20 разів. Це підтверджує прямий компроміс між точністю моделі й швидкодією. Для реального часу оптимальним вибором є Jetson Orin з YOLO11n/s. Водночас, Raspberry Pi 5 може бути ефективним рішенням для систем з нижчим енергоспоживанням, якщо використовується разом із зовнішнім прискорювачем Hailo-8 AI HAT.

Для демонстрації можливостей прискорювача Hailo-8 наведено результати з відкритої документації Hailo Model Zoo [4] (табл. 2).

Таблиця 2. Показники продуктивності Raspberry Pi з Hailo-8 (AI HAT)

Модель	FPS
YOLO11n	185
YOLO11m	50
YOLO11l	38

Хоча такий підхід забезпечує значне збільшення швидкодії, для коректного використання моделей необхідно перетворювати їх у спеціальний формат HEF (Hailo Executable File). Цей формат оптимізує роботу під апаратну архітектуру Hailo-8, проте процес компіляції та квантування може вплинути на точність детекції.

Проведене дослідження підтвердило, що використання апаратного прискорення є ключовим для забезпечення обробки зображень у режимі реального часу для задач комп'ютерного зору. Платформа Jetson Orin демонструє найкраще співвідношення між швидкодією та енерговитратами завдяки високій обчислювальній потужності GPU, що забезпечує швидшу обробку кадрів і менше навантаження на центральний процесор. Завдяки цьому система підтримує роботу в реальному часі без значного зростання енергоспоживання на кадр. Водночас, Raspberry Pi з Hailo-8 AI HAT забезпечує високу продуктивність при мінімальному споживанні енергії, що

робить її ефективним рішенням для енергообмежених систем. Проте такий підхід має свою специфіку – для коректної роботи моделі необхідно перетворювати її у власний формат HEF, що може призвести до втрати точності детектування порівняно з оригінальною моделлю.

Список використаної літератури

[1] Офіційна документація мікрокомп'ютерів Raspberry PI, [Online]. Available: https://www.raspberrypi.org [Accessed: October 21, 2025].
[2] Офіційна документація мікрокомп'ютерів Nvidia, [Online]. Available: https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/ [Accessed: October 21, 2025].
[3] Офіційна документація моделей YOLO, ultralytics, [Online]. Available: https://docs.ultralytics.com/ [Accessed: October 21, 2025].
[4] Офіційна документація апаратного прискорювача HAILO model zoo, [Online]. Available: https://github.com/hailo-ai/hailo_model_zoo/blob/master/docs/public_models/ [Accessed: October 21, 2025].

УДК: 004.8

ПІДХІД ДО ВІЗУАЛЬНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІЗУ ЕМОЦІЙНИХ ПАТЕРНІВ МАНІПУЛЯТИВНИХ ТЕХНІК У ЦИФРОВИХ ТЕКСТАХ ЗАСОБАМИ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Юрченко Д. Ю., Мазурець О.В.
(di4iker@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

У статті представлено науково обґрунтований підхід до візуальної інтерпретації результатів аналізу емоційних патернів маніпулятивних технік у цифрових текстах засобами обробки природної мови. Дослідження спрямоване на подолання проблеми непрозорості нейромережевих моделей, які, попри високу точність класифікації, залишаються складними для пояснення та інтерпретації. Розроблено метод, що поєднує глибоку гібридну архітектуру типу CNN–BiLSTM із модельно-агностичним механізмом пояснення LIME, який забезпечує локальне відображення вагових внесків лексичних одиниць у формування емоційної оцінки тексту. Конволюційні шари виділяють локальні емоційно насичені фрагменти, а рекурентна компонента двонаправленого типу моделює динаміку емоційних станів, що дозволяє простежити розвиток маніпулятивного тону в межах повідомлення. Запропонований підхід реалізовано у вигляді візуальної карти емоційних тригерів, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між мовними структурами та емоційним впливом. Емпіричні результати свідчать, що поєднання CNN та BiLSTM забезпечує точність класифікації понад 90 %, а інтеграція пояснюваних моделей дає змогу інтерпретувати механізми емоційного впливу з мінімальним ризиком помилкових висновків. Застосування розробленої системи дає можливість не лише фіксувати факт наявності маніпуляції, а й виявляти її емоційно-когнітивну структуру, що підвищує рівень довіри до штучного інтелекту в аналізі цифрового контенту. Результати дослідження мають як теоретичне, так і практичне значення: вони розширюють межі пояснюваного штучного інтелекту в контексті обробки природної мови та формують основу для створення когнітивно орієнтованих систем цифрової безпеки й медіагігієни..

Проблематика аналізу маніпулятивних текстів у цифровому середовищі пов'язана з необхідністю ідентифікації латентних емоційних патернів, які використовуються для формування прихованого когнітивного впливу на користувача [1]. У сучасних комунікаційних системах, що функціонують на основі соціальних мереж, мікроблогів та інтерактивних платформ, поширення інформації супроводжується навмисними або несвідомими спробами модифікувати емоційний стан аудиторії [2]. Такі процеси відбуваються переважно через використання лексико-семантичних засобів, інтонаційних моделей, когнітивних тригерів і дискурсивних стратегій, спрямованих на виклик емоцій напруги, страху, провини або співчуття [3]. Виявлення цих

закономірностей потребує складного аналізу, який виходить за межі традиційної лінгвістичної інтерпретації та вимагає застосування методів штучного інтелекту, здатних моделювати приховану структуру емоційного забарвлення тексту.

Сучасні підходи до аналізу емоційної тональності базуються на використанні обробки природної мови, що забезпечує автоматизовану класифікацію текстів за їх емоційною спрямованістю [4]. Проте навіть високоточні нейромережеві моделі залишаються непрозорими у поясненні прийнятих рішень, що створює ефект «чорної скриньки» та унеможливлює повне розуміння причин класифікації конкретного повідомлення. У сфері дослідження маніпулятивних технік це має особливе значення, адже не менш важливо знати не тільки, що повідомлення є маніпулятивним, а й завдяки яким саме емоційним механізмам воно справляє вплив. Для вирішення цього завдання доцільним є використання поєднання глибоких нейронних архітектур із пояснюваними моделями штучного інтелекту, здатними відображати внесок кожного мовного елемента в остаточне рішення.

Запропонований у дослідженні підхід ґрунтується на інтеграції гібридної нейромережевої архітектури, яка поєднує властивості згорткових і рекурентних компонентів, із модельно-агностичними механізмами пояснення LIME. Конволюційні шари забезпечують виявлення локальних ознак емоційного збудження, що виявляються у вигляді ключових фраз або лексем із високою афективною насиченістю. Рекурентна компонента двонаправленого типу BiLSTM моделює довготривалі залежності між словами, уможливлюючи виявлення емоційної динаміки тексту. Поєднання цих двох механізмів створює гнучку архітектуру, яка спроможна не лише фіксувати локальні патерни, а й відтворювати їхній контекстуальний розвиток у межах повідомлення. На наступному етапі застосовується модель пояснення, що локально апроксимує поведінку нейронної мережі в околі конкретного прикладу. Така інтерпретація подається у вигляді візуального зображення, де кожне слово або фраза позначені кольоровими маркерами відповідно до їхнього впливу на результат класифікації. Це дозволяє створити візуальну карту емоційних тригерів, на підставі якої можливо зрозуміти не лише спрямованість, а й механізм маніпулятивного впливу.

Застосування запропонованої моделі (рисунок 1) продемонструвало високу ефективність у розпізнаванні складних емоційних конструкцій, що використовуються для формування маніпулятивного тону. Емпіричні результати підтвердили, що поєднання архітектур CNN та BiLSTM забезпечує точність класифікації понад дев’яносто відсотків, а інтеграція пояснюваних моделей дозволяє інтерпретувати внесок кожного токена у прогноз, мінімізуючи ризики помилкових висновків.

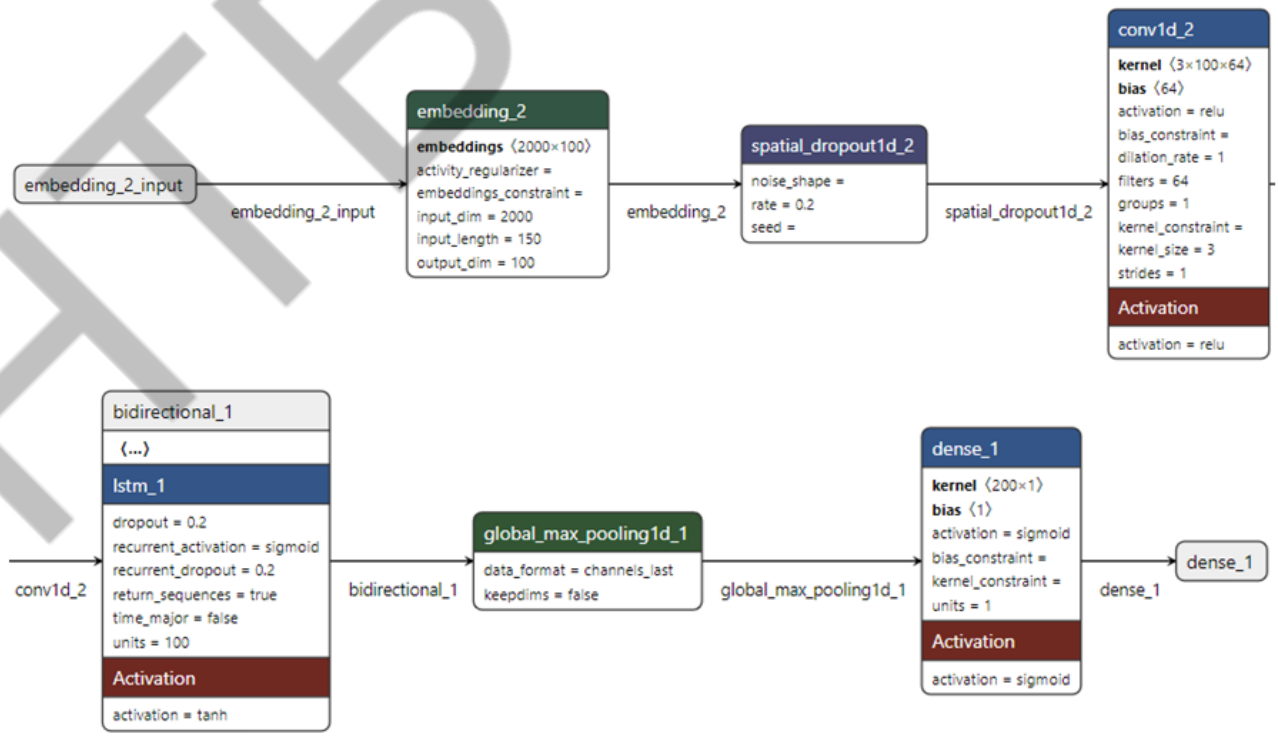


Рисунок 1 – Архітектура нейромережевої моделі

У процесі візуальної інтерпретації було зафіксовано характерну особливість маніпулятивних повідомлень асиметрію емоційного навантаження між початком та завершенням тексту, що свідчить про поступове нарощування психологічного тиску. Побудована візуальна карта таких текстів відображає структурні зони емоційної напруги, які корелюють із типами маніпуляцій експресивною, емпатійною або страхоцентричною.

Розроблений підхід є не лише технічним рішенням, а й методологічним зрушенням у напрямі когнітивної інтерпретації цифрових комунікацій. Його застосування дозволяє перейти від суто статистичного аналізу до виявлення причинно-наслідкових зв'язків між мовними структурами та емоційними ефектами. Це створює підґрунтя для розроблення систем моніторингу інформаційного простору, що спроможні не лише фіксувати факти емоційного впливу, а й пояснювати їх природу, підвищуючи рівень прозорості та довіри до інтелектуальних технологій.

З теоретичного погляду результати дослідження розширюють межі розуміння процесів емоційної семантики у цифрових текстах і сприяють формуванню нової парадигми обробки природної мови, орієнтованої на інтерпретованість і візуальну прозорість. У прикладному вимірі метод може бути використаний для побудови систем виявлення маніпуляцій у медіа-контенті, психологічного аналізу користувацьких повідомлень, оцінки довіри до інформаційних джерел і в освітніх технологіях, де важливо забезпечити пояснюваність роботи ШІ-систем. Такий підхід створює основу для розроблення когнітивно орієнтованих систем цифрової безпеки, які об'єднують інструменти емоційного аналізу, нейромережевої інтерпретації та візуальної аналітики.

Список використаних джерел

[1] E. M. Nisotaki and C. Mourlas, "Digital Manipulation: The Role of Computational Propaganda in Influencing the Public Sphere," in Digital Populism and the Use of Neo-Propaganda and Fake News, IGI Global Scientific Publishing, 2025, pp. 255–300. [Online]. Available: https://www.igi-global.com/chapter/digitalmanipulation/378964 [Accessed: Oct. 22, 2025].

[2] D. Yurchenko, O. Mazurets, V. Didur, and M. Molchanova, "Approach to Using Cloud Services for Visual Analytics of Neural Network Analysis of Texts Emotional Tonality," in Proceedings of the XLVII International Scientific and Practical Conference "The Future of Scientific Discoveries: New Trends and Technologies", Marseille, France, Nov. 13–15, 2024, pp. 108–113. [Online]. Available: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/11/The_future_of_scientific_discoveries_new_trends_and_technologies_November_13_15_2024_Marseille_France.pdf [Accessed: Oct. 22, 2025].

[3] Д. Ю. Юрченко, О. В. Мазурець, О. О. Залуцька, і Ю. Г. Безпрозвана, "Підхід до візуального пояснення результатів нейромережевого аналізу емоційної тональності повідомлень у соціальних мережах," Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024», Хмельницький, 15–16 листопада 2024 р., с. 565–571. [Online]. Available: https://kn.khmnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn-2024-corpuspaper.pdf [Accessed: Oct. 22, 2025].

[4] Д. Ю. Юрченко, О. М. Овчарук, О. В. Мазурець, і П. О. Шевчук, "Метод використання нейромережі гібридної архітектури для визначення емоційної тональності текстових повідомлень" Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 2, с. 136–141, 2025. DOI: 10.31891/2219-9365-2025-82-18.

НТБ ХНТУ

УДК 004.8

ОГЛЯД ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ТА МІМІКИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Яремченко О. Д. (oleksandr.d.yaremchenko@lpnu.ua)
Національний університет "Львівська політехніка"(Україна)

В тезах розглядається системи штучноого інтелекту на базі трансформерних моделей для розпізнавання емоцій та міміки. Для них описується сучасні ефективні підходи для даної задачі. Зроблено огляд на сучасні системи та їх сильні та слабкі сторони

Розпізнавання емоцій та міміки відіграє фундаментальну роль у невербальному спілкуванні людей, безпосередньо відображаючи поведінку та наміри. Однак досягнення автоматичного розпізнавання виразів обличчя в комп'ютерному зорі залишається складним завданням через зміни освітлення, умов навколишнього середовища та поз голови [1], [2]. Навіть люди-спостерігачі мають труднощі з точним розрізненням виразів обличчя за таких обставин [3].

Нещодавні досягнення в глибокому навчанні значно підвищили ефективність розпізнавання, але ці методи залишаються обмеженими залежністю від набору даних і демонструють обмежене узагальнення в міжкорпусних експериментах [4], [5]. Складність завдання ще більше зростає, якщо врахувати зміни, спричинені освітленням, оточенням та позою, які продовжують створювати труднощі навіть для людей [6].

Впровадження Vision Transformer (ViT) ознаменувало значний прорив у класифікації зображень, перевершуючи багато традиційних моделей глибокого навчання [7], [8]. Побудований на архітектурі трансформера, спочатку розробленій для обробки природної мови [9], [10], ViT обробляє зображення як послідовності латок, подібно до токенів у тексті, тим самим зберігаючи якість представлення, одночасно зменшуючи обчислювальні витрати.

Однак, оптимізація ViT для розпізнавання емоцій вимагає ретельного налаштування гіперпараметрів [11]. Дослідники вивчали цей напрямок, щоб максимізувати точність, одночасно вивчаючи взаємодію між методами обчислювального інтелекту та їх застосуваннями [12]. Отже, нейронні архітектури, які нещодавно досягли значного успіху в завданнях розпізнавання, все частіше розглядаються як основа гібридного інтелекту [13]. Механізм уваги, зокрема, продемонстрував вражаючі результати в різних областях, що робить його перспективним напрямком для подальших досліджень [14].

Незважаючи на свої успіхи, ViT все ще стикається зі значними проблемами в комп'ютерному зорі [15]. Механізм самоуважності є обчислювально дорогим, що обмежує масштабованість зображеннями високої роздільної здатності. Більше того, розглядаючи зображення як набори ділянок, а не структуровані сітки, трансформатори втрачають просторові зв'язки, які ефективно фіксують згорткові нейронні мережі (CNN). Цей недолік знижує продуктивність у завданнях, що вимагають сильного просторового мислення. Стандартна самоувага також страждає від обмеженого локального рецептивного поля. Зрештою, значна залежність від великомасштабних попередньо навчених наборів даних обмежує застосовність, тоді як представлення на основі латок можуть погіршити продуктивність у дрібнозернистих, чутливих до текстури проблемах через зниження роздільної здатності [16].

Фреймворки глибокого навчання значно вдосконалили системи розпізнавання емоцій обличчя (FER), перевершуючи традиційні методи в обробці великомасштабних даних [17]. Ця робота зосереджена на двох відомих стратегіях глибокого навчання: згорткових нейронних мережах (CNN) та трансформаторах зору (ViT). Традиційні підходи зазвичай спираються на ручне вилучення ознак, що обмежує їхню стійкість та узагальнюваність [18].

Представлений у 2021 році, трансформатор зору (ViT) досяг високих показників у завданнях комп'ютерного зору, таких як класифікація зображень [9]. Черпаючи натхнення з успіху трансформерів в обробці природної мови, ViT обробляє зображення як послідовності патчів, що подаються в кодер для вивчення глобальних представлень [10]. У FER моделі на основі ViT використовують як локальні механізми уваги, так і глобальний контекст, часто включаючи блоки стискання та збудження для уточнення вилучення ознак [19].

Серед останніх розробок – Візуальний трансформатор із злиттям ознак (VTFF), який покращує візуальне представлення слів шляхом об'єднання ознак на основі CNN та локальної піксельної інформації за допомогою механізмів уваги [20].

Для підтримки досліджень ViT у FER було представлено новий набір даних – Агрегація для ViT на основі розпізнавання емоцій обличчя (AVFER), який забезпечує комплексний орієнтир для навчання та оцінки моделей ViT [21].

У галузі розпізнавання та класифікації зображень, трансформатори зору (ViT) постійно демонструють вищу точність порівняно зі згортковими нейронними мережами (CNN), як зазначається у фундаментальних дослідженнях ViT [10]. Незважаючи на їх високу продуктивність, ширше впровадження архітектур на основі ViT вимагає зосередження на обчислювальній ефективності та масштабованості для забезпечення практичного впровадження. ViT особливо ефективні для моделювання глобальних залежностей у зображеннях за допомогою механізмів самоуважності, що робить їх добре придатними для цілісних завдань класифікації зображень.

Однак застосування ViT до розпізнавання виразів обличчя (FER) створює унікальні проблеми, оскільки вимагає чутливості до тонких, локалізованих змін, особливо у високоекспресивних ділянках обличчя. Щоб вирішити цю проблему, наше дослідження представляє нову та оптимізовану архітектуру на основі ViT, спеціально розроблену для розпізнавання емоцій, спрямовану на розвиток найсучасніших методів у цій галузі.

Замість того, щоб зосереджуватися виключно на максимізації точності класифікації, запропонована модель стратегічно збалансовує глобальне та локальне вилучення ознак. Це досягається завдяки навмисним архітектурним удосконаленням та інтеграції механізмів самоуважності та перехресної уваги, що ефективно зменшує обчислювальні витрати. Використовуючи сильні сторони багатомасштабної перехресної уваги (MSCA) та пом'якшуючи її обмеження, модель розроблена для обробки нюансів аналізу поведінки обличчя.

Крім того, оптимізація параметрів забезпечує ефективне узагальнення моделі для різних наборів даних та середовищ розгортання. Її легка конструкція також робить її придатною для обробки в режимі реального часу на периферійних пристроях, розширюючи її застосування в практичних застосуваннях FER.

Список використаної літератури

[1] Y. R. Veeranki, L. R. M. Diaz, R. Swaminathan, and H. F. Posada-Quintero, “Nonlinear signal processing methods for automatic emotion recognition using electrodermal activity,” *IEEE Sensors J.*, vol. 24, no. 6, pp. 8079–8093, Mar. 2024.

[2] P. A. Gavade, V. S. Bhat, and J. Pujari, “Improved deep generative adversarial network with illuminant invariant local binary pattern features for facial expression recognition,” *Comput. Methods Biomechanics Biomed. Eng., Imag. Visualizat.*, vol. 11, no. 3, pp. 678–695, May 2023.

[3] L. Zongxing *et al.*, “Human–Machine interaction technology for simultaneous gesture recognition and force assessment: A review,” *IEEE Sensors J.*, vol. 23, no. 22, pp. 26981–26996, Nov. 2023.

[4] T. Lin, Y. Wang, X. Liu, and X. Qiu, “A survey of transformers,” *AI Open*, vol. 3, pp. 111–132, Sep. 2022.

[5] X. Liu, X. Cheng, and K. Lee, “GA-SVM-Based facial emotion recognition using facial geometric features,” *IEEE Sensors J.*, vol. 21, no. 10, pp. 11532–11542, May 2021.

[6] J. Chaki, N. Dey, F. Shi, and R. S. Sherratt, “Pattern mining approaches used in sensor-based biometric recognition: A review,” *IEEE Sensors J.*, vol. 19, no. 10, pp. 3569–3580, May 2019.

[7] C. R. Chen, Q. Fan, and R. Panda, “CrossViT: Cross-attention multi-scale vision transformer for image classification,” in *Proc. IEEE/CVF Int. Conf. Comput. Vis. (ICCV)*, Oct. 2021, pp. 347–356.

[8] R. Krishna, K. Das, H. K. Meena, and R. B. Pachori, “Spectral graph wavelet transform-based feature representation for automated classification of emotions from EEG signal,” *IEEE Sensors J.*, vol. 23, no. 24, pp. 31229–31236, Dec. 2023.

[9] A. Dosovitskiy *et al.*, “An image is worth 16×16 words: Transformers for image recognition at scale,” *arXiv preprint*, arXiv:2010.11929, 2020.

[10] L. Tunstall, L. von Werra, and T. Wolf, *Natural Language Processing With Transformers*. Sebastopol, CA, USA: O’Reilly Media, Inc., 2022.

[11] Y. Xu *et al.*, "Transformers in computational visual media: A survey," *Comput. Vis. Media*, vol. 8, no. 1, pp. 33–62, Mar. 2022.

[12] X. Zhai, A. Kolesnikov, N. Houlsby, and L. Beyer, "Scaling vision transformers," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, Jun. 2022, pp. 1204–1213.

[13] X. Shi, H. Gu, and B. Yao, "Fuzzy Bayesian network fault diagnosis method based on fault tree for coal mine drainage system," *IEEE Sensors J.*, vol. 24, no. 6, pp. 7537–7547, Mar. 2024.

[14] P. D. M. Fernandez, F. A. G. Peña, T. I. Ren, and A. Cunha, "FERAtt: Facial expression recognition with attention net," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshops (CVPRW)*, Jun. 2019, pp. 837–846.

[15] K. Han *et al.*, "A survey on vision transformer," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 45, no. 1, pp. 87–110, Jan. 2023.

[16] N. Aloysius and M. Geetha, "A review on deep convolutional neural networks," in *Proc. Int. Conf. Commun. Signal Process. (ICCSP)*, Apr. 2017, pp. 0588–0592.

[17] Y. Huang, F. Chen, S. Lv, and X. Wang, "Facial expression recognition: A survey," *Symmetry*, vol. 11, no. 10, p. 1189, Sep. 2019.

[18] A. S. Vyas, H. B. Prajapati, and V. K. Dabhi, "Survey on face expression recognition using CNN," in *Proc. 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. (ICACCS)*, Mar. 2019, pp. 102–106.

[19] M. Aouayeb, W. Hamidouche, C. Soladie, K. Kpalma, and R. Seguier, "Learning vision transformer with squeeze and excitation for facial expression recognition," *arXiv preprint*, arXiv:2107.03107, 2021.

[20] F. Ma, B. Sun, and S. Li, "Facial expression recognition with visual transformers and attentional selective fusion," *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 14, no. 2, pp. 1236–1248, Oct. 2021.

[21] A. Chaudhari, C. Bhatt, A. Krishna, and P. L. Mazzeo, "ViTFER: Facial emotion recognition with vision transformers," *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, no. 4, p. 80, Aug. 2022.

УДК 004.932.2:004.932.72:004.91

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НЕЙРОННИХ АРХІТЕКТУР CNN ТА RNN/LSTM ДЛЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ

Ярченко Д. С., Пархоменко О. Ю.
(arsenkokod@gmail.com, parkhomenko@mnau.edu.ua)
Миколаївський національний аграрний університет (Україна)

Проведено порівняльний аналіз двох основних типів нейронних мереж для задачі класифікації музичних жанрів: згорткових нейронних мереж (CNN) та рекурентних нейронних мереж (RNN/LSTM). Розглянуто принципи функціонування обох архітектур та їх застосування до обробки аудіосигналів. Показано, що CNN ефективно виділяють локальні спектральні ознаки з коротких аудіофрагментів, забезпечуючи високу швидкість обробки та точність понад 85% на стандартних датасетах. LSTM-мережі демонструють перевагу при аналізі довгих композицій завдяки здатності моделювати часову динаміку та враховувати довгострокові залежності між музичними фразами. Обґрунтовано доцільність використання гібридних архітектур, що поєднують CNN для екстракції ознак зі спектрограм та LSTM для моделювання їх часової еволюції, що дозволяє досягти найкращих результатів класифікації музичних жанрів.

Класифікація музичних жанрів є важливим завданням у сфері обробки аудіосигналів, оскільки дозволяє автоматизувати процеси організації, індексації та рекомендації музичного контенту в стрімінгових платформах і мультимедійних системах. Із розвитком глибинного навчання з'явилися нові методи на основі нейронних мереж, які значно підвищили точність розпізнавання жанрів. Однак існує проблема вибору оптимальної архітектури нейронної мережі залежно від характеристик аудіосигналу та специфіки застосування. Два домінуючі підходи – згорткові нейронні мережі (CNN) та рекурентні нейронні мережі (RNN/LSTM) –базуються на різних принципах і мають відмінні переваги та обмеження, що потребує їх детального порівняльного аналізу.

Метою роботи є порівняльний аналіз архітектур CNN та RNN/LSTM для задачі класифікації музичних жанрів та визначення найбільш оптимального підходу. Для досягнення мети вирішувалися наступні завдання: 1) дослідити принципи функціонування CNN та їх застосування до обробки спектрограм аудіосигналів; 2) проаналізувати можливості LSTM-мереж у моделюванні часової динаміки музичних композицій; 3) порівняти ефективність обох архітектур; 4) обґрунтувати доцільність використання гібридних підходів для досягнення максимальної точності класифікації.

Архітектура CNN. Згорткові нейронні мережі були розроблені першочергово для аналізу зображень, однак завдяки універсальності архітектури вони виявилися надзвичайно ефективними для багатьох типів вхідних даних, що мають просторову структуру, зокрема аудіо у формі спектрограм. Аудіосигнал, який є одночасно і часовою, і частотною інформацією, перетворюється в спектрограму – графічне представлення енергетичного розподілу сигналу в часі й частоті. Згорткові шари в CNN здатні автоматично знаходити важливі локальні патерни, наприклад, характерні переходи між нотами, ритмічні удари, специфічні особливості тембру інструментів тощо.

Ці патерни особливо важливі для розпізнавання музичних жанрів, оскільки більшість жанрів мають унікальні темброві та ритмічні особливості, які проявляються у коротких відрізках сигналу. Завдяки своїй архітектурі, CNN можуть ефективно виділяти ознаки на різних рівнях абстракції – від простих локальних фільтрів до комплексних концептів, які узагальнюють інформацію про жанр. Це дозволяє суттєво зменшити потребу в ручному формуванні ознак, характерному для класичних підходів [1].

Крім того, CNN демонструють високу продуктивність і масштабованість, оскільки більшість операцій можна реалізовувати паралельно. Це робить такі мережі зручними для обробки великих аудіодатасетів, де потрібна як швидка обробка, так і висока точність. Водночас, через обмежену здатність до моделювання послідовності, CNN мають певні труднощі з аналізом тривалої часової структури музичного твору, особливо якщо жанрові особливості проявляються не в коротких фрагментах, а у повній композиційній побудові.

Архітектура RNN/LSTM. Рекурентні нейронні мережі (RNN) призначені для роботи з послідовними даними, де порядок елементів є важливим. Вони мають внутрішню пам’ять, яка дозволяє враховувати попередній контекст при обробці поточного елементу послідовності. Проте класичні RNN мають суттєві обмеження, зокрема проблему затухання або вибуху градієнта, що ускладнює їх застосування при довгих послідовностях. Саме тому значно більш ефективною виявилася модифікація – LSTM (Long Short-Term Memory) [2]. (рисунок.1)

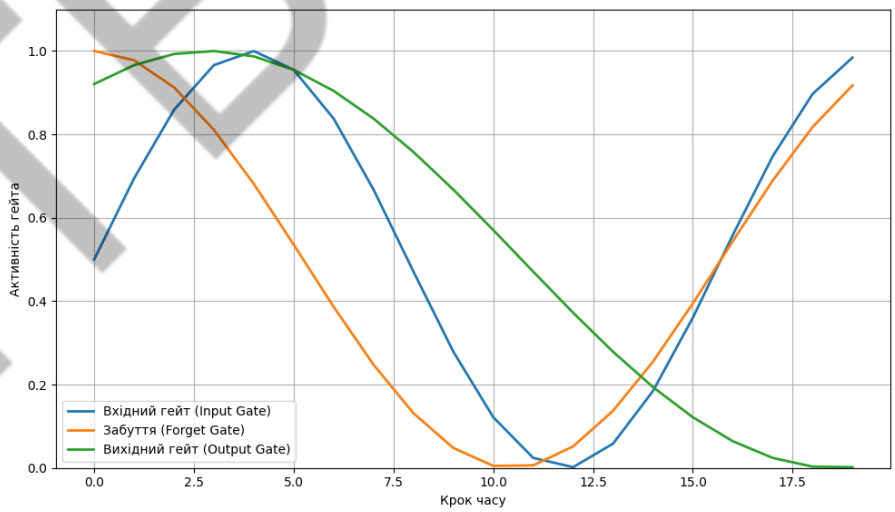


Рис. 1. Ілюстрація роботи гейтів LSTM у часі

LSTM має спеціальні механізми – так звані "вентилі" (гейти), які дозволяють контролювати потік інформації у внутрішній пам’яті: що запам’ятати, що забути, а що передати далі. Завдяки цьому модель може ефективно "пам’ятати" інформацію на великій кількості кроків, що є надзвичайно важливим при аналізі музичних творів, де послідовність розвитку музики має визначальне значення для її жанрової ідентифікації.

Наприклад, у класичній музиці чи джазі структура композиції часто є важливою ознакою жанру – з характерними модуляціями, тематичним розвитком, імпровізаційними вставками або специфічною формою. У таких випадках CNN можуть не зафіксувати глобальні залежності, тоді як LSTM здатна вловити зв'язки між музичними фразами, що знаходяться на значній відстані одна від одної у часовому вимірі. Це дає змогу моделі робити обґрунтовані висновки щодо жанрової належності композиції.

Однак застосування LSTM супроводжується певними обмеженнями. Зокрема, навчання таких мереж відбувається повільніше, ніж CNN, через необхідність послідовної обробки вхідних даних. Також, через складнішу структуру, вони є більш ресурсоємними і вимагають ретельної оптимізації. Ці чинники можуть стати перешкодою для використання LSTM у реальному часі або на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами [3].

Порівняльні експерименти та гібридні підходи. У багатьох експериментальних дослідженнях, які проводилися на публічних датасетах (наприклад, GTZAN, FMA, MagnaTagATune, UrbanSound8K), CNN показують високі результати в задачах класифікації музичних жанрів, особливо при роботі з короткими аудіофрагментами (наприклад, 10–30 секунд). В таких умовах перевага локального аналізу та швидкість обробки виявляються вирішальними. У середньому, згорткові мережі досягають точності понад 85% без складної попередньої обробки сигналу.

З іншого боку, LSTM демонструють вищу точність у випадках, коли використовуються цілі музичні треки або великі фрагменти з послідовною подачею вхідних ознак. У таких сценаріях мережа здатна накопичувати контекст і використовувати довготривалу пам'ять для обґрунтованого прийняття рішень. (рисунок.2)

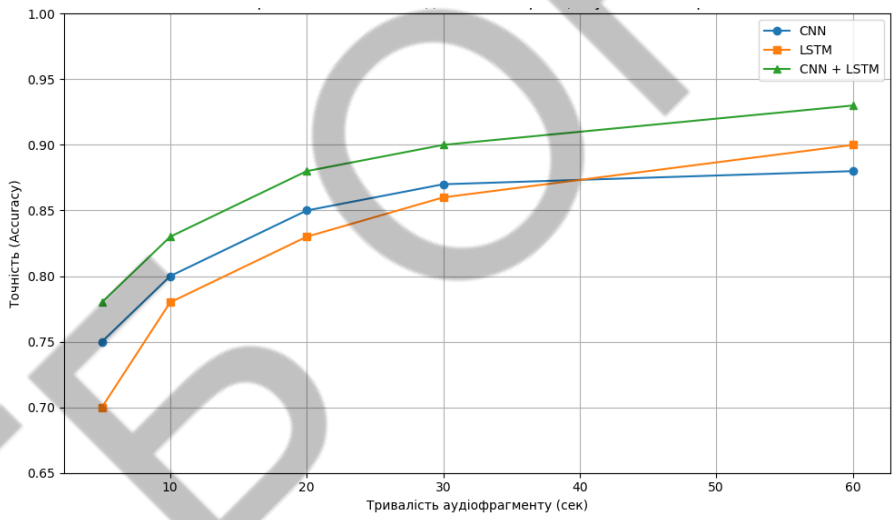


Рис. 2. Порівняння точності моделей класифікації музичних жанрів

Найбільш ефективним підходом вважається **комбінування CNN та LSTM** в одній архітектурі. Такий гібрид дозволяє спершу екстрагувати спектральні ознаки за допомогою згорткових шарів, а потім передати ці ознаки в LSTM-шар для моделювання їх динаміки у часі. У результаті, модель отримує доступ як до локальних (тембрових, ритмічних), так і до глобальних (структурних) характеристик композиції. Цей підхід довів свою ефективність у численних дослідженнях і продовжує залишатися одним із найпопулярніших у сучасних системах музичної класифікації.

У результаті проведеного дослідження вирішено поставлені завдання та отримано наступні результати. По-перше, встановлено, що CNN ефективно виділяють локальні спектральні ознаки з коротких аудіофрагментів (10-30 секунд), забезпечуючи високу швидкість обробки та точність понад 85% на стандартних датасетах завдяки здатності автоматично знаходити характерні темброві та ритмічні патерни. По-друге, доведено, що LSTM-мережі демонструють вищу ефективність при аналізі довгих композицій завдяки механізмам внутрішньої пам'яті, що дозволяє моделювати часову динаміку та враховувати довгострокові залежності між музичними фразами, які є критичними для жанрової ідентифікації складних композицій. По-третє, на основі аналізу експериментальних досліджень на публічних датасетах обґрунтовано, що оптимальний результат

класифікації музичних жанрів досягається за умови поєднання обох підходів у гібридній архітектурі, де CNN екстрагують спектральні ознаки, а LSTM моделює їх часову еволюцію, що дозволяє максимально повно охопити як локальні, так і глобальні характеристики музичного сигналу.

Список використаної літератури

[1] V. Kazymyr, A. Rohovenko та O. Karas, “Application of Artificial Neural Networks for Audio Classification on an Embedded Platform”, Tech. sci. technol., № 4 (38), с. 134–149, груд. 2024. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4(38)-134-149

[2] Д. Є. Пугач, «Розробка голосової системи активації з використанням нейронних мереж», Кваліфікаційна робота магістра, спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення, наук. керівник С. М. Гребенюк, Запоріжжя: ЗНУ, 2024, 54 с. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/24458/1/Пугач.pdf

[3] М. С. Штойко, «Метод пояснення результатів задач класифікації за моделями глибокого навчання засобами машинного навчання», Кваліфікаційна робота магістра, спеціальність 122 Комп’ютерні науки, Хмельницький: Хмельницький нац. ун-т, 2024, 108 с. Дата звернення: 22 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://elar.khmnu.edu.ua/items/82fce3e3-c333-4f4e-97a7-4687f90f8558

НТБ ОНТУ

Розділ 8.

Комп'ютерні ігри та web-дизайн

UDC 681.3.06

INNOVATIVE METHODS OF CODING GRAPHIC IMAGES

Nechyporuk M. L., Luzhetskyi V. A., Romanyuk O. N.,
Maydanyuk V. P. (mykola.nec@gmail.com)
Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

Modern scientific directions in the field of graphic image coding are considered, including neural codecs, semantic-oriented methods, implicit representations and multimodal compression. Special attention is paid to the combination of coding with computer vision, optimization for machine perception and use in 3D graphics, AR/VR and energy-efficient devices..

Modern image coding is undergoing a significant transformation: traditional methods based on discrete transformations are being supplemented or replaced by algorithms guided by deep learning, semantic and vector representations, as well as multimodal approaches that take into account not only the visual appearance, but also the semantic context. These innovations arise under the influence of increasing demands for quality with limited resources, as well as integration with computer vision and artificial intelligence. This review considers key modern approaches to image coding: learning methods, semantic-oriented coding, vector and implicit representations, perceptually-oriented metrics, as well as prospects for 3D graphics and multimodal systems.

Before the widespread introduction of neural approaches, the basis of image coding was transformation methods - in particular, block cosine transform, discrete wavelet transform, etc. For example, the JPEG method uses block DCT 8×8, coefficient quantization and entropy coding. Such approaches have good energy and spectral compactness, but at high compression ratios they exhibit blocking artifacts, loss of detail and nonlinear distortion. The JPEG2000 method provides better multi-level decomposition, less noticeable artifacts and flexible progressive transmission options. However, these methods have limitations in adaptability to different types of images and do not take into account high-level scene structures.

In learned image compression approaches, the encoder and decoder are neural networks, often in an autoencoder architecture. The goal of training is to minimize the function $R + \lambda D$, where R is the bit cost of the code, D is a measure of distortion, and λ is a weighting factor. Modern approaches also pay attention to hyperparameter modeling, as well as context and autoregressive code dependence [1]. These approaches allow the model to learn image statistics, which gives potential advantages over classical methods. One of the leading approaches is the hyperprior model: the latent representation is encoded, and its statistics are also encoded through a hypernetwork. This approach allows for a better estimate of the residual entropy. Minnen et al. constructed a hyperprior model that significantly improves efficiency [2]. Another model, NLAIC, introduces nonlocal operations and attention in the encoder/decoder transformation, as well as improved conditional context modeling through 3D CNNs [3]. To overcome the problem of fixed compression level, Slimmable CAEs have been proposed, which allow to adapt computational complexity and bitrates during startup by controlling the network structure [4]. Other works also combine recurrent models with adaptive bitrates. One of the challenges is the ability of the models to generalize to new data. The work of Lieberman et al. provides a benchmark with corruptions for assessing reliability [5].

In traditional methods, all parts of the image are encoded with the same rules. But some areas—text, faces, objects of interest—have greater significance for perception or analysis. In semantically oriented approaches, important regions are first segmented or masked, which are encoded with higher quality, and the background with lower quality. For example, the NICE framework generates a mask for semantically

significant areas and applies mixed leisure. VCM approaches take into account the importance of the image for machine vision—the encoding is optimized for detection or classification algorithms, and not just for visual quality [6].

Another direction is the rejection of pixel representation in favor of vector primitives, which are then rendered differentially. The DiffVG database allows integrating vector graphics into training schemes, where vector parameters are updated gradient-wise [7]. This approach is especially useful for illustrations and logos. Another way is to represent the image as an indirect function of coordinates through a neural network — implicit neural representation. For example, the INIF work proposed compression of biomedical images through a neural network that approximates pixels by coordinates [8]. Some studies propose hybrid architectures in which parts of the image are encoded pixel-wise, and others — through implicit or vector components.

In traditional coding tasks, quality is focused on metrics such as PSNR, MSE, or SSIM. However, these metrics do not always correlate well with human perception. Modern approaches include perceptual losses—that is, the difference between features extracted from pre-trained networks, or metrics such as LPIPS. This allows the model to retain features that are critical to humans. Generative schemes often introduce adversarial loss components to increase realism. The importance of regions for perception is also taken into account—the model can allocate fewer bits to less important areas while maintaining quality in key areas.

With the development of LiDAR, AR/VR and 3D sensors, there is a need for efficient compression of 3D data. MPEG committees are developing G-PCC and V-PCC - point cloud coding standards. Also used is the coding of color, depth and semantics in a common stream, sometimes with neural coding. It is expected that the coding of images, sound, text and structural data will be combined into a single multimodal stream. For example, in AR/VR scenes, graphics, metadata and geometry are transmitted - and they are all encoded together. Neural networks can become the unifying core of such coding. Current approaches have limitations: requirements for computational resources, limitations on generalization, complexity of integration into industry standards. However, the advantages — higher image quality, semantic compression, the ability to adapt to vision tasks — outweigh these difficulties. The development of compact models, multimodal codecs, integration of coding in computer vision tasks, the creation of common standards at the JPEG AI and MPEG levels is expected. Image coding is becoming not only a technical process, but also part of an intelligent information processing pipeline.

As of 2024–2025, scientists in the field of graphic image coding are focusing on a number of innovative directions that combine artificial intelligence, computer vision, 3D graphics and multimodal technologies. One of the main trends is the development of a new generation of learning codecs that are completely built on neural networks and are able to replace traditional formats such as JPEG or PNG. These neural codecs, which are currently being standardized within the framework of JPEG AI, are optimized not only for traditional quality metrics, but also for perceptual indicators that better correspond to human perception. They take into account the context of the scene, are able to adapt the quality depending on the significance of the image area and demonstrate a significant reduction in bitrate while maintaining or even increasing visual quality.

The second important area of research is semantic-oriented coding, which involves pre-analyzing an image to identify key objects or areas of interest. For example, in the field of video surveillance or automated transportation control, special attention is paid to preserving high quality in areas where faces, cars, or road signs are present, while less important areas (background, uninformative areas) can be compressed more aggressively. This allows you to reduce the amount of data without losing critical information. Such methods are also actively used in mobile devices and computer vision systems, where limited resources require greater efficiency.

Another promising direction is the study of implicit neural representations, or INR. The idea is that instead of storing an array of pixels, an image is represented as a function that is approximated by a small neural network. This allows data to be compressed to hundreds or even dozens of parameters without significant loss of visual quality. Such approaches have gained popularity in the fields of medical imaging, biomicroscopy and astrophysics, where it is necessary to work with gigabytes of images. Scientists create architectures that can encode not only static images, but also sequences of frames, spatiotemporal objects and even multimodal representations that include depth, normals, semantics. The direction of coding for machines is also of considerable interest. Here, the main goal is not to preserve the aesthetic qualities of the image for humans, but to preserve key features important for recognition,

classification and semantic analysis algorithms. This means that even with a significant decrease in visual quality, the compressed image remains useful for neural network systems. Research in this direction allows for the creation of more efficient video surveillance systems, autonomous driving, robotics and unmanned platforms, where the main criterion is not the beauty of the image, but its functionality in digital processing.

No less relevant is the creation of ultra-fast codecs for virtual and augmented reality. For applications such as AR/VR, low latency, high refresh rates, and support for volumetric video, including depth maps, positional maps, and 3D models, are critical. Scientists are working on specialized neural networks that can compress such data in real time, supporting full interactivity without loss of quality. In parallel, the integration of codecs with eye-tracking technologies is developing, which allows encoding images with higher accuracy in the area where the user is looking and reducing quality at the periphery - this approach is called foveal coding.

A separate category of research is vector and contour coding, where images are decomposed into primitives - lines, Bezier curves, filled areas. Such methods provide almost perfect scaling and are used in saving maps, infographics, diagrams, as well as in generative graphics, where the ability to edit elements is required. Scientists are working on differentiated rasterizers, which allow using vector graphics in training neural networks. This opens up new possibilities for coding not only static, but also animated vector scenes.

Closely related to the above is research into point cloud coding, which is the basis of 3D vision. The G-PCC and V-PCC formats, developed within MPEG, provide highly efficient compression of 3D data, such as LiDAR scan results or photogrammetric models. Such technologies are critical for autonomous vehicles, 3D mapping, cultural heritage preservation, and AR environments. Scientists are exploring combinations of geometric, color, and semantic features for optimal representation of 3D scenes.

In addition, there is growing interest in creating energy-efficient coding models aimed at mobile or embedded devices. Neural codecs are optimized by structural pruning, quantization of weights, and simplification of calculations without significant loss of quality. This allows for the implementation of complex architectures even in smartphones, surveillance cameras, or drones. This research direction is becoming increasingly relevant due to the massive deployment of the Internet of Things and edge -computing.

It is worth noting that image coding is no longer just an engineering task and is gradually being integrated into data analysis, visualization, simulation, and generative modeling systems. For example, modern approaches allow combining coding with interpreted features for analysis, which is especially important in medicine and industrial monitoring. In addition, active research is being conducted on the unification of multimodal coding, where images are compressed together with text, audio, or structural data - such an approach is especially promising for augmented perception and generative artificial intelligence.

References

[1] C. Huang et al., “A Survey of End-to-End Learned Image Compression,” IEEE Journal, 2024.
[2] D. Minnen, J. Ballé, and G. Toderici, “Joint Autoregressive and Hierarchical Priors for Learned Image Compression,” in Advances in Neural Information Processing Systems, 2018.
[3] T. Chen et al., “Neural Image Compression via Non-Local Attention Optimization and Improved Context Modeling,” arXiv:1910.06244.
[4] F. Yang et al., “Slimmable Compressive Autoencoders for Practical Neural Image Compression,” arXiv:2103.15726.
[5] K. Lieberman et al., “Neural Image Compression: Generalization, Robustness, and Spectral Biases,” OpenReview, 2023.
[6] S. Ma et al., “Image and Video Compression with Neural Networks: A Survey,” arXiv:1904.03567.
[7] T.-M. Li et al., “Differentiable Vector Graphics Rasterization for Editing and Learning,” ACM SIGGRAPH, 2020.
[8] X. Zhang et al., “Implicit Neural Image Field for Microscopy Compression,” Nature Computational Science, 2025.

UDC 004.05

ANALYSIS OF THE GRAPHICS CONVEYOR STAGES AND ITS MODIFICATIONS

Romanyuk [1] O.N., Maidanyuk [1] V.P., Kotlyk [2] S.V.,
Melnyk [1] A.V., Romanyuk [1] O.V.
(rom8591@gmail.com)
[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
[2] Odessa National Technological University (Ukraine)

The graphics pipeline (Fig. 1) is a sequential data processing system that performs the visualization of three-dimensional objects on a two-dimensional monitor screen. Its structure determines the order of calculations, starting from entering the geometry of the scene to displaying the final image. This is a complex mechanism that works in close combination of software and hardware. The basis of the pipeline is programmable shader stages that provide flexibility and the ability to implement a variety of visual effects. Modern graphics processors perform billions of operations per second, providing processing of polygons, textures, light, shadows and materials in real time [1].

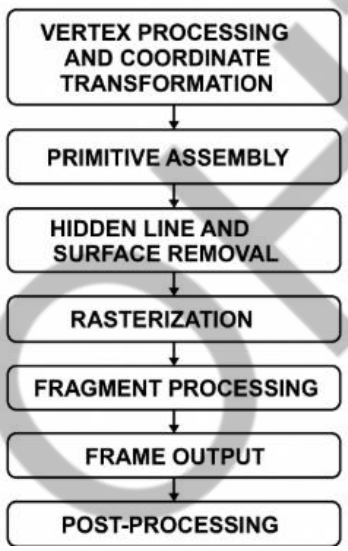


Fig. 1 - Main stages of the graphics pipeline

At the initial stage, data is prepared for processing. A three-dimensional model consists of a large number of vertices that describe the shape of the object. Vertices contain a set of attributes — coordinates, normals, colors, animation weights, and texture coordinates. In the process of processing vertices, three transformation matrices are used: a model matrix, which translates the object from the local coordinate system to the world coordinate system; a species matrix, which sets the position of the camera in the scene; and a projection matrix, which determines the perspective and depth of space. As a result, an MVP matrix is formed, which transforms a vertex from three-dimensional space to the screen plane [2]. At this stage, lighting can also be performed at the vertex level, which allows you to save resources when working with a large number of polygons.

After that, the primitives are assembled. The vertices that come out of the vertex shader are combined into triangles, which are the basic graphic units. Any complex surface can be represented by a set of triangles. The topology of the object is formed during the assembly process. To reduce the number of calculations, invisible faces are clipped, i.e. cooling. Clipping is performed by analyzing the direction of vertex traversal - if the surface is turned with its back side to the camera, it does not enter further processing. This mechanism significantly optimizes system performance. If necessary, tessellation is performed - dividing large polygons into smaller ones, which provides greater detail of the model without increasing the number of base vertices [3].

The third step of the graphics pipeline is the removal of invisible surfaces and lines. For this purpose, a depth buffer or Z-buffer is used, where for each pixel its distance from the observer is stored. When a new fragment is superimposed, the system compares its depth with the one already recorded. If the fragment is closer, it replaces the previous one, if it is further away, it is ignored [4]. This ensures the

correct visibility of objects in space. Additionally, clipping is used - cutting off parts of objects that go beyond the viewing area. This is especially important for cameras with a limited field of view or when rendering scenes with a large number of polygons.

The rasterization stage is central to the graphics pipeline. Here, three-dimensional primitives are converted into two-dimensional fragments. Each fragment corresponds to a potential pixel on the screen. During the rasterization process, parameters between vertices are interpolated - color, texture coordinates, normals. Rasterization also includes edge smoothing (antialiasing), which ensures smooth lines and contours. Multisampling (MSAA) or supersampling (SSAA) techniques are used to improve image quality. This stage is completed by forming a set of fragments that are passed to the fragment shader [5].

The fragment shader determines the final appearance of each pixel. It performs complex calculations of lighting, reflections, shadows, transparency, and refraction. The most commonly used lighting models are Lambertian, Phong, Blinn-Phong, or PBR (physically based rendering). PBR models the behavior of light according to physical laws and provides realistic rendering of materials such as metals, glass, plastic, and stone [6]. At this stage, textures, normal maps, specular maps, and shadow maps are used. After calculating the color, the fragment undergoes a series of tests: depth, wall force, and alpha tests. Only after successfully passing these tests is the fragment written to the frame buffer.

The frame buffer forms an image, which is then passed to the post-processing stage. Post-processing is an important component of a modern graphics pipeline. It allows you to improve image quality without interfering with the geometry of the scene. It uses anti-aliasing filters, motion blur effects, tone mapping, color correction, global illumination, ambient occlusion, depth of field, vignetting, glow, and camera simulation. Such effects give the image a cinematic and realistic look [7]. After post-processing is complete, the frame is displayed on the screen, synchronizing with the display refresh rate.

There are several modifications of the graphics pipeline, which differ in structure, level of programmability and principles of scene visualization. They appeared in the process of development of computer graphics, when the computational capabilities of graphics processors were gradually expanding. The very first modification was the fixed pipeline, which was used in older versions of OpenGL and DirectX. It had a rigidly defined sequence of stages and did not allow changing lighting or texturing methods programmatically. The developer could only adjust the parameters, but not the logic of the work. This type provided stability and speed, but was inflexible and did not allow creating complex effects.

The next step in development was the emergence of a programmable pipeline. Its main difference is that most of the rendering stages have become programmable. Instead of fixed algorithms, shaders appeared - special programs that run directly on the graphics processor. This made it possible to create your own lighting models, complex effects of transparency, relief, shadows, reflections. The programmable pipeline became the basis for all modern graphics APIs - DirectX 12, Vulkan, Metal, OpenGL 4.0 and newer versions.

With the development of hardware, there was a need to increase the efficiency of calculations, and therefore a unified shader pipeline was created. Previously, vertex, fragment and geometric shaders were executed on different GPU blocks, but starting with the NVIDIA G80 architecture, they all began to work on common universal cores. This allowed for dynamic allocation of resources between rendering stages depending on the load. This approach increased performance and simplified the structure of graphics processors [1].

Next, the graphics pipeline gained the ability to procedurally generate objects using geometry shaders. A geometry shader is able to create new triangles, lines, or points based on existing ones. This is used to create complex objects, such as hair, grass, particles, or contours. While this stage provides flexibility, it increases the load on the GPU, so it was later partially replaced by newer technologies such as Mesh Shaders, which are more efficient and allow processing large amounts of geometry in parallel.

Another important modification is the tessellation pipeline. The tessellation block divides large polygons into smaller parts, allowing for high levels of detail without increasing the number of base vertices in the model. This is especially important for creating smooth surfaces, landscapes, and characters. Tessellation consists of three stages: the Hull Shader, which determines the degree of division; the Tessellator, which performs the division process itself; and the Domain Shader, which calculates the positions of the new vertices [2]. This mechanism is often used in conjunction with displacement maps to create geometric relief instead of just texture.

With the development of GPU computing capabilities, the computer shader appeared. This is a universal computing unit that allows you to perform any parallel operations, not necessarily related to

graphics. The computer shader is used for simulations, data analysis, machine learning, physical models and ray tracing. It is not subject to the strict sequence of the graphics pipeline and can be run independently. Thus, the GPU has become not only a graphics, but also a universal parallel processor [3].

The most modern modification is the ray tracing pipeline. This method is not limited to rasterizing polygons, but simulates the real behavior of light. Rays are emitted from the camera and check for collisions with objects in the scene. As a result, shadows, reflections, refraction, and global illumination are calculated. Ray tracing produces photorealistic results, but requires powerful calculations. That is why modern video cards combine this method with classic rasterization, creating hybrid pipelines that combine tracing accuracy and rasterization speed [4]. Such systems are implemented in the NVIDIA RTX, AMD RDNA, and Intel Xe2 architectures.

Hybrid pipelines have become a key direction in the development of graphics systems. In them, the initial scene display is performed in a traditional way, and for complex effects - reflections, shadows, caustics - ray tracing is used. This allows you to significantly reduce the load while maintaining high quality. A similar approach is used in modern game engines Unreal Engine 5, Unity HDRP and others [5].

Another modification is the pipeline using artificial intelligence. In the latest GPUs, such as NVIDIA Blackwell, AMD AI Engine or Intel Arc Xe2, separate computational units for neural networks are integrated. They are used for image scaling, anti-aliasing, texture reconstruction and noise compensation. Technologies such as DLSS, FSR or XeSS perform high-resolution frame reconstruction from fewer pixels, which allows to significantly reduce the load on the GPU without losing quality [6]. Thus, artificial intelligence becomes part of the graphics pipeline, expanding its capabilities.

A separate group is distributed or multiprocessor graphics pipelines. In such systems, several GPUs or nodes simultaneously participate in the visualization of a single scene. This allows you to create extremely large amounts of data and render complex scenes in real time. Such solutions are used in film visualization, scientific simulations, engineering modeling, and supercomputer systems [7]. They are the basis for building cluster and cloud rendering platforms.

Therefore, the graphics pipeline is constantly being improved. Its modifications go from fixed architectures to flexible multi-level models that combine rasterization, ray tracing, machine learning, and distributed computing. Thanks to this, modern computer graphics have reached a level of realism that allows them to be used not only in the gaming industry, but also in cinema, virtual reality, CAD systems, scientific visualizations, and medical technologies.

References

[1] NVIDIA Corporation, Inside the Blackwell GPU Architecture, NVIDIA Developer Blog, 2025.
[2] T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, Real-Time Rendering, 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2024.
[3] W. Engel (ed.), GPU Zen 3: Advanced Rendering Techniques, Black Cat Publishing, 2024.
[4] M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys, Physically Based Rendering: From Theory to Implementation, 4th ed., Morgan Kaufmann, 2023.
[5] J. F. Blinn, A Trip Down the Graphics Pipeline, IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 42, no. 1, pp. 34–49, 2022.
[6] Romanyuk, O. N. Computer Graphics [Electronic resource] : electronic tutorial / O. N. Romanyuk, O. V. Romanyuk, R. Yu. Chekhmestruk. – Vinnytsia: VNTU, 2023. – 147 pp.
[7] J. Lengyel, The Mechanics of Vertex Processing, ACM SIGGRAPH Course Notes, 2023.
[8] Romanyuk O. N., Dudnyk O. O. Evolution of the rendering pipeline in video cards// Electronic information resources: creation, use, access: Collection of materials of the International Scientific and Practical Internet Conference October 24-25, 2016 – Vinnytsia: VNTU, 2016. – 694 p.
[9] Romanyuk O.N., Chan A.L.V. Analysis of the modification of classical graphic pipelines for optimizing resource allocation. State, achievements and prospects of information systems and technologies / Materials of the XXI All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists, postgraduates and students. Odesa, April 22-23, 2021 - Odesa, ONAKHT Publishing House, 2021 p. 98-99

НТБОНТУ

MODIFICATIONS OF THE PHOENIX METHOD FOR 3D IMAGE RENDERING PROBLEMS

Romanyuk [1] O.N., Melnyk [1] A.V.,
Romanyuk O.V[1] ., Kotlyk [2] S. V.
(rom8591@gmail.com)
[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
[2] Odessa National Technological University (Ukraine)

In modern computer graphics systems, the Phong method [1-6] of lighting has become one of the fundamental approaches to modeling the surface properties of objects. Its emergence is due to the scientist Bui Tuan Phong, who proposed a simple but effective model of light reflection, which became the basis for most algorithms for realistic reproduction of materials in three-dimensional space [1].

The Phong method is based on three main components: diffuse, specular, and background (background) lighting components. Diffuse lighting depends on the angle between the surface normal and the direction of the light source. The specular component - the most important for the Phong method - takes into account the direction of the reflected ray and the observer vector, creating characteristic bright glare on glossy surfaces. The background component adds to the overall illumination of the scene regardless of the position of the light.

With the development of graphics processing units (GPUs), Phong's method moved from software rendering to hardware implementation. Modern video cards, starting with the NVIDIA GeForce 3 generation (NV20 architecture) and ATI Radeon 8500, introduced shader support, which allowed Phong's method to be implemented directly on the GPU, without the need for calculations on the central processor [3].

Implementing the Phong method as a fragment shader (i.e., a program that processes pixels) provides high accuracy and speed. The GPU uses a parallel architecture that allows it to calculate the lighting of thousands of pixels simultaneously, applying the Phong model in real time for dynamic scenes.

Phong Tessellation is a modern technique in computer graphics that combines hardware tessellation with ideas from the Phong method to achieve the effect of smooth, curved surfaces without significantly increasing the complexity of the geometric model. A major problem with rendering 3D objects is that models are usually built from triangles, which only approximate curved surfaces. Even with interpolated Phong shading, the actual silhouette of the object remains broken. Phong Tessellation solves this problem by using additional geometry that adjusts to the surface normals.

The essence of the method is that during graphic rendering at the tessellation stage (i.e., dividing triangles into smaller parts), the graphics processor creates new vertices between the existing ones. Each new vertex receives a normal, which is interpolated using the Phong method - that is, based on the normals of neighboring vertices. Then the position of the new vertices is modified: they are shifted along the corresponding normal. Such a shift allows you to bring the shape of the object closer to a truly curved surface, even if the initial polygonal object was rough. As a result, the illusion of a smooth surface is created - this is achieved due to the fact that the curvature is formed not only through lighting, but also due to the geometry that is adjusted to the normals.

The process is implemented on a modern graphics processor through programmable stages of the graphics pipeline. After the vertex, the hull shader is executed, which determines the level of detail; then the tessellator creates additional vertices between the main ones, and the domain shader performs the shift of these vertices according to the interpolated normals. Thus, the shape of the object is smoothed at the geometry level, and not just visually. Next, the processing goes to the fragment shader, where lighting and shading already occur.

This method is particularly useful in cases where smooth transitions of shapes are required - for example, when modeling human faces, curved surfaces of cars, objects in CAD systems, or detailed characters in video games. The advantage is that the initial geometry remains simple (saving memory), and the smoothness is achieved by computing on the GPU in real time.

Phong Tessellation is a good compromise between performance and quality. It allows you to significantly improve the appearance of 3D models in real time, making them visually smooth and realistic even on devices with limited resources. This technology is part of the general transition to

dynamic geometry in graphics, where surfaces can change not only in terms of textures and lighting, but also at the level of their physical structure.

To increase the performance of three-dimensional scene generation, some simplifications are often used.

One of the simplifications of the Phong method is the option with the rejection of the specular component of the lighting, when only the diffuse light is calculated. This approach is used in technical or mobile graphics, where speed is important, not the accuracy of the display of materials. In this case, the final lighting is determined only by the background and diffuse components, without calculating specular effects. This scheme is well suited for matte surfaces or when rendering a large number of objects of the same type.

Another modification concerns the use of lookup tables. In some systems or low-power devices, the specular component was not calculated, but was taken from a pre-prepared table or texture. This avoided complex power functions and increased performance. Instead of mathematical calculations, the GPU simply accessed a texture map containing the brightness values of the specular reflection depending on the angle between the normal and the light source.

Another simplification is to use a constrained or stepped gloss. In this case, the gloss value is not calculated smoothly, but is divided into several discrete zones, for example: high light, medium light, or low light. This approach reduces the number of exponentiation operations, but changes the nature of the gloss. It is often used in stylized graphics or technical demos, where the gloss does not need to be physically accurate.

There is also an option without vector normalization. In the usual Phong method, all vectors are normalized to ensure correct angles between them. However, this requires additional square root calculations and division, which reduces performance. Therefore, sometimes normalization is simply skipped, especially on devices with limited resources. This approach introduces some error, but provides a significant performance gain for visually insignificant changes for distant or small objects.

Some simplifications combine Phong's method with a Lambertian illumination model. Such hybrid approaches use a simple Lambertian formula for diffuse light, and the specular component is specified by a separate brightness level or gloss texture. This provides a trade-off between quality and speed, while retaining some gloss without computing complex functions.

Simplified Phong methods are a set of engineering solutions aimed at balancing quality and performance. The most common among them are the Blinn–Phong model, a variant without the specular component, the use of gloss tables, and variants without vector normalization. All of these modifications have a common goal - to reduce computational costs while providing an acceptable level of visual realism for real-time applications.

There are numerous improvements to the Phong method, which are aimed at increasing the physical reliability [6], the realism of glare and the accuracy of the representation of material properties of surfaces in three-dimensional graphics. These improvements allow to overcome the limitations of the classical Phong model, which does not take into account energy conservation, the Fresnel effect, the microstructure of the surface and other important physical factors. One of the most important improvements is the energy-conserving Phong. In the classical model, the intensity of the reflected light can exceed the intensity of the incident light, which is physically incorrect. To solve this problem, normalized formulas are introduced that scale the specular component so that the integral energy of reflection does not exceed the energy of the incoming light. This ensures the correct behavior of glare on brightly illuminated surfaces. Another significant improvement is the introduction of microfacet models, where the surface is considered as a collection of microscopic mirrors, each of which has its own normal. Such models take into account the statistical distribution of microfacets, shading and masking between them, which allows to significantly increase the realism of the shine.

Another important improvement is the addition of the Fresnel effect. In the classic Phong method, the glare is the same for all viewing angles, while in reality the light is reflected more strongly at sliding angles. The introduction of the Fresnel effect allows us to model this dependence, which is especially relevant for materials such as water, glass, polished metals. The use of the Schlick approximation allows us to calculate the Fresnel coefficient quickly and efficiently. Another area of improvement is the replacement of the power function in the glare formula with physically accurate distributions such as GGX, Beckmann or Gaussian. In particular, the GGX distribution provides more natural wide glare and

better reflects the behavior of light on rough surfaces. This approach is widely used in modern physically based rendering.

Among other improvements is the consideration of surface roughness and metallicity as separate material parameters. In the classic Phong, these properties were fixed or ignored altogether. In modern modifications, these parameters change the behavior of both the diffuse and specular components, bringing the model closer to the physical characteristics of real materials. For example, metals do not have a noticeable diffuse component, but only a specular component, which varies depending on the surface properties. Such improvements allow a single model to describe a wide range of surfaces - from plastic to aluminum.

Another interesting form of improvement is the combination of the Phong model with geometric transformations, in particular the use of Phong Tessellation. In this approach, normals interpolated between the vertices of a triangle are used to warp the geometry in the direction of the normal. This allows for the creation of smooth surfaces without adding additional polygons to the original geometry, improving the visual perception of rounded shapes. This technique is effectively used in real-time visualization of complex organic objects or in CAD applications.

Together, these improvements not only address the shortcomings of the classic Phong, but also make it suitable for integration into modern rendering engines such as Unreal Engine, Unity HDRP, Blender Cycles, and others. Modern graphics APIs support these improvements through extended shader capabilities, parameter texture maps, and the use of HDR lighting. Thanks to this, the Phong model, despite its age, has not lost its relevance, but on the contrary, has become the basis for creating flexible, optimized, and physically correct lighting models in computer graphics.

References

[1] Matt Pharr, Wenzel Jakob, Greg Humphreys, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation* , 4th ed., MIT Press, 2023.. Fernando and MJ Kilgard, *The Cg Tutorial: The Definitive Guide to Programmable Real-Time Graphics* , Addison-Wesley, 2021.

[3] T. Akenine-Möller, E. Haines, and N. Hoffman, *Real-Time Rendering* , 4th ed., CRC Press, 2018.

[4] O.N. Romanyuk and R.Y. Chekhmeistruk, *Computer Graphics: Textbook* , Vinnytsia: VNTU, 2022

[5] *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation* - Matt Pharr, Wenzel Jakob, Greg Humphreys. MIT Press, 2023 (4th ed.).

[6] Y. Tokuyoshi and T. Harada, “An Overview of Real-Time Physically Based Shading,” *IEEE Computer Graphics and Applications* , vol. 41, no. 2, pp. 8–16, Mar.–Apr. 2021.

UDC 004.41

OVERVIEW OF TECHNIQUES USED FOR MITIGATION OF SUBOPTIMAL NETWORK CONDITIONS IN ONLINE GAMES

Shevchenko I. O. (illya.shevchenko@student.khai.edu),
Sokolova Yevheniia (y.sokolova@khai.edu)
National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” (Ukraine)

The effective mitigation of impact of suboptimal network is a core issue in development of real-time games. This paper examines two specific method sused to manage impact of network delay: entity interpolation and delta compression. The paper provides cases study for use of these method in popular online games.

Technique 1: Entity Interpolation

In a simple client-server architecture, the server sends discrete world-state updates to client at a fixed frequency called *tick-rate*. A simple client implementation then displays entities as is, at the exact positions received. This approach results in a *jitter* or teleportation of entities, an effect that is further amplified with high-latency and packet loss.

Entity interpolation solves this by separating rendering frame rate from network update rate. It is achieved by introducing a deliberate delay called *interpolation buffer*.

It works as follows:

1. The client receives from the sever and stores with time-stamps a queue of world states (e.g. entity positions, speeds).
2. Instead of rendering the most recent received update, the client displays an entity at a point of time in the past. The value of delay is one of the parameters decided depending on the specifics of the game or could be specified by user, depending on their desired experience and network conditions.
3. Client calculates the entity's position at that point in time by using a linear interpolation (lerp) between two known positions in queue of world-states received from the server.

Case study 1: Valve's Source Engine (e.g. Counter-Strike: Global Offensive):

The Source Engine provides one of the standard and well-documented implementations of entity interpolation[2]. The engine allows user to set the following parameters to fine-tune their UX:

- cl_updaterate: The client's requested number of world-states per second from the server.
- cl_interp_ratio: The number of previous world-states used to smooth entity's motion. Higher number prevents jitter at worse packet-loss conditions, while lower number provides the most up-to-date state.
- cl_interp: The interpolation delay used when rendering.

In CS:GO, a first person shooter, such a system is vital. The gameplay emphasizes precise tracking from players, so any jitter would dramatically worsen user experience and make any high-level play impossible. However, it creates a difference between representations on the client and the server which must be accounted by the latter to accurately validate and register hits. The server then uses a system called lag compensation[3] which rewinds entity position by clients latency to do so. One of the few instances where this technique could be mostly dismissed is at professional onsite tournaments with games played over LAN (Local Area Network). In such cases, players tend to set cl_interp to 1 which means using only the latest known position to render an entity.

Technique 2: Delta Compression

World-state snapshot is a complete record of all game entities and their properties (e.g. position, health, velocity) at a moment in time. In a real-time game with 60 or 120Hz tick-rate the amount of data sent every second to a player can exceed the capacity of their internet connection, leading to packet loss and latency.

Delta compression addresses this issue by reducing the size of required traffic. Instead of sending the full world state, it aims to transmit only minimal data required for client to have an up-to-date world state while also compressing it using different techniques.

1. Delta encoding: This is the root idea of the method. Server maintains a history of snapshots and the last one acknowledged by the client. When generating a new update for client, it compares current game state to that last acknowledged. Only the values that have changed, the *deltas* are then sent to client. This drastically reduces the amount of redundant data sent.
2. Data quantization: Precision can be sacrificed when non-crucial. Typical 32 or 64-bit floating point numbers are changed to 16-bit fixed point floats. Which in turn more than halves data size.
3. Bitpacking: Certain values like health, 0-100 integer, don't require a full-sized 32-bit integer. Instead it requires just 7 bits. And boolean values only need 1 bit. Combining multiple such values in a single 32-bit integer for transmission further reduces traffic bloat.

Case study 2: Blizzard's Overwatch

Overwatch provides a great example of optimized delta transmission pipeline, designed to enable it's fast-paced gameplay on a 60Hz tick rate.

4. Delta compression: The Overwatch netcode detailed in their GDC presentation., relies heavily on delta encoding[4]. The system is robust, allowing to account for packet loss by calculating data difference from the last state that was confirmed received by the client.
5. Variable-precision quantization: High-precision data like player and projectile position uses data types with more bits than, for example, positions of particle effects.
6. Bitpacking: Data such as health, ammo count, various player states (is_reloading, is_using_ability) are bundled together into compact integers.

The cumulative effect of the whole pipeline provides a dramatic reduction in packet size. A full, uncompressed snapshot could be kilobytes, while the final delta-compressed, quantized, and bitpacked update sent to the client is often reduced to just a few hundred bytes, making a high-frequency update stream viable.

Conclusion

Entity interpolation and delta compression are foundational techniques for overcoming the challenges of real-time online gaming. Entity interpolation tackles the client-side problem of visual jitter by creating smooth, fluid motion at the cost of a slight delay. Delta compression addresses the server-side and network challenge of high bandwidth by transmitting only the most essential data. Popular games like Counter-Strike: Global Offensive and Overwatch demonstrate that application of these strategies is what makes a responsive multiplayer experience possible over the sub-optimal reality of internet.

References

[1] Tick rate, Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Netcode#Tick_rate

[2] Interpolation, Valve Software. URL: https://developer.valvesoftware.com/wiki/Interpolation

[3] Lee, Wai Kiu & Chang, Rocky. (2018). Enhancing the experience of multiplayer shooter games via advanced lag compensation. 284-293. 10.1145/3204949.3204971.

[4] The Data Building Pipeline of Overwatch, GDC. URL: https://media.gdcvault.com/gdc2017/Presentations/Clyde_David_TheDataBuilding.pdf

УДК 004.72

РОЗРОБКА WEB-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ТА ПОШУКУ ВАКАНСІЙ

Заполовський М.Й., Бабенко А.П.

(Mykola.Zapolovskyi@khpi.edu.ua, (Anton.Babenko@cit.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (Україна)

У роботі представлено результати дослідження сучасних технологій веброзробки та їх застосування у створенні web-застосунку для розміщення і пошуку вакансій. Розглянуто актуальність проблеми цифровізації ринку праці, що потребує створення ефективних онлайн-платформ для швидкого обміну інформацією між роботодавцями та здобувачами.

У сучасних умовах глобальної цифровізації суспільства та стрімкого розвитку інформаційних технологій одним із найважливіших напрямів залишається створення інтелектуальних вебсистем для автоматизації процесів у різних галузях діяльності людини. Ринок праці не є винятком, адже з кожним роком збільшується потреба у швидкому, зручному та надійному пошуку роботи і кваліфікованих кадрів. Традиційні способи пошуку вакансій поступово відходять на другий план, поступаючись місцем сучасним web-платформам, які дозволяють забезпечити миттєвий обмін інформацією між роботодавцями та здобувачами. Актуальність теми зумовлена необхідністю створення ефективного інструменту, який поєднує простоту використання, гнучкість функціоналу, безпечність зберігання даних та можливість масштабування відповідно до потреб користувачів.

Метою доповіді є розробка web-застосунку для розміщення та пошуку вакансій з використанням сучасних технологій веброзробки, що забезпечують ефективність, безпеку, адаптивність і зручність користування.

У процесі розробки проведено порівняльний огляд найпоширеніших **технологій веброзробки**, які використовуються у створенні динамічних сайтів. На серверному рівні найчастіше застосовуються **PHP, Python, Node.js і Java [1]**.

PHP залишається одним із найпопулярніших інструментів для створення вебсайтів завдяки простоті, стабільності та великій кількості готових бібліотек. Його сучасні фреймворки, зокрема **Laravel**, **Symfony** та **Livewire**, забезпечують зручну архітектуру MVC, підтримку ORM та вбудовані механізми безпеки. Фреймворк **Livewire**, який інтегрується з Laravel, дозволяє створювати інтерактивні інтерфейси без необхідності глибокого використання JavaScript, що робить розробку швидшою та ефективнішою [2].

Python – універсальна мова з потужними фреймворками **Django** та **Flask**, що відзначаються високим рівнем безпеки, масштабованістю і зручністю побудови REST API. Django особливо ефективний для розробки великих корпоративних платформ, тоді як Flask забезпечує більшу гнучкість для невеликих або середніх проєктів.

Node.js дає змогу використовувати **JavaScript** і на серверному боці, що спрощує розробку повноцінних вебзастосунків у єдиному середовищі. Завдяки фреймворкам **Express.js**, **NestJS** або **Next.js** забезпечується асинхронна обробка запитів, висока продуктивність і масштабованість. Node.js особливо ефективний для систем, що потребують обробки великої кількості одночасних з'єднань, наприклад, у чатах або вебсервісах із миттєвими оновленнями даних [3].

Java застосовується для розробки високонадійних корпоративних систем завдяки фреймворкам **Spring Boot** і **Jakarta EE**. Перевагою цієї технології є сувора типізація, підтримка складних транзакцій і можливість масштабування у великих організаційних структурах.

На клієнтському рівні для створення інтерфейсу користувача використовуються **HTML5, CSS3, JavaScript** і різні фреймворки для побудови інтерфейсів – **React, Angular, Vue.js**.

React забезпечує високу швидкість роботи завдяки віртуальному DOM та компонентній архітектурі. **Angular** (від Google) пропонує цілісну екосистему для побудови складних SPA-додатків із чіткою структурою та потужними засобами двостороннього зв'язку даних. **Vue.js** є більш гнучким і легким у засвоєнні, що робить його популярним серед невеликих команд розробників.

Для стилізації сучасних вебінтерфейсів широко використовуються **Bootstrap** і **Tailwind CSS**. Bootstrap надає готові адаптивні компоненти, тоді як Tailwind CSS дозволяє створювати індивідуальні дизайни без надлишкового коду. Tailwind також забезпечує легку інтеграцію з фреймворками типу Livewire або React.

З метою зберігання даних у вебзастосунках найчастіше застосовуються **реляційні СУБД** та **нереляційні бази**. MySQL є класичним рішенням для структурованих даних і підтримує транзакційність, тоді як MongoDB підходить для документно-орієнтованих структур, які часто використовуються у web 2.0-застосунках.

Важливу роль відіграє **безпека та автентифікація**. Для цього у вебсистемах використовуються механізми **JWT (JSON Web Token)**, **OAuth 2.0**, а також вбудовані методи фреймворків для захисту від XSS, CSRF, SQL-ін'єкцій і витоку даних. У PHP/Laravel та Django реалізовано готові механізми перевірки користувачів і шифрування паролів.

У межах даного дослідження було створено концептуальну модель web-застосунку для розміщення вакансій, де користувач може створювати обліковий запис, додавати вакансії, здійснювати пошук і відгуки. База даних реалізована у **MySQL**, що забезпечує швидке виконання пошукових запитів і стабільну роботу з великою кількістю вакансій.

Під час розробки приділено увагу **адаптивності дизайну**, що дозволяє користувачам комфортно взаємодіяти із системою.

Висновки. Проведений огляд технологій показав, що ефективна розробка web-застосунку для розміщення та пошуку вакансій є складним процесом що вимагає використання великого стеку технологій. Використання **PHP** у поєднанні з **Tailwind CSS, MySQL і JavaScript** забезпечує баланс між простотою реалізації, швидкодією та безпекою. Сучасні фреймворки дозволяють створювати гнучкі та масштабовані системи з високим рівнем інтерактивності.

Список використаної літератури

[1] Duckett J. HTML and CSS: Design and Build Websites. Indianapolis: «John Wiley & Sons, Inc.», 2011. 490 c.

[2] Nixon R. Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5. CA: «O'Reilly Media, Inc.», 2018. 834c

[3] Mayer G. E. T., Awesomeness J. JavaScript: JavaScript Awesomeness Book. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. 68 c.

НТБОНТУ

УДК 681.5

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБРОБКИ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Бандурка Людмила (bandurkalyda@gmail.com, budnykmykola@gmail.com)
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ (Україна)

Запропонована методика обробки тепловізійних зображень призначена для медичної діагностики та дозволяє отримувати температурну карту, автоматично виділяти контур тіла людини, усувати фонові перешкоди та проводити аналіз температурного розподілу. Вона реалізована у середовищі MATLAB та дає можливість автоматизувати процес обробки та створити основу для віддаленого моніторингу стану людини.

Вступ. Усі об'єкти випромінюють інфрачервону енергію (тепло). Загалом, чим гарячіший об'єкт, тим більше буде випромінювання. Тепловізор перетворює інфрачервоне випромінювання від предметів на теплову карту, що відображається на дисплеї пристрою. Основа тепловізора – матриця. Саме завдяки їй інфрачервоне випромінювання, невидиме людині, реєструється.

Сучасні тепловізійні технології відіграють важливу роль у медичній діагностиці. Тепловізійні зображення дозволяють безконтактно вимірювати розподіл температури на поверхні об’єктів, що відкриває широкі можливості для моніторингу фізіологічного стану людини, виявлення патологічних змін або оцінки ефективності лікування [2].

Обробка включає виконання таких операцій над зображенням: Покращення зображення; Порогова обробка; Морфологічна обробка; Сегментація; Розпізнавання. Попередня обробка зображення здійснюється шляхом імпортування у цифровому форматі (наприклад, .jpg або .png) та перетворюється у відтінки сірого. Може застосовуватися медіанна фільтрація для зменшення шумів та покращення контрастності об’єкта. Попередня обробка дозволяє мінімізувати вплив артефактів, спричинених відблисками, неідеальними умовами зйомки або змінами освітлення.

Однак, інтерпретація тепловізійних зображень є складним завданням через наявність шумів, неоднорідність освітлення, вплив зовнішніх факторів і складність виділення потрібних областей на зображенні [1]. Тому завданням даного дослідження є розроблення методів цифрової обробки, які забезпечують автоматичне або напівавтоматичне виділення об’єкта дослідження, калібрування температури та побудову температурних карт із високою точністю.

Основна частина. Надано 45 зображень, на яких представлені такі хвороби як запалення легень та туберкульоз.

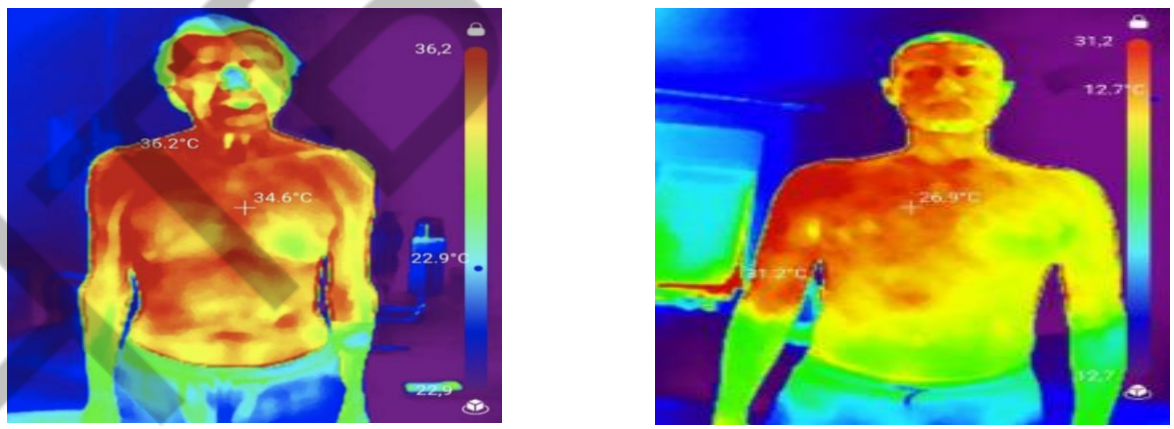


Рис. 1 а - туберкульоз, б – запалення легень

Попередня обробка зображення включає в себе контрастування - якщо потрібно, перетворення в градації сірого.

Формування температурної карти. Важливою частиною методики є перехід від яскравісних значень пікселів до реальних температурних величин. Для цього використовується лінійна залежність (1):

$$T = kx + b\ ,\ k=0{,}035\quad b=25 \qquad (1)$$

де x— значення інтевисність пікселя сірого зображення, k і b — коефіцієнти калібрування, визначені за відомими мінімальними та максимальними температурами, зазначеними на тепловізійному зображенні.

Такий підхід дає змогу отримати карту температур у градусах Цельсія для кожного пікселя [3]. Отримані дані візуалізуються у вигляді кольорової температурної карти, де кожному діапазону температур відповідає певний колір. Це дозволяє чітко виявити області з підвищеною або зниженою температурою. Застосування маски тіла забезпечує виключення фону — на карті відображається лише область людини.

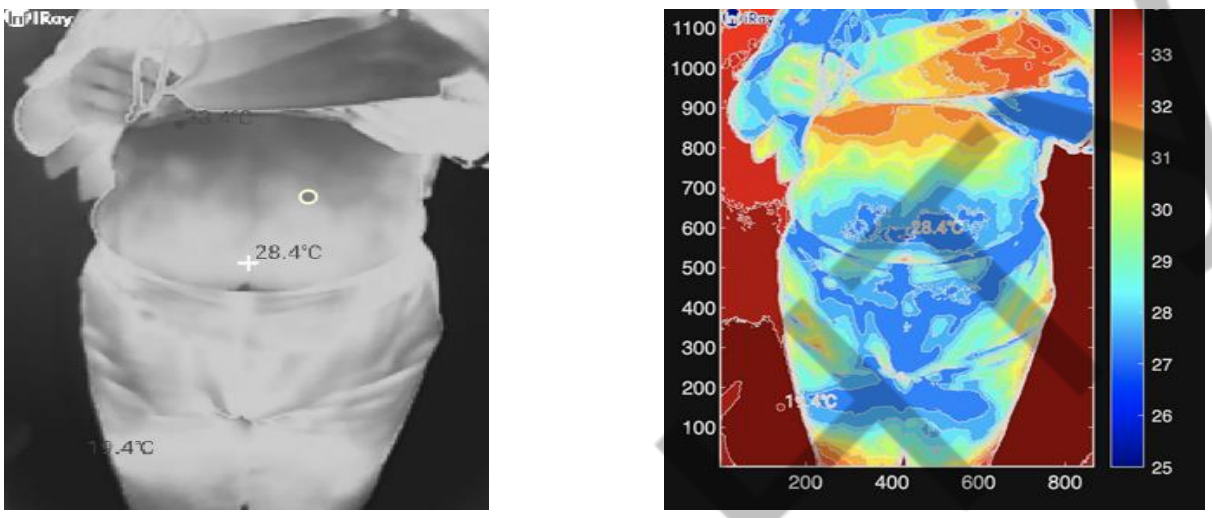


Рис. 2 а-сіре зображення та б-контурне

Сегментація. Для автоматичного відокремлення людини від фону використовується метод порогової сегментації за алгоритмом Оцу [1], що забезпечує вибір оптимального порогу яскравості. Отримана бінарна маска додатково очищується за допомогою морфологічних операцій — заповнення отворів (imfill) та видалення малих областей шуму (bwareaopen). У результаті формується чітка область, що відповідає тілу людини, на основі якої створюється контур досліджуваного об’єкта.

Рис. 3 - підсилене в 10 разів контурне зображення тіла

Кількісна обробка результатів. Для кількісної оцінки теплового стану об’єкта розраховуються мінімальна *T=28,4* ,та максимальна *T=34,5* та середня температура тіла T=31,45. Крім того, формується гістограма розподілу температур по площі тіла, що дозволяє оцінити однорідність теплового поля. При необхідності визначаються координати точок локальних екстремумів, що можуть свідчити про фізіологічні відхилення або зони підвищеного тепловиділення. Ми отримали контурний графік температур, у вигляді кольорової карти, де кожен колір відповідає певному діапазону температур (згідно зі шкалою праворуч). Це фізично осмислена температура в градусах Цельсія. Також маємо контур (силует людини), виділений із

тепловізійного зображення, де відокремлені межі людини для подальшої морфологічної чи геометричної обробки.

Висновки. У роботі запропоновано методику обробки тепловізійних зображень, яка базується на використанні алгоритмів фільтрації, сегментації та морфологічної обробки. Такий підхід забезпечує якісне виділення об'єкта спостереження та точне відокремлення фону.

Реалізовано процедуру обчислення температурних значень за лінійною моделлю T = kx + b що дозволяє перетворювати значення інтенсивності у реальні температурні показники в градусах Цельсія. Використання морфологічних операцій заповнення порожнин, видалення дрібних об'єктів та згладження контурів забезпечило отримання коректної маски тіла людини, придатної для побудови температурних карт та подальшого аналізу. На основі розробленої методики можна створити алгоритм, який дозволяє визначати мінімальні, максимальні та середні температури по області тіла, будувати гістограми розподілу та візуалізувати результати у вигляді кольорових температурних карт.

Запропонований підхід може бути використаний у системах медичного моніторингу, спортивній фізіології, а також при теплотехнічних дослідженнях та промисловому контролі, забезпечуючи підвищення точності й достовірності температурних вимірювань.

Список використаних джерел

1. Сизов Ф.Ф., Бехтір О.В., Забудський В.В., Маслов В.П. та ін. Дослідження можливостей дистанційної медичної термографії // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування. – 2003. – № 25. – С. 133–137.
2. Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечная // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53. «Мобільні технології для моніторингу психофізіологічного стану здоров'я людини», Н. В. Дорош, Вісник гігієни та екології, 2022
3. Сторожик Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // Наукові вісті КПІ. – 2020. № 2. – С. 82-87.

УДК 004.582

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАЛАШТУВАННЯ МЕХАНІКО-ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІГРОВІЗАЦІЇ ОЗДОРОВЧИХ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Безугла А. І., Блажко О. А. (alinabezuglaya123@gmail.com, blazhko@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В тезах розглянуто методику автоматизованого налаштування динамічних властивостей сценарію Serious ExerGames (частота зміни подій, пов'язаних з неігровими персонажами, швидкість руху ігрового персонажу) та механічних властивостей сценарію (напрямки рухів ігрового персонажу та неігрових персонажів).

Вступ. Комп'ютерні ігри типу *Exergame* (від англ. *Exercise* – «фізична вправа» та *Game* – «гра») використовують апаратно-програмні засоби для взаємодії гравця з комп'ютером та дозволяють керувати персонажем гри через розпізнавання природних рухів тіла гравця [1]. *Exergame*-ігри класифікують на дві категорії: рекреаційні *Exergames*, орієнтовані на розваги, та *Serious Exergames*, спроектовані з певною ціллю як цифрові технології охорони здоров'я, які через м'язово-індуковані рухи тіла керують виконанням вправами [2]. Процес створення *Serious Exergames* має бути результатом співпраці дослідників, медичних працівників та програмістів, інакше використання гри може створити різні проблеми зручності використання та безпеки гравців-пацієнтів [3]. Тому для *Serious ExerGames* бажано впроваджувати автоматизацію процесів розробки для зменшення рівня залежності від втручання програмістів.

Постановка проблеми. В роботі [4] авторами запропоновано реляційну модель бази даних опису фізичних вправ у форматі кутових характеристик та розроблено *Python*-програму з використанням нейромережі *Mediapipe* для розпізнавання фізичних вправ, яка на основі заповнених таблиць автоматизовано визначає правильність виконання вправ. В подальшому ця програма стала частиною методики автоматизованого створення *Serious ExerGames* на основі шаблонів програмного коду контролю рухів ігрових/неігрових персонажів [5]. Після проведення експериментів із *Serious ExerGames*, які містили фізичні вправи «Метроном» та «Пружина» для шиї [6], визначено необхідність уточнення динамічних властивостей сценарію (частота зміни подій, пов'язаних з неігровими персонажами, швидкість руху ігрового персонажу) та механічних властивостей сценарію (напрямки рухів ігрового персонажу та неігрових персонажів, які впливають на рекомендований напрямок руху ігрового персонажу), які повинні примушувати гравця виконувати фізичні прави у відповідності із правилами.

Мета роботи – узгодити механіко-динамічні властивості *Serious ExerGames* із деталізованим описом виконання оздоровчих фізичних вправ людини-гравця (траєкторія руху, швидкість та періодичність).

Опис рішення. Для досягнення мети роботи запропоновано методику автоматизованого налаштування механіко-динамічних властивостей комп'ютерної ігровізації оздоровчих фізичних вправ (рисунок 1).

Методика містить наступні компоненти:

1) реляційна БД довільного опису фізичних вправ (назва вправи, текстовий опис виконання вправи), яку заповнює терапевт через простий редактор таблиць із графічним інтерфейсом;
2) реляційна БД покрокового опису фізичних вправ (номер положення тіла, опис руху зміни положення, затримка у секундах перебування у положенні, для всієї вправи – кількість повторів);
3) автоматизоване перетворення вмісту БД довільного опису у вміст БД покрокового опису, який проводиться під контролем дизайнера гри з використанням *AI*-асистента *CLI Qwen* та *LLM Qwen3-Coder*;
4) реляційна БД кутового опису фізичних вправ (номер положення тіла, номер умови опису кута, назва 1-го суглоба, назва 2-го суглоба, одна з *xyz*-координат опису, *min/max* кут);
5) автоматизоване перетворення вмісту БД покрокового опису у вміст БД кутового опису, який проводиться під контролем дизайнера гри з використанням *AI*-асистента *Qwen*;
6) підключення шаблонної естетики;
7) автоматизоване налаштування динаміки та механіки неігрових персонажів.

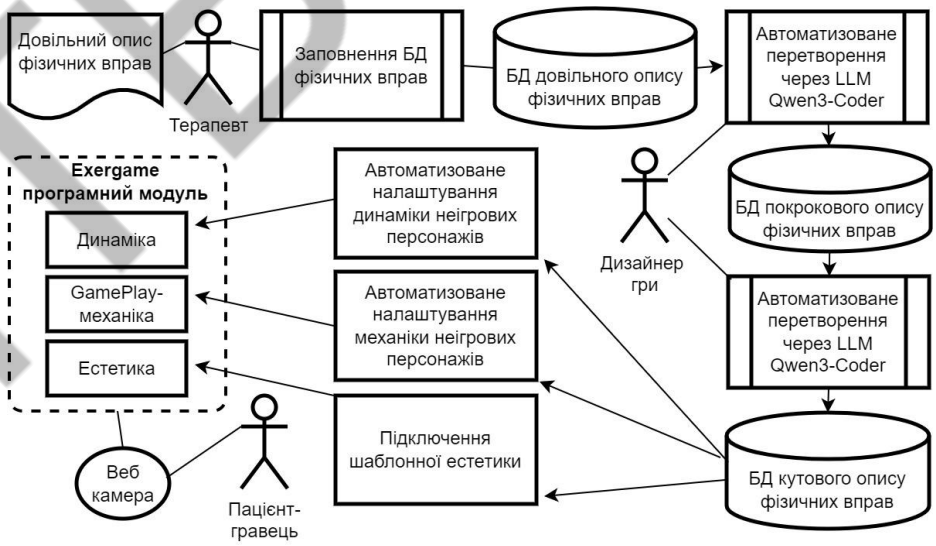


Рисунок 1 – Взаємодія компонентів методики автоматизованого налаштування механіко-динамічних властивостей комп'ютерної ігровізації оздоровчих фізичних вправ

Запропонована шаблонність естетики базується на ідеї розділити всі представлення естетики на два типи: вертикальне представлення, яке враховує особливості сценаріїв під час переміщення

ігрових персонажів (об'єктів) зверху-вниз, та горизонтальне представлення естетики, яке враховує особливості сценаріїв під час переміщення об'єктів зліва-направо. Для кожної фізичної вправи цей тип визначається дизайнером гри та фіксується у БД довільного опису. *ExerGame* програмний модуль завантажує список вправ з відповідними типами естетики та підключає відповідний програмний код із описом графічних зображень об'єктів та алгоритмів їх переміщення з механіко-динамічними властивостями.

Автоматизоване налаштування механіки неігрових персонажів використовує концепцію розподілу всіх положень тіла людини на три зони:

–для горизонтальної естетики: ліва, центральна, права зони;

–для вертикальної естетики: верхня, центральна, нижня зони.

Кожна зона має властивість «безпечність/небезпечність» для гравця, яка впродовж гри може змінюватися. Початкове розміщення об'єктів відбувається із врахуванням початкового розміщення пози гравця у відповідній зоні (рисунок 2).

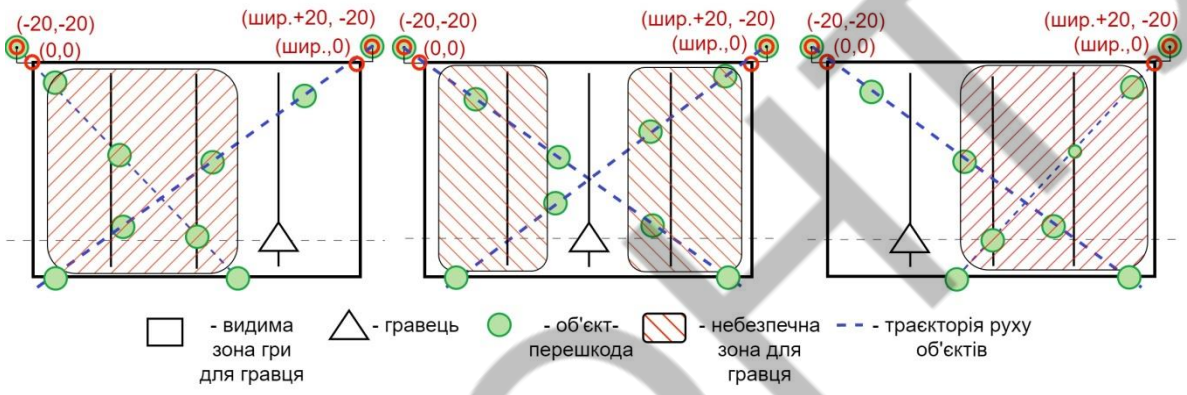


Рисунок 2 – Приклади трьох варіантів опису траєкторії для різних зон

Алгоритм визначення траєкторії переміщення об'єктів: об'єкт переміщується по прямій лінії від початкової точки до точки на висоті центральної зони з фіксованою швидкістю, де швидкість є заданою швидкістю, помноженою на нормований вектор від старту до цілі.

Всі об'єкти розділено на дві групи, які переміщуються з протилежних напрямків постійно, обмежуючи безпечне переміщення персонажу. Створення трьох зон дозволяє описати три варіанти алгоритму визначення траєкторії переміщення об'єктів:

– якщо гравець знаходиться в правій зоні, тоді одна група об'єктів переміщується з верхньої правої зони вікна у нижню ліву зону вікна, а друга група об'єктів – з верхньої лівої зони у нижню центральну;

– якщо гравець знаходиться в центральній зоні, тоді одна група об'єктів переміщується з верхньої правої зони вікна у нижню ліву зону вікна, а друга група об'єктів – з верхньої лівої зони у нижню праву зону вікна;

– якщо гравець знаходиться в лівій зоні, тоді дві групи об'єктів переміщуються у напрямках, протилежних першому варіанту;

– кожна група об'єктів генерується з фіксованою затримкою, наприклад, ~0.2 *sec*.

Автоматизоване налаштування динаміки неігрових персонажів враховує наступне:

– час переміщення об'єктів за траєкторіями визначається часом затримки перебування пацієнта у відповідній позі, який отримується з бази даних опису вправ. Після завершення часу програма отримує опис наступної пози і змінює траєкторії у відповідності з описом;

– швидкість переміщення об'єктів не змінюється ~ 500 *px/sec*.

Висновки. Запропонована методика дозволила автоматизувати процес заповнення БД покрокового опису, кутового опису, що перевірено на прикладі 9-ти фізичних вправ для шиї пацієнта через використання *AI*-асистента *CLI Qwen* та *LLM Qwen3-Coder*.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] C. S. P. de Medeiros, L. B. A. Farias, M. C. de L. Santana, T. B. F. Pacheco, R. R. Dantas, and F. A. de C. Cavalcanti, "A systematic review of exergame usability as home-based balance training tool for older adults," *PLoS ONE*, vol. 19, no. 8, e0306816, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0306816.

[2] P. Manser, E. D. de Bruin, J.-J. Temprado, L. Bherer, and F. Herold, "Beyond 'just' fun: The role of exergames in advancing health promotion and disease prevention," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 176, Art. no. 106260, 2025, doi: 10.1016/j.neubiorev.2025.106260.

[3] A. T. Bayrak, "Compassionate Game Design: A holistic perspective for a player-centric game design paradigm for Games4Health," *Int. J. Adv. Intell. Syst.*, vol. 13, no. 1 & 2, pp. 1–18, 2020. [Online]. Available: http://www.iariajournals.org/intelligent_systems/

[4] А. І. Безугла та О. А. Блажко, "Реляційна база даних кутового опису фізичних вправ з використанням нейромережі Mediapipe," *Матеріали П'ятнадцятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених "Сучасні інформаційні технології – 2025"*, Одеса, Україна, 15–16 травня 2025 р., с. 172–174, doi: 10.5281/zenodo.15662865.

[5] А. І. Безугла та О. А. Блажко, "Методика комп'ютерної ігровізації оздоровчих вправ на основі програмних шаблонів ігрових механік та нейромережі Mediapipe," *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2025: Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*, Одеса, 25–26 вересня 2025 р., Одеса: Видавництво ОНТУ, 2025, с. 281–283.

[6] "Гімнастика для шиї доктора Шишоніна," 10.08.2021. [Online]. Available: https://fitomarket.com.ua/ua/fitoblog/gimnastika-dlja-shei-doktora-shishonina [Accessed: October 10, 2025]

УДК 004.42

ВЕБГРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ФІНАНСОВОЇ ГРАМОТНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ

Борецький І. В. (6865986@stud.op.edu.ua),
Тройніна А. С. (anastasiyatroinina@gmail.com),
Рувінська В. М. (iolnlen@te.net.ua)
Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)

Робота присвячена розробці вебгри для підвищення фінансової грамотності користувачів шляхом гейміфікації та моделювання життєвих сценаріїв. Запропоновано алгоритм оцінювання, що інтегрує класичні фінансові метрики з елементами поведінкової економіки (теорія Канемана-Тверскі). Система реалізована на Next.js/TypeScript, має локалізацію під український ринок та забезпечує практичне закріплення навичок планування бюджету.

Вступ. У сучасному суспільстві навички фінансового менеджменту мають вирішальне значення: вони визначають здатність людини забезпечити собі стабільність і незалежність. Водночас в Україні спостерігається критично низький рівень фінансової грамотності серед підлітків і молоді. Національний банк України в партнерстві з громадською організацією Junior Achievement Ukraine вперше в Україні провів дослідження рівня сформованості компетентності "Підприємливість та фінансова грамотність" серед школярів 10 класів. Його метою було визначити рівень знань та умінь учнів перед упровадженням предмету "Підприємництво і фінансова грамотність" У межах дослідження підліткам пропонувалося пройти 21 кейсове завдання. Вони складалися за прикладом Програми міжнародного оцінювання учнівства (далі – PISA) з фінансової грамотності. Також діти відповідали на 20 запитань анкети, метою яких було глибше проаналізувати фактори впливу на їхні академічні результати. Дослідження продемонструвало, що середній рівень правильних відповідей на кейсові завдання серед підлітків становить 46,6%, що відповідає 3 балам за 12-бальною шкільною системою оцінювання. Такий результат свідчить про початковий рівень фінансової грамотності українських підлітків [1]. Виходом із ситуації може стати гейміфіковане навчання. Гейміфікація робить «сухий» матеріал

доступнішим і привабливішим: фінансове навчання без елементів гри часто буває «нудним», тоді як використання ігрових механік перетворює його на захопливий процес.

Актуальність дослідження полягає в необхідності створення сучасного, інтерактивного інструменту, який використовує потенціал вебтехнологій та гейміфікації для моделювання реалістичних фінансових сценаріїв без реального ризику, забезпечуючи високу мотивацію та доступність навчання.

Метою даної роботи є розробка гри, спрямованої на розвиток фінансової грамотності користувачів. У межах дослідження увага зосереджується на формуванні та закріпленні навичок планування й розподілу фінансових ресурсів через моделювання практичних сценаріїв.

Об'єктом дослідження є процес формування фінансових компетентностей у користувачів із застосуванням інтерактивних вебтехнологій. Предметом дослідження є методи, моделі та програмні компоненти реалізації вебгри для підвищення фінансової грамотності: навчальні сценарії, ігрові механіки, алгоритми оцінювання рішень та архітектура системи.

Аналіз предметної області та існуючих аналогів. Проведено комплексний аналіз предметної області та існуючих аналогів, таких як Greenlight Level Up [2] та Financial Football [3]. Виявлені недоліки (культурна неадаптованість до українського контексту, обмежена доступність) обґрунтували необхідність створення нового рішення. Запропонована система є повністю локалізованою під українські фінансові реалії (валюта, типові категорії витрат) і є безкоштовно доступною у будь-якому браузері.

Концептуальна модель та оцінювання. Концептуальна модель освітньої системи базується на прогресивній складності, де кожен рівень моделює конкретний життєвий етап з відповідними фінансовими викликами (наприклад, рівень "Студент" з місячним бюджетом 6,000 UAH).

Ключовою науковою новизною є розробка алгоритму комплексного оцінювання фінансових рішень, який інтегрує традиційні фінансові метрики з елементами поведінкової економіки.

Система оцінювання використовує композитну функцію (1.1):

$$\text{Score} = \Sigma(\text{Component_i} \times \text{Weight_i}) \times \text{Behavioral_Adjustments} - \text{Penalties} \quad (1.1)$$

де компонентами є:

Coverage (0.15): виконання мінімальних вимог;
Savings (0.10): оптимізація використання бюджету;
Mental Accounting (0.20): ефективність когнітивної категоризації;
Risk-Adjusted Returns (0.15): портфельна оптимізація;
Pareto Efficiency (0.15): теоретико-ігрова оптимальність;
Opportunity Cost (0.10): економічна ефективність;
Utility Maximization (0.10): застосування теорії перспектив;
Diversification (0.05): управління ризиками.

Для моделювання ірраціональної поведінки користувачів та їхнього реального сприйняття фінансових рішень, в алгоритм оцінювання інтегровано теорію перспектив Канемана-Тверскі [4]. Це забезпечує більш реалістичний зворотний зв'язок і допомагає користувачам усвідомити вплив втрато-аверсії та ризик-аверсії на їхні рішення.

Архітектура та вимоги. Проєктування системи базується на принципах чистої архітектури та модульного підходу, що забезпечує гнучкість, масштабованість та підтримуваність. Розроблено компонентну архітектуру з чітким розділенням відповідальності (Page, Layout, Game, State Management Components).

Специфікація вимог охоплює функціональні вимоги (система рівнів та прогресії, інтерактивний розподіл бюджету, комплексна система оцінювання) та нефункціональні (продуктивність, надійність, доступність).

Програмний продукт. Програмна реалізація виконана з використанням сучасного технологічного стеку:

- фреймворк: Next.js 14 (для високої продуктивності);
- мова програмування: TypeScript (для безпеки типів та підтримуваності);

– управління станом: Zustand;
– стилізація: Tailwind CSS.

Система використовує клієнтську архітектуру зберігання даних через LocalStorage із підтримкою версіонування та міграції, що дозволяє зберігати прогрес користувачів між сесіями без серверної інфраструктури.

Висновки. У ході роботи була успішно розроблена та реалізована вебгра для підвищення фінансової грамотності, що є актуальним інструментом для вирішення освітньої проблеми.

Основні результати: створено концептуальну модель гейміфікованого навчання з прогресивною складністю сценаріїв; розроблено алгоритм комплексного оцінювання, який впроваджує елементи поведінкової економіки (теорія перспектив Канемана-Тверскі) для точнішої оцінки фінансових рішень користувачів; забезпечено повну локалізацію системи під фінансовий контекст України, усуваючи недоліки існуючих західних аналогів; реалізовано надійний вебдодаток з використанням сучасного технологічного стеку та модульної архітектури, що гарантує його масштабованість, підтримуваність та високу продуктивність.

Створена система є доступним, надійним та адаптивним інструментом, що ефективно сприяє підвищенню фінансової грамотності шляхом практичного моделювання та детального зворотного зв'язку.

Список використаної літератури

[1] "Українські підлітки мають початковий рівень фінансової грамотності – дослідження НБУ." Національний банк України. [Електронний ресурс]. Доступно: https://bank.gov.ua/ua/news/all/ukrayinski-pidlitki-mayut-pochatkoviy-riven-finansovoyi-gramotnosti--doslidjennya-nbu. [Дата звернення: 13 жовтня 2025].

[2] Greenlight Level Up – Financial Literacy for Kids and Teens. Greenlight Financial Technology, Inc. [Електронний ресурс]. Доступно: https://greenlight.com/level-up-financial-literacy-game. [Дата звернення: 13 жовтня 2025].

[3] Financial Football. Visa Inc. and National Football League. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.financialfootball.com. [Дата звернення: 13 жовтня 2025].

[4] "Теорія перспектив." Вікіпедія: Вільна енциклопедія. [Електронний ресурс]. Доступно: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2. [Дата звернення: 13 жовтня 2025].

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ

Борецький В.О. (vetal16062004@gmail.com**), Ткаченко О.М.** (alextk1960@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Анотація. *Описано особливості розробки програмного застосунку для оптимізації процесів управління персоналом в організаціях. Основну увагу приділено інтеграції інструментів автоматизації з функціями оцінки продуктивності та планування робочого часу персоналу.*

Ключові слова: *управління персоналом, автоматизація, програмний застосунок, продуктивність, планування.*

Вступ

Сучасні економічні умови характеризуються високою складністю та динамічністю, що зумовлює значну потребу в оптимізації управління персоналом. Організації змушені швидко адаптуватися до змін і ефективно використовувати наявні ресурси для забезпечення конкурентоспроможності. Недостатня автоматизація процесів управління персоналом часто призводить до зниження ефективності роботи організацій, особливо після виконання завдань із

планування та оцінки продуктивності персоналу. У таких умовах впровадження інструментів автоматизації стає ключовим фактором для оптимізації робочих процесів.

Окрім цього, важливим є забезпечення прозорості та доступності інформації про навантаження і результативність працівників, що дозволяє керівництву оперативно приймати обґрунтовані рішення. Традиційні методи обліку робочого часу, як-от паперові графіки чи таблиці Excel, часто є неефективними, трудомісткими й не дозволяють здійснювати глибоку аналітику в режимі реального часу. У зв'язку з цим усе більше компаній виявляють зацікавленість у використанні цифрових рішень, що поєднують автоматизований облік, аналітичні функції та мобільність.

Розробка мобільного застосунку є актуальною з огляду на тенденцію діджиталізації та зростаючу популярність використання смартфонів у бізнес-процесах. Мобільний доступ до даних про персонал дає можливість не лише моніторити ситуацію у зручний спосіб, а й своєчасно реагувати на зміни. У свою чергу, для працівників це створює умови для більшої залученості та відповідальності у виконанні завдань, завдяки чіткій візуалізації результатів власної діяльності.

Метою даної роботи є розробка мобільного програмного застосунку у сфері управління персоналом, створеного з використанням мови Dart та середовища Android Studio, який сприятиме підвищенню ефективності організації шляхом оцінки продуктивності персоналу, планування робочого часу та управління завданнями. У роботі також розглянуто технічні та функціональні аспекти розробки, а також потенційний вплив впровадженого рішення на діяльність підприємств різного масштабу.

Результат дослідження

У процесі дослідження було встановлено, що розробка мобільного програмного застосунку для управління персоналом здатна суттєво покращити ключові аспекти діяльності організації. Запропоноване рішення базується на використанні технологій для оцінки продуктивності персоналу, планування робочого часу та координації завдань, реалізованих через мобільний додаток, написаний на Dart у середовищі Android Studio. Зокрема, застосунок дозволяє обчислювати різноманітні метрики продуктивності працівників, такі як відсоток виконаних завдань (наприклад, підвищення з 20% до 25% завдяки чіткому моніторингу), дотримання термінів (скорочення затримок на 5–10%) та внесок у загальні показники ефективності компанії. Додатково, завдяки автоматизованому аналізу, застосунок може відстежувати кількість робочих годин, витрачених на конкретні завдання, що дозволяє скоротити неефективне використання часу на 3–5%. За попередніми оцінками, впровадження такого мобільного інструменту може підвищити загальну продуктивність персоналу на 5–8%, залежно від специфіки організації.

Перспективи Подальшого Розвитку

Подальший розвиток програмного застосунку передбачає розширення його функціоналу відповідно до потреб сучасних організацій. Одним із ключових напрямів є впровадження штучного інтелекту для прогнозування продуктивності працівників на основі історичних даних, а також виявлення потенційних ризиків перевантаження або вигорання персоналу. Крім того, планується реалізація функцій інтеграції з внутрішніми корпоративними системами (ERP, CRM), що забезпечить уніфікований підхід до управління даними про персонал. Розробка веб-версії застосунку або підтримка кросплатформенності за допомогою Flutter дозволить залучити ширше коло користувачів. Впровадження механізмів зворотного зв'язку та адаптивного інтерфейсу підвищить зручність використання програми та рівень її прийняття працівниками.

Висновки

Отже, на основі проведеного дослідження встановлено, що розробка мобільного програмного застосунку для управління персоналом, створеного на Dart у середовищі Android Studio, є ефективним рішенням для підвищення продуктивності організацій в умовах сучасних економічних викликів. Запропонований інструмент, який автоматизує оцінку продуктивності, планування робочого часу та координацію завдань, дозволяє організаціям швидше адаптуватися до змін і оптимізувати ресурси. Він вирішує проблему недостатньої автоматизації, покращуючи ключові аспекти роботи персоналу та сприяючи їхньому стимулюванню через чіткі метрики. Таким чином, мобільний застосунок посилює ефективність і конкурентоспроможність організації.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

1. CIPD – Technology and People Management. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.cipd.org/uk/knowledge/guides/technology-people-management/.

2. SHRM – Human Resource Management Tools and Technology. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.shrm.org/topics-tools/topics/technology.

КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ ТА WEB-ДИЗАЙН

Борман В.О.[1], Шибко О.М.[2]
[1] УДУНТ ННІ «ПДАБА» (Україна)

Постановка проблеми.

У сучасному цифровому середовищі індустрія комп'ютерних ігор та вебдизайну демонструє тісну взаємодію. Ігрові механіки дедалі частіше впроваджуються у вебінтерфейси, підвищуючи рівень залучення користувачів та ефективність комунікації. Водночас у розробці комп'ютерних ігор активно використовуються принципи вебдизайну — модульність, адаптивність, структура контенту, оптимізація взаємодії. Така інтеграція створює умови для формування єдиних підходів до проектування інтерактивних цифрових середовищ.

Мета дослідження.

Визначити напрями інтеграції елементів геймдизайну у вебдодатки, з'ясувати їхній вплив на користувацький досвід та запропонувати практичні рекомендації щодо використання гейміфікації у системах навчання, електронної комерції та корпоративних платформах.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз сучасних публікацій у сфері UI/UX і гейміфікації засвідчує, що взаємодія між користувачем і системою формується через емоційне залучення, мотиваційні стимули та чітку зворотну реакцію. Ігрові механіки — такі як рівні, прогрес-бари, нагороди, бейджі, таблиці лідерів — активно впроваджуються в освітніх, комерційних та інформаційних вебресурсах. Наприклад, у навчальних платформах типу Duolingo чи Khan Academy гейміфікація підвищує тривалість активності користувача, а у вебмагазинах застосовується для стимулювання повторних покупок і формування лояльності. У межах дослідження проведено контент-аналіз 12 популярних вебсервісів (GitHub, Coursera, Notion, Behance тощо) і 8 ігор (від інді-проєктів до AAA-рівня), що дозволило виявити низку спільних принципів: наявність системи цілей, передбачуваність результату, динамічний зворотний зв'язок, інтерактивність і естетичну узгодженість інтерфейсу.

Методологія дослідження.

Для аналізу використано системний підхід, методи контент-аналізу, кейс-стаді та евристичну оцінку інтерфейсів. Проведено кілька A/B-тестів прототипів із гейміфікованими елементами, де оцінювались показники утримання користувачів, час навчання та коефіцієнт конверсії. Також застосовано аналітичні інструменти для вимірювання показників продуктивності інтерактивних WebGL-модулів.

Результати дослідження.

Впровадження ігрових елементів у вебінтерфейси показало підвищення рівня утримання користувачів на 18–28% та скорочення часу освоєння функціоналу на 25–40%. Оптимізація інтерактивних компонентів через WebGL і Canvas покращила продуктивність, зменшивши навантаження на браузер на 12–15%. Отримані дані підтверджують ефективність використання гейміфікації не лише в навчальних, а й у комерційних застосунках, де вона виконує роль механізму утримання уваги та формування звички користування продуктом.

Практичні рекомендації.

1) Планувати використання гейміфікації відповідно до конкретних метрик і потреб користувачів.
2) Застосовувати «м'які» механіки – прогрес-бари, бонуси за активність, адаптивні рівні складності.
3) Забезпечити технічну оптимізацію інтерактивних елементів та їхню сумісність із різними пристроями.
4) Дотримуватись етичних принципів, уникати надмірної стимуляції користувачів.

5) Формувати міждисциплінарні команди, де поєднуються компетенції дизайнерів, програмістів і психологів.

Висновки.

Синергія принципів комп'ютерних ігор і вебдизайну відкриває нові можливості для створення ефективних цифрових продуктів. Інтеграція гейміфікованих механік у вебінтерфейси сприяє підвищенню мотивації користувачів, покращенню навігації та підвищенню якості взаємодії. Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні освітніх платформ, корпоративних порталів і комерційних сервісів із високим рівнем інтерактивності.

Список використаних джерел

1. Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, 2011.
2. Norman D. A. The Design of Everyday Things. Basic Books, 2013.
3. Freeman A., Robson J., Eager D. WebGL: Up and Running. O'Reilly Media, 2014.

УДК 004.421:004.93:794

СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ ГРИ ДЛЯ ANDROID ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ FLOOD-FILL

Брускі Є. В., Тютюнникова Г. С.
(yevhenii.bruski@gmail.com, gannatv74@gmail.com)
Ужгородський національний університет (Україна)

У тезах розглядається новий підхід для створення мобільної гри на основі алгоритму flood-fill. Основну увагу приділено реалізації алгоритмічної частини гри, що відповідає за заповнення областей ігрового поля, а також особливостям інтеграції алгоритму в архітектуру мобільного застосунку. При розробці гри використано фреймворк ***Jetpack Compose*** *для опису інтерфейсу користувача декларативним способом та Firebase, за допомогою якого забезпечується інтеграція з базами даних, автентифікація користувачів і збереження ігрового прогресу в хмарі.*

Мобільні ігри стали основною складовою індустрії розваг завдяки розвитку цифрових технологій, поєднавши в собі елементи інтелектуальності, творчої роботи та алгоритмічного мислення. Вони не лише виконують функцію дозвілля, але також сприяють формуванню логічного мислення користувачів, розвивають увагу та вміння планувати свої дії наперед.

Особливу увагу привертають ігри з логічними механіками, зокрема такі, що базуються на алгоритмах типу *flood-fill*, де кожна дія гравця безпосередньо впливає на кінцевий результат. Такі рішення поєднують простоту взаємодії з інтелектуальним викликом, що робить їх популярними серед користувачів різного віку [4].

На сьогодні ринок мобільних ігор швидко розвивається та пропонує дуже широкий спектр продуктів, які задовольняють найрізноманітніші потреби користувачів — від швидких казуальних ігор для розваги у вільний час до складних стратегій і симуляторів, що вимагають аналітичного мислення та планування. Зростання продуктивності смартфонів та поява сучасних рушіїв розробки, таких як *Unity*, *Unreal Engine* або *Jetpack Compose*, надали розробникам можливість створювати динамічні, графічно насичені й технічно оптимізовані проєкти навіть на мобільних платформах.

Варто зазначити, що ігри на мобільних платформах є не тільки розважальними, оскільки активно застосовуються у сфері освіти, когнітивного розвитку та навіть терапії, сприяючи розвитку уваги, концентрації й аналітичного мислення. Отже, створення інтелектуальних ігор, в основі яких потрібно запрограмувати алгоритм, зокрема для гри «***Tide of Colors***», є не лише творчим, але й науковим обґрунтованим завданням, що поєднує програмування, дизайн і психологію гравця [5].

Серед різноманіття жанрів особливе місце займають логічні ігри, які поєднують простоту управління з глибиною геймплею. Вони сприяють розвитку мислення, уваги й уміння аналізувати

ситуацію. Одним із найефективніших підходів у створенні подібних ігор є використання алгоритмів типу *flood-fill*, які дозволяють реалізувати кольорові головоломки, за допомогою яких можна ускладнювати рівні проходження [1].

Такі ігри, як *Flood-It!, Kami 2* та *Color Fill 3D* демонструють універсальність цього алгоритму: механіка заливання суміжних клітин створює відчуття контролю та візуальної гармонії, а кожен новий хід стає частиною логічного ланцюга. Залежно від обраного дизайну, *flood-fill* може застосовуватись як у казуальних, так і в освітніх або тренувальних додатках, сприяючи розвитку візуального сприйняття, пам'яті та швидкості реакції [3].

Мобільні ігри використовують різноманітні технології для створення інтерактивного та динамічного ігрового процесу, забезпечуючи швидкий відгук системи, візуальний досвід і стабільну роботу на мобільних пристроях. Однією з ключових технологій у розробці є ***Jetpack Compose*** — сучасний фреймворк від *Google*, який дозволяє створювати інтерфейс користувача декларативним способом. Використовуючи *Compose,* розробники мають можливість компонувати елементи екрана, проводити налаштування анімацій та забезпечувати адаптивність дизайну для різних розмірів екранів [2].

Під час розробки гри використання ***Firebase* є дуже важливим**, оскільки забезпечується інтеграція з базами даних, автентифікація користувачів і збереження ігрового прогресу в хмарі. За допомогою *Firebase* можна реалізувати локальну реєстрацію та здійснити вхід анонімно, що дає можливість гравцю одразу розпочати гру без ускладнень авторизації. Крім того, *Firestore* забезпечує зберігання налаштувань складності, результатів рівнів і персональних рекордів, що створює повноцінний досвід для користувача [4].

Основна ігрова логіка побудована на **алгоритмі *flood-fill***, який відповідає за зміну кольорів клітинок та визначення меж заповнення. Завдяки використанню цього алгоритму реалізується динамічний геймплей, під час якого гравець змінює колір області, спостерігаючи як вона поступово заповнюється, що створює візуальне задоволення та відчуття контролю над процесом. Варто зазначити, що комбінація *Jetpack Compose, Firebase* та алгоритму *flood-fill* забезпечує одночасно високу продуктивність, простоту взаємодії та гнучкість налаштувань, роблячи гру не лише привабливою, але й технологічно ефективною. Такий підхід дозволяє створити сучасний мобільний додаток, який поєднує програмну інноваційність із комфортом користувацького досвіду.

У процесі створення мобільних ігор основне місце займає використання спеціалізованих інструментів і технологій, які забезпечують унікальні ігрові можливості. Наприклад, реалізація алгоритму ***flood-fill*** у грі дозволяє створити механіку поступового заповнення простору кольорами, а саме, гравець бачить, як його дії впливають на весь ігровий простір у реальному часі.

Важливим аспектом для розробленої гри є адаптація рівнів складності, що забезпечує персоналізований підхід до гравця. У грі реалізовано три рівні: *Easy, Medium* і *Hard*. На початковому рівні гра знайомить користувача з базовими правилами на основі *flood-fill*, середній режим вимагає більшої уваги та планування, а складний рівень орієнтований на гравців, які прагнуть максимального виклику. Завдяки такій градації зберігається інтерес, зацікавленість, що дозволяє поступово вдосконалювати навички та утримує користувача в процесі гри протягом тривалого часу.

Ключову роль у створенні гри відіграють інтерактивні елементи інтерфейсу, які реалізовані за допомогою *Jetpack Compose*. Вони дозволяють динамічно змінювати візуальні компоненти у відповідь на дії гравця, а саме, кольори, анімації, ефекти переходів між рівнями.

Створення ігрової сітки представлено за допомогою програмного коду:

```
val colors = listOf(Color.Red, Color.Green, Color.Blue, Color.Yellow)
val gridSize = 6
// Створюємо матрицю (двовимірний масив) із випадковими кольорами
val grid = remember { mutableStateListOf(*Array(gridSize) { Array(gridSize) { colors.random() } }) }
```

Тут наведено опис створення двовимірної матриці (*grid*), яка зберігає кольори кожної клітинки ігрового поля. Змінна *mutableStateListOf* використовується для того, щоб інтерфейс *Jetpack Compose* автоматично оновлювався, коли змінюється стан (наприклад, після заповнення кольором).

Програмна реалізація навігації між трьома екранами (головне меню, вибір рівня та ігровий екран) наведена нижче:

```
NavHost(navController = navController, startDestination = "menu") {
   composable("menu") { MainMenuScreen(navController) }
   composable("levels") { LevelSelectScreen(navController) }
   composable("game/{difficulty}") { backStackEntry ->
      val difficulty = backStackEntry.arguments?.getString("difficulty") ?: "Easy"
      GameScreen(difficulty, navController)
   }
}
```

Система *NavHost* і *composable()* дозволяє створювати логічно зв'язані екрани без *XML*-навігаційних графів. Завдяки інтеграції з *Firebase*, гра може зберігати статистику гравців, результати проходження рівнів та налаштування складності у хмарі. Це забезпечує продовження гри з будь-якого пристрою, збереження прогресу та можливість аналізу ігрових даних для подальшого вдосконалення проєкту.

У перспективі, розвиток мобільних ігор із використанням технологій *Jetpack Compose, Firebase* та *AI*-аналітики може створити новий стандарт у сфері інтерактивних розваг. Такі рішення поєднують логіку, алгоритмічну точність і творчий підхід, що дозволяє перетворити звичайну гру на інструмент розвитку мислення, уваги та стратегічного планування.

Список використаної літератури

[1] Levitin, A. *Introduction to the Design and Analysis of Algorithms.* – Pearson, 2018. – 592 p.
[2] Safonov, A. *Kotlin for Android Developers: Learn Kotlin the Easy Way While Developing an Android App.* – Leanpub, 2020. – 320 p.
[3] Adams, E., Rollings, A. *Fundamentals of Game Design.* – San Francisco: New Riders, 2014. – 656 p.
[4] Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., Stein, C. *Introduction to Algorithms.* – Cambridge: MIT Press, 2009. – 1312 p.
[5] Fullerton, T. *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games.* – Boca Raton: CRC Press, 2019. – 535 p.

УДК 004.77:364.2

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ АНІМОВАНИХ ВЕБ-РЕСУРСІВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ПОТРЕБАМИ НА ОСНОВІ НАСТАНОВ З ДОСТУПНОСТІ WCAG

Васильців О.В. (oleg.vasyltsyv751@gmail.com)
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)

У тезах розглянуто проблему доступності анімованого контенту на веб-ресурсах для користувачів з особливими потребами, зокрема з когнітивними, вестибулярними та фоточутливими розладами. Проаналізовано ключові критерії Настанов з доступності веб-контенту (WCAG), що стосуються анімації, зокрема критерії 2.2.2 (Пауза, Зупинка, Приховування) та 2.3.1 (Три спалахи або нижче порогу). Запропоновано комплексний метод оптимізації, що поєднує проактивні (дизайнерські) та реактивні (програмні) підходи. Розроблено алгоритм класифікації анімацій за рівнем ризику та запропоновано технічні рішення для надання користувачам контролю над відтворенням динамічного контенту, включаючи пріоритетне використання медіа-запиту CSS prefers-reduced-motion.

Постановка проблеми. Сучасні веб-ресурси активно використовують анімований контент (CSS-анімації, JavaScript-ефекти, анімовані GIF та відео) для підвищення залученості користувачів. Однак такий контент може створювати серйозні бар'єри для людей з особливими потребами. Для осіб з вестибулярними розладами ефекти паралаксу або швидкий рух елементів можуть спричинити запаморочення та нудоту. Для користувачів з когнітивними порушеннями або розладами уваги анімація є потужним відволікаючим фактором, що ускладнює концентрацію на основному змісті. Найбільш небезпечними є миготливі елементи, які можуть провокувати напади фоточутливої епілепсії. Настанови WCAG [1] надають чіткі рекомендації щодо обмеження та

контролю анімації, проте їх імплементація часто є неповною або технічно складною, що вимагає розробки спеціалізованих методів оптимізації.

Перелік вирішених завдань. У ході дослідження було вирішено наступні завдання:

1. Проведено аналіз критеріїв WCAG 2.1 та 2.2, що стосуються рухомого, миготливого та прокручуваного контенту.
2. Класифіковано типові веб-анімації (декоративні, інформативні, анімації інтерфейсу) за ступенем їх потенційного негативного впливу на користувачів з особливими потребами.
3. Розроблено методику проактивної оптимізації на етапі дизайну та верстки, що базується на використанні системних налаштувань доступності (медіа-запит prefers-reduced-motion).
4. Запропоновано алгоритм для реактивної оптимізації (надання користувацького контролю) для анімацій, які є критично важливими для функціонування ресурсу.
5. Сформульовано рекомендації щодо тестування анімацій на відповідність критеріям WCAG, зокрема щодо порогів миготіння (WCAG 2.3.1).

Виклад суті дослідження. Основою запропонованого підходу є дворівнева система оптимізації. Перший рівень – **проактивна оптимізація**. Цей метод передбачає надання альтернативних, менш інтенсивних анімацій або їх повне вимкнення на основі системних уподобань користувача. Технічно це реалізується за допомогою CSS медіа-запиту @media (prefers-reduced-motion: reduce). Дослідження показало, що цей підхід є найбільш ефективним для користувачів, оскільки не вимагає від них додаткових дій на кожному окремому сайті. Було розроблено набір патернів для заміни складних анімацій (наприклад, анімації прокрутки, складні переходи між станами) на простіші ефекти, такі як плавне зникнення (fade), що є безпечними для більшості користувачів [2].

Другий рівень – **реактивна оптимізація**. Він застосовується у випадках, коли анімація триває понад 5 секунд і не є частиною системних налаштувань (наприклад, анімовані банери, слайдери). Відповідно до критерію WCAG 2.2.2, користувач повинен мати можливість призупинити, зупинити або приховати такий рух. Запропоновано уніфікований програмний компонент (наприклад, на базі JavaScript), який автоматично ідентифікує довготривалі анімації (за винятком тих, що є суттєвими, наприклад, індикатори завантаження) та додає до них видимі елементи керування (кнопки «Пауза»/«Відтворити»).

Окрему увагу приділено критерію 2.3.1 (Три спалахи або нижче порогу). Оскільки візуальна оцінка частоти миготіння є ненадійною, запропоновано інтеграцію у процес розробки інструментів для аналізу ризику фоточутливості, таких як інструмент PEAT (Photosensitive Epilepsy Analysis Tool). Для анімацій, створених за допомогою CSS або JS, де аналіз ускладнений, розроблено евристичний метод оцінки зміни яскравості та кольору в часі, що дозволяє виявляти потенційно небезпечні патерни ще на етапі розробки.

Висновки. Розроблені методи оптимізації дозволяють системно вирішити проблему доступності анімованого контенту. Пріоритетним є використання проактивного підходу на основі prefers-reduced-motion, оскільки він поважає вибір користувача на рівні операційної системи. Реактивні методи контролю є необхідним доповненням для забезпечення відповідності WCAG 2.2.2. Впровадження запропонованих методів не лише покращує доступність веб-ресурсів для людей з особливими потребами, але й підвищує загальний комфорт користування для всіх категорій відвідувачів, зменшуючи когнітивне навантаження та відволікаючі фактори. Подальші дослідження будуть спрямовані на автоматизацію процесу аналізу анімацій у CI/CD пайплайнах.

Список використаної літератури

[1] W3C, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1," W3C Recommendation 05 June 2018. [Online]. Available: https://www.w3.org/TR/WCAG21/. [2] V. L. Sailing, and E. J. K. F. van der Geest, "Designing for Users with Vestibular Disorders: A Set of Motion Design Guidelines," in *Proc. 2022 CHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI '22)*, New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 1–15. [3] A. Gustafson, "Revisiting prefers-reduced-motion: A Reduced Motion Design System," *A List Apart*, no. 490, May 2021. [Online]. Available: https://alistapart.com/article/revisiting-prefers-reduced-motion/. [4] G. Harding and A. J. Fisher, "Photosensitive Epilepsy and Image Safety," *Advances in Clinical Neuroscience and Rehabilitation*, vol. 14, no. 5, pp. 18-20, 2014.

УДК 791.632:78.036

САУНДТРЕК ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАНУРЕННЯ ГРАВЦЯ У ВІРТУАЛЬНИЙ СВІТ

Вишневський О.О., Пархоменко О.Ю.
(olegattor98@gmail.com, parkhomenko@mnau.edu.ua)
Миколаївський національний аграрний університет (Україна)

Дослідження присвячене аналізу ролі музичного супроводу у формуванні емоційного занурення гравця у віртуальний простір. У роботі розглядається, як саундтрек впливає на сприйняття ігрового середовища, динаміку подій та психологічний стан користувача. Метою є виявлення закономірностей між звуком, емоцією та геймерським досвідом. Особлива увага приділяється музичним і звуковим засобам, що сприяють створенню атмосфери, напруження чи відчуття присутності.

У сучасних відеоіграх музика вже давно перестала бути другорядним елементом. Вона виконує не лише естетичну функцію, а стає інструментом, через який гравець переживає емоції, відчуває атмосферу й буквально занурюється у світ гри. Саундтрек визначає ритм подій, підсилює драматургію, допомагає передати настрій і навіть впливає на сприйняття часу. Звукове середовище формує особливий стан занурення, коли гравець перестає розділяти реальність і віртуальний простір, реагуючи на музику так само, як на реальні події. Попри очевидну роль саундтреку, його психологічний вплив на гравця залишається недостатньо дослідженим у науковому контексті, що робить цю тему актуальною для сучасних культурологічних та ігрових студій.

Метою даної роботи є визначення ролі саундтреку у формуванні ігрового занурення на прикладі трьох відеоігор: Metal: Hellsinger, Cry of Fear та Hotline Miami.

Завдання дослідження полягають у наступному:

– проаналізувати емоційно-психологічний вплив музики на гравця;

– визначити, яким чином саундтрек синхронізується з діями та ритмом гри;

– розкрити роль музики у створенні атмосфери та емоційної напруги;

– узагальнити результати для виявлення спільних закономірностей і відмінностей у використанні звуку як інструмента занурення.

Одним із найяскравіших прикладів синтезу музики та ігрової дії є Metal: Hellsinger – шутер від першої особи, у якому ритм метал-музики безпосередньо впливає на ігровий процес. Саундтрек тут – не фон, а основа геймплею: гравець повинен атакувати ворогів у такт музиці, щоб підсилювати шкоду та збільшувати «комбо» [1]. Таким чином, музика стає інтерактивним елементом, який визначає темп, енергію й навіть емоційний стан гравця. Композиторами виступив гурт Two Feathers, а вокалістами для інструментальних партій стали відомі в усьому світі метал-виконавці – Аліса Уайт-Глаз (Arch Enemy), Мікаель Станне (Dark Tranquillity), Метью Хіффі (Trivium) та інші. Вони створили потужний металевий саундтрек, який поступово наростає зі збільшенням ефективності дій гравця.

Емоційний ефект посилюється тим, що кожен удар, кожен постріл, кожен рух стає частиною музичного ритму. Гравець опиняється у ситуації, коли він не просто керує персонажем, а ніби сам грає на інструменті – тіло реагує на темп, а серце підлаштовується під такт барабанів. Відчуття «злиття з музикою» створює стан повного занурення, коли межа між дією та сприйняттям стирається. Тут саундтрек стає формою тілесного досвіду – ритмічне відчуття звуку синхронізується з діями, викликаючи фізіологічну реакцію у вигляді підвищення пульсу, концентрації та відчуття «потоку». Це не просто гра – це спільна музична перформативність, у якій гравець і музика існують як одне ціле.

Інший приклад – Cry of Fear, де звуковий супровід використовується з протилежною метою: не для стимуляції дії, а для створення атмосфери страху, самотності та тривоги. Саундтрек гри, створений Андреасом Рьоннбергом, поєднує приглушені індустріальні шуми, «завивання» вітру, далекі відлуння кроків і монотонні тремтливі фони [2]. Ця музика не прагне бути помітною. Саме завдяки цьому вона діє підсвідомо: гравець не завжди може визначити джерело шуму, але його мозок реагує як на загрозу. Звуковий простір Cry of Fear побудований таким чином, щоб викликати постійне відчуття тривожності, очікування чогось невидимого.

Наприклад, характерні телефонні дзвінки, скрип дверей або сирени у грі набувають символічного значення – вони сповіщають про небезпеку, навіть коли на екрані нічого не відбувається. Музика і звуки створюють психологічний простір, у якому межа між внутрішнім і зовнішнім розмивається: гравець уже не відчуває, де закінчується гра і починається його власний страх. Ця невпевненість стає головним механізмом занурення – емоційне напруження народжується не з візуального образу, а саме зі звуку. Cry of Fear демонструє, що саундтрек може бути не лише музикою, а засобом впливу на підсвідомість, що апелює до найглибших відчуттів людини – страху, самотності та безпорадності.

Третій приклад – Hotline Miami, гра, яка перетворює музику на інструмент сенсорного перевантаження. Тут саундтрек виконує роль каталізатора насильства, хаосу та спотвореної естетики. Композитори створили синтез електроніки, техно та ретро-синтвейву, який звучить агресивно, гіпнотично і пульсуюче. Ця музика – серце гри: вона задає темп, підтримує адреналіновий ритм, створює стан, близький до трансу. У процесі гри ритм музики збігається з темпом насильницьких дій – удари, постріли, крики і повторювані петлі рівнів утворюють майже танцювальний хаос. Гравець, підкорений ритму, відчуває дивну ейфорію, схожу на музичний екстаз, у якому зникає відстань між гравцем і персонажем [3].

Однак справжня сила саундтреку Hotline Miami розкривається саме після завершення рівня. Коли музика різко обривається, настає гнітюча тиша [4]. Цей контраст породжує глибоке відчуття порожнечі, провини, відчуження. Те, що хвилину тому викликало відчуття сили й контролю, тепер здається безглуздим і холодним. Така зміна емоційних регістрів через звук перетворює гру на справжній експеримент із людською свідомістю, де музика не просто супроводжує насильство – вона його осмислює.

Порівняння трьох прикладів показує, що роль саундтреку у формуванні занурення надзвичайно багатогранна. У Metal: Hellsinger музика перетворюється на механіку взаємодії, у Cry of Fear – на психологічну субстанцію, що формує страх і самотність, а у Hotline Miami – на засіб емоційного шоку. В усіх випадках звук діє не лише як фон, а як центральний елемент ігрового досвіду, що безпосередньо впливає на тіло й свідомість гравця.

Усі три приклади– демонструють різні моделі використання саундтреку для занурення гравця: через ритмічну єдність із дією, через психологічний вплив і через естетизацію насильства. Незалежно від жанру, музика стає засобом управління емоційним темпом гри, задає ритм оповіді й формує характер взаємодії між гравцем і ігровим світом.

Отже, саундтрек у відеоіграх виступає не просто частиною аудіовізуального дизайну, а ключовим чинником емоційного та фізіологічного занурення. Через ритм, тембр, гармонію й динаміку музика здатна змінювати темп сприйняття, підсилювати увагу, викликати емоційні реакції, формувати страх або ейфорію. У цьому полягає її мистецька сила – саундтрек не лише супроводжує дію, а створює саму реальність гри, перетворюючи цифровий простір на повноцінний художній досвід.

Список використаної літератури

1. BloodShot9001. Metal: Hellsinger - Incaustis Beast Difficulty - 18,637,431 Score (19 вересня 2022). Дата звернення 21 жовтня 2025. [Онлайн-відео]. Доступно: https://youtu.be/vVBFcQ_NZvc?si=6KYjffVbFoUhFkwD

2. Source of Ambience. City - Cry of Fear ambience (1 вересня 2024). Дата звернення 22 жовтня 2025. [Онлайн-відео]. Доступно: https://youtu.be/-QY5iIaPvNY?si=uzZmFumalgL9r0Tq&t=3000

3. ElectroDieNamix. Hotline Miami Full House Zack A+ (27 травня 2023). Дата звернення 21 жовтня 2025. [Онлайн-відео]. Доступно: https://youtu.be/CoBVytWME64?si=3Et0_8jx-qnW0CDt

4. Ragewortt. El Huervo – Crush | Hotline Miami OST (6 січня 2016). Дата звернення 22 жовтня 2025. [Онлайн-відео]. Доступно: https://youtu.be/4ES8-t3AxFI?si=yRNOcBfiQsgLSq2P

УДК: 004.8

ПІДХІД ДО ВІЗУАЛЬНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ВИЯВЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ ВТОМИ В ПОВІДОМЛЕННЯХ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Віт Р.В., Мазурець О.В.
(vit.roman.vit@gmail.com, exe.chong@gmail.com)
Хмельницький національний університет (Україна)

У роботі представлено підхід до візуальної інтерпретації результатів нейромережевого виявлення цифрової втоми в повідомленнях соціальних мереж. Дослідження ґрунтується на поєднанні тематичної сегментації текстового контенту, семантичного аналізу цільових об'єктів комунікації та контекстуального моделювання психоемоційного стану користувача засобами глибинного навчання. Запропоновано двошарову систему візуалізації, що включає тематичні карти комунікації та когнітивні карти цифрової втоми користувача. Такий підхід забезпечує пояснюваність рішень нейромережі та створює основу для розвитку інтерпретованих систем штучного інтелекту, орієнтованих на моніторинг ментального добробуту. Отримані результати класифікації (Accuracy = 0.83, F1 = 0.87) підтверджує практичну доцільність використання моделі у системах аналітики цифрової поведінки, освітніх платформах і корпоративних середовищах підтримки психоемоційної стабільності.

З поширенням дистанційних форматів роботи, онлайн-навчання та цифрової комунікації проблема цифрової втоми набула нового масштабу [1]. Постійна присутність у цифровому середовищі, велика кількість вхідних повідомлень, необхідність швидкої реакції та високий темп комунікацій створюють умови для когнітивного перевантаження, емоційного виснаження і професійного вигорання [2].

Традиційні методи оцінки психоемоційного стану (опитування, психологічні тести) не забезпечують оперативності та об'єктивності, необхідних для моніторингу користувацьких станів у реальному часі. Тому виникає потреба в нейромережевих підходах, здатних автоматично виявляти латентні ознаки цифрової втоми у природних даних – наприклад, у текстах соціальних мереж [3].

Разом з тим, навіть найточніші нейромережеві моделі залишаються «чорними скриньками», що ускладнює їх практичне застосування в аналітичних і психологічних системах. Тому особливої актуальності набуває розроблення підходів до візуальної інтерпретації результатів виявлення цифрової втоми, які дозволяють пояснити, як саме модель робить свої висновки, і візуалізувати характерні патерни когнітивного виснаження.

Розроблення підходів до візуальної інтерпретації результатів нейромережевого аналізу дозволяє подолати розрив між формальними обчисленнями та змістовним психологічним тлумаченням. Візуальні репрезентації, що поєднують тематичну сегментацію, виділення ключових комунікаційних об'єктів та графічне відображення когнітивних індикаторів, забезпечують новий рівень прозорості та аналітичної доступності систем штучного інтелекту. Такі інструменти створюють можливість не лише оцінювати ступінь цифрового навантаження, а й пояснювати природу виявлених аномалій, сприяючи формуванню довіри до автоматизованих методів моніторингу психоемоційних станів.

У цьому контексті дослідження орієнтується на створення інтелектуальної моделі, здатної не лише класифікувати повідомлення за рівнем цифрової втоми, а й пояснювати процес прийняття рішення через візуальні засоби інтерпретації. Центральною ідеєю розробленого підходу є поєднання тематичної сегментації текстового контенту із семантичним аналізом ключових комунікаційних об'єктів і контекстуальною оцінкою станів користувача засобами глибинного навчання. Тематичне моделювання, реалізоване методом латентного розподільного аналізу, дозволяє структурувати цифровий потік повідомлень за змістовими напрямами та формувати окремі сегменти спілкування, що відображають характерні патерни взаємодії. Така структура створює підґрунтя для подальшого аналізу зв'язку між тематикою комунікації та емоційно-когнітивним станом автора.

Подальший етап моделювання передбачає виділення цільових об'єктів комунікації, які становлять концептуальне ядро кожного тематичного сегмента. Застосування статистичних і лінгвістичних методів TF-IDF, YAKE! і дисперсійного аналізу у поєднанні з розпізнаванням

іменованих сутностей забезпечує виявлення лексичних конструкцій, що найбільш точно репрезентують зміст і контекст взаємодії. Отримана множина ключових понять узгоджується із семантичними межами тем і використовується для формування високорівневого представлення комунікаційного профілю користувача. Це дозволяє співвідносити домінуючі поняття, емоційне забарвлення та тематичну структуру повідомлень із рівнем когнітивного навантаження, яке може бути інтерпретоване як прояв цифрової втоми.

Для здійснення автоматизованої класифікації застосовано нейромережеву архітектуру «BERTForSequenceClassification», що належить до сімейства трансформерних моделей глибинного навчання. Її використання забезпечує формування контекстуалізованих векторних уявлень текстових послідовностей, у яких ураховуються семантичні залежності між токенами. Завдяки цьому модель здатна розпізнавати непрямі маркери ментального виснаження, навіть якщо лексичний вираз не містить явних згадок про втому або негативні емоції. У процесі експериментальної перевірки використано корпуси «Healthcare Workers' Burnout Tweets» та «Mental Health Social Media», що містять соціальні повідомлення, анотовані за рівнем емоційного вигорання. Це дозволило здійснити тренування моделі на прикладах природних текстів, характерних для соціальних мереж, і перевірити її узагальнювальну здатність на незалежному наборі даних.

Отримані результати продемонстрували збалансовану ефективність класифікації між класами наявності та відсутності ознак цифрової втоми. Метрики моделі свідчать про досягнення високого рівня узгодженості прогнозів із реальними анотаціями: точність становила 0.83, F1-міра 0.87, що підтверджує практичну придатність запропонованого підходу для автоматизованого моніторингу ментального стану. Однак найважливішим аспектом роботи стала розробка засобів інтерпретації результатів, які забезпечують перехід від числових метрик до наочних когнітивних карт цифрової втоми.

На основі результатів тематичного моделювання та класифікації побудовано двошарову систему візуалізації. Перший рівень відображає тематичну карту комунікації, де кожна тема маркується відповідним коефіцієнтом ймовірності втоми, а в межах тем формується хмара ключових слів (рисунок 1), що репрезентують характерні елементи мовлення. Другий рівень узагальнює показники для всього профілю користувача, створюючи інтегровану когнітивну карту його цифрової активності. Така візуалізація дозволяє експертам оцінювати інтенсивність психоемоційних проявів, локалізувати сегменти комунікації з підвищеним ризиком виснаження та простежувати динаміку змін у часі.

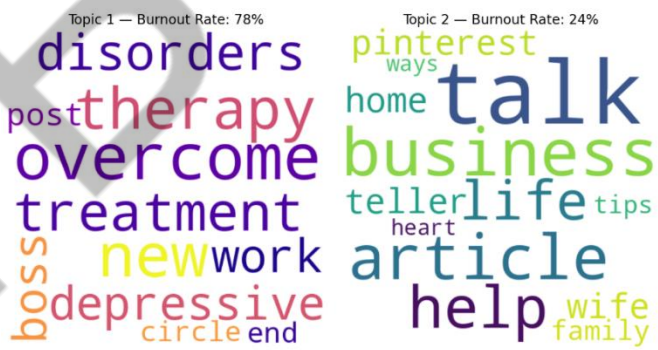


Рисунок 1 – Хмара репрезентативних слів-пердставлень

Практична цінність підходу полягає у можливості інтеграції розробленої системи у сервіси аналітики соціальних мереж, платформи дистанційного навчання або корпоративні середовища моніторингу добробуту працівників. Вона створює підґрунтя для розвитку адаптивних інтерфейсів, здатних реагувати на рівень цифрового навантаження користувача, регулювати інтенсивність інформаційних потоків і пропонувати індивідуальні рекомендації з цифрової гігієни. Крім того, інтерпретованість моделі забезпечує можливість міждисциплінарного використання результатів у психології, когнітивній ергономіці та системах підтримки прийняття рішень.

Наукова новизна дослідження полягає у поєднанні методів тематичної сегментації, семантичного аналізу об'єктів комунікації та поясненного глибинного навчання для діагностики цифрової втоми. Розроблена модель не обмежується статистичним розпізнаванням патернів, а

створює багаторівневу структуру представлення даних, яка забезпечує змістовне тлумачення результатів і можливість їх візуального аналізу. Це дозволяє перейти від суто технічного розпізнавання текстів до побудови інтелектуальних систем, орієнтованих на розуміння і пояснення людських когнітивних станів у цифровому середовищі.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з адаптацією моделі до україномовних текстів і багатомовних середовищ, розширенням набору ознак за рахунок включення темпоральних та паралінгвістичних параметрів, а також інтеграцією з біосенсорними даними для побудови комплексних систем оцінювання цифрової втоми. Отримані результати відкривають можливість створення поясненних моделей штучного інтелекту нового покоління, орієнтованих на підвищення когнітивного комфорту користувачів і формування стійких принципів цифрового добробуту у суспільстві знань.

Список використаних джерел

[1] T. Supriyadi, S. Sulistiasih, K. H. Rahmi, A. Fahrudin, and B. Pramono, "The Impact of Digital Fatigue on Employee Productivity and Well-Being: A Scoping Literature Review," Environment and Social Psychology, vol. 10, 2025. DOI: 10.59429/esp.v10i2.3420.

[2] Р. В. Віт і О. В. Мазурець, "Метод виявлення комунікаційних об'єктів як індикаторів цифрової втоми. Інтелектуальний метод виявлення цільових об'єктів предметної області для класифікації текстової інформації", Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології IUST-ODESA-2025», Одеса, 24–26 вересня 2025 р., с. 119–121.

[3] Р. В. Віт і О. В. Мазурець, "Метод виявлення психологічного цифрового перевантаження за аналізом текстових даних нейромережевими моделями глибокого навчання", Вісник Херсонського національного технічного університету, т. 2, № 2 (93), с. 107–114, 2025.

УДК 004.588

ВІЗУАЛЬНІ ТА ЕМОЦІЙНІ ПАТЕРНИ У ВЕБДИЗАЙНІ: ЯК ІНТЕРФЕЙС ВПЛИВАЄ НА ПОВЕДІНКОВУ ЕКОНОМІКУ КОРИСТУВАЧА.

Галуза М.О. (haluzamykhailo@gmail.com)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В тезах досліджено, як візуальні та емоційні патерни вебінтерфейсу впливають на поведінкову економіку користувача. Аналіз охоплює роль кольору, типографіки, композиції, мікровзаємодій і мови інтерфейсу у формуванні довіри, зниженні когнітивної невизначеності та стимулюванні цільових дій. Розглянуто практичні сценарії, метрики ефективності та етичні аспекти поведінкового дизайну.

Науковою новизною роботи я вважаю поєднання принципів поведінкової економіки з практиками вебдизайну, демонструючи, як візуальні та емоційні патерни впливають на прийняття рішень користувачем. Запропоновано трактування інтерфейсу як активного модератора когнітивних реакцій, а не лише як засобу навігації.

Метою роботи є дослідження, як візуальні та емоційні елементи вебінтерфейсу впливають на поведінкові механізми користувача, і сформулювати практичні принципи для дизайну, що сприяє економічній активності.

Інтерфейс формує вибір із моменту першого зорового контакту; перші секунди визначають, чи користувач залишиться і довіриться продукту. Візуальна чистота, узгодженість елементів і передбачувана ієрархія одразу зменшують когнітивну невизначеність і створюють фундамент для подальшої поведінки; навпаки, візуальний шум і непослідовність породжують сумніви й підвищують ймовірність відмови від намірів взаємодії[1].

Колір у інтерфейсі діє як швидкий емоційний маркер і одночасно як сигнальна система для прийняття рішень. Узгоджені колірні кодові зв'язки (наприклад, індикатори успіху, попередження, дії) скорочують час ухвалення рішення, тоді як порушення цих зв'язків викликає когнітивний

дисонанс і зниження конверсії[1]. Ефект залежить від контексту й від попередніх очікувань аудиторії, тому універсальних «правильних» палітр не існує; потрібні емпіричні перевірки в рамках цільової групи[2].

Типографічна ієрархія задає ритм сканування і дозволяє виділити опорні повідомлення без додаткового навантаження на увагу. Контраст розмірів, інтерлініяж і вибір шрифтів працюють як навігаційні маркери: заголовки вказують маршрут, тексти — додають смислові вузли. Невпорядкованість типографіки підвищує час розуміння й знижує ефективність форм, особливо у критичних сценаріях (верифікація, оплата)[2].

Композиція і просторове розміщення елементів визначають послідовність дій. Розроблений шлях користувача має вигляд сценарію, де кожен блок виконує роль підказки або перешкоди; навіть невелика конкуренція за візуальну увагу зменшує цінність головного заклику до дії. Тому дизайн повинен оптимізувати не красу, а ясність переходів і мінімалізувати «розриви» між наміром і дією[2].

Мікровзаємодії і анімації керують відчуттям завершеності операцій і емоційним відгуком. Короткі, предиктивні анімації знижують невизначеність у системному стані і створюють відчуття контролю; надмірні або повільні переходи, навпаки, посилюють тривогу і знижують мотивацію повторної взаємодії. Правильне застосування мікровзаємодій підвищує задоволеність і прискорює формування звички користування[3].

Мова інтерфейсу працює як поведінковий каталізатор: прості, контекстно-орієнтовані повідомлення знижують ризик помилкових дій і одночасно зменшують емоційну напругу під час невизначених станів. Формулювання, що пояснюють причину дії або затримки, зменшують звернення до служби підтримки і покращують сприйняття надійності системи[3].

Патерни поведінкового дизайну впливають на імпульсивні рішення через поєднання сигналів уваги і очікуваного винагородного зворотного зв’язку. Коли візуальний фокус співпадає з миттєвим позитивним підтвердженням дії, ймовірність завершення транзакції зростає. Якщо підтвердження відсутнє або запізнюється — імпульс згасає і користувач може залишити процес[3].

Утримання уваги в довготривалій перспективі вимагає системної послідовності: дизайн-система, що фіксує правила колірної семантики, типографіки і компонентної поведінки, знижує інтерфейсні «сюрпризи» при масштабуванні продукту. Відсутність єдності веде до фрагментації користувацького досвіду і підриву довіри, навіть якщо окремі екрани добре опрацьовані[3].

Метрики довіри і поведінки мають бути прив’язані до дизайнерських змін. Час першої впевненої транзакції, частота завершених форм, середній час відповіді на мікровзаємодії й показники емоційного відгуку (опитування після дії) дають змогу перевіряти гіпотези і уникати естетичних рішень, які не працюють на поведінкові цілі[1][3].

Етичний аспект: використання емоційних патернів має бути прозорим і не експлуатувати вразливі стани користувача. Маніпулятивні тактики можуть давати короткостроковий приріст, але руйнують довіру і репутацію в довгостроковій перспективі; це підкреслюють сучасні наукові підходи до відповідального дизайну інтерфейсів[2].

Упорядкований дизайн, що поєднує кольорові коди, типографічну логіку, композиційні сценарії, мікровзаємодії та людяні тексти, створює передбачуваний простір вибору. Такий простір зменшує інформаційну невизначеність, пришвидшує ухвалення рішень і формує стійку поведінкову взаємодію користувача з вебпродуктом.

Висновок: інтерфейс, що враховує поведінкові патерни, здатен не лише покращити естетику, а й змінити економічну поведінку користувача. Візуальна логіка, емоційна реактивність і мовна підтримка формують довіру, пришвидшують рішення і підвищують конверсію.

Список використаної літератури

[1] O. K. B. Berdynskyi, M. Yakovlev, O. Kolosnichenko, and K. Pashkevich, “Objective and emotional properties of modern visualization in design-projecting,” Art-Design J., vol. 6, no. 1, 2023.

[2] I. B. Bannova et al., “Study of selection and systematization of visualization patterns in graphic design,” Khmelnitsky National University Repository, 2025.

[3] S. Inozemtseva, “Study of the Principles of Web Design as a Visual Component of Modern Internet Culture. ” Visnyk, 2021.

УДК 004.4:004.8:004.7

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ГРИ ХРЕСТИКИ-НУЛИКИ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Глинчук Л.Я., Шевчук І. С. (lydmilaglin@ukr.net)
Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)

У роботі розглянуто особливості розробки гри «Хрестики-Нулики» на мові програмування Python. Проаналізовано основні принципи побудови гри, включаючи логіку ходів, перевірку перемоги та умови завершення гри. Досліджено можливості Python для створення графічного інтерфейсу користувача та забезпечення взаємодії з гравцем за допомогою бібліотеки Tkinter. Визначено фактори, що забезпечують дружній інтерфейс та безпеку даних, включаючи контроль введення користувача, обробку помилок і модульну структуру коду. Розробка гри показала ефективність поєднання навчального та практичного аспектів програмування, сприяючи розвитку логічного мислення та алгоритмічних навичок користувачів.

У сучасному освітньому процесі розвиток навичок програмування є важливим аспектом формування логічного мислення та алгоритмічної компетентності. Розробка ігор, зокрема класичної гри «Хрестики-Нулики», дозволяє ефективно поєднувати практичне вивчення мови програмування Python із розвитком аналітичних і творчих здібностей студентів. Такий підхід сприяє засвоєнню базових понять об'єктно-орієнтованого програмування, роботи з графічними інтерфейсами та логікою гри.

Мета дослідження. Дослідити особливості розробки гри «Хрестики-Нулики» на мові Python та визначити ключові аспекти такі як: основні принципи побудови гри, можливості Python для реалізації графічного інтерфейсу користувача, фактори, що забезпечують дружній інтерфейс та безпеку даних.

Відповідно до мети ставимо наступні завдання:

- розглянути основні принципи побудови гри «Хрестики-Нулики», включаючи логіку ходів, перевірку перемоги та умови завершення гри;
- проаналізувати можливості мови Python для створення графічного інтерфейсу користувача (GUI) та забезпечення взаємодії з гравцем;
- визначити методи забезпечення безпеки даних та надійності роботи гри.

Гра «Хрестики-Нулики» ґрунтується на простій логіці, що передбачає чергування ходів двох гравців на квадратному полі розміром 3×3. Основні принципи побудови гри включають: логіку ходів, де кожен гравець по черзі ставить свій символ (хрестик або нолик) у вільну клітинку ігрового поля, програма повинна контролювати правильність введених координат, запобігаючи можливості вибору вже зайнятої клітинки; перевірку перемоги, тобто для визначення переможця після кожного ходу здійснюється перевірка всіх можливих комбінацій (горизонтальних, вертикальних та діагональних), якщо один із гравців займає три клітинки в ряд, гра завершується з його перемогою; умови завершення гри, за правилами гра закінчується у трьох випадках (один із гравців виграв, зайнявши три клітинки в ряд; всі клітинки заповнені, і переможець не визначений (нічия); користувач або програма примусово завершують гру).

Логіку гри можна реалізувати за допомогою функцій або класів, де кожен хід, перевірка перемоги та стан гри відображаються у вигляді окремих методів. Така структура спрощує модифікацію та масштабування гри, наприклад, для додавання AI-опонента або розширення розмірів ігрового поля.

Мова програмування Python надає широкі можливості для створення графічного інтерфейсу користувача, що робить її зручною для розробки ігор, зокрема «Хрестики-Нулики». І так, наявна бібліотека Tkinter, яка є найпопулярнішим інструментом для створення GUI у Python. Вона дозволяє швидко створювати вікна, кнопки, поля для відображення ігрового поля та текстові повідомлення для взаємодії з гравцем. Візуалізація ігрового поля можлива за допомогою GUI, де користувач бачить актуальний стан гри в режимі реального часу. Кожна клітинка може бути представлена як кнопка або комірка сітки, що змінює свій стан після ходу гравця. Обробка подій – засіб, що забезпечує реагування на дії користувача, наприклад, натискання на кнопку для вибору клітинки. Програма може перевіряти правильність ходу, оновлювати поле та відображати повідомлення про перемогу, програш або нічію. Використання графічного інтерфейсу підвищує

зручність гри, робить її більш наочною та інтуїтивною, що особливо важливо для навчального контексту та для користувачів, які не знайомі з командним рядком. Також GUI дозволяє додавати додаткові функції, такі як статистика ходів, підказки, вибір рівня складності або AI-опонента, без кардинальної зміни основної логіки гри.

Як бачимо, Python забезпечує прості та ефективні інструменти для створення дружнього та функціонального інтерфейсу, що підвищує користувацький досвід та навчальну цінність гри. Дружній інтерфейс є ключовим елементом успішної взаємодії користувача з програмним продуктом, зокрема у навчальних іграх.

Безпека даних та стабільність роботи програми є важливими аспектами розробки будь-якого програмного продукту, навіть невеликої гри «Хрестики-Нулики». Програма повинна контролювати введення користувача, перевіряючи, чи вибрана клітинка дійсна та вільна, щоб уникнути помилкових ходів і забезпечити коректну роботу логіки гри. Використання механізмів обробки помилок, таких як try-except, дозволяє запобігати аварійному завершенню програми при некоректних діях користувача або неочікуваних ситуаціях. Всі алгоритми перевірки перемоги, чергування ходів та завершення гри повинні бути реалізовані таким чином, щоб працювати стабільно незалежно від послідовності дій гравців, що гарантує передбачувану роботу гри. Офлайн-доступ забезпечує використання програми без підключення до Інтернету, що виключає ризик втрати даних через мережеві помилки. Використання функцій або класів підвищує модульність і надійність коду, спрощує тестування та налагодження, а також полегшує виявлення та усунення помилок. Застосування цих підходів гарантує стабільну та безпечну роботу гри, забезпечуючи користувачу комфортну взаємодію з програмою.

Розробка гри «Хрестики-Нулики» на мові Python є ефективним засобом формування логічного мислення та алгоритмічної компетентності користувачів. Аналіз основних принципів побудови гри показав, що чітка організація логіки ходів, перевірка перемоги та визначення умов завершення гри забезпечують стабільність та передбачуваність роботи програми. Можливості Python, зокрема бібліотека Tkinter, дозволяють створити графічний інтерфейс, який робить гру інтуїтивно зрозумілою та зручною для користувача, підвищуючи її освітню цінність. Дружній інтерфейс і контроль введення гравця сприяють комфортній взаємодії, а застосування механізмів обробки помилок і модульної структури коду забезпечує безпеку даних і надійність роботи гри.

Список використаної літератури

[1]. Кравець, Д. В. Огляд стандартної бібліотеки для створення GUI мовою Python / Д. В. Кравець. – Донецьк : ДонНТУ, 2020. – URL: https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/article/view/2487

[2]. Ковтонюк, Г., Бак, С., Крупський, Я. Об'єктно-орієнтований підхід до створення графічного інтерфейсу користувача в Python з використанням модуля Tkinter / Г. Ковтонюк, С. Бак, Я. Крупський. – 2025. – URL: https://surl.li/zofajl

[3]. Ісмагілов, Н. Аналіз гри «Хрестики-нолики» в Python / Н. Ісмагілов. – 2024. – URL: https://prezi.com/p/s0orzhtu7qk5/python/

[4]/ Борчан, А., Остапенко, Л. Створення ігрового додатку «Хрестики-нулики» засобами мови програмування Python / А. Борчан, Л. Остапенко. – Харків : Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди, 2022. – С. 109. – URL: https://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/9065

УДК 004.42:004.738.5:7.05

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ UI/UX-ДИЗАЙНУ В РОЗРОБЦІ ВЕБ-ДОДАТКІВ

Гречаник А.Р. (anastasiiahrechanik@gmail.com)
Національний транспортний університет (Україна)

У тезах розглядається роль UI/UX-дизайну у процесі розробки веб-додатків. Проаналізовано ключові принципи користувацького досвіду та інтерфейсу, їх вплив на якість програмного забезпечення та задоволеність користувачів. Підкреслюється важливість взаємодії дизайнерів і розробників у створенні сучасних веб-рішень, орієнтованих на потреби кінцевого користувача.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку цифрових технологій характеризується зростанням ролі веб-додатків як ключового інструменту взаємодії користувача з інформаційними системами. Незважаючи на технічну досконаліть багатьох веб-продуктів, значна частина з них не забезпечує належного рівня зручності, інтуїтивності та ефективності користувацької взаємодії. Це зумовлює низьку залученість користувачів, зменшення лояльності та комерційної успішності продуктів. Таким чином, постає проблема інтеграції принципів UI/UX-дизайну (User Interface / User Experience Design) у процес розроблення веб-додатків для забезпечення високої якості користувацького досвіду та конкурентоспроможності цифрових рішень.

Метою дослідження є обґрунтування теоретичних засад і розроблення практичних рекомендацій щодо ефективного застосування принципів UI/UX-дизайну в процесі створення веб-додатків для підвищення зручності, привабливості та функціональної доступності користувацького інтерфейсу.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. Проаналізувати наукові підходи та сучасні тенденції в галузі UI/UX-дизайну, їх вплив на якість веб-продуктів.
2. Визначити ключові принципи UI/UX-дизайну, релевантні для розробки веб-додатків різних типів (інформаційних, комерційних, освітніх тощо).
3. Дослідити методи оцінювання ефективності користувацької взаємодії з веб-додатками.
4. Розробити методичні рекомендації щодо інтеграції принципів UI/UX-дизайну у процес розроблення веб-додатків.

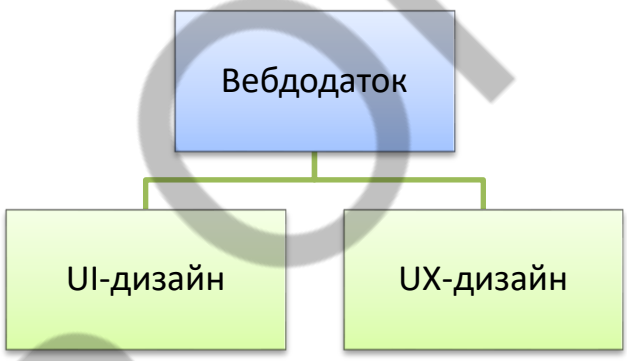


Рисунок 1 - Співвідношення понять UI та UX у структурі веб-додатку

Таблиця 1. Основні принципи UI/UX-дизайну та їх характеристика

	Принцип	**Сутність**	**Очікуваний ефект**
	Узгодженість (Consistency)	Єдині стилістичні елементи, логіка переходів	Підвищення інтуїтивності
	Простота (Simplicity)	Мінімізація когнітивного навантаження	Зниження помилок користувачів
	Зворотний зв’язок (Feedback)	Інформування про результат дії	Підвищення контролю користувача
	Адаптивність (Responsiveness)	Оптимізація інтерфейсу під різні пристрої	Збільшення охоплення аудиторії
	Доступність (Accessibility)	Урахування потреб людей з обмеженнями	Соціальна інклюзивність
	Естетика (Aesthetic Usability)	Гармонійний візуальний стиль	Формування позитивного досвіду

Суть дослідження. UI/UX-дизайн — це комплексний підхід до створення цифрових продуктів, спрямований на забезпечення оптимальної взаємодії користувача з системою (рис.1). UI (*User Interface*) фокусується на візуальній складовій інтерфейсу: кольоровій палітрі, типографіці,

композиції, компонентах керування. UX (*User Experience*), у свою чергу, описує емоційно-когнітивний досвід користувача, його задоволення від роботи з продуктом, логіку сценаріїв та доступність функціоналу.

Таким чином, UI забезпечує форму, а UX — зміст взаємодії, формуючи разом єдину користувацьку екосистему.

У процесі дослідження було узагальнено низку принципів, що мають ключовий вплив на якість веб-продуктів (таб.1).

Важливим етапом дослідження є визначення ключових чинників, що формують ефективність користувацького досвіду (UX) у веб-додатках. UX є багатокомпонентним явищем, на яке впливають як **візуальні параметри інтерфейсу**, так і **структурна організація контенту**.

Оптимальне поєднання цих складових забезпечує зручність навігації, логічність сценаріїв користування та позитивне емоційне сприйняття продукту. На рис. 2 представлено спрощену модель взаємозв'язку між основними факторами, що впливають на загальний показник UX-ефективності веб-додатку.

Рисунок 2 - Фактори, що впливають на UX-ефективність

Як показано на схемі, UX-ефективність формується в результаті взаємодії двох базових складових — візуального дизайну та структури контенту. Візуальний дизайн визначає естетичні й емоційні характеристики взаємодії користувача з системою (кольори, типографіка, іконографіка, візуальна ієрархія). Структура контенту, натомість, забезпечує логіку переходів, зрозумілу навігацію, послідовність подання інформації та доступність ключових функцій.

Етапи впровадження принципів UI/UX можна представити як поетапну модель (табл. 2).

Отже, впровадження принципів UI/UX-дизайну дозволило суттєво покращити ефективність та комфорт користувацької взаємодії з веб-додатком. Аналіз довів, що комплексне застосування принципів UI/UX-дизайну на всіх етапах життєвого циклу веб-додатку забезпечує підвищення його функціональної якості, комерційної привабливості та задоволеності кінцевого користувача.

Таблиця 2.Етапи інтеграції принципів UI/UX-дизайну

Етап	**Зміст робіт**	**Основний результат**
1. Дослідження користувачів	Інтерв'ю, опитування, створення персон	Модель користувача (User Persona)
2.Проєктування інформаційної архітектури	Побудова sitemap, сценарії навігації	Прототип структури
3. Створення прототипу UI	Wireframes, layout, кольорова система	Інтерактивний макет
4. Тестування UX	A/B тестування, спостереження	Звіт про ефективність UX
5. Впровадження та оптимізація	Корекція на основі метрик	Підвищення показника UX

Сукупність отриманих результатів може бути використана для формування методології «UX-орієнтованої веб-розробки», що передбачає інтеграцію дизайнерських і технічних рішень у єдиний процес створення цифрового продукту.

Висновки. UI/UX-дизайн є невід'ємною складовою розробки веб-додатків і суттєво впливає на успіх продукту на ринку. Впровадження принципів користувацького досвіду та інтерфейсу на ранніх етапах програмування забезпечує зручність, ефективність і привабливість програмних систем.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку методик оцінювання якості UX, автоматизацію процесів тестування зручності інтерфейсів та вивчення впливу штучного інтелекту на персоналізацію користувацького досвіду.

Список використаних джерел

[1] Nielsen, J., & Norman, D. *The Definition of User Experience (UX)* [Електронний ресурс]. – 1998. – Режим доступу: https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/ – Дата звернення: 23.10.2025.

[2] Garrett, J. J. *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. – New Riders, 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.academia.edu/33276128/The_Elements_of_User_Experience_Jesse_James_Garrett – Дата звернення: 23.10.2025.

[3] W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.w3.org/TR/WCAG21/ – Дата звернення: 23.10.2025.

[4] Interaction Design Foundation. *UI vs. UX: What's the Difference?* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.interaction-design.org/literature/topics/ui-vs-ux – Дата звернення: 23.10.2025.

[5] Smashing Magazine. *A Comprehensive Guide To User Experience Design* [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: https://www.smashingmagazine.com/2018/02/comprehensive-guide-user-experience-design/ – Дата звернення: 23.10.2025.

УДК 004.42

2D-ГРА У ЖАНРІ ROGUELIKE З СИСТЕМОЮ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ РІВНІВ

Демиденко М.О., Тройніна А. С.
(zesshizetsumeix@gmail.com, anastasiyatroinina@gmail.com)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

У роботі представлено результати розроблення прототипу двовимірної гри у жанрі Roguelike з використанням системи процедурної генерації рівнів. Проєкт реалізовано у стилі dark fantasy за мотивами історії «Аліса в Країні Див» із застосуванням рушія Godot Engine та мови сценаріїв GDScript. Основну увагу приділено побудові архітектури гри, алгоритмам генерації рівнів, поведінки ворогів і створенню мінімалістичного користувацького інтерфейсу. Отримані результати демонструють працездатну систему динамічного формування рівнів, що забезпечує непередбачуваність і реіграбельність ігрового процесу.

Вступ. Сучасна індустрія розробки ігор активно впроваджує алгоритми процедурної генерації, які дозволяють створювати унікальний ігровий досвід під час кожного проходження. Гравці дедалі більше цінують непередбачуваність, динамічність та повторюваність, що стали основними характеристиками жанру Roguelike [1]. Саме цей підхід ліг в основу створення двовимірної гри у стилі dark fantasy, натхненної мотивами історії «Аліса в Країні Див».

Попри популярність жанру, більшість сучасних ігор цієї категорії орієнтовані на піксельну графіку або надмірну складність геймплею. Це створює бар'єр для частини гравців, які прагнуть більш атмосферного і водночас доступного ігрового процесу. Щоб подолати цю проблему, було розроблено концепцію гри, яка поєднує класичні принципи Roguelike із сучасним художнім підходом і продуманою системою процедурної генерації [2].

Основна частина. Ігровий процес базується на дослідженні підземель, що складаються з кімнат і поверхів, сформованих випадковим чином. Кожне нове проходження пропонує інший набір ворогів, предметів, переходів і випробувань. Завдяки цьому досягається ефект постійної новизни, який стимулює гравця повертатися до гри. Алгоритм генерації враховує базові параметри складності, типи ворогів, частоту випадання предметів і просторову логіку розташування кімнат. Це забезпечує баланс між випадковістю та ігровою послідовністю, що є критично важливим для збереження структурованого, але варіативного геймплею.

Для реалізації гри використано рушій Godot Engine [3], який поєднує візуальний редактор сцен, підтримку 2D-графіки, фізики, системи сигналів і вбудованих засобів анімації. Мова сценаріїв GDScript [4], що є нативною для рушія, забезпечує просту та зрозумілу розробку логіки ігрового процесу, дозволяючи швидко реалізовувати поведінку персонажа, ворогів, механіку бою й алгоритми генерації рівнів. Завдяки об’єктно-орієнтованій структурі рушія було досягнуто модульності проєкту — кожен компонент гри реалізовано як незалежний елемент, що спрощує оновлення та масштабування.

Візуальна частина гри побудована у стилі AI-assisted painted fantasy, який поєднує художню деталізацію з використанням інструментів штучного інтелекту для створення текстур, фонових сцен та ілюстрацій. Це дозволяє досягти виразної атмосфери dark fantasy без використання піксель-арту, зберігаючи водночас високу продуктивність і цілісність художнього стилю. Сюжетна концепція побудована навколо психологічного занурення персонажа у власні страхи й уособлення безумства, що відображено у змінних формах локацій і дизайні ворогів.

Загальну структуру взаємодії користувача з ігровими елементами відображено на діаграмі Use Case (рис. 1). Вона демонструє основні ролі гравця, сценарії використання системи й послідовність дій: від запуску гри до проходження процедурно згенерованих рівнів, збору предметів, боїв і переходу між поверхами.

Окрему увагу приділено користувацькому інтерфейсу, який забезпечує зручну взаємодію з основними елементами гри. Мінімалістичний дизайн UI не відволікає від процесу дослідження, а всі показники — здоров’я, інвентар, рівень, активні ефекти — відображаються динамічно й інтуїтивно зрозуміло. Інтерфейс поєднує в собі темні напівпрозорі елементи, плавні анімації та контрастні акценти, що відповідають загальній стилістиці dark fantasy.

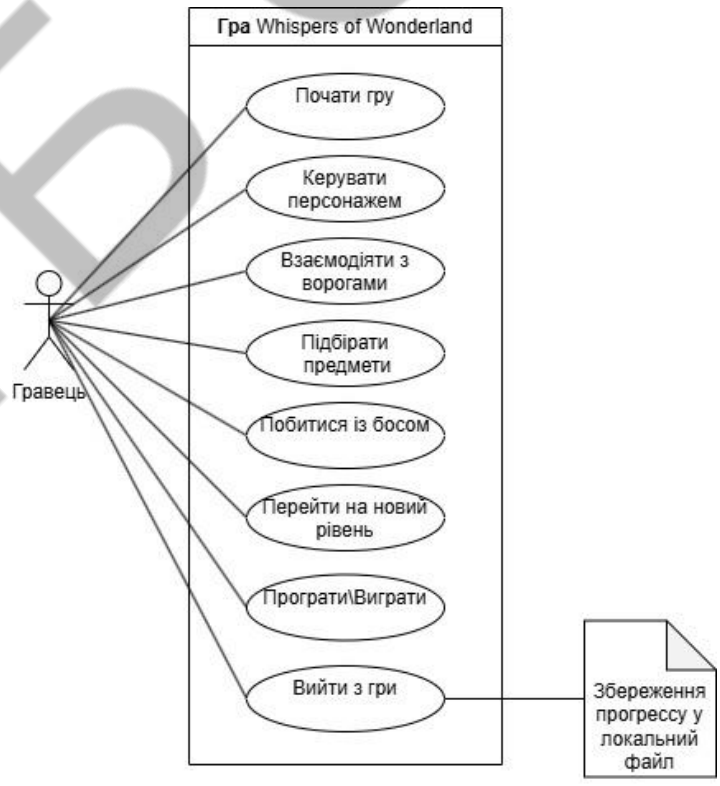


Рисунок 1 – Use Case діаграма системи

НТБОНТУ

Висновки. Розроблена 2D-гра у жанрі Roguelike демонструє ефективне поєднання процедурної генерації рівнів, художньої стилістики dark fantasy та зручного користувацького інтерфейсу. Використання рушія Godot Engine і мови GDScript забезпечило гнучкість архітектури, простоту реалізації алгоритмів і стабільну роботу системи. Завдяки модульному підходу структура гри залишається розширюваною, що дозволяє у майбутньому інтегрувати нові локації, ворогів, предмети та сюжетні елементи.

Отримані результати підтверджують практичну придатність обраного технічного рішення для створення інди-проєктів у жанрі Roguelike. Запропонований підхід дозволяє досягти балансу між алгоритмічною складністю, візуальною якістю та гнучкістю ігрового процесу. Надалі можливий розвиток гри передбачає удосконалення системи процедурної генерації, впровадження елементів штучного інтелекту та розширення художнього контенту для формування більш глибокого ігрового світу.

Список використаної літератури

[1] “Roguelike Development Wiki — ресурс для розробників ігор у жанрі Roguelike,” RogueBasin, [Online]. Available: https://roguebasin.com/ [Accessed: October12, 2025].
[2] Roguelike Games - The way we play Online. Available: https://surl.li/biions [Accessed: October 12, 2025].
[3] “Godot Engine — офіційний сайт рушія для розробки 2D та 3D ігор,” Godot Engine Official Website, [Online]. Available: https://godotengine.org/ [Accessed: October 10, 2025].
[4] “GDScript — офіційна документація мови сценаріїв Godot,” Godot Docs, [Online]. Available: https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/scripting/gdscript/ [Accessed: October 10, 2025].

УДК 004.928:004.96

РОЗРОБКА АНІМАЦІЙ ПЕРСОНАЖІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ANIMATION ТА BLEND TREES У UNITY

Дорохін Д.А., Швець Д.В. (dmitriy.shvets@knu.edu.ua)
Криворізький національний університет (Україна)

У роботі розглянуто підхід до створення й інтеграції анімацій персонажів у Unity на основі Animation Clips та Blend Trees, що забезпечує плавні переходи між станами руху й підвищує реалістичність ігрової взаємодії. Запропоновано цілісний пайплайн: імпорт 3D-моделей, налаштування Avatar для ретаргетингу, побудова набору кліпів з ключовими кадрами (біг, поворот, прицілювання, атака), організація змішування рухів у 1D/2D Blend Trees за параметрами швидкості та напряму. Показано використання Animator Controller з шарами та Avatar Masks для розділення верхньої/нижньої частин тіла, а також залучення Inverse Kinematics для коректного контакту ступень із поверхнею. Окрему увагу приділено продуктивності: мінімізації кількості переходів, кешуванню обчислень у скриптах і тестуванню на різних класах пристроїв. Демонструється, що екосистема Месапіт зменшує трудомісткість порівняно з ручним налаштуванням графів станів, одночасно зберігаючи керованість і масштабованість анімаційного модуля під динамічні сценарії гри (втома, захист, відскок).

У сучасній розробці ігор важливими є анімації персонажів з базовими елементами та реалістичність ігрового світу для повного занурення. Саме Unity має та пропонує розробнику набір важливих інструментів, таких як Animation Clips для створення основних анімаційних послідовностей та Bland Trees для плавного поєднання рухів між декількома анімаціями, що дозволяє адаптувати їх до динамічних умов гри. Ці компоненти взаємодіють з Animator Controller, що забезпечує керування параметрами, наприклад швидкістю або напрямком руху.

Метою цієї роботи є аналіз процесу створення та інтеграції анімацій персонажів у Unity з використанням таких інструментів, як Animation Clips та Blend Trees, з важливими акцентами на оптимізацію часу для роботи над проєктом та підвищення досвіду й якості виконання.

Процес створення анімацій починається з імпорту 3D-моделі персонажа, наприклад у форматі FBX на сайті [1], де Animation Window дає можливість створювати Animation Clip для окремо

видалених рухів, прицілювання, атаки чи бігу. Кожен кліп містить ключові кадри, які визначають положення окремих елементів кісток скелета. Для адаптації анімацій до різних моделей використовується Avatar, що дає можливість зекономити час розробки.

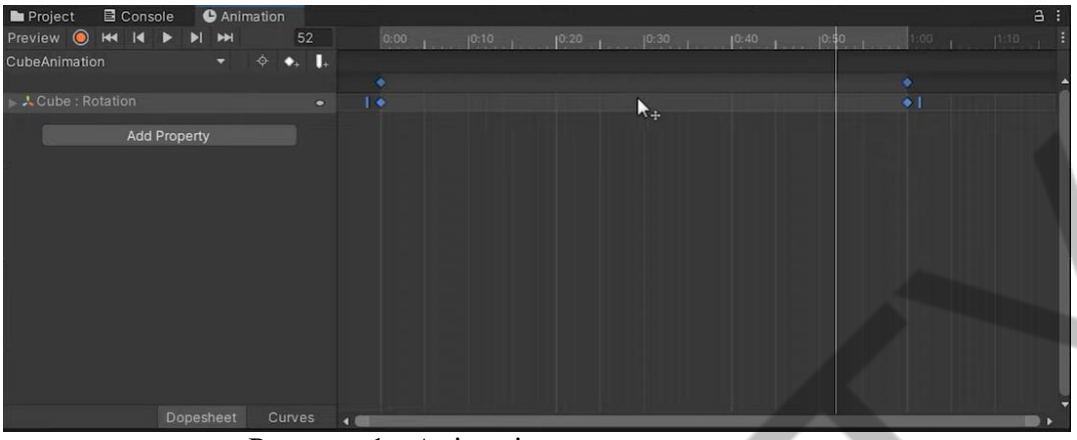


Рисунок 1 - Анімація ключовими кадрами

Після натискання кнопки «C» відкривається вікно кривих, де можна побачити плавну лінію, яка візуалізує швидкість анімації уповільнення.

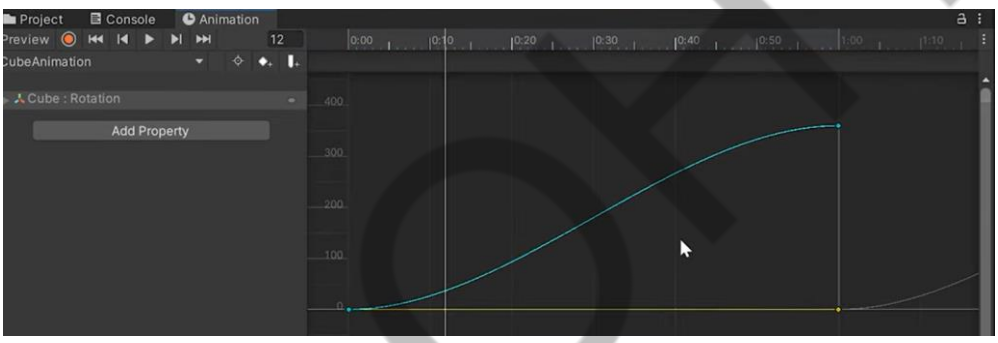


Рисунок 2 - Вікно швидкості кривих

В аніматорі наявний елемент Blend tree (дерево змішування), при цьому в Inspector потрібно вибрати тип змішування 1D або 2D. Blend Trees додає гнучкості та дозволяє змішувати кілька анімаційних кліпів для створення плавних переходів. При виборі 2D Blend Tree може комбінувати біг і поворот залежно від вектора руху. Це корисно особливо для виду від третьої особи, де персонаж реагує на введення гравця. Скрипти створюють анімації з ігровою логікою, наприклад, синхронізують швидкість персонажа з анімацією[2].

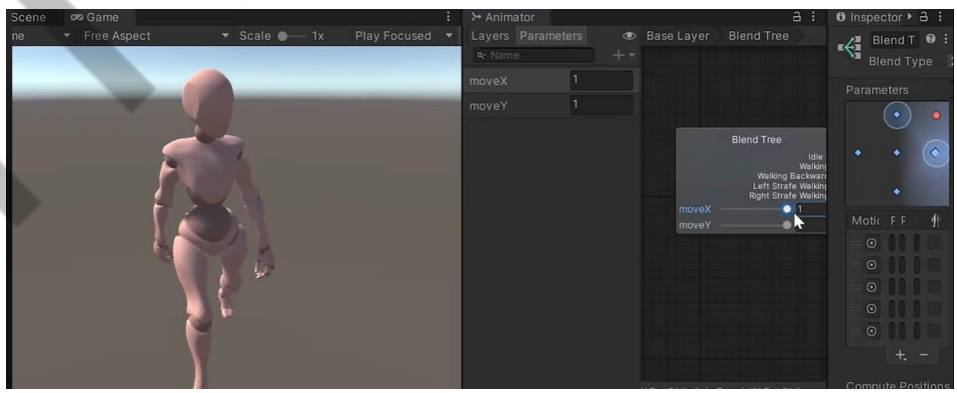


Рисунок 3 - Blend Tree для чергування анімацій

Для складних рухів використовуються шари в Animator Controller. Наприклад, нижній шар може керувати ногами для бігу, а при виборі верхнього – руками для анімацій атаки чи прицілювання. Avatar Masks дозволяють ізолювати частини тіла, що зменшують навантаження на рендер. Kinematics додає реалістичності під час контакту ніг з землею або взаємодії з об’єктами[3].

Рисунок 4 - *Розділення верхньої/нижньої частин тіла* (Avatar Masks)

Важливим компонентом в Unity є Animator, який управляє виконанням анімацій для об’єкта. У вікні Animator створюється анімаційний граф, що складається з вузлів (станів), кожен із яких відповідає певній анімації.

Рисунок 5 - Компонент Animator

Між цими станами можна створювати переходи вибором Make Transition, які дозволяють рівномірно переключатися між анімаціями. Плавність визначається тривалістю переходу. У вкладці Parameters можна створювати параметри (наприклад, Run), за допомогою яких задаються умови для переходів між станами.

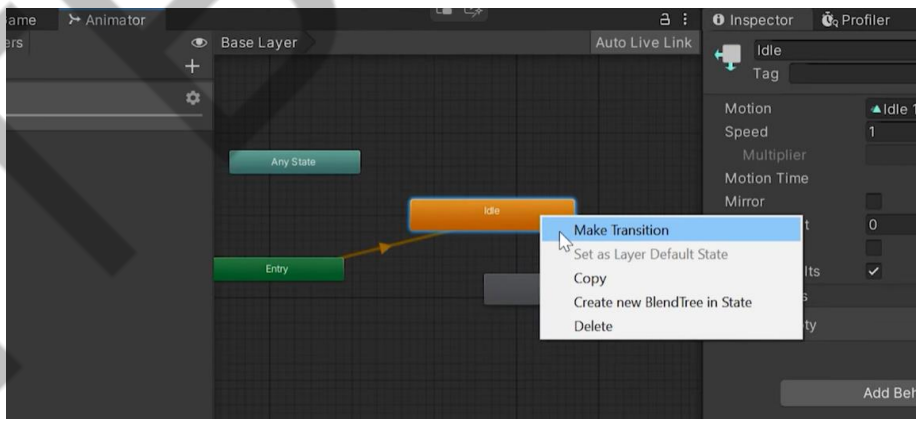


Рисунок 6 - Animator controller

Практичне використання анімації у покращенні адаптивності полягає в наступному. Виникає можливість увімкнення автоматичної зміни анімацій, подібно до реальної людини, яка, наприклад, втомлюється під час тривалого бігу на відкритій місцевості, переходить у захист при атаці або відстрибує при захисті. Саме ці підходи дозволяють гравцям краще відчувати та контролювати стан персонажа. Mecanim у Unity зменшує час розробки анімацій у порівнянні з ручним підходом[4].

Окрім цих факторів, варто звернути увагу на те, як анімація може впливати на продуктивність гри. Надмірне насичення великою кількість кліпів або складних переходів може спричинити перенавантаження, що призводить до зниження FPS, особливо на слабких пристроях.

Таким чином, зв'язка Animation Clips, Blend Trees і Animator Controller дає простий та надійний спосіб оживити персонажа з плавними, природними переходами. Avatar і шари з Avatar Masks допомагають відмовитись від створення сотень окремих кліпів: можна поєднати, наприклад, біг і прицілювання. 1D/2D Blend Trees та інверсна кінематика роблять рухи реалістичнішими й чітко реагують на керування. Скрипти передають у анімацію швидкість, втому та інші стани, а Mecanim пришвидшує налаштування. Важливо зберігати продуктивність і проводити тестування на різних пристроях: спрощувати графи, обережно використовувати Root Motion, вмикати culling, кешувати дані та стежити за FPS, завантаженням CPU/GPU і оперативної пам'яті.

Список використаної літератури

[1] Animate 3D characters for games, film, and more [Online]. Available: www.mixamo.com [Accessed: September 25, 2025].

[2] Unity Game Development in 24 Hours-Mike. Blend Trees P. 290–294.

[3] Unity Game Development in 24 Hours-Mike. Models, Animators P. 278–281.

[4] Unity Documentation, Mecanim Animation System. [Online]. Available: https://docs.unity3d.com/462/Documentation/Manual/MecanimAnimationSystem.html [Accessed: September 27, 2025].

УДК 004.9

ОСОБЛИВОСТІ UI/UX ДИЗАЙНУ КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Дорошенко Ю.О. (dua159@ukr.net)

Таврійський національний університет імені В.І.Вернадського (Україна)

У тезах за результатами аналітичного розгляду еволюції користувацького інформатичного інтерфейсу та потреб сучасної ІТ-практики презентуються особливості сучасного UI/UX дизайну комп'ютерних програмних засобів та мобільних додатків. Актуальність цієї публікації зумовлюється практичними потребами щодо вироблення нових підходів реалізації UI/UX дизайну у зв'язку зі значним збільшенням кількості програмних засобів, насамперед, мобільних додатків, та швидким зростанням кола некваліфікованих користувачів мобільних додатків. Окрім ІТ-практики, результати дослідження будуть корисними під час навчання майбутніх UI/UX дизайнерів.

У інформатиці інтерфейс (інформатичний інтерфейс – **ІІ**) є базовим часто вживаним поняттям, що змістово виступає своєрідним посередником, функціонально-інструментальним реалізатором узгодженої взаємодії двох сторін (учасників) інформатичного процесу (користувачем, програмним і апаратним забезпеченням) з використанням певної сукупності правил, засобів і методів, наприклад, комп'ютер–периферійний пристрій, оператор–програма тощо [1]. Упродовж своєї еволюції інформатичний інтерфейс зазнав низку якісних трансформаційних змін, які потребують їх виявлення, аналізу, визначення можливого перспективного розвитку і відповідно до цього вироблення нових адекватних адаптивно-диференційованих підходів щодо його проєктування, розробки і використання. Особливо серед усіх існуючих реалізацій ІІ сказане вище найбільшою мірою стосується користувацького ІІ, насамперед, UI/UX, зважаючи на його специфічність і сферу прикладання. При цьому реалізація сучасного UI/UX дизайну розуміється як інтегративний процес з урахуванням значного збільшення кількості і диференціації програмних засобів, насамперед, мобільних додатків, та швидкого розширення кола некваліфікованих користувачів мобільних додатків. Усе сказане визначає актуальність цієї публікації та її корисність для ІТ-практики та підготовки майбутніх UI/UX дизайнерів.

Метою публікації є виявлення особливостей сучасного UI/UX дизайну користувацького інтерфейсу програмних засобів та мобільних додатків відповідно до наявного досвіду і практики його застосування та перспективних тенденцій для вироблення адекватних управлінсько-технологічних рішень щодо подальшого прогресивного його розвитку з одночасним підвищенням якості і ефективності.

Історично інформатичний інтерфейс як поняття і як процесуальний засіб управління інформатичними процесами в інформаційних системах з'явився одночасно з появою електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) – комп'ютерів. І це був інтерфейс операційної системи, який функціонував у діалоговому режимі через ручне введення команд (як текстових рядків) з відповідною реакцією ЕОМ. Отже, інформатичний інтерфейс бере свій початок від інтерфейсу операційної системи у формі командного рядка – початкової діалогової командної взаємодії людини з ЕОМ. А оскільки така людина-оператор була професійним інформатиком (програмістом), то стає зрозумілою аскетичність такого інтерфейсу, зумовлений відсутністю некваліфікованих користувачів і потреби у його додатковому естетичному оформленні.

За своєю природою сучасний ІІ може бути фізичним, програмним чи користувацьким. Хоча усе починалося з ***інтерфейсу командного рядка*** (CLI), де взаємодія реалізується через введення формалізованих команд безпосередньо оператором у «ручному» режимі і реєстрації відповідної реакції комп'ютерного засобу.

Отже, у інформаційних технологіях (ІТ) та інформаційних системах (ІС) за характеристичними ознаками розрізняють ***фізичний інтерфейс (апаратний*** або ***системотехнічний)*** – обмін даними між електронними пристроями з використанням портів та кабелів, або за допомогою бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth, NFC тощо); ***програмний інтерфейс*** (API) – обмін даними між різними компонентами усередині програми, між окремими програмами або між кількома різними ІС; ***користувацький інтерфейс*** (UI) – спосіб взаємодії оператора з комп'ютерною програмою, ІС чи електронним пристроєм [1].

Користувацький інтерфейс прийшов на заміну інтерфейсу командного рядка і нині став найпоширенішим у зв'язку з суцільною інформатизацією (цифровізацією) практично усіх сфер життєдіяльності людини, що супроводжувалося значним збільшенням кількості програмних засобів (ПЗ) найрізноманітного призначення, для використання яких значно розширилося коло користувачів ПЗ. Практично кожен працівник невідворотно мав стати користувачем одного чи кількох ПЗ, що потребувало певного навчання і формування відповідного стилю мислення (сценарного чи алгоритмічного).

Призначення користувацького інтерфейсу полягає у наданні користувачу (оператору) шляхом проходження у середовищі ПЗ певного зрозумілого ланцюга кроків (послідовних переходів) змоги виконати деяку логічну послідовність дій у програмі для виконання певної роботи, розв'язання деякого завдання чи активації потрібної функції програми.

Надалі у цій публікації розглядатимемо виключно користувацький інтерфейс UI – як специфічний різновид ІІ або інтерфейс користувача програмного засобу, який являє собою сукупність правил, методів та засобів взаємодії користувача (оператора) і комп'ютерної програми чи ІС під час реалізації деякої інформаційної технології у програмному середовищі.

З часом, унаслідок якісних змін, орієнтованих на активне залучення зорового аналізатора оператора і діалогової інтерактивності, усталений користувацький інтерфейс UI трансформувався у GUI (graphical user interface) – графічний інтерфейс користувача, який ґрунтується на використанні візуалізованих уніфікованих графічних зображень (піктограм невеликого розміру і кнопок) та стандартизованих вікон, панелей керування і стилізованого меню замість текстових команд, будучи їх функціонально-змістовими аналогами.

Загалом, GUI ґрунтується на графічній візуалізації з певним змістовим навантаженням і інтерактивній взаємодії з використанням окрім клавіатури активних маніпуляторів (зазвичай «миша», тачпад, сенсорний екран) та виконанням простих узвичаєних (інтуїтивно зрозумілих) дій, що проявляється у локаційно-функціональному керуванні вказівником та курсором у межах виділеного на екрані дисплея робочого поля.

В основу реалізації і функціонування GUI була покладена концепція WIMP – Windows+Icons+Menus+Point-n-Click [2]. А однією з ключових ознак якості GUI стала реалізація концепції «зроби те, що я маю на увазі» – DWIM (Do What I Mean) [2]. Згідно з цією концепцією

ІС має працювати передбачувано, що проявлятиметься у завчасному інтуїтивному розумінні-передбаченні користувачем реакції (дії) ІС на введену ним команду.

Слід також відмітити, що GUI по праву можна вважати найвищою еволюційною досконалістю UI, де мовою теорії систем відбулася синергія усіх ключових властивостей (досконаліть, зручність, зрозумілість, інтуїтивність, гармонія, краса) з підсумковою появою нової інтегральної якості.

У підсумку GUI став нині фактичним стандартом для більшості операційних систем та комп'ютерних програм, ІС і мобільних додатків.

Унаслідок реалізації зазначених вище трансформацій UI в GUI ефективність роботи оператора за комп'ютером значно зросла, а GUI отримав якісні характеристики «візуальний», «дружній» та «інтуїтивно зрозумілий». При цьому ключовими принципами дизайну графічного інтерфейсу користувача (GUI) стали зручність, зрозумілість, інтуїтивність, художня естетичність, ергономічна і гармонійна композиція виділеного робочого поля екрану. Інтегрально графічний інтерфейс користувача GUI обґрунтовано можна вважати художньо-функціональною дизайн-композицією екрану електронного гаджета.

Подальша якісна еволюційна трансформація GUI пов'язується з цифровим стільниковим зв'язком, що з'явився у мобільних телефонах і став активно поширюватися з середини 90-х років минулого століття. Затим невдовзі, на межі XX і XXI століть, у мобільних телефонах завдяки технології 3G з'явився мобільний інтернет. Це дало змогу користуватися онлайн-сервісами з мобільних телефонів, що у свою чергу відбилося на очікуваннях користувачів і адекватних вимогах до інтерфейсу мобільних додатків. А стосовно користувацького інтерфейсу такі події призвели до його структурної і змістової диференціації, унаслідок чого замість єдиного цілісного користувацького інтерфейсу GUI стали розглядати UI та UX як дві окремі його компоненти. Ці терміни виникли та закріпилися як окремі синхронно з появою мобільних додатків, де розробка програмного забезпечення стала більше орієнтуватися на потреби користувача.

UI (User Interface) – це виключно користувацький інтерфейс. Цим терміном описується те, як цифровий продукт виглядає на екрані дисплея, включаючи кольори, контент, форми і розміри кнопок та вікон, мітки, діалогові поля для введення і вказування.

UX (User Experience) – це користувацький досвід, який ґрунтується насамперед на емоціях, які людина отримує під час користування інтерфейсом мобільного додатку на певному електронному гаджеті. UX – це показник того, наскільки користувачеві виявляється легко чи складно зробити те, для чого він використовує інтерфейс певного мобільного додатка (отримати якусь інформацію, щось купити, дізнатися про погоду, знайти на карті певний об'єкт і прокласти маршрут тощо).

Слід зазначити, що за такої диференціації цілісний користувацький інтерфейс має бінарний характер і інтегрально позначається «UI/UX». Де UX представляє приховану від користувача складову функціонування інтерфейсу, а UI – його явну, видиму складову.

Такий поділ не відчувається користувачем під час роботи з мобільним додатком, а проявляється під час дизайну інтерфейсу мобільного додатка у поділі обов'язків між UI-дизайнером та UX-дизайнером, хоча це й не обов'язково.

Зазначимо, що під час проєктування інтерфейсу мобільного додатку – UI/UX-дизайну особлива увага має приділятися зручності навігації та чіткому дизайну.

Окремо звернемо увагу на той факт, що формального поділу користувацького інтерфейсу на окремі UX і UI ніколи не проводилося, оскільки ці два поняття позначають хоч і різні, проте тісно пов'язані, аспекти єдиного інтерфейсу.

Отже, у процесі своєї еволюції інформатичний інтерфейс (як функціональне поняття інформатики) трансформувався від командного рядка через GUI до інтегрованого UI/UX, де все підпорядковано синергії комфортної роботи звичайного користувача з мінімальними інформатичними навичками та потужності і багатофункціональності базової ІС.

Примітно, що UI та UX співвідносяться між собою, використовуючи відомий вислів Віктора Глушкова, як цінний продукт (UX) і його упаковка (UI). А асоціативно UI/UX за їх функціональним призначенням можна пов'язати з певними півкулями головного мозку людини. UX – з лівою півкулею, що відповідає за логіку, аналітичну та інтелектуальну діяльність і критичне мислення. А UI – з правою, яка відповідає за творчість, уяву, інтуїцію, емоції, композиційне і художньо-образне мислення, просторову орієнтацію.

Висновок. У результаті аналітичного відстеження еволюції та диференціації користувацького інтерфейсу виявлено особливості UI/UX дизайну та намічено перспективні шляхи і підходи його прогресивного розвитку і впровадження у проєктну практику для підвищення якості і ефективності практичного використання і організації навчання майбутніх UI/UX-дизайнерів.

Список використаної літератури

[1] Дорошенко Ю.О., Тихонова Т.В., Луньова Г.С. Технологічне навчання інформатики: Навчально-методичний посібник. – Харків: Вид-во "Ранок", 2011. – 304с.

[2] Що таке UI/UX дизайн: ваш гід професією. URL: https://prjctr.com/knowledge-base/interface-design/ui-ux-design/ui-ux-design-profession-guide

УДК 004.738.5

NFT ТА БЛОКЧЕЙН У ГЕЙМДИЗАЙНІ

Заіченко Ю.П. (yuliia.zaichenko@student.karazin.ua)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна(Україна)

У тезах досліджуються сучасні тенденції застосування блокчейн-технологій та невзаємозамінних токенів (NFT) у сфері геймдизайну. Розглянуто можливості створення унікальних цифрових активів у відеоіграх, трансформацію моделей монетизації, розвиток децентралізованих ігрових економік. Визначено основні проблеми впровадження цих технологій, включно з правовими, технічними та етичними аспектами, а також окреслено перспективи інтеграції NFT у майбутні формати ігор.

У цифрову епоху відеоігри перестали бути лише розвагою і перетворилися на потужний культурний та економічний феномен. Глобальна ігрова індустрія у 2023 році перевищила 180 млрд доларів США, і одним із найбільш обговорюваних інноваційних напрямів стало використання блокчейну та NFT у геймдизайні [1]. Ці технології дають змогу змінити саму концепцію ігрового процесу, дозволяючи гравцям володіти унікальними цифровими предметами, створювати вторинні ринки та навіть заробляти реальні кошти у віртуальних світах.

NFT (non-fungible tokens) є унікальними цифровими сертифікатами, що підтверджують право власності на конкретний об’єкт, зазвичай зображення, 3D-модель чи віртуальний предмет. У контексті геймдизайну NFT дозволяють перетворити ігровий контент на активи з реальною цінністю. Якщо раніше гравець міг володіти зброєю, костюмом чи артефактом лише в межах однієї гри, то завдяки NFT він може виставити цей предмет на продаж на відкритому маркетплейсі, обміняти на інші токени або використати в іншому ігровому середовищі, якщо воно підтримує сумісність [2].

Важливою інновацією є концепція «play-to-earn», яка базується на блокчейн-економіці. Гравець стає не лише споживачем, а й активним учасником цифрової економіки, отримуючи винагороди у вигляді токенів за виконання завдань, участь у боях чи створення контенту. Одним із перших успішних прикладів стала гра *Axie Infinity*, у якій користувачі збирали, тренували та обмінювали віртуальних істот, отримуючи криптовалюту, яку можна було вивести у реальні гроші [3]. Така модель кардинально змінює баланс між розробниками та гравцями: останні набувають фінансової зацікавленості у розвитку гри, а сама спільнота стає рушієм ігрового процесу.

Разом з тим блокчейн-технологія забезпечує прозорість і безпеку транзакцій. Кожна операція фіксується у децентралізованому реєстрі, що виключає можливість підробки чи маніпуляції з боку адміністрації гри. Це створює новий рівень довіри між розробниками та користувачами і може стати фундаментом для формування децентралізованих ігрових екосистем (GameFi). У таких системах гравці володіють не лише ігровими предметами, а й частиною самої гри у вигляді токенів управління (governance tokens), що дає їм право брати участь у прийнятті рішень щодо розвитку проєкту [4].

Водночас впровадження NFT у геймдизайн породжує низку проблем і викликів. Одним із найбільш обговорюваних є екологічний аспект. Багато блокчейн-мереж, особливо ті, що працюють на алгоритмах Proof-of-Work, споживають величезні обсяги електроенергії, що призводить до збільшення викидів вуглецю [5]. Хоча сучасні мережі намагаються перейти на більш екологічні алгоритми (наприклад, Proof-of-Stake), дискусії довкола «зеленості» NFT залишаються актуальними. Іншим проблемним аспектом є спекулятивний характер NFT-ринку. Часто токени купуються не заради ігрового процесу, а з метою інвестицій і перепродажу, що може призводити до утворення «бульбашок» і дестабілізувати внутрішньоігрову економіку.

Юридичні питання також відіграють важливу роль. Правовий статус NFT і цифрових активів досі чітко не визначений у багатьох країнах. Неврегульованість стосується питань оподаткування, захисту прав інтелектуальної власності та відповідальності розробників у разі технічних збоїв чи шахрайських схем [6]. Це стримує широке впровадження блокчейн-ігор у глобальний ринок.

Окремо варто згадати і про реакцію геймерської спільноти. Далеко не всі користувачі позитивно сприймають інтеграцію NFT у улюблені ігри. Деякі вважають це способом додаткової монетизації з боку компаній, що знижує якість геймплею. Прикладом може бути негативна реакція фанатів серії *S.T.A.L.K.E.R.* на оголошення про впровадження NFT-елементів, через що розробники були змушені відмовитися від цієї ідеї [7].

Попри виклики, перспективи інтеграції блокчейну та NFT у геймдизайн залишаються значними. У майбутньому можна очікувати появу ігор, де NFT будуть не просто косметичними елементами, а основними частинами ігрової механіки. Інтеграція з віртуальною (VR) та доповненою реальністю (AR) дозволить створювати більш захопливі світи, де цифрові об’єкти матимуть реальну економічну цінність. Також активно розвивається концепція метавсесвітів, де NFT виступають у ролі «будівельних блоків» для формування єдиного цифрового простору [8].

Отже, NFT та блокчейн у геймдизайні можна розглядати як технологічну революцію, що має потенціал трансформувати ігрову індустрію. Вони створюють нові форми взаємодії між розробниками й гравцями, змінюють економічні моделі та формують умови для виникнення децентралізованих цифрових світів. Водночас їхнє широке впровадження потребує вирішення низки екологічних, правових і соціальних проблем. Майбутнє геймдизайну багато в чому залежатиме від того, наскільки успішно буде подолано ці виклики та інтегровано нові технології у баланс інтересів гравців, розробників і суспільства в цілому.

Список використаної літератури

[1] “3D Visualization in Science and Engineering,” ResearchGate, 2018. [Online]. [1] DappRadar, “NFT and Gaming Report Q3 2023,” 2023. [Online]. Available: https://dappradar.com/reports/nft-gaming-report-q3-2023 [Accessed: September 25, 2025].

[2] W. Chen, “NFTs in Gaming: Ownership and Economy,” *Blockchain Research Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 45–59, 2022.

[3] J. D. Lee, “Play-to-Earn Models and the Rise of Blockchain Gaming,” *Games and Culture*, vol. 18, no. 1, pp. 21–39, 2023.

[4] A. Schär, “Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets,” *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, vol. 103, no. 2, pp. 153–174, 2021.

[5] “The Environmental Impact of NFTs,” Investopedia, 2024. [Online]. Available: https://www.investopedia.com/nfts-and-the-environment-5220221 [Accessed: September 26, 2025].

[6] G. Finck and H. Moscon, “NFTs and the Law: Challenges for Regulation and Enforcement,” *European Law Journal*, vol. 28, no. 3, pp. 371–390, 2022.

[7] “S.T.A.L.K.E.R. 2 Developer cancels NFT plans after blowback,” Polygon, 2021. [Online]. Available: https://www.polygon.com/22841151/stalker-2-nft-content-canceled-reaction/ [Accessed: September 27, 2025].

[8] M. Ball, *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything*. New York: Liveright, 2022.

УДК 004.9

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПО РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ІГОР ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ «TOP GAMES»

Зіманков А.М., Тройніна А.С., Рувінська В. М.
(7473552@stud.op.edu.ua, anastasiyatroinina@gmail.com, iolnlen@te.net.ua)
Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)

У тезі розглядається процес аналізу та проєктування інформаційної системи по розповсюдженню ігор і програмних застосунків «Top Games». Метою роботи є виявлення взаємозв'язків між системою та зовнішнім середовищем, визначення вимог, що висуваються з боку споживачів, постачальників, державних органів та фінансових структур, а також формування проблемних ситуацій, які виникають у процесі функціонування системи.

Актуальність дослідження зумовлена стрімким зростанням цифрової дистрибуції [1] програмного забезпечення, об'ємами продажів відеоігор [2] та необхідністю забезпечення стабільності, безпеки й ефективності таких систем. Для досягнення поставленої мети було побудовано діаграму «чорної скриньки», яка відображає взаємодію сервісу з елементами зовнішнього середовища, зокрема користувачами, розробниками, банківськими установами та державними регуляторами.

Метою роботи є аналіз і проєктування інформаційної системи для розповсюдження ігор та програмних застосунків «Top Games», визначення вимог зовнішнього середовища (споживачів, розробників, державних органів, фінансових структур) та внутрішніх вимог системи, а також виявлення проблемних ситуацій, що виникають під час функціонування системи, для подальшої оптимізації її ефективності, надійності та конкурентоспроможності.

Top Games визначає стратегію розвитку платформи, бізнес-модель і правила взаємодії з розробниками та користувачами. Вона координує технічні, фінансові й маркетингові процеси та забезпечує стабільне функціонування системи.

Ігрові студії та видавці виступають постачальниками контенту, створюючи ігри та програми, які поширюються через Top Games. Вони отримують доступ до глобальної аудиторії та прибуток від продажів, тоді як платформа бере комісію за послуги дистрибуції.

Споживачі є основними користувачами платформи, що формують попит, оцінюють якість контенту через рейтинги й відгуки, беруть участь у спільнотах та створюють додатковий контент. Саме вони є головним джерелом доходів, купуючи ігри та внутрішньоігрові товари.

Платіжні системи забезпечують здійснення фінансових операцій, підтримуючи різні валюти та методи оплати. Вони гарантують безпеку транзакцій і зручність користувачів, що сприяє доступності платформи у світі.

Конкуренти (Epic Games Store, GOG, Microsoft Store та інші) впливають на діяльність Top Games, стимулюючи його до вдосконалення сервісів, запровадження нових функцій і вигідної цінової політики. Їхня присутність змушує Top Games залишатися конкурентоспроможним.

Регулятори формують правове поле діяльності, встановлюючи вимоги щодо авторського права, оподаткування та захисту персональних даних. Вони впливають на доступність контенту в різних країнах та визначають правила легальної роботи Top Games на міжнародному ринку.

Враховуючи вище зазначені дані, було побудовано модель «чорної скриньки», яка продемонстрована на рис. 1.

На рис. 1 можна побачити зв'язки між системами зовнішнього середовища. Спочатку компанія отримує від постачальників — інді-розробників та видавців — доступ до розповсюдження ігор та програмного забезпечення, що забезпечує наповнення каталогу платформи. Після реалізації продукції компанія перераховує розробникам частину прибутку у вигляді відсотків від продажів. Далі компанія здійснює доставку цифрових копій ігор та програмного забезпечення клієнтам, які їх придбали, а клієнти, у свою чергу, надсилають оплату за отримані продукти, формуючи основний фінансовий потік системи. Частина отриманих коштів спрямовується державним органам, зокрема до податкової служби, у вигляді обов'язкових платежів та податків. Водночас компанія може отримувати від держави субсидії чи дотації на підтримку своєї діяльності або розвиток цифрової інфраструктури. Банки виступають фінансовими партнерами — вони обслуговують рахунки компанії, надають кредити для розвитку

бізнесу та забезпечують проведення всіх фінансових транзакцій між учасниками системи. Усі ці зв'язки формують цілісну екосистему, у межах якої компанія Top Games функціонує, забезпечуючи стабільний обіг фінансових, інформаційних та цифрових потоків, а також підтримуючи взаємодію між ключовими агентами ринку.

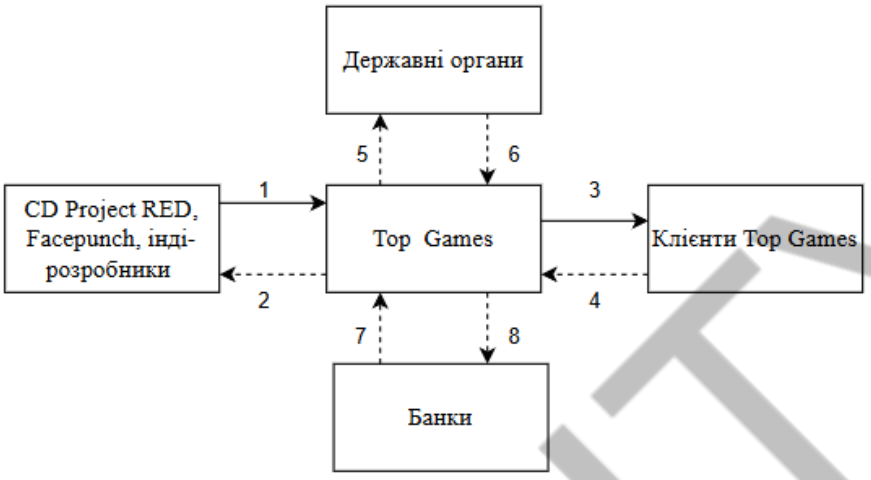


Рисунок 1 – Модель «чорної скриньки» системи Top Games

У ході аналізу сформовано вимоги до системи. З боку споживачів: висока швидкість завантаження, стабільна робота платформи з доступністю не менше 99,5%, безпечні платежі та цілодобова технічна підтримка. Розробники вимагають прозорої звітності про продажі та своєчасних виплат. Державні органи: дотримання законодавства щодо захисту персональних даних та сплати податків. Внутрішні вимоги компанії полягають у досягненні рентабельності не нижче 25% і регулярному оновленні системи [3].

Під час аналізу виявлено низку проблемних ситуацій: перевищення часу завантаження ігор понад норматив, затримки у виплатах розробникам, перевантаження служби підтримки, нестабільність фінансових операцій через неузгодженість банківських API. Виявлені проблеми на входах системи (низька якість технічної документації, фінансові затримки) призводять до проблем на виході — зниження якості обслуговування користувачів, втрати довіри та падіння конкурентоспроможності.

Висновок. Проведений аналіз інформаційної системи «Top Games» показав, що вона є складною багаторівневою структурою, яка взаємодіє з різними елементами зовнішнього середовища — постачальниками, клієнтами, державними органами та фінансовими установами. Побудована модель дозволяє наочно простежити всі ключові зв'язки між учасниками системи, зокрема рух інформаційних, фінансових та матеріальних потоків. Виявлено, що ефективність функціонування сервісу безпосередньо залежить від узгодженості взаємодії між цими агентами: своєчасного надходження коштів, стабільності платформи, прозорості звітності перед розробниками та дотримання законодавчих вимог. Таким чином, для підвищення результативності роботи системи «Top Games» необхідно зосередити увагу на оптимізації внутрішніх процесів, автоматизації фінансових операцій, поліпшенні технічної підтримки та розширенні співпраці з партнерами. Це забезпечить стабільний розвиток компанії, зростання довіри користувачів і конкурентоспроможність на міжнародному ринку цифрової дистрибуції.

Список використаної літератури:

[1] Digital Supply Chain Management in the Videogames Industry: A Systematic Literature Review / Stephen Kelly, Vojtech Klézl, John Israilidis, 2021.

[2] Video Games in the 21st Century: The 2020 Impact Report / Simon Tripp, Martin Grueber, Dylan Yetter, Joseph Simkins.

[3] Управління проєктами в ІТ-галузі: Інструменти та керування ризиками / Храпкін О. М., Кіндрат О. В., Чопей Р. С.

УДК 004.738.5

РОЗРОБКА ВЕБРЕСУРСУ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ОНЛАЙНОВИХ ІГОР

Кравченко А. О. (anna611552@gmail.com)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі розглянуто основні підходи до створення вебресурсу для розміщення онлайнових ігор. Проаналізовано сучасні платформи, визначено їхні переваги та недоліки. Запропоновано власний варіант системи GameVerse, що поєднує простоту користування, адаптивний дизайн та можливості адміністрування контенту. Практична цінність роботи полягає у створенні ресурсу, який може стати основою для розширення студентських проєктів у сфері геймдеву.

Постановка проблеми. Онлайн-ігри нині є однією з найпоширеніших форм цифрового дозвілля та водночас важливим напрямом розвитку сучасних інформаційних технологій. Проте чинні вебплатформи для їхнього розміщення, такі як Poki, Kongregate чи CrazyGames, мають низку обмежень: відсутність зручного поділу ігор за категоріями, проблеми з локалізацією та складний інтерфейс для новачків [1–3]. У наукових дослідженнях підкреслюється, що ігрова індустрія є невід'ємною складовою IT та суттєво впливає не лише на розважальну сферу, а й на освітні та соціальні процеси [4], [5].

Крім цього, вебресурси для розміщення ігор повинні враховувати сучасні підходи вебдизайну: забезпечувати адаптивність, простоту взаємодії та інструменти адміністрування. У працях із веброзробки наголошується на необхідності нових рішень, що гармонійно поєднували б технічну функціональність і зручність користувача [6], [7].

Таким чином, основна проблема полягає у відсутності універсальної платформи для публікації ігор, яка поєднувала б простоту використання, сучасний дизайн, адаптивність до різних пристроїв та розширені адміністративні можливості.

Перелік вирішених завдань. У ході роботи було здійснено аналіз найпопулярніших майданчиків для розміщення онлайнових ігор (Poki, Kongregate, CrazyGames), що дозволило окреслити їхні ключові функції та виявити недоліки [1–3]. Додатково було досліджено сучасні принципи вебдизайну й вебпрограмування, які формують основу для створення адаптивних і зручних вебресурсів [6], [8]. Окрему увагу приділено ролі ігрової індустрії як частини IT та її впливу на розвиток освітнього середовища. На базі цього аналізу було розроблено власний вебресурс GameVerse, що реалізує пошук ігор, їхню категоризацію, систему вподобайок та містить інструменти адміністрування. Для створення проєкту застосовано сучасні технології HTML, CSS, JavaScript у поєднанні з Firebase і ReactJS, що забезпечує зручність роботи, функціональність і адаптивність [9], [10].

Суть дослідження. Метою дослідження було створення вебресурсу GameVerse, який слугує універсальною платформою для публікації онлайнових ігор. У процесі розробки увага зосереджувалася на аналізі відомих платформ і формуванні власної концепції, що поєднує простоту використання, гнучкий інтерфейс і сучасні інструменти адміністрування. Порівняння таких рішень, як Poki, Kongregate, CrazyGames, дало змогу виокремити їхні переваги (великий вибір ігор, підтримка мобільних пристроїв) і водночас визначити суттєві недоліки: обмежені можливості налаштування, відсутність локалізації українською та складність керування контентом [1–3].

На цій основі було створено власний ресурс, архітектура якого поєднує зручність для користувачів і повний набір інструментів для адміністратора: додавання, редагування та видалення ігор, створення категорій, рейтингування за вподобайками та моніторинг активності. Для інтерфейсу застосовано HTML і CSS (структурування й оформлення контенту), JavaScript (інтерактивність), а також ReactJS, що дозволяє реалізувати компонентний і адаптивний дизайн [9], [10]. Як бекенд обрано Firebase, який забезпечує хмарне збереження даних та автентифікацію, гарантує безпеку й стабільність роботи системи.

Окрема увага приділена адаптивності: ресурс протестовано як на стаціонарних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях, що відповідає сучасним тенденціям веброзробки. Також розглянуто значення ігрової індустрії як складової IT та її вплив на розвиток цифрових сервісів і освітніх практик [4], [5]. Завдяки цьому GameVerse позиціонується не лише як

розважальна платформа, а й як навчально-дослідницький інструмент для студентів та початківців у сфері геймдизайну.

Отже, суть дослідження полягає у створенні нового вебресурсу, який поєднує сучасні технології, функціональність і простоту використання та може застосовуватися як у сфері цифрових розваг, так і в освітньо-науковому середовищі.

Висновки. У результаті проведеної роботи було створено вебресурс GameVerse, що інтегрує сучасні вебтехнології та набір необхідних інструментів для публікації онлайнових ігор. Аналіз існуючих платформ дозволив виокремити їхні сильні й слабкі сторони та врахувати ці дані під час проєктування власного рішення. Розроблений ресурс вирізняється адаптивним інтерфейсом, пошуком ігор за назвою, системою категоризації, механізмом уподобань і адміністративними функціями, що робить його зручним як для користувачів, так і для розробників. Таким чином, GameVerse можна розглядати як інноваційний інструмент для популяризації інді-ігор, підтримки студентських ініціатив та розвитку практичних умінь у сфері вебпрограмування та геймдизайну.

Список використаної літератури

1. “Poki – Online Games Platform.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://poki.com/ (Дата звернення: 25.09.2025 р.)

2. “Kongregate – Free Games Online.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.kongregate.com/ (Дата звернення: 25.09.2025 р.)

3. “CrazyGames – Free Online Games on CrazyGames.com.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.crazygames.com/ (Дата звернення: 25.09.2025 р.)

4. О. С. Кушнерьов, М. О. Каща, Т. В. Доценко, “Роль ігрової індустрії як складової інформаційних технологій,” Наукові праці СумДУ, 2021.

5. К. М. Мехед, “Ставлення майбутніх ІТ-фахівців до онлайн-ігор. Гейміфікація навчання,” Вісник ЧНПУ, 2021.

6. О. Г. Трофименко, О. Б. Козін, О. В. Задерейко, О. Є. Плачінда, Веб-технології та веб-дизайн: навчальний посібник. Одеса: Фенікс, 2019.

7. О. Н. Романюк, Д. І. Катєльніков, О. П. Косовець, Веб-дизайн і комп’ютерна графіка: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2007. – 147 с.

8. І. Л. Бородкіна, Г. О. Бородкін, Web-технології та Web-дизайн: застосування мови HTML для створення електронних ресурсів: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2020. – 212 с.

9. Firebase, “Firebase Documentation – Build and deploy apps.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://firebase.google.com/docs (Дата звернення: 25.09.2025 р.)

10. ReactJS, “React – A JavaScript library for building user interfaces.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://reactjs.org/ (Дата звернення: 25.09.2025 р.)

УДК 004.388.4:316.77

ПАРАСОЦІАЛЬНИЙ НАРАТИВ: ВПЛИВ СТРІМІНГОВОЇ КУЛЬТУРИ ТА МЕТА-ЗНАННЯ НА СПРИЙНЯТТЯ ІГРОВИХ СЮЖЕТІВ

Логінов Д. О. (777loginovdanja@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

Робота присвячена аналізу феномену парасоціального наративу у сучасних відеоіграх. Зазначено, що актуальність дослідження обумовлена недостатнім вивченням впливу зовнішніх медіа-факторів, таких як стрімінгові платформи та колективні бази знань, що негативно впливає на цілісне розуміння сучасного ігрового досвіду. В результаті аналізу предметної області визначено ключові складові парасоціального наративу: канонічний внутрішньоігровий наратив, перформативний наратив стрімера та колективний наратив спільноти. Зазначено, що визначення та систематизація цих елементів дозволяє сформувати нову модель сприйняття ігрового сюжету, що враховує сучасну медіа-екосистему, та гарантувати більш глибоке розуміння взаємодії гравця з ігровим продуктом.

Останнім часом відеоігри знаходяться в центрі уваги не лише гравців, а й глядачів. Згідно з даними аналітичної компанії *Mordor Intelligence*, ринок ігрового стрімінгу у 2025 році досяг обсягу у 8,40 мільярда доларів США і, за прогнозами, продовжить демонструвати стрімке зростання [1]. Цей показник свідчить про високий культурний та економічний вплив ігор за межами безпосередньої взаємодії.

На сьогоднішній день не існує систематизованого аналізу того, як саме досвід перегляду трансляцій та участь у житті ігрових спільнот змінюють сприйняття гри окремим користувачем. Відсутність такої класифікації є значним фактором, що ускладнює аналіз ігрового продукту. Це призводить до розриву між авторським задумом розробників та реальним досвідом гравця, що, в свою чергу, може спричиняти непередбачувані реакції аудиторії. Експериментальні підходи до аналізу, які ігнорують зовнішні фактори, ускладнюють формування цілісного уявлення про ігровий досвід. Для вирішення цієї проблеми пропонується методологічний підхід, що базується на ідентифікації ключових шарів наративу, які впливають на сприйняття гравцем ігрового процесу.

Для розуміння парасоціального наративу спочатку дамо його визначення. Це багатошарова система сприйняття, де головною метою є не лише проходження гри, а й участь у соціальному досвіді, що її оточує. Основний акцент робиться на взаємодії трьох ключових елементів, що формують унікальний для кожного гравця контекст. У цьому аспекті ігровий сюжет стає своєрідним культурним конструктом, який передає не лише задум автора, а й колективну інтерпретацію спільноти.

В результаті проведених досліджень визначено ключові компоненти, що впливають на сприйняття гри. До них відносяться: канонічний наратив, перформативний наратив стрімера та колективний наратив спільноти. Наявність цих трьох взаємопов’язаних шарів формує нову модель сприйняття ігрового досвіду (рис. 1).

Рис. 1 – Структурна модель парасоціального наративу

Канонічний наратив є ключовим фактором, що визначає базовий сюжет, персонажів та події, закладені розробником. Це основа, яка забезпечує відображення авторського бачення та є відправною точкою для всіх подальших інтерпретацій.

Рис. 2 – Гравець «*Let Me Solo Her*»

Перформативний наратив – це шар, що створюється стрімером під час трансляції. Він включає його емоційні реакції, коментарі, взаємодію з чатом та унікальний стиль гри. Цей шар часто є визначальним для глядачів, які формують своє ставлення до гри через особистість стрімера та його парасоціальні стосунки з аудиторією.

Колективний наратив формується у спільноті гравців через обговорення, меми, вікі-статті та фанатські теорії. Він створює «мета-знання», яке гравець отримує ще до початку гри. Яскравим прикладом є феномен «*Let Me Solo Her*» з гри «*Elden Ring*», де анонімний гравець, що допомагав іншим перемагати складного боса, перетворився на легенду спільноти, створюючи цілий пласт мемів та історій, що існував абсолютно незалежно від задуму розробників (рис. 2) [2].

Іншим показовим випадком є мем «*Press F to Pay Respects*» з гри «*Call of Duty: Advanced Warfare*». Сцена, що була задумана розробниками як серйозний та траурний момент, була сприйнята спільнотою як незграбна і розкритикована, що перетворило її на іронічний інтернет-мем для вираження саркастичного співчуття (рис. 3) [3].

Рис. 3 – Сцена «*Press F to Pay Respects*»

Визначення та систематизація класифікації цих наративних шарів дозволяє спростити аналіз сприйняття ігор в умовах сучасної медіа-культури, гарантувати його цілісність та отримання більш повного уявлення про культурний феномен відеоігор.

Список використаної літератури

[1] «Game Streaming Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030)» // Mordor Intelligence: [Веб-сайт]. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/game-streaming-market (дата звернення: 20.10.2025).

[2] «Гравець пройшов Elden Ring, перетворивши кожного ворога в найскладнішого боса» // УНІАН: [Веб-сайт]. URL: https://www.unian.ua/games/igrok-proshel-elden-ring-prevrativ-kazhdogo-vraga-v-samogo-slozhnogo-bossa-video-12235770.html (дата звернення: 20.10.2025).

[3] «The Origin Of The Press F To Pay Respects Meme» // TheGamer: [Веб-сайт]. URL: https://www.thegamer.com/press-f-to-pay-respects-call-of-duty-meme-origin (дата звернення: 20.10.2025).

УДК 004.4

ІНТЕРАКТИВНА НОВЕЛА-СИМУЛЯТОР

Лукашук Г.О., Герасименко А.А, Селіхова Р.Р., Тимошенко Д.О.
(lukashuk.hanna@pdaba.edu.ua, timosenkod85@gmail.com)
Український державний університету науки і технологій,
Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна)

У роботі розроблено прототип комп'ютерної гри інтерактивної новели-симулятора, що поєднує казуальні механіки з багатошаровим наративом. Інтерактивна новела-симулятор на базі

крос-платформного ігрового рушія Unity дозволяє оптимізувати управління сценами та інтегрувати різноманітні плагіни, а спеціалізована мова розмітки від Inkle Studios дає можливість створювати діалоги через систему knots (вузлів), підтримуючи умовну логіку, змінні та теги для синхронізації з ігровою структурою.

Сучасний ігровий ринок демонструє стійкий попит на нішеві жанри, що досліджують психологічні та соціальні аспекти через інтерактивний досвід. Інді-проєкти до яких відносяться: «Papers, Please», «Cart Life», «VA-11 Hall-A» та «Dead Plate» довели комерційну спроможність ігор із глибоким емоційним підтекстом навіть за умови простих механік. Проєкт «Щюрячий відділ» реалізує концепцію симулятора походу в магазин із елементами психологічної новели, де рутинна активність стає основою для розкриття міжособистісних стосунків та внутрішніх конфліктів персонажів.

Розробка функціонального прототип комп'ютерної гри, що поєднує казуальні механіки з багатошаровим наративом, і продемонструвати ефективність модульної архітектури для розробки інтерактивних історій.

Розробку, комп'ютерної гри інтерактивної новели-симулятора «Щюрячий відділ» (рисунок 1), здійснено на базі Unity Engine 2022.3 LTS — крос-платформного ігрового рушія з компонентно-орієнтованою архітектурою. Unity забезпечує гнучке управління сценами, інтеграцію з різноманітними плагінами та можливість експорту на множину платформ (Windows, macOS, WebGL) [1].

Програмну логіку реалізовано мовою C# 9.0, що надає переваги статичної типізації, автоматичного управління пам'яттю через garbage collector, підтримки LINQ для роботи з колекціями та events/delegates для слабко зв'язаної архітектури [1].

Для створення розгалуженого наративу використано Ink 1.1.1 — спеціалізовану мову розмітки від Inkle Studios. Ink дозволяє структурувати діалоги через систему knots (вузлів), підтримує умовну логіку, змінні та теги для синхронізації з ігровою логікою [2, 3].

Рисунок 1 – Головний екран «Щурячий відділ»

Візуальну складову (рисунок 2) створено з використанням:

— для створення персонажів - графічний редактор піксельної графіки та її анімації відеоігр Aseprite;

— для детального опрацювання UI-елементів, портретів персонажів у діалогових вікнах та фонових композицій —графічний редактор, для цифрових ілюстраторів, аніматорів та художників, які створюють комікси, мангу та вебтуни Clip Studio Paint [5];

— для прототипування інтерфейсу та тестування UX-рішень — графічний редактор Figma.

Рисунок 2 – Візуальне середовище виконане в CSP

Архітектуру побудовано за принципами SOLID, що забезпечують масштабованість і підтримку коду:

— *Single Responsibility Principle:* кожен клас відповідає за один аспект функціональності (DialogueManager — діалоги, PurchaseSystem — транзакції, MoneyManager — фінанси);

— *Open/Closed Principle:* системи відкриті для розширення через наслідування та композицію, але закриті для модифікації базового коду;

— *Liskov Substitution Principle:* базові класи (Item) можуть бути замінені похідними без порушення логіки;

— *Interface Segregation:* інтерфейси розділені за функціональністю (IInteractable для взаємодії, ISaveable для персистентності);

— *Dependency Inversion:* високорівневі модулі не залежать від низькорівневих; обидва залежать від абстракцій.

Використано класичні патерни проєктування:

— *Singleton* для глобально доступних менеджерів (MoneyManager, ItemStorageManager);

— *Observer* через UnityEvent для подієво-орієнтованої комунікації;

— *State Machine* для управління станами діалогу та ігрового процесу.

Система покупок побудована на багаторівневій валідації: PurchaseSystem (рисунок 3), що координує транзакції, MoneyManager валідує фінансові операції, а Collector обробляє фізичне переміщення предметів. Механіку drag-and-drop реалізовано через Unity Event System із callback OnTransformParentChanged для автоматичного відстеження змін без постійного моніторингу.

Персистентність даних забезпечує ItemStorageManager через серіалізацію ID предметів замість прямих посилань на GameObject. Це гарантує стабільність збережень при перезавантаженні сцен та незалежність від конкретних екземплярів об'єктів [1, 3].

Діалогова система інтегрує Ink Runtime з Unity: DialogueManager створює екземпляр Story з JSON-контенту, обробляє теги для керування анімаціями портретів та передає події MusicManager для зміни аудіосупроводу залежно від емоційного контексту [2, 4].

Архітектурні рішення. UML-моделювання підтвердило ефективність розділення відповідальностей: DialogueManager управляє наративом, PurchaseSystem координує транзакції, MoneyManager валідує фінансові операції. Модульна структура дозволяє розширювати функціонал без зміни існуючого коду.

Наративний дизайн. Система тегування (#portrait:1-5) синхронізує емоційні стани з візуальним представленням, створюючи багатошарове сприйняття: поверхневий рівень (звичайна розмова), підтекст (натяки на глибші проблеми), символічний рівень (метафоричні образи). Поступова еволюція діалогів від професійної ввічливості до меланхолійних роздумів про втрату орієнтації в часі формує психологічний портрет касира без прямих експозицій.

Візуальна мова. Піксельна естетика в стилі чібі поєднана з аніме-портретами для діалогових вікон. Колірна палітра (блідо-зелені, кремові, світло-коричневі тони з акцентним фіолетовим) створює атмосферу затишку з відтінком меланхолії. Ізометрична перспектива магазину забезпечує цілісний огляд простору та відчуття контролю.

НТБОНТУ

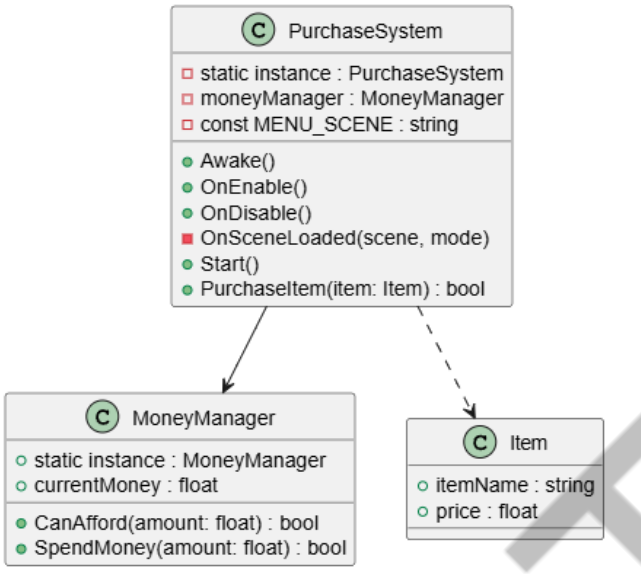


Рисунок 3 – Діаграма класів PurchaseSystem

Тестування продуктивності. Кешування посилань на компоненти під час ініціалізації замість FindAnyObjectByType знизило навантаження на 40%. Автоматичне розширення інвентаря через динамічне створення слотів забезпечує необмежену місткість без попереднього виділення пам'яті. Система fallback-механізмів гарантує роботу навіть при відсутності окремих компонентів (InventoryManager, AudioMixer).

Розроблена інтерактивної новели-симулятора, що має модульну архітектуру з чітким розділенням відповідальностей забезпечує масштабованість – додавання нових персонажів, локацій або сюжетних ліній не вимагає рефакторингу існуючого коду. Інтеграція Ink дозволяє нетехнічним спеціалістам редагувати діалоги без перекомпіляції, що прискорює ітераційний дизайн наративу. Отриманий прототип придатний як навчальний кейс для вивчення інтерактивного сторітелінгу та є базою для комерційного продукту після розширення контенту до 2-3 годин геймплею.

Список використаної літератури

[1] Unity Technologies. Unity Documentation. [Online]. Доступно: https://docs.unity.com.

[2] Inkle Studios. Ink Documentation. [Online]. Доступно: https://www.inklestudios.com/ink.

[3] Brackeys. How to make a Video Game in Unity. YouTube. [Online].Доступно: https://www.youtube.com/playlist?list=PLPV2KyIb3jR53Jce9hP7G5xC4O9AgnOuL.

[4] Shaped by Rain Studios. How to make a Dialogue System with Choices in Unity2D | Unity + Ink tutorial, 2021. [Online]. Доступно: https://www.youtube.com/watch?v=vY0Sk93YUhA.

[5] Game Code Library. Drag and Drop Inventory UI - Top Down Unity 2D #8, 2024. [Online]. Доступно: https://www.youtube.com/watch?v=wlBJ0yZOYfM.

УДК 004.946:339.138

ІНТЕРАКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ВЕБ ДИЗАЙНУ ЯК ЗАСІБ ЗАЛУЧЕННЯ НОВИХ КОРИСТУВАЧІВ

Матюшин Л. С., Білець Д. Ю., Левикін І. В.
(leonid.matyushin@nure.ua, daria.bilets@nure.ua, ihor.levykin@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

В тезах досліджується вплив інтерактивних елементів вебдизайну на залучення нових користувачів та підвищення комерційної ефективності вебресурсів. Розглядаються поведінкові

моделі користувачів при взаємодії з динамічними середовищами. Проведено експериментальне дослідження варіантів вебсторінок з різним ступенем інтерактивності. Визначено оптимальні стратегії використання інтерактивних елементів для покращення показників залученості та монетизації. Результати підтверджують, що збалансоване застосування мікроанімацій, інтерактивних форм та візуальних підказок значно покращує користувацький досвід і комерційні показники вебресурсів.

У сучасному вебдизайні інтерактивні елементи є одним із засобів залучення нових користувачів і водночас інструментом підвищення комерційної ефективності вебресурсів. Якщо раніше сайти здебільшого виконували інформаційну функцію, то сьогодні вони перетворилися на динамічні середовища, що активно взаємодіють з аудиторією, впливають на прийняття рішень та створюють основу для майбутньої комерційної взаємодії з платформою.

На сьогоднішній день залучення нових користувачів є важливою ціллю будь-якого вебресурсу. В умовах високої конкуренції у цифровому просторі перше враження, яке створює веб-інтерфейс, часто визначає подальшу поведінку користувача. Якщо інтерфейс виглядає складним, перевантаженим чи нецікавим, відвідувач, ймовірно, залишить сайт у перші секунди. Якісна взаємодія між інтерфейсом і користувачем визначає ефективність цифрового продукту [1]. Використання інтерактивних елементів - мікроанімацій, інтерактивних форм, візуальних підказок, адаптивних блоків створює ефект залучення, полегшує орієнтацію в інформаційному середовищі. Це підвищує довіру до ресурсу, знижує бар’єр входу для нових відвідувачів і стимулює їх до подальшої взаємодії.

Перший контакт користувача з вебресурсом часто визначає його подальшу поведінку. Інтуїтивна навігація, інтерактивні підказки, мікроанімації, адаптивні блоки та елементи гейміфікації стимулюють відвідувача залишитися на сайті довше. Це впливає на такі показники монетизації, як конверсія, середній час перебування та глибина перегляду сторінок. Інтерактивність - це здатність системи активно і різноманітно реагувати на дії користувача [3]. Саме тому від рівня інтерактивності напряму залежить якість користувацького досвіду.

Водночас варто зазначити, що інтерактивність у вебдизайні не може розглядатися як суто декоративний інструмент. Її головне завдання полягає у створенні сприятливих умов для зручної, зрозумілої та цікавої взаємодії. Інтерактивність створює додану цінність для користувача: вона спрощує процес оформлення замовлення, підвищує ефективність рекламних інтеграцій і полегшує збір даних через інтерактивні форми.

У наукових дослідженнях, присвячених UX/UI-дизайну багато уваги приділяється саме поведінковим моделям користувачів. Інтерактивні елементи, зокрема hover-ефекти, анімації, інтерактивна навігація чи елементи гейміфікації, створюють середовище, у якому користувач отримує миттєвий зворотний зв’язок. Це формує позитивний досвід, підсилює емоційний зв’язок із ресурсом та підвищує ймовірність того, що новий відвідувач стане постійним користувачем. Таким чином, інтерактивність можна розглядати як один із чинників, що безпосередньо впливають на лояльність та готовність аудиторії взаємодіяти з брендом чи продуктом.

Метою дослідження є вивчення впливу інтерактивних елементів вебдизайну на залучення нових користувачів, а також визначення оптимальних стратегій інтерактивності для підвищення монетизації вебресурсів. Для цього було розроблено кілька експериментальних варіантів вебсторінок із різним ступенем інтерактивності: від мінімального (з акцентом на статичному контенті) до насиченого (із використанням широкого спектра динамічних елементів). аналіз показників залученості, глибини перегляду та показника відмов дає змогу оцінити ефективність інновацій у UI/UX-дизайні для просування вебресурсів [2]. Подальший аналіз реакції користувачів дозволив виявити закономірності у сприйнятті та визначити оптимальні сценарії застосування інтерактивних елементів.

Результати дослідження підтверджують, що стратегічне використання інтерактивних елементів призводить до значного покращення показників, критичних для майбутньої монетизації. Оптимальний рівень інтерактивності збільшує середній час перебування на сайті, підвищує глибину перегляду, зменшує показник відмов та збільшує частоту повторних відвідувань. Ці покращення створюють міцну основу для різних моделей монетизації: вищі показники залученості підвищують привабливість для рекламодавців, а активна спільнота навколо ресурсу створює передумови для монетизації через підписки, мерчандайз або додаткові послуги. Правильно

розроблені інтерактивні елементи можуть значно підвищити конверсію та комерційну ефективність вебресурсів [4]. Водночас надмірна інтерактивність може мати протилежний ефект: уповільнення роботи сайту, інформаційне перевантаження чи дратівливий інтерфейс здатні знизити конверсію і відштовхнути потенційних клієнтів. Тому інтерактивні засоби необхідно впроваджувати виважено, з урахуванням стратегій UX/UI-дизайну та бізнес-цілей.

Таким чином, інтерактивні елементи виступають інструментом утримання уваги користувачів, підвищення їх лояльності, а також важливим чинником успішної монетизації вебресурсів. Вони забезпечують оптимальний користувацький досвід, сприяють формуванню довіри і збільшують кількість нових відвідувачів.

Список літератури

[1] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things*, Rev. and expanded ed. New York: Basic Books, 2013.

[2] С. Самулінас та Н. Житєньова, "Інновації в UI/UX-дизайні як ключ до успішного просування вебресурсів," *Professional Art Education*, т. 6, № 1, с. 93-106, 2025.

[3] О. Войтенко, "Проектування інтерактивних медіа систем: їх розвиток та застосування у сучасному світі," Житомирський державний університет ім. І. Франка, 2012.

[4] Л. А. Петрова та В. М. Гаврилов, "Монетизація цифрового контенту через оптимізацію користувацького досвіду," *Економіка та суспільство*, № 61, с. 145-152, 2024.

УДК 004.51

ПРИНЦИПИ UX/UI-ДИЗАЙНУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УСПІШНОГО ТОРГОВОГО БІЗНЕСУ

Мирошниченко Є.Є. (yelyzaveta.myroshnychenko@cs.khpi.edu.ua)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У статті досліджується ключова роль UX/UI дизайну для підвищення конверсії інтернет-магазину, що є основою для успішного торгового бізнесу. Оглянуто такі аспекти, як зручний пошук продуктів та навігацію, дизайн та вміст карток товару та структурованість інформації. Обґрунтовано необхідність мінімалістичного дизайну та дотримання класичної архітектури сайту. Особлива увага приділяється розробці адаптивного веб-дизайну. Доведено доцільність заміни спливаючих вікон на інші елементи та важливість сторінки з відповідями на поширенні запитання.

В сучасному світі інтернет-магазини — це вже не тільки додатковий варіант отримання прибутку, а й важливий елемент для кожного успішного бізнесу, бо вони не мають географічних кодонів й через це надають можливість здійснювати покупки у будь-який час та у будь-якому місці.

За статистикою, у 2024 році понад 2,7 мільярда людей здійснили покупки у Інтернет-магазинах, що є на 2,7% більше, ніж у попередньому році [1]. Проте, у січні 2025 року середній коефіцієнт конверсії на сайтах інтернет-магазинів склав лише 1,88%. Це означає, що із 100 відвідувачів сайту лише двоє здійснять покупки, а решта покине сторінку. Саме тому критично важливим завданням для будь-якого торгівельного бізнесу є підвищення конверсії. Одним із найбільш дієвих способів досягнення цієї мети є забезпечення ідеального користувацького досвіду (UX) та дизайну інтерфейсу (UI) на сайті. Це дозволить значно заощадити на витратах на залученні клієнтів та збільшити обсяг покупок [2].

Головна мета відвідувача сайту інтернет-магазину — знайти потрібний для себе товар. Тому важливо зробити цей процес швидким, зручним та зрозумілим. Для цього сайт обов'язково повинен мати зручний пошук та навігацію. Хорошою практикою буде розмістити на головній сторінці широкий спектр різних типів товарів, бо користувачі часто недооцінюють асортимент магазину через представлення невеликою кількості типів продуктів [3]. Каталог товарів повинен включати в себе категорії та підкатегорії й обов'язково мати фільтри за брендом, ціною та іншими

характеристиками. Також слід виділити окремий розділ з акційними товарами, бо на них покупці звертають увагу в першу чергу.

Пошук має підтримувати не тільки оригінальну назву, але й іншу інформацію про товар (категорію, ідентифікатор, характеристику, ключові слова), а також його розмовну назву (наприклад «айфон» замість «Смартфон APPLE»). Бо якщо користувач не знайде якийсь існуючий в магазині товар, він буде вважати, що він відсутній [4].

Дизайн сайту повинен бути простим та мінімалістичним. Надмірне використання кольорів, різних варіацій шрифтів і велика кількість неструктурованої інформації швидко стомлюють користувача. Для сайту інтернет-магазину найкращим рішенням буде обрати 2-3 основних кольори, які асоціюються з сферою самого інтернет-магазину [5].

Картки з товарами рекомендується оформлювати на чистому (найчастіше білому) фоні та розміщувати на них тільки найважливішу інформацію. До них обов'язково потрібно додати оцінку та кількість відгуків, бо це викликає довіру у потенційного клієнта [3]. Досвідчені маркетологи також радять виділяти кнопку «Додати до кошика» кольором чи особливим дизайном, щоб ще більше спонукати відвідувача сайту купити товар. Слід також враховувати, що не всі користувачі розуміються у предметній області магазину, тому товари повинні мати прості та лаконічні назви.

Основною відмінністю інтернет-магазину від фізичного є відсутність доторкнутися до товару, тому задачею веб-сайту є замінити можливість відчути продукт на насичений візуальний, за можливості слуховий досвід. Це можна досягти додавши для кожного товару по 4-5 фотографій з різних ракурсів та відео-огляд [6].

Важливо пам'ятати, що користувачі не переглядають увесь контент на сайті, а лише шукають потрібну для них інформацію. Якщо вони її не знайдуть за декілька секунд, дуже вірогідно, що вони вийдуть з сайту [7]. Тому найважливіший контент потрібно розміщуватися у верхній частині сторінки, щоб в першу чергу саме він привертав увагу.

Незважаючи на те, що кожен бренд прагне продемонструвати свою унікальність і креативність через дизайн, у контексті веб-сайту інтернет-магазину надмірна оригінальність може зашкодити. Для забезпечення високого рівня зручності критично важливо дотримуватися класичної та очікуваної побудови меню, тобто розміщувати навігацію та пошук у верхній частині екрану, а службову інформацію (контактні дані, соціальні мережі та ін.) внизу сторінки. Використання традиційних, загальноприйнятих піктограм (кошик для додавання товару або лупа для пошуку) дозволяє користувачу відразу розуміти призначення тих чи інших кнопок, економить його час і знижує когнітивне навантаження, що безпосередньо впливає на конверсію.

З огляду на те, що 70% трафіку припадає на мобільні пристрої, мати адаптивний дизайн є обов'язковою умовою для будь-якого сайту інтернет-магазину. Оскільки 75% людей використовують лише один великий палець для взаємодії з екраном, потрібно розмістити найважливіші елементи (пошук, оформлення замовлення, кошик товарів) в найдоступнішому місті (зазвичай, це верх або низ екрану). Для адаптивного дизайну також слід спростити навігацію за допомогою меню, що розгортається, та оптимізувати зображення для швидкого завантаження. Якісний адаптивний дизайн покращить задоволеність клієнтів та підвищить конверсію [2].

Ще однією з гарних практик є завантаження товарів на одній сторінці, тобто користувач бачить певну кількість товарів та кнопку «Завантажити ще». Таким чином людині легше знаходити та порівнювати товари між собою [3].

На веб-сайті додаткова інформація (повернення товару, гарантія та ін.) не повинна мати вигляд суцільного тексту, вона має бути організованою та сприйматися легко. Крім того, слід додати розділ з поширеними запитаннями та відповідями, тому що він дозволяє користувачам швидко знайти ту інформацію, яка їх цікавить та зменшує потребу звертатися до служби підтримки.

Згідно з статистикою, 82% відвідувачів сайтів дуже негативно ставляться до спливаючих вікон. Це стосується як рекламних пропозицій, так і чатів з консультантами. Незважаючи навіть на інформативний та яскравий дизайн, дуже вірогідно, що користувач одразу закриє спливаюче повідомлення. Краще розміщувати важливу інформацію безпосередньо на самому сайті, наприклад, за допомогою банерів, які є менш нав'язливими та дратуючими [8].

Отже, створення інтернет-магазину на основі принципів UX/UI дизайну є не просто перевагою, а необхідною умовою для забезпечення високої конверсії та сталого розвитку бізнесу, орієнтованого на продаж товарів.

Список використаної літератури

[1] «How many people shop online?» Oberlo. Дата звернення: 19 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.oberlo.com/statistics/how-many-people-shop-online

[2] Helen White. «Building E-commerce Websites: Best Practices for Beginners and Experts». Fresh pies. Дата звернення: 19 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.freshpies.co.uk/building-e-commerce-websites/

[3] Christian Holst. «35 Data-Driven E-Commerce Best Practices». Baymard Institute. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://baymard.com/learn/ecommerce-ux-best-practices

[4] «Що таке продаючий дизайн інтернет-магазину?». Artjoker. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://artjoker.ua/blog/chto-takoe-prodayuschiy-dizayn-internet-magazina/

[5] «19 Essential Ecommerce Website Design Best Practices in 2025». Medium. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://design-studio.medium.com/19-essential-ecommerce-website-design-best-practices-for-2024-c88e16065098

[6] Tuan Nguyen . «The best practices for eCommerce UX-UI Design — Part 1». EnableStartup. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://enablestartup.com/blog/best-practices-for-ecommerce-ux-ui-design-part-1/#s11

[7] Greg d'Aboville. «Why Your Visitors Hate Your Pop-Ups (+What You Can Do About It)». Learn G2. Дата звернення: 20 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://learn.g2.com/case-study/why-your-visitors-hate-pop-ups#:~:text=Wrap%2Dup,pop%2Dups%20can%20be%20risky

УДК 004.9

ІНЖЕНЕРІЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ GAMEDEV STUDIO «PIXELFORGE» У КОНТЕКСТІ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ ЗОВНІШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Мірошник Д.О., Тройніна А.С., Рувінська В. М.
(7485244@stud.op.edu.ua, anastasiyatroinina@gmail.com, iolnlen@te.net.ua)
Національний університет «Одеська Політехніка» (Україна)

У тезі розглядається питання проєктування і дослідження предметної області інформаційної системи GameDev Studio «PixelForge» у контексті її взаємодії із зовнішнім середовищем. Основна увага приділяється аналізу інформаційних, фінансових та матеріальних потоків між структурними підсистемами студії та ключовими зовнішніми агентами – інвесторами, постачальниками технологій і ресурсів, споживачами продукції, державними органами, фінансовими установами та освітніми закладами. Розглядається ієрархія внутрішніх підсистем, організація координації процесів та їх вплив на стійкість та продуктивність інформаційної системи.

Актуальність проблеми. Актуальність проблеми, полягає у необхідності чітко зрозуміти й окреслити всі взаємозв'язки між внутрішніми підсистемами компанії та основними зовнішніми агентами в умовах високої динаміки ігрової індустрії [1]. Без такої моделі зростає ризик неефективної взаємодії між підрозділами та партнерами, втрачається контроль над потоками ресурсів, ускладнюється адаптація до змін у ринку, а виробничі, фінансові чи організаційні помилки можуть призвести до затримок і збитків [2]. Діаграма дозволяє не лише проаналізувати ключові інформаційні, фінансові й матеріальні потоки, а й цілеспрямовано знайти слабкі місця у системі, усунути дублювання функцій, поліпшити комунікацію із інвесторами, партнерами та державними структурами та забезпечити швидке реагування на сучасні виклики [3]. Це критично важливо для підвищення ефективності, конкурентоспроможності й сталого розвитку ігрової компанії у складному зовнішньому середовищі [4].

Метою роботи є дослідити структуру та особливості інженерії предметної області інформаційної системи GameDev Studio «PixelForge», визначити основні типи взаємодій зі

зовнішніми елементами, ідентифікувати типові проблеми та виклики при інтеграції бізнес-процесів студії з ринковим оточенням, а також розробити інженерні рішення для оптимізації ефективності, гнучкості й конкурентоспроможності інформаційної системи у сучасних умовах індустрії.

Основна частина роботи. У якості досліджуваної системи взято GameDev Studio «PixelForge». Внутрішня структура охоплює ключові виробничі ланки: програмування, геймдизайн, тестування, UI/UX, 3D-графіку, звук, маркетинг та адміністративну підтримку. Система студії організована ієрархічно, що дозволяє ефективно координувати всі напрямки роботи, розподіляти ресурси та підтримувати високий рівень професіоналізму команди [5]. Основна увага приділяється використанню сучасних технологій (Unity, Unreal Engine, Adobe), енергоефективних рішень і автоматизації виробничих процесів.

Взаємодія із зовнішнім середовищем відбувається через різні канали – державні органи (регуляторна база, авторське право, оподаткування), постачальники технологій та інфраструктури, фінансові ринки (банки, інвестори, гранти), ринки збуту й партнерські цифрові платформи, а також освітні установи, які використовують ігрові продукти студії для навчання.

Далі створимо модель зв'язків системи та навколишнього середовища. Така модель дозволяє наочно відобразити, як досліджувана система – GameDev Studio «PixelForge» – взаємодіє зі своїм зовнішнім середовищем: інвесторами, постачальниками програмного забезпечення, платформами реалізації, кінцевими користувачами, конкурентами й екологічними аспектами.

GameDev Studio «PixelForge» організована як ієрархічна структура, в якій кожна підсистема виконує визначену функцію та взаємодіє з відповідними елементами зовнішнього середовища. Жорстка ієрархія дозволяє ефективно координувати виробничі, організаційні, фінансові й технічні аспекти діяльності студії.

Підсистема управління. Найвищий рівень у структурі студії. Відповідає за прийняття ключових рішень, організацію та контроль роботи всіх інших підсистем. Забезпечує взаємодію з інвесторами, власниками й зовнішніми партнерами. Управління визначає напрямки діяльності студії, ініціює інновації та слідкує за дотриманням стандартів.

Підсистема виробництво. Включає основне виробництво (розробка ігрового продукту) та допоміжне виробництво (UI/UX-дизайн, 3D-моделювання тощо). Забезпечує повний цикл створення кінцевого продукту – від концепції до випуску й підтримки. Взаємодіє із зовнішніми постачальниками програмного забезпечення та платформами реалізації.

Підсистема команда. Це людський капітал студії: розробники, дизайнери, тестувальники, менеджери, які реалізують виробничі завдання. Команда ухвалює участь у розвитку продукту, спілкується з геймерами, враховує їхній досвід, проводить тестування та вдосконалює процеси.

Підсистема фінансові ресурси. Відповідає за акумуляцію та розподіл фінансових надходжень від інвесторів, власників та від реалізації продукту. Організує фінансову звітність, бюджетування, оплачує постачання ресурсів і забезпечує економічну стабільність функціонування студії.

Підсистема технічні ресурси. Включає апаратне й програмне забезпечення, серверну інфраструктуру, мережі та інструменти розробки, необхідні для ефективної роботи команди й реалізації проектів. Забезпечує технічну підтримку, дотримання екологічних стандартів та безперебійну роботу студії. Нижче на рис.1 наведена модель зв'язків системи та навколишнього середовища

Діаграма моделі зв’язків GameDev Studio «PixelForge» із зовнішнім середовищем стає ключовим інструментом аналізу для розкриття причин типових проблем, які стоять перед сучасною ігровою компанією. Наочно показано, як саме формуються і циркулюють інформаційні, фінансові та матеріальні потоки між внутрішніми підсистемами студії (управління, виробництво, команда, фінанси, технічні ресурси) та зовнішніми учасниками – інвесторами, постачальниками технологій, ринками збуту, державними структурами і екологічними агентами.

Модель дозволяє чітко зафіксувати слабкі місця, наприклад: затримки у надходженні інвестицій впливають на графік розробки, нестача гнучкості в управлінні призводить до неефективної реакції на ринкові зміни, а погана комунікація між підрозділами і зовнішніми агентами може спричинити дублювання функцій або втрату важливої інформації. Виявляються проблеми надлишкових витрат через нераціональний розподіл фінансових ресурсів, затримки в передачі зворотного зв’язку від користувачів та геймерів, затримки у постачанні критичного програмного чи апаратного забезпечення через неузгодженість інтерфейсів із виробниками.

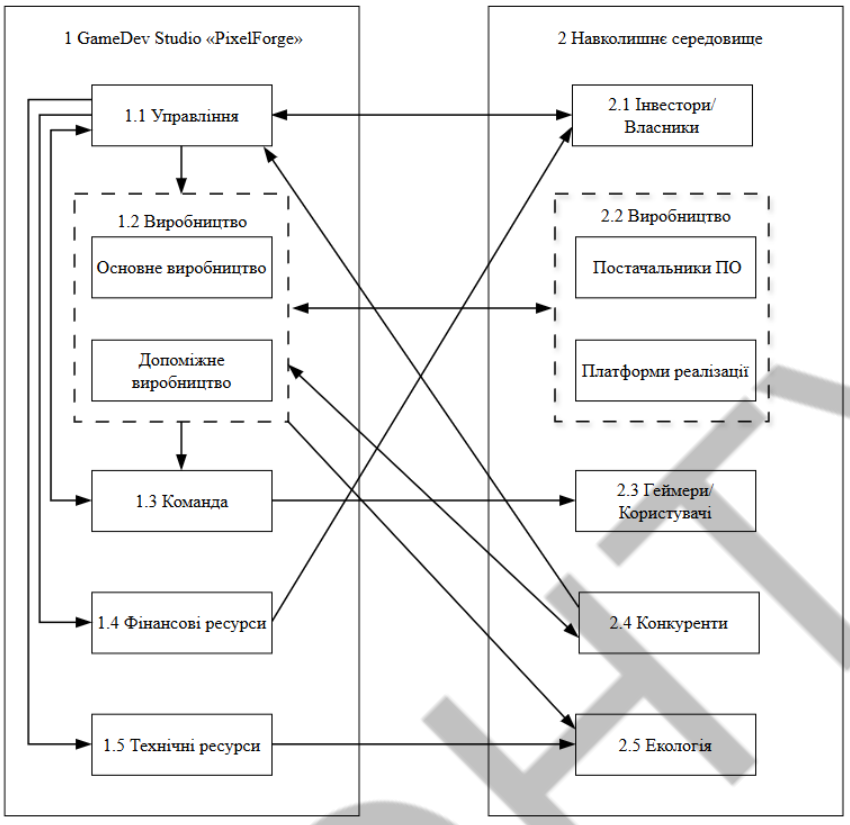


Рисунок 1 - Модель зв'язків системи та навколишнього середовища

Діаграма також дає змогу звернути увагу на вплив технічної інфраструктури на екологію, підкреслити потребу дотримання законодавчих та етичних норм, швидко побачити, які канали роботи найслабші в умовах швидкозмінного ігрового ринку. Вона показує, що ігнорування вимог екологічної безпеки або невчасне оновлення обладнання може призвести до додаткових витрат, штрафів або навіть блокування розвитку.

Все це дозволяє не просто розуміти загальні принципи функціонування компанії, а формулювати конкретні рішення для оптимізації роботи студії: удосконалення системи бюджету, автоматизація комунікацій, підвищення компетенції персоналу, вибудовування прозорої системи зворотного зв’язку та стратегічного планування, впровадження екологічних і соціально відповідальних інновацій. Саме такий підхід забезпечує відповідність цілям дослідження – підвищення ефективності, гнучкості й конкурентоспроможності PixelForge на сучасному ринку геймдев-індустрії.

Висновок. Використання моделі зв’язків системи та зовнішнього середовища дало змогу успішно вирішити низку критичних проблем для GameDev Studio «PixelForge». Зокрема, діаграма допомогла виявити слабкі місця у комунікації між підрозділами та зовнішніми агентами, зменшити ризики дублювання функцій, оптимізувати розподіл фінансових і технічних ресурсів, а також забезпечити своєчасне реагування на зміни ринку та вимоги інвесторів, користувачів і партнерів. Завдяки такій системній структурі вдалося чітко і наочно відслідковувати інформаційні й матеріальні потоки, ефективніше вирішувати питання адаптації до зовнішніх викликів та екологічних, правових норм. Отже, застосування саме цієї діаграми значно підвищило прозорість управління, сприяло впровадженню механізмів швидкого прийняття рішень та створило міцну основу для сталого розвитку і довгострокової конкурентоспроможності компанії на ринку відеоігор.

Список використаної літератури:

[1] IT Ukraine Association; Top Lead. Digital Tiger 2024: The power of Ukrainian IT. Київ: IT Ukraine Association / Top Lead, 2025. – 67 с.

НТБОНТУ

[2] Данченко О. Б., Занора В. О. Проектний менеджмент: управління ризиками та змінами в процесі прийняття управлінських рішень .Черкаси: ПП Чабаненко Ю.А., 2019. – 278 с.

[3] ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization, 2015.

[4] Кухаришин О. Підвищення конкурентоспроможності підприємства на ринку інтернет-послуг: монографія / О. Кухаришин. Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – 108 с.

[5] Aleem S., Capretz L. F., Ahmed F. Critical Success Factors to Improve the Game Development Process from a Developers Perspective, arXiv preprint arXiv:1801.04293, 2018.

УДК 004.925

АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ІГРОВИХ СВІТІВ У СЕРЕДОВИЩІ UNITY

Огарков В.Ю. (officialviktorwolf@gmail.com),
Антоненко С.В. (svitlanav.antonenko@gmail.com)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончар (Україна)

У даній роботі розглядається процес моделювання, розробки та оптимізації системи процедурної генерації ігрових структур та рівнів, використовуючи Unity Engine як середовище візуалізації роботи алгоритмів та математичних моделей.

Обраними алгоритмами для аналізу є Шум Перліна (Perlin Noise), алгоритм Даймонд-Сквер (Diamond-Square) та клітинний автомат (Cellular Automata).

Основна увага приділяється архітектурі системи, застосуванню патернів проєктування та оптимізації продуктивності через Object Pool, асинхронну обробку й об'єднання мешів, що зменшує кількість викликів збірника сміття (Garbage Collector) та кількість рендер-операцій (draw calls).

Проведено тестування продуктивності та аналіз основних метрик, таких як кількість кадрів в секунду (FPS), час генерації обраної структури, об'єм використаної пам'яті, навантаження процесора (CPU) та графічного процесора (GPU).

Результати виконання роботи після впровадження оптимізаційних рішень демонструють значне підвищення продуктивності та несуть практичну цінність прототипу для інтеграції в ігрові проєкти або подальшого наукового та практичного аналізу.

На сьогоднішній день процедурна генерація контенту (Procedural Content Generation, PCG) є ключовим методом автоматичного створення унікальних ігрових рівнів і сцен у відеоіграх. Вона дозволяє розробникам формувати ландшафти, карти, підземелля та інші елементи гри алгоритмічно, замість ручного моделювання, що суттєво економить час та ресурси. PCG активно застосовується в сучасних ігрових проєктах із високою реіграбельністю, таких як *Terraria*, *Minecraft* та *No Man's Sky*, де кожний новий запуск гри може створювати унікальний ігровий світ. Важливим аспектом процедурної генерації є детермінізм: використання певного «seed» (насіння) дозволяє відтворювати однакові сцени для тестування та налагодження, одночасно забезпечуючи компактне зберігання даних гри [1].

Для реалізації алгоритмів використовуються середовище Unity та мова програмування C#, що дозволяє інтегрувати скрипти генерації з компонентною моделлю рушія [2]. Це забезпечує високу доступність та простоту використання, оскільки Unity надає зручний інтерфейс, що спрощує процес створення та налаштування ігрових елементів [3]. Завдяки вбудованій системі візуалізації та редактору, можна безпосередньо в Unity переглядати та коригувати результати генерації, що полегшує процес налагодження та тестування. Крім того, Unity має вбудований Profiler, який надає можливість моніторингу продуктивності, використання пам'яті та навантаження на CPU і GPU [4].

Мета роботи полягає у розробці та оптимізації системи процедурної генерації двовимірних мап із можливістю гнучкого налаштування параметрів генерації та забезпечення високої продуктивності. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі алгоритми процедурної генерації [5;6];
- спроєктувати архітектуру генератора з використанням патернів проєктування (Strategy, Singleton, Object Pooling);
- реалізувати прототип генератора з використанням примітивів Unity;
- провести тестування та оптимізацію продуктивності (FPS, час генерації, споживання пам’яті, навантаження на CPU).

Для генерації мап було використано три алгоритми:

- Perlin Noise – для створення плавних ландшафтів [7];
- Diamond-Square – фрактальний алгоритм для рельєфів [8];
- Cellular Automata – для генерації печер та структур [9].

Система побудована на компонентній архітектурі Unity. Ключові елементи:

- MapGenerator – центральний менеджер генерації, реалізує Singleton та корутини для асинхронної побудови чанків;
- MapGenerationSettings / MapGeneratorSettings – ScriptableObject для конфігурації параметрів та стратегій генерації;
- Chunk – частина карти для оптимізації рендерингу; комбінує меші для зменшення навантаження;
- Block / BlockData – базові одиниці карти; взаємодіють з Object Pool;
- ObjectPool – повторне використання GameObject для зменшення створення нових об’єктів та економії ресурсів;
- PerformanceMonitor – відстежує FPS, активні блоки, час генерації;
- PlayerController – управління взаємодією користувача та демонстрація динамічної зміни алгоритму генерації.

Для оптимізації продуктивності було застосовано:

- об’єднання мешів (CombineMeshes) для зменшення кількості викликів рендерингу;
- Object Pooling для повторного використання блоків;
- асинхронна побудова через корутини для уникнення блокування основного потоку.

Результати тестування системи на карті 2048×256 (Unity Editor, Profiler) наведено в таблицях:

Таблиця 1 – Порівняння часу генерації до оптимізації

Алгоритм	Час генерації (с)	Середній FPS під час генерації	Середній FPS після генерації	Активні об’єкти
Perlin Noise	50.3	11	13	386737
Diamond-Square	25.7	13	18	207662
Cellular Automata	19.3	16	19	156771

Таблиця 2 – Порівняння часу генерації після оптимізації

Алгоритм	Час генерації (с)	Середній FPS під час генерації	Середній FPS після генерації	Активні об’єкти
Perlin Noise	2.9	250	260	2048
Diamond-Square	2.5	310	340	2048
Cellular Automata	2.2	360	420	2048

До оптимізації: FPS під час генерації – 10–15 кадрів, використання пам’яті становило 450 MB, навантаження CPU – 60%. Після оптимізації: FPS – 350–400, пам’ять – 250 MB, CPU – 30%. Різниця показує підвищення продуктивності у 25 разів та зменшення часу генерації на 90–95%.

Таке зростання продуктивності стало результатом впровадження ефективних архітектурних рішень. Використання Object Pooling мінімізувало динамічні алокації пам’яті та звернення до збірника сміття, а асинхронна обробка рівномірно розподілила навантаження між кадрами, забезпечуючи безперервність процесу генерації. Об’єднання мешів зменшило кількість рендер-

операцій (draw calls), що суттєво знизило навантаження на GPU та покращило стабільність роботи системи.

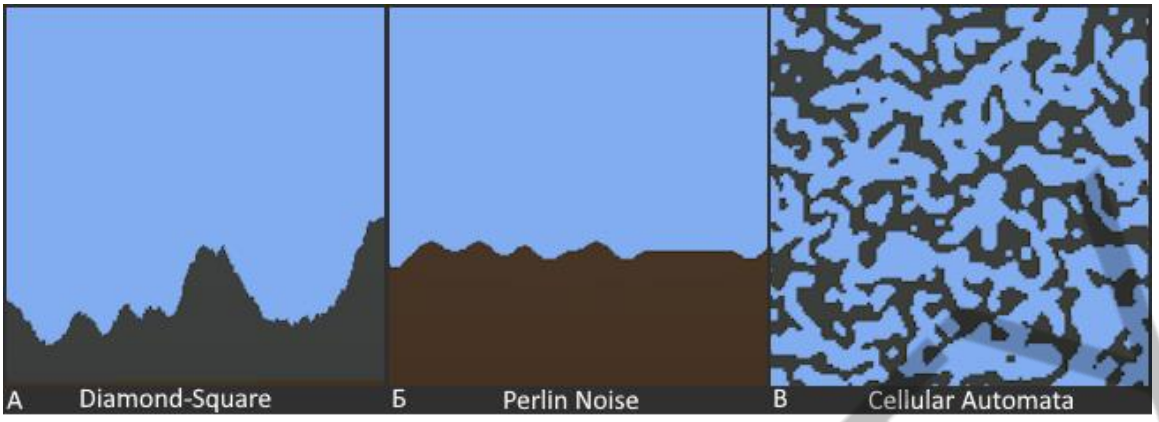


Рисунок 1 – Приклади структур, згенерованих різними методами:
а – Diamond-Square; б – Perlin Noise; в – Cellular Automata.

Архітектура прототипу реалізована у вигляді модульної чанкової системи з комбінованими мешами, а параметри генерації (масштаб, амплітуда, seed) задаються через ScriptableObject без потреби перекомпіляції.

Якість генерації підтверджено профілюванням і візуальним аналізом: Perlin Noise формує плавні ландшафти, Diamond-Square — шорсткі терени, Cellular Automata — зв'язані печери.

Розроблений прототип має практичну цінність і може бути інтегрований у 2D-проєкти, таких як платформери чи roguelike, або розширений для 3D-світів із використанням Job System і Burst Compiler. Система демонструє високу гнучкість і дозволяє легко налаштовувати параметри генерації під різні ігрові сценарії. Крім того, модульна архітектура забезпечує можливість додавання нових алгоритмів та експериментів із параметрами без потреби кардинальної зміни коду.

Список використаної літератури

[1] Procedural Content Generation for video games, a friendly approach. – Level Up [Game Dev Hub]. – Режим доступу: https://www.levelup-gamedevhub.com/en/news/procedural-content-generation-for-video-games-a-friendly-approach (дата звернення: 2.9.2025)

[2] Unity Manual. Unity architecture (component-based model, scripting and editor features). Unity Technologies. [Online]. Available: https://docs.unity3d.com/2022.3/Documentation/Manual/unity-architecture.html. Accessed: Sep. 2, 2025.

[3] Unity Technologies. Scripting in Unity. Unity Manual. [Online]. Available: https://docs.unity3d.com/Manual/ScriptingSection.html. Accessed: Sep. 5, 2025.

[4] Unity Technologies. Profiler window reference. Unity Manual. [Online]. Available: https://docs.unity3d.com/Manual/ProfilerWindow.html. Accessed: Sep. 5, 2025.

[5] P. Sampaio, A. Baffa, B. Feijó, M. Lana, "A fast approach for automatic generation of populated maps with seed and difficulty control," *SBGames 2017*. [Online]. Available: http://www.sbgames.org/sbgames2017/papers/ComputacaoFull/175200.pdf. [Accessed: Sep. 2, 2025].

[6] G. V. Marchuk, V. L. Levkivskyi, A. V. Kharchenko, D. K. Marchuk, "Review and analysis of procedural game world generation algorithms," *101 (journal/conference)*. [Online]. Available: https://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/download/644/603/1222. [Accessed: Sep. 3, 2025].

[7] K. Perlin, "Implementing Improved Perlin Noise," *GPU Gems, Chapter 5*. [Online]. Available: https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems/part-i-natural-effects/chapter-5-implementing-improved-perlin-noise. [Accessed: Sep. 3, 2025].

[8] F. K. Musgrave, *Methods for Realistic Landscape Imaging*, Yale University, Department of Computer Science, 1993. [Online]. Available: https://www.fundza.com/rman_shaders/simp_land/index.html. [Accessed: Sep. 3, 2025].

[9] I. Antoniuk, “Generating layout for complex cave-like levels with schematic maps and Cellular Automata,” *Multimedia, Graphics and Visualization*, 2023. [Online]. Available: https://mgv.sggw.edu.pl/article/view/5921/8153. [Accessed: Sep. 4, 2025].

УДК 004.93.4:004.4:004.8

АДАПТОВАНА СИСТЕМА ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В ІГРОВІ ПЛАТФОРМИ

Пасєка І. В., Штефан Н. З. (shtefan.n.z@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

Робота присвячена розробці адаптивної системи обробки аудіосигналів для інтеграції в ігрові платформи. У дослідженні проаналізовано сучасні вимоги до аудіосистем геймдеву та проведено огляд існуючих рішень, визначено їхні переваги та недоліки. Запропоновано архітектуру програмного продукту ***AudioFlow*** *на основі модульного підходу, що включає ядро аудіодвигуна, систему маршрутизації, набір ефектів та інтеграційні адаптери. Реалізацію виконано засобами Unity, C# та C++ із забезпеченням обробки аудіо в реальному часі та кросплатформеної підтримки. Отримані результати підтвердили високу продуктивність і перспективність застосування системи в сучасних ігрових проєктах.*

У сучасній індустрії цифрових розваг звуковий супровід є ключовим чинником, що визначає рівень занурення користувача у віртуальне середовище. Якість аудіо впливає на емоційне сприйняття подій, атмосферу гри та загальний ігровий досвід. Існуючі рішення для обробки аудіосигналів (FMOD, Wwise, Unity Audio тощо) мають суттєві обмеження: або занадто складні в інтеграції, або не здатні забезпечити високу продуктивність у режимі реального часу. Це створює серйозні виклики для розробників, які прагнуть поєднати інтуїтивність, швидкодію та кросплатформенність.

Отже, актуальним завданням є створення системи обробки вхідних аудіопотоків, здатної працювати у реальному часі, бути зручною в інтеграції з ігровими рушіями та забезпечувати високу якість результатів.

У ході дослідження та розробки було вирішено низку важливих завдань:

1. **Аналіз предметної області.** Досліджено специфіку обробки аудіопотоків у реальному часі, враховано вимоги до затримки, якості сигналу, синхронізації зі сценами гри та потреби кросплатформенності.
2. **Огляд аналогів.** Проаналізовано сучасні рішення (FMOD Studio, Wwise, Unity Audio, кастомні бібліотеки PortAudio та JUCE). Визначено їхні переваги та недоліки: професійність і гнучкість проти складності інтеграції та обмеженості для малих команд.
3. **Формування вимог.** Сформульовано функціональні вимоги (прийом сигналів, обробка, аналіз, маршрутизація, налаштування, моніторинг, інтеграція з рушіями) та нефункціональні вимоги (швидкодія до 50 мс затримки, стабільність, безпека, зручність використання, масштабованість).
4. **Проєктування архітектури.** Розроблено модульну багаторівневу структуру системи **AudioFlow**, що складається з ядра аудіодвигуна, системи маршрутизації, набору ефектів і фільтрів, інструментів аналізу, графічного інтерфейсу та інтеграційних адаптерів для Unity.
5. **Розробка сценаріїв використання.** Описано ключові прецеденти: прийом вхідних сигналів, обробка шуму, спектральний аналіз, маршрутизація до модулів гри, інтеграція з Unity API. Для кожного сценарію створено діаграми послідовностей.
6. **Реалізація системи.** Виконано розробку прототипу з використанням Unity, мов програмування C# (логіка керування аудіо у рушії) та C++ (низькорівнева оптимізована обробка).
7. **Тестування та оцінка.** Проведено перевірку роботи системи в режимі реального часу, зафіксовано стабільність, низьку затримку обробки та правильність маршрутизації сигналів.
8. **Інтеграція.** Забезпечено кросплатформенність і можливість використання у різних проєктах геймдеву, включно з VR/AR середовищами.

Розроблена система AudioFlow забезпечує:

– прийом вхідних аудіосигналів із різних джерел (мікрофони, внутрішні аудіо-пристрої);
– попередню обробку (фільтрацію шуму, нормалізацію, спектральний аналіз);
– маршрутизацію сигналу до відповідних модулів гри;
– використання набору аудіоефектів (реверберація, еквалізація, підсилення);
– гнучке налаштування параметрів і моніторинг системи;
– інтеграцію з рушієм Unity через плагін.

Архітектура побудована за модульним принципом (рис. 1):

– System Core (ядро з рівнями: кросплатформна абстракція, ядро обробки, маршрутизація, ефекти та фільтри, менеджер ресурсів, інтерфейси та адаптери);
– Audio Analyzer (модуль спектрального й часового аналізу);
– Extra Effects (додаткові ефекти);
– Graphical Interface (інструмент моніторингу та налаштування);
– Integration Adapters (мости для Unity та інших рушіїв).

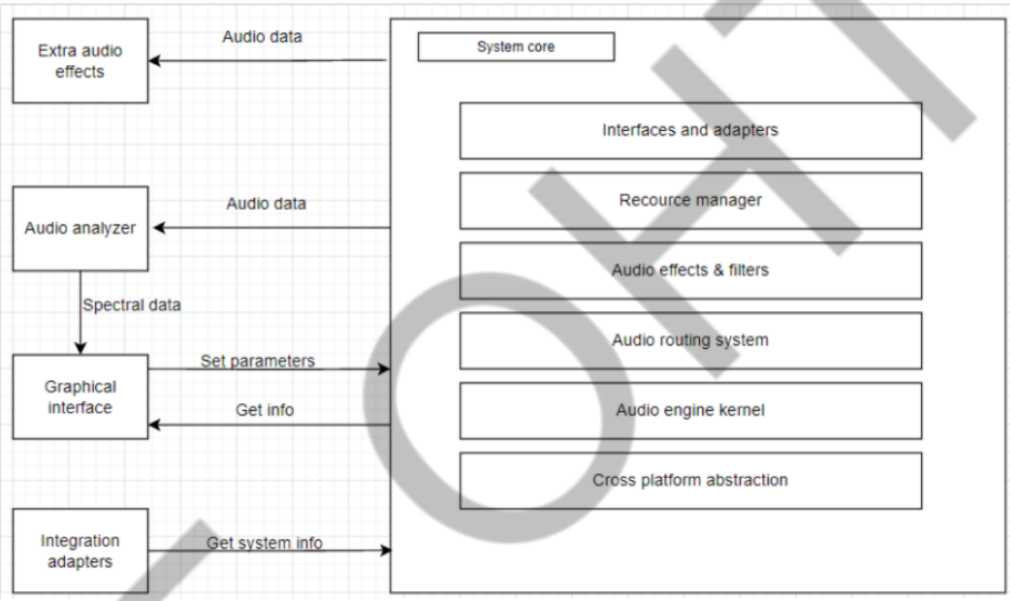


Рисунок 1 – Архітектура програмної системи

Завдяки поєднанню C# та C++ вдалося досягти продуктивності та низької затримки. Система працює у режимі реального часу, підтримує кросплатформеність (Windows, Linux, macOS) і може масштабуватися під конкретні потреби розробників.

У результаті роботи було розроблено архітектуру та реалізовано прототип системи **AudioFlow** для обробки аудіосигналів у реальному часі. Підтверджено її успішну інтеграцію з рушієм Unity та потенційну підтримку інших платформ. Система відзначається високою продуктивністю, низькими затримками та зручністю використання. Перспективи розвитку полягають у розширенні бібліотеки ефектів, застосуванні алгоритмів машинного навчання та використанні у VR/AR-проєктах.

Список використаної літератури

[1] Somberg G. Game audio programming 4. Boca Raton : CRC Press, 2023. 356 с.
[2] Hollemans M., Hodge J. The complete beginner's guide to audio plug–in development. Portland: Independently published, 2024. 474 с.
[3] Ferrone H. Learning C# by developing games with unity. Birmingham : Packt Publishing, 2022.

УДК 004.9

КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ І WEB-ДИЗАЙН: ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕСТЕТИКИ ТА КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ

Прайс І. С. (praisigor21122007@gmail.com)
Державний податковий університет (Україна)

У тезах досліджується синтез комп'ютерних ігор та web-дизайну як міждисциплінарних сфер, що поєднують програмування, графіку, психологію користувача та естетичне мислення. Розглядаються принципи гейміфікації, адаптивного дизайну, сценарного моделювання та UX-психології. Окреслено перспективи для молодих фахівців у сфері креативних технологій.

У сучасному цифровому середовищі комп'ютерні ігри та web-дизайн дедалі більше інтегруються. Ігрові механіки — рівні, бали, нагороди — активно використовуються у web-продуктах для підвищення мотивації, залученості та повторного використання ресурсу [1].

Попри активне зближення сфер, відсутня узагальнена методика поєднання ігрових механік із принципами UX/UI у web-середовищі. Недостатньо враховується психологія користувача при створенні гейміфікованих інтерфейсів. Складно забезпечити адаптивність дизайну для різних платформ (смартфон, VR, планшет). Молоді фахівці часто мають фрагментарні навички, не інтегровані в міждисциплінарну систему. Інтерактивний дизайн не завжди виконує освітню чи соціальну функцію, обмежуючись естетикою або технічністю.

Гейміфікація в дизайні — це не лише про розваги, а про ефективну комунікацію. Вона дозволяє формувати емоційний зв'язок із брендом, покращити запам'ятовуваність контенту та стимулювати соціальну взаємодію [2]. Згідно з Interaction Design Foundation, гейміфікація базується на психологічних механізмах, таких як дофамінове підкріплення, теорія самодетермінації та ефект прогресу [3].

Сценарне мислення — ще один ключовий інструмент. Воно дозволяє моделювати логіку взаємодії користувача з інтерфейсом, передбачати його дії та створювати адаптивні реакції системи [4].

UX-дизайн сьогодні неможливий без урахування психології користувача. Як зазначає UX Collective, дизайнери повинні враховувати когнітивне навантаження, мотиваційні патерни, очікування та емоційні тригери [2].

Адаптивний дизайн — ще один виклик. У світі, де контент споживається через смартфони, планшети, ноутбуки та VR-пристрої, важливо забезпечити комфортну навігацію на всіх платформах. Це вимагає гнучкої верстки, оптимізації графіки та тестування на різних пристроях [5].

Згідно з аналітичним звітом Webflow, сучасні тенденції web-дизайну включають мікроанімацію, персоналізовані сценарії, інтерактивні елементи та гейміфіковані інтерфейси [6].

У межах дослідження систематизовано принципи гейміфікації для web-дизайну з урахуванням UX-психології [1–3]. Описано сценарне мислення як інструмент моделювання логіки взаємодії користувача [4]. Визначено ключові UX-механізми: когнітивне навантаження, мотиваційні патерни, ефект прогресу [2]. Проаналізовано адаптивний дизайн для мультимедійних платформ [5–6]. Окреслено перспективи для молодих фахівців, які володіють навичками програмування, графіки та психології [4]. Запропоновано напрям інтеграції VR/AR у web-дизайн як форму глибокої взаємодії [7]. Сформульовано модель гібридної платформи, що поєднує освітні, комунікаційні та розважальні функції.

Особливу увагу слід приділити ролі молоді. Фахівці, які володіють навичками HTML, CSS, JavaScript, Unity, Unreal Engine, Figma, Blender, а також розумінням UX-психології, мають всі передумови для створення інноваційних продуктів [4].

Інтеграція VR і AR-технологій у web-дизайн розширює можливості взаємодії. Віртуальні середовища дозволяють створювати глибокі сценарії навчання, симуляції та презентації, що особливо актуально в умовах дистанційної освіти та цифрової трансформації [7].

Висновки:

Комп'ютерні ігри та web-дизайн формують нову парадигму цифрової комунікації, де гейміфікація, UX-психологія, сценарне мислення та адаптивність виступають ключовими інструментами сучасного дизайну. Молодь, яка володіє міждисциплінарними навичками — від

програмування до розуміння психології користувача, — має потенціал стати рушієм цифрової трансформації. Особливо перспективним є створення гібридних платформ, що поєднують освітні, комунікаційні та розважальні функції, а також інтеграція VR і AR-технологій, які відкривають нові горизонти взаємодії. Ефективний UX-дизайн повинен враховувати психологічні аспекти, щоб забезпечити не лише функціональність, а й емоційний зв'язок із користувачем.

Список використаної літератури

[1] A. Sumset, "The Surprising Relationship Between Gamification and Modern Persuasion," UX Collective, Sep. 27, 2017. [Online]. Available: https://uxdesign.cc/the-surprising-relationship-between-gamification-and-modern-persuasion-b27c270fd646
[2] UX Collective, "Design Psychology," [Online]. Available: https://uxdesign.cc/tagged/design-psychology
[3] Interaction Design Foundation, "What is Gamification?" [Online]. Available: https://www.interaction-design.org/literature/topics/gamification
[4] UX Collective, "The State of UX in 2025," [Online]. Available: https://trends.uxdesign.cc/
[5] Webflow, "2025 State of the Website Report," [Online]. Available: https://webflow.com/resources/report/2025-state-of-the-website
[6] Webflow, "6 Web Design Trends to Watch in 2025," [Online]. Available: https://webflow.com/blog/web-design-trends-2025
[7] Merge Rocks, "VR/AR UX design. Immersive UX best practices." [Online]. Available: https://merge.rocks/blog/vr-ar-ux-design-immersive-ux-best-practices

УДК 681.3.07

ПОЯСНЮВАНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЗАКОНУ АМДАЛА

Прус О. В., Майданюк В. П. (oleh.prus.vntu@gmail.com, maidaniuk2000@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Подано стисле, відтворюване та пояснюване бачення оптимізації веб-інтерфейсів на основі узагальненого закону Амдала з урахуванням багаторесурсної природи критичного шляху. Запропоновано методику емпіричного оцінювання параметрів α (частки етапів), s (локальні прискорення технік) та κ (множники взаємодій), орієнтовану на перцентильні UX-метрики (LCP_{P95}, INP_{P95}). Методика поєднує стратифіковані вимірювання (пристрій/мережа/кеш), факторні плани 2^k та регресію в лог-просторі $log(P95)$ з подальшою перевіркою якості (MAPE, калібровка «факт → прогноз»). Результатом є кількісно обґрунтовані прогнози впливу окремих технік і їхніх пакетів, придатні для CI-процесів.

Постановка проблеми та актуальність. Оптимізація продуктивності у промислових веб-системах часто виконується евристично та постфактум. Такий підхід погано масштабується у багатопроєктних середовищах, не гарантує покращення «хвостів» розподілів ($P95/P99$) та ігнорує взаємодії технік, конкуренцію за ресурси (мережа, JS/CPU, рендер) і гетерогенність користувацьких умов (пристрої/мережі/кеші). Потрібна пояснювана, відтворювана методика, яка працює з перцентилями, дає прогноз до впровадження змін і кількісно відбиває неадитивність ефектів [1-2].

Мета. Сформувати методику емпіричного оцінювання параметрів (α, s, κ) узагальненого закону Амдала для веб-інтерфейсів, що: (I) коректно оперує перцентилями, (II) враховує багаторесурсну структуру часу та взаємодії оптимізацій, (III) надає оцінку невизначеності й стабільності параметрів у стратах, (IV) повертає пояснювані прогнози для планування «пакетів» змін у CI [2-3].

Виклад основного матеріалу

Критичний шлях розкладається на узагальнені етапи (мережа, JS/CPU, рендер, інше) з нормованими частками αу базовому стані ($\sum \alpha_j = 1$). Очікуваний відносний час за одиничної

техніки описується «першим порядком» $\sum \alpha_j / s_j$, де $s_j \geq 1$— локальні прискорення етапів. Для пакетів оптимізацій вводяться множники взаємодій κ_{pq}, що відбивають суб- або суперадитивність поєднань технік [3-5]. Параметри оцінюються на даних факторних планів 2^k із регресійною постановкою у лог-просторі перцентилів:

$$\log(\text{P95}) = \beta_0 + \sum \beta_p a_p + \sum_{p<q} \beta_{pq} a_p a_q + \mathbf{Z}\gamma + \varepsilon$$

де $a_p \in \{0,1\}$ — індикатори технік, Z— коваріати страт; інтерпретації: $\hat{s}_p = e^{-\widehat{\beta}_p}$.

Джерела даних та стратифікація. Частки α витягуються з Chrome trace/HAR через робастний «breakdown» часу (медіани/тримінг, перевірка балансу та стабільності в A/A-фазах). Локальні прискорення sідентифікуються парами «увімкнено/вимкнено» у контрольованих прогонах або схемою difference-in-differences на RUM-даних. Взаємодії κоцінюються термінами $a_p a_q$ у моделі. Усі оцінки виконуються у стратах (клас пристрою, тип мережі, стан кешу) з подальшою ваговою агрегацією відповідно до структури польового трафіку [6-8].

Перелік вирішених завдань.

1. Операціоналізовано багаторесурсну модель часу з параметрами (α, s, κ), сумісну з перцентильною метою (LCP_{P95}, INP_{P95});
2. Запропоновано процедури робастного витягу α з трас і узгодження локальних s між лабораторними та польовими вимірюваннями;
3. Запроваджено регресійну ідентифікацію κ у лог-просторі $\log(\text{P95})$ для моделювання неадитивності ефектів;
4. Побудовано контур оцінювання якості (MAPE, RMSE у лог-шкалі) і калібровки «факт → прогноз» з довірчими інтервалами через bootstrap;
5. Узгоджено методику з CI-процесами: формування прогнозів для «пакетів» змін, стратифікована звітність, дорожні карти за критерієм «виграш/вартість» [9-10].

Практичні результати. На репрезентативних маршрутах (hero-зображення; списковий інтерфейс) стабільність α підтверджено A/A-фазами; оцінки sдля оптимізації зображень, скорочення JS та preconnect узгоджено між синтетикою і RUM; значущі κ виявляють суперадитивність для поєднання оптимізацій із різним ресурсним профілем і часткове перекриття — для взаємозалежних ефектів. Поза-вибіркова точність прогнозів для LCP_{P95}/INP_{P95} перебуває, типово, у межах 6–9% з коректною калібровкою масштабу.

Висновки

Запропонована методика забезпечує пояснюваний та відтворюваний перехід від евристичного налаштування до кількісно обґрунтованого планування оптимізацій веб-інтерфейсів. Параметри (α, s, κ) дають можливість: (I) прогнозувати вплив окремих технік і пакетів на перцентильні UX-метрики до впровадження; (II) виявляти і враховувати неадитивність ефектів; (III) підтримувати переносиміcть і стабільність оцінок через стратифікацію та калібровку. Методика узгоджується з CI-циклами й придатна для побудови дорожніх карт за критерієм «виграш/вартість». Перспективи розвитку полягають у ієрархічних/байєсівських розширеннях, глибшій причинно-наслідковій ідентифікації для польових умов та автоматизованих плагінах-радниках, що інтегрують оцінені параметри з бюджетними обмеженнями та ризиками.

Список використаної літератури

[1] O. Prus and V. Maidaniuk, “Optimising web interface performance using Amdahl’s law,” *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, vol. 30, no. 2, pp. 88–96, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.62660/bcstu/2.2025.88 [Accessed: October 23, 2025].

[2] “Why lab and field data can be different (and what to do about it),” web.dev. [Online]. Available: https://web.dev/articles/lab-and-field-data-differences [Accessed: October 23, 2025].

[3] C. Poolla and R. Saxena, “On Extending Amdahl’s Law to Learn Computer Performance,” *arXiv preprint* arXiv:2110.07822, 2021. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2110.07822 [Accessed: October 23, 2025].

[4] I. Malavolta, K. Chinnappan, L. Jasmontas, S. Gupta, and K. A. Karam Soltany, “Evaluating the Impact of Caching on the Energy Consumption and Performance of Progressive Web Apps,” in *Proc.*

IEEE/ACM 3rd Int. Conf. on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft '20), 2020. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3387905.3388593 [Accessed: October 23, 2025].
[5] "Interaction to Next Paint becomes a Core Web Vital on March 12," web.dev. [Online]. Available: https://web.dev/blog/inp-cwv-march-12 [Accessed: October 23, 2025].
[6] "Interaction to Next Paint (INP)," web.dev. [Online]. Available: https://web.dev/articles/inp [Accessed: October 23, 2025].
[7] "Largest Contentful Paint (W3C Working Draft)," W3C. [Online]. Available: https://www.w3.org/TR/largest-contentful-paint/ [Accessed: October 23, 2025].
[8] "Optimize Largest Contentful Paint," web.dev. [Online]. Available: https://web.dev/articles/optimize-lcp [Accessed: October 23, 2025].
[9] "Common misconceptions about how to optimize LCP," web.dev. [Online]. Available: https://web.dev/blog/common-misconceptions-lcp [Accessed: October 23, 2025].
[10] "RUM vs. synthetic monitoring," MDN Web Docs. [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Performance/Guides/Rum-vs-Synthetic [Accessed: October 23, 2025].

УДК 004.95

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ РЕНДЕРИНГУ

Романюк О. Н., Завальнюк Є. К., Романюк О. В., Новосельцев О.О., Бобко О.Л.
(rom8591@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Розглянуто архітектурні особливості програмних систем рендерингу, що забезпечують формування тривимірних зображень. Проаналізовано структуру основних підсистем.

Архітектура програмних систем рендерингу [1-13] є складною багаторівневою структурою, яка поєднує математичні методи обчислювальної графіки, апаратні можливості сучасних графічних процесорів і програмні засоби управління обчислювальними ресурсами. Такі системи забезпечують формування зображення на основі тривимірних моделей, даних освітлення та матеріальних властивостей об'єктів. Їхня побудова визначається вимогами до якості, швидкодії, відтворюваності результатів та можливості масштабування.

На верхньому рівні архітектури зазвичай розташовується система подання сцени. Вона описує геометрію, камери, джерела світла, властивості поверхонь, а також взаємозв'язки між об'єктами. У сучасних системах для цього застосовують узагальнені формати опису, які дозволяють об'єднувати дані з різних джерел і забезпечують їх подальше відтворення у процесі візуалізації [11]. Подібна модульна структура дає змогу відокремити логіку редагування сцени від розрахункових процедур рендерингу, що підвищує гнучкість системи.

Важливою частиною є підсистема опису матеріалів. Вона відповідає за відображення фізичних властивостей поверхонь, зокрема відбиття, розсіяння та поглинання світла. У сучасних системах використовуються стандартизовані описи матеріалів, які дозволяють точно відтворювати взаємодію світла з різними типами поверхонь. Це забезпечує узгодженість між різними програмними середовищами та полегшує обмін проєктами між користувачами [8], [9].

Обчислювальне ядро системи є центральним компонентом архітектури рендерингу. Його завдання полягає у виконанні математичних розрахунків для формування зображення. В архітектурі рендер-систем розрізняють два основних підходи: растровий та трасувальний. Перший орієнтований на швидке формування зображення шляхом послідовного перетворення об'єктів у пікселі, другий — на моделювання фізично точного поширення світлових променів у просторі [1], [3]. У сучасних реалізаціях часто поєднуються обидва підходи, що дозволяє досягати балансу між якістю та швидкодією.

Низькорівневий шар архітектури включає механізми керування пам'яттю, обробку буферів, організацію обчислювальних потоків і синхронізацію ресурсів. Завдяки цьому забезпечується ефективне використання можливостей графічних процесорів, що працюють паралельно з центральним процесором [5]. Високий ступінь деталізації зображень потребує ретельного

управління пам’яттю та багаторівневого кешування даних. Тому в архітектуру закладаються спеціальні алгоритми розподілу ресурсів і їхнього автоматичного очищення.

У системах високої якості особливу роль відіграє підсистема побудови структур прискорення — спеціальних дерев або ієрархій, що дозволяють швидко знаходити перетин променів із геометрією сцени. Такі структури значно зменшують кількість обчислень і забезпечують масштабування рендерингу для великих обсягів даних. Для цього використовуються бібліотеки, оптимізовані під сучасні інструкційні набори процесорів [12].

Важливим аспектом є узгодження між підсистемами. Для цього архітектура передбачає проміжні рівні — графи виконання, які описують порядок обробки даних у межах кадру. Кожен етап, від обробки геометрії до формування зображення, представлений як окрема операція з чітко визначеними вхідними й вихідними даними. Такий підхід дає змогу автоматично оптимізувати послідовність виконання, скорочуючи час обчислень [13].

Підсистема керування обчисленнями забезпечує розподіл завдань між процесорами. Вона формує черги обчислень, синхронізує їх виконання та контролює баланс навантаження. У разі використання декількох графічних або центральних процесорів система підтримує паралельну обробку частин сцени, що забезпечує масштабування обчислень і прискорює формування зображень [6], [7].

Окремий компонент архітектури становить підсистема введення та виведення даних. Вона реалізує зчитування та збереження текстур, моделей, проміжних буферів, а також забезпечує роботу з великою кількістю графічних форматів. Сучасні програмні засоби мають власні модулі для перетворення кольорових просторів, побудови ієрархічних рівнів деталізації та обробки зображень із високим динамічним діапазоном [10].

Архітектура сучасного рендерингу також передбачає засоби контролю якості та точності обчислень. Вони реалізуються через модулі перевірки похибок, системи тестування стабільності та інструменти порівняння результатів із еталонними зображеннями. Завдяки цьому можна забезпечити повторюваність результатів навіть за різних умов виконання [1].

Важливим напрямом розвитку є інтеграція рендерингу у хмарні обчислювальні середовища. Це дає змогу виконувати складні сцени на розподілених системах, використовуючи декілька обчислювальних вузлів. При цьому архітектура повинна гарантувати незалежність від конкретного апаратного забезпечення та забезпечувати однаковий результат на різних платформах [4], [11].

Загалом архітектура програмних систем рендерингу формується на основі модульного принципу. До її складу входять: підсистема управління сценою, підсистема матеріалів, обчислювальне ядро, система керування ресурсами, модуль введення-виведення та засоби діагностики. Чітке розмежування функцій між цими компонентами дозволяє забезпечити стабільність роботи, масштабованість, а також гнучке розширення функціональності. Розвиток галузі демонструє тенденцію до уніфікації форматів даних і використання відкритих бібліотек, що забезпечують сумісність програмних систем і спрощують створення міжплатформних рішень.

Список використаної літератури

[1] M. Pharr, W. Jakob, and G. Humphreys, *Physically Based Rendering*, 4th ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2023.

[2] T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, A. Pesce, M. Iwanicki, and S. Hillaire, *Real-Time Rendering*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.

[3] T. Akenine-Möller and E. Haines, Eds., *Ray Tracing Gems II: Next Generation Real-Time Rendering*. Berkeley, CA, USA: Apress, 2021.

[4] W. Engel, Ed., *GPU Zen 3: Advanced Rendering Techniques*. Black Cat Publishing, 2024.

[5] The Khronos Group, “Vulkan® 1.3 — A Specification,” 2024. [Online]. Available: https://vulkan.lunarg.com

[6] NVIDIA, “OptiX 8.1 — Programming Guide,” 2024. [Online]. Available: https://raytracing-docs.nvidia.com

[7] NVIDIA, “OptiX 8.1 — API Reference Manual,” 2024. [Online]. Available: https://raytracing-docs.nvidia.com

[8] Open Shading Language Documentation, Version 1.13.12, 2025.

[9] MaterialX Working Group, *MaterialX v1.38 Specification*, 2021.

[10] OpenImageIO Project, “OpenImageIO 3.2.0 Documentation,” 2025.
[11] OpenUSD, “Universal Scene Description (USD),” 2025.
[12] Intel, “Embree — High-Performance Ray Tracing Kernels,” Release 4.x, 2025.
[13] NVIDIA GameWorks, “Falcor Framework,” Version 8.0, 2024.

УДК 004.95

ДИНАМІЧНЕ РЕЛЬЄФНЕ ТЕКСТУРУВАННЯ

Романюк[1] О. Н., Новосельцев[1] О.О., Теренчук[1] А.Т., Котлик[2] С.В.
(rom8591@gmail.com)
[1] Вінницький національний технічний університет (Україна)
[2]Одеський національний технологічний університет (Україна)

Розглянуто особливості динамічного рельєфного текстурування, коли рельєф змінюється у часі під впливом фізичних процесів, анімаційних ефектів чи взаємодії з об’єктами сцени.

Динамічне рельєфне текстурування - це сучасний напрямок у комп’ютерній графіці, спрямований на відтворення поверхонь, рельєф яких змінюється у часі під впливом фізичних процесів, анімаційних ефектів чи взаємодії з об’єктами сцени. Його сутність полягає у моделюванні та відображенні змінної мікрогеометрії поверхні, де карти висот і нормалей оновлюються динамічно, а освітлення та затінення коригуються відповідно до поточного стану рельєфу. На відміну від статичних моделей, де рельєф залишається незмінним, динамічне текстурування забезпечує візуальну правдоподібність під час деформацій, утворення слідів, розтікання рідин, появи бруду або стирання поверхні [1].

Основна задача полягає у забезпеченні коректної видимості фрагментів мікрорельєфу та плавності змін при оновленні карт висот. Для цього застосовують ітераційні методи пошуку точок перетину променя з мікропрофілем поверхні. Відомі техніки паралакс-оклюзійного відображення дозволяють формувати реалістичні самооклюзії, тіні та зміщення текстур, не збільшуючи геометричну складність об’єктів [2]. У динамічному випадку важливо забезпечити часову узгодженість, щоб уникнути мерехтіння при русі камери чи швидких змінах висоти. З цією метою використовують адаптивне керування кількістю ітерацій залежно від кута огляду, градієнта висоти та швидкості зміни сцени.

Проблема різких перепадів висот вирішується методами типу «крутого паралаксу», які дозволяють точніше відтворювати мікрорельєф при значних висотних контрастах. Це особливо важливо для симуляції фізичних ефектів - утворення відбитків на піску, деформацій ґрунту, поширення тріщин або бризок рідини [3]. Для забезпечення плавності переходів між кадрами карти висот фільтруються або зберігаються у багаторівневому представленні, що дає змогу виконувати часову інтерполяцію значень.

Окрему увагу приділяють використанню полів відстаней, які дозволяють швидше визначати точку входу променя у мікроструктуру. У динамічних сценах такі поля оновлюються лише для змінених ділянок, що зменшує обчислювальне навантаження [4]. Для більшої точності візуалізації на ближніх планах методи рельєфного текстурування часто поєднують із геометричним уточненням через тесселяцію. Це забезпечує коректну побудову силуетів і контактів з іншими об’єктами, а також покращує відтворення тіней і відблисків [5].

Завдяки розвитку графічних процесорів стало можливим динамічне керування рівнем деталізації поверхні у реальному часі. Нові архітектури дозволяють виконувати локальне оновлення геометрії, перерахунок нормалей і тіней лише в тих зонах, де відбуваються суттєві зміни. Такий підхід особливо ефективний при використанні віртуального текстурування, яке дає можливість оновлювати лише активні ділянки карти, не перевантажуючи пам’ять системи [6]. Це важливо для великих ландшафтів, де рельєф змінюється частково - наприклад, при русі техніки або погодних ефектах.

Динамічне рельєфне текстурування тісно пов’язане з фізично коректним освітленням. Зміни висоти поверхні впливають на орієнтацію нормалей, розсіювання світла та формування тіней.

Щоб зберегти енергетичну узгодженість, сучасні рендер-системи виконують перерахунок нормалей у реальному часі або використовують комбіновані схеми - висота відповідає за паралакс, а попередньо фільтровані нормалі - за освітлення [2], [3]. Для змінного середовища (дощ, пил, іржа) вводяться додаткові параметри, що керують блиском і шорсткістю поверхні у часовій динаміці.

Важливою частиною є усунення міжкадрових артефактів. Для цього застосовують часову фільтрацію, поділ висотних компонентів на повільні та швидкі, а також багатошарові текстурні моделі. Низькочастотні деформації відтворюються з малою частотою оновлення, а високочастотні ефекти (бризки, пил) додаються через швидкі текстурні накладання. Такий підхід забезпечує плавність візуалізації та стабільність кадрів [4].

Динамічне рельєфне текстурування активно використовується у сучасних ігрових рушіях для моделювання погодних ефектів, руйнувань, слідів від ходи, процесів старіння матеріалів. Розвиток апаратних засобів забезпечує апаратне прискорення обчислень нормалей, тіней і паралаксів, що дозволяє застосовувати рельєфне текстурування навіть у системах трасування променів у реальному часі [7].

Таким чином, динамічне рельєфне текстурування є одним із напрямів розвитку методів реалістичного відображення поверхонь. Воно поєднує принципи мікрогеометричного моделювання, фізично обґрунтованого освітлення та оптимізації обчислень, забезпечуючи високу якість зображення без суттєвого зниження продуктивності. Цей підхід використовується не лише у візуалізації та ігровій графіці, а й у системах моделювання природних явищ, наукових симуляціях та промисловому дизайні.

Важливим аспектом розвитку динамічного рельєфного текстурування є реалізація обчислень безпосередньо на графічному процесорі (GPU). Завдяки паралельній архітектурі GPU більшість операцій виконується одночасно для тисяч фрагментів, що дає змогу забезпечити високу продуктивність навіть при значній кількості динамічних оновлень. На рівні фрагментних шейдерів здійснюється обчислення зміщення текстурних координат відповідно до карти висот, пошук точок перетину, визначення нормалі та її корекція для обчислення освітлення. Вершинні шейдери можуть виконувати попереднє зміщення геометрії у випадках, коли використовується тесселяція, тоді як геометричні шейдери забезпечують формування додаткових мікрополігонів для покращення деталізації [6].

Сучасні архітектури GPU, такі як NVIDIA Blackwell, AMD RDNA 4 чи Intel Xe2, мають спеціальні блоки для обчислення похідних, нормалей і тіней, що дозволяє виконувати складні рельєфні ефекти без помітного зниження частоти кадрів [7]. Графічні рушії нового покоління (Unreal Engine 5, Unity HDRP) реалізують динамічне рельєфне текстурування через тесселяційні та обчислювальні шейдери, які взаємодіють із системами віртуального текстурування. Останнє дає змогу оновлювати тільки ті ділянки карти, що знаходяться у полі зору камери або змінилися в результаті фізичної взаємодії. Така оптимізація значно зменшує трафік пам’яті, підвищує стабільність і дозволяє підтримувати інтерактивну швидкодію навіть на великих сценах [6].

Особливе місце займає обробка освітлення у GPU. Оскільки рельєф безпосередньо впливає на орієнтацію нормалей, їхнє оновлення виконується в обчислювальних шейдерах з використанням локальних градієнтів висоти. Це дозволяє отримати коректну взаємодію світла з поверхнею в режимі реального часу. У системах з трасуванням променів мікрорельєф відображається через спеціальні структури прискорення, які оновлюються лише локально, коли змінюється карта висот. Таким чином досягається баланс між геометричною точністю та швидкодією рендерингу.

GPU-реалізація також забезпечує інтеграцію рельєфного текстурування з фізично обґрунтованими моделями матеріалів (PBR). Це дозволяє не лише моделювати форму поверхні, а й змінювати оптичні властивості матеріалу в залежності від стану рельєфу: підвищення вологості робить поверхню більш блискучою, а накопичення пилу — матовою. Таке узгодження геометричних та оптичних характеристик забезпечує природне візуальне сприйняття матеріалу під час зміни умов освітлення.

Важливою проблемою при GPU-реалізації є стабільність у часі. Різкі зміни карт висот або нормалей можуть викликати мерехтіння та артефакти. Для усунення цього застосовують часову фільтрацію, буферизацію кадрів і багатошарову структуру текстур, де окремі канали відповідають

за різні часові інтервали або фізичні стани поверхні. У результаті GPU може коректно інтерполювати зміни без втрати плавності та цілісності зображення.

Список використаної літератури

[1] F. Policarpo, M. M. Oliveira, and J. L. D. Comba, “Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces,” Proc. ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D), 2005.
[2] N. Tatarchuk, “Practical Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows for Detailed Surface Rendering,” ACM SIGGRAPH Courses, 2006.
[3] M. McGuire, “Steep Parallax Mapping,” I3D Poster, 2005.
[4] W. Donnelly and A. Lauritzen, “Per-Pixel Displacement Mapping with Distance Functions,” in GPU Gems 2, NVIDIA, 2005.
[5] M. Nießner and C. Loop, “Analytic Displacement Mapping Using Hardware Tessellation,” Microsoft Research, 2013.
[6] Epic Games, “Runtime Virtual Texturing in Unreal Engine,” Documentation, 2025.
[7] NVIDIA, “NVIDIA RTX Blackwell GPU Architecture,” Whitepaper, 2025.

УДК 004.738.5

ІНТЕГРАЦІЯ ІГРОВИХ МЕХАНІК ДО ВЕБДОДАТКІВ: ГЕЙМІФІКАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАЛУЧЕННЯ КОРИСТУВАЧІВ

Рустамова А.Ю. (rustamova16012003@gmail.com)
Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна)

У тексті досліджуються можливості інтеграції ігрових механік у вебдодатки з метою підвищення залученості користувачів та покращення їх взаємодії з цифровим середовищем. Проаналізовано теоретичні засади гейміфікації та її вплив на поведінкові моделі користувачів, визначено найбільш ефективні механіки, розглянуто сучасні технологічні підходи до реалізації гейміфікаційних елементів у вебсередовищі та сформульовано практичні рекомендації щодо їх інтеграції у структуру та дизайн вебсервісів.

Постановка проблеми. Проблема підвищення рівня залученості користувачів вебдодатків залишається актуальною в умовах стрімкого розвитку цифрових технологій і високої конкуренції між онлайн-сервісами. Традиційні підходи до проєктування інтерфейсів не завжди забезпечують достатній рівень мотивації до повторного використання ресурсу або тривалої взаємодії з ним. Користувачі швидко втрачають інтерес до одноманітного функціоналу, а відсутність емоційної складової у взаємодії з системою знижує рівень задоволеності.

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є інтеграція елементів гейміфікації – застосування ігрових механік у неігровому середовищі. Використання таких механізмів дозволяє стимулювати користувачів до активнішої взаємодії, формує відчуття досягнення, змагання або прогресу. Це створює додаткову мотивацію та покращує користувацький досвід [1].

Разом з тим, у практиці веброзроблення відсутня єдина методика впровадження гейміфікації, що враховувала б особливості цільової аудиторії, цілі сервісу та специфіку дизайну інтерфейсу. Тому актуальним завданням є пошук ефективних способів поєднання принципів гейміфікації з UX/UI-дизайном вебдодатків, що забезпечуватиме підвищення залученості та лояльності користувачів.

Мета дослідження полягає у вивченні можливостей інтеграції ігрових механік у вебдодатки для підвищення рівня залученості користувачів та покращення їх взаємодії із цифровим середовищем. Для досягнення цієї мети було поставлено та виконано такі основні **завдання**:

1. Проаналізувати теоретичні засади гейміфікації та її вплив на поведінкові моделі користувачів.

2. Визначити найбільш ефективні ігрові механіки, що можуть бути адаптовані для вебдодатків різного типу.

3. Дослідити сучасні технологічні підходи до реалізації елементів гейміфікації у вебсередовищі.

4. Сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження гейміфікації у дизайн і структуру вебсервісів.

Суть дослідження. Гейміфікація передбачає застосування принципів і механік, запозичених із комп'ютерних ігор, з метою підвищення мотивації користувачів та формування позитивного досвіду взаємодії з цифровими продуктами. Вона спрямована не лише на те, щоб зробити користування вебдодатком більш цікавим, але й стимулює виконання певних дій, досягнення поставлених цілей і регулярне повернення до сервісу. Вплив гейміфікації на користувачів проявляється не лише через зовнішні заохочення, такі як нагороди чи рейтинги, а й через активізацію базових психологічних потреб людини, формуючи більш глибоку і тривалу мотивацію до взаємодії [2].

Люди схильні прагнути контролю над ситуацією – це дає відчуття стабільності й упевненості. Ігрові механіки, що дозволяють користувачеві самостійно обирати дії, цілі або темп просування, створюють саме це відчуття контролю над процесом. Також людям властива потреба у змаганні – ми природно прагнемо порівнювати свої результати з досягненнями інших. Конкуренція в помірних дозах стимулює активність і формує відчуття досягнення успіху. Цілеспрямованість – ще один ключовий психологічний фактор. Наявність чітких і досяжних цілей допомагає користувачу зосередитися, а ігрові завдання або місії виконують роль короткострокових цілей, які підтримують інтерес і поступово ведуть до більш складних досягнень. Крім того, гейміфікація забезпечує емоційне розвантаження. Наш мозок потребує перерви від рутини, повторюваних дій і надмірної когнітивної напруги. Ігрові елементи у вебдодатку є способом дати користувачеві короткочасний «відпочинок», який водночас залишається продуктивним. Важливим аспектом є також визнання слабких сторін і навчання через повторення. Ігрове середовище дозволяє користувачу без негативних наслідків робити помилки, вчитися на них і вдосконалювати свої дії. Це підсилює впевненість у власних силах і створює позитивну асоціацію з процесом навчання [3].

Таким чином, гейміфікація впливає на користувачів комплексно – на когнітивному, емоційному та мотиваційному рівнях. Вона поєднує прагнення до контролю, потребу в досягненнях, соціальну взаємодію та позитивне підкріплення, створюючи ефективне середовище для розвитку, навчання й утримання уваги користувачів.

Виходячи з того, який вплив має гейміфікація на користувачів, особливу важливість набуває вибір конкретних ігрових механік, які можуть найефективніше адаптуватися до вебдодатків різного типу та цільової аудиторії. До таких механік належать система балів, рівні, бейджі (досягнення), рейтинги (лідерборди), прогрес-бари та щоденні завдання.

Ігрові механіки можна ефективно впроваджувати у вебдодатках, створюючи інтерактивний та мотивуючий досвід для користувачів. Система балів є однією з базових механік і дозволяє винагороджувати користувачів за виконання різних дій, таких як заповнення профілю, участь у опитуваннях, коментування контенту або проходження навчальних модулів. Нарахування балів формує у користувача відчуття досягнення, стимулює активність і мотивує повертатися до сервісу повторно. Рівні демонструють поступовий прогрес та ускладнення завдань, створюючи довготривалу мотивацію. У вебдодатках це можна реалізувати через систему статусів або рангів, які відкривають нові функції, бонуси або контент, що додає відчуття розвитку та зростання компетенцій [4].

Бейджі та досягнення виконують роль візуального підтвердження успіхів користувача. Це можуть бути значки, медалі або сертифікати, які демонструють конкретні досягнення, наприклад, виконання певної кількості завдань або участь у спеціальних подіях. Такі механіки підсилюють внутрішню мотивацію, створюють почуття гордості та заохочують до освоєння нових можливостей вебдодатку. Лідерборди (рейтинги) відображають результати користувачів у порівнянні з іншими, стимулюючи здорову конкуренцію, соціальну взаємодію та формування спільноти активних учасників. Це можуть бути глобальні рейтинги всіх користувачів або локальні – у межах групи чи команди, що дозволяє адаптувати конкуренцію під конкретні потреби сервісу [4].

Прогрес-бари наочно демонструють ступінь виконання завдань або досягнення цілей, дозволяючи користувачу бачити свій поступ і планувати подальші дії. Вони можуть використовуватися для відображення заповнення профілю, проходження курсів або завершення проектів, допомагаючи зберегти мотивацію на кожному етапі. Щоденні завдання та челенджі формують звичку регулярної взаємодії з вебдодатком, підтримують постійну активність і знижують ризик втрати інтересу. Вони можуть реалізовуватися через сповіщення, інтерактивні нагадування або системи міні-завдань, що мотивують користувача виконати певні дії щодня [4].

При впровадженні гейміфікації у вебсервіси важливо починати з чіткого визначення цілей і розуміння потреб цільової аудиторії, щоб стимулювати потрібні дії, наприклад підвищення активності, регулярне повернення на платформу або взаємодію у спільноті. Обираючи ігрові механіки, слід враховувати специфіку сервісу: система балів і прогрес-бари добре працюють у навчальних або інформаційних платформах, бейджі та досягнення мотивують у професійних або соціальних сервісах, а лідерборди – там, де доречна конкуренція між користувачами.

Механіки повинні органічно інтегруватися у структуру вебсервісу: прогрес-бари – у профілі або модулях, щоденні завдання – через інтерактивні сповіщення на головній сторінці. Важливо забезпечити поступовість і адаптивність, щоб користувачі могли звикнути до нових елементів, а нагороди та завдання відповідали їхньому рівню активності. Персоналізація досвіду через індивідуальні челенджі, спеціальні бейджі або динамічні завдання підвищує мотивацію та залученість. Не менш важливо мотивувати користувачів через соціальне визнання, використовуючи рейтинги, лідерборди і систему досягнень. Під час впровадження слід регулярно відстежувати ефективність механік за допомогою аналітики та зворотного зв’язку, щоб оптимізувати систему, при цьому підтримуючи баланс між стимулюванням і перевантаженням користувача, уникати надлишку сповіщень або складних рівнів, які можуть дезорієнтувати.

Висновок. Дослідження показало, що інтеграція ігрових механік у вебдодатки є ефективним інструментом підвищення залученості користувачів і покращення взаємодії з платформою. Механіки, такі як система балів, рівні, бейджі та досягнення, лідерборди, прогрес-бари та щоденні завдання, дозволяють комплексно впливати на когнітивні, емоційні та мотиваційні аспекти поведінки користувачів, задовольняючи їхні потреби у контролі, досягненнях і соціальній взаємодії.

У вебсередовищі ці механіки можуть реалізовуватися через динамічні профілі, інтерактивні модулі, рейтинги та сповіщення, а сучасні технології дозволяють персоналізувати завдання і нагороди для кожного користувача. Практичне впровадження гейміфікації передбачає органічну інтеграцію механік у структуру сервісу, поступовість їх введення, адаптацію до потреб користувачів, соціальне визнання через досягнення та регулярну оптимізацію системи. Комплексне застосування гейміфікації підвищує рівень залученості, формує стійку мотивацію до повторної взаємодії та відкриває нові можливості для розвитку вебплатформ у навчальному, соціальному та комерційному контекстах.

Список використаної літератури

1. Учасники проектів Вікімедіа. “Гейміфікація – Вікіпедія”. Вікіпедія. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гейміфікація
2. “Гейміфікація та поведінкова економіка: вплив на прийняття рішень через ігри”. Smartico - Unified CRM & Gamification Solution for iGaming. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.smartico.ai/uk/blog-post/gamification-behavioral-economics
3. “Психологія гейміфікації та її вплив на поведінку користувачів”. Smartico - Unified CRM & Gamification Solution for iGaming. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.smartico.ai/uk/blog-post/gamification-impact-user-behavior
4. “Ігрові механіки.” Онлайн-курси від компанії QATestLab | Головна сторінка. Дата звернення: 14 жовт. 2025. [Онлайн]. Доступно: https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/game-mechanics/

УДК 004.8:37.018.43

ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОГО ШІ СУПРОТИВНИКІВ У СИМУЛЯТОРАХ МОРСЬКИХ ВІЙСЬКОВИХ ОПЕРАЦІЙ

Струк Н.О., Логінова Н.І. (struk@onua.edu.ua, loginova@onua.edu.ua)
Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)

В тезі розглядається підхід до розробки адаптивної системи штучного інтелекту для супротивників у симуляторах морських операцій з використанням Unreal Engine 5. Описано архітектуру системи на основі State Trees, Behavior Trees, EQS та AI Perception. Представлено методику створення динамічної поведінки ворожих агентів, що адаптується до дій гравця. Розроблено алгоритми прийняття тактичних рішень для юнітів з урахуванням специфіки протидій морським дронам.

Симулятори відіграють ключову роль у підвищенні якості підготовки операторів безпілотних надводних апаратів (БНА). Ігрові симулятори створюють безпечне та контрольоване віртуальне середовище, у якому пілоти можуть відпрацьовувати практичні навички та вдосконалювати техніку керування БНА. Використання таких програмних засобів має низку переваг та дає можливість відтворення реалістичних сценаріїв. Віртуальні симуляції здатні моделювати різноманітні умови навколишнього середовища: зміну швидкості та напрямку вітру чи течії, штиль або шторм, а також появу перешкод, які можуть виникати під час реальних операцій. Завдяки цьому пілоти мають змогу розвивати необхідні навички маневрування та прийняття ефективних рішень у складних і непередбачуваних ситуаціях.

Впровадження алгоритмів штучного інтелекту ШІ) та машинного навчання в такі тренувальні системи є надзвичайно актуальним, адже це дає змогу суттєво підвищити ефективність навчальних програм, скоротити час підготовки та зменшити витрати на здобуття необхідних професійних навичок [1].

Розробка симуляторів морських військових операцій потребує дизайну систем ШІ, здатних імітувати тактичну поведінку ворожих сил. Проблема полягає у необхідності забезпечення балансу між реалістичністю поведінки ШІ-агентів та їх здатністю адаптуватися до різноманітних стратегій гравця, при цьому зберігаючи високу продуктивність системи.

Метою дослідження є розробка архітектури адаптивного ШІ для юнітів-супротивників, що забезпечує реалістичну тактичну поведінку та динамічну адаптацію до дій гравця в реальному часі.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

1. Аналіз існуючих підходів до створення ігрового ШІ у морських симуляторах.
2. Проектування архітектури прийняття рішень на основі State Trees (дерев стану) та (дерев поведінки).
3. Розробка системи сприйняття навколишнього середовища з використанням AI Perception.
4. Застосування Environment Query System для динамічного аналізу ситуації.
5. Створення алгоритмів адаптації поведінки супротивників.

Архітектура системи ШІ заснована на ієрархічному підході до прийняття рішень, що забезпечує гнучкість, масштабованість та ефективність у керуванні поведінкою віртуальних агентів. Основу цієї архітектури становлять State Trees (дерева станів), які відповідають за управління різними станами ШІ-агентів і забезпечують динамічне та логічно узгоджене переключення між ними залежно від ситуації у симуляційному середовищі. Станами агентів є патрулювання у стані спокою, перевірка видимості цілі, якщо гравець ввійшов у поле зору супротивників, переслідування та атака у разі виявлення. Застосування State Trees вважається більш ефективним рішенням, порівняно з використання традиційними Behaviour Trees, тому що взаємодія між станами відбувається на більш високу рівні [2]. Крім того, ієрархічна структура дерев станів сприяє спрощенню подальшого розширення функціоналу системи. Додавання нових типів поведінки, оновлення логіки реагування чи адаптація до нових сценаріїв відбувається швидше й потребує менше обчислювальних ресурсів. Такий підхід також покращує підтримуваність коду, дає змогу ефективніше проводити налагодження та оптимізацію алгоритмів, що є особливо важливим у контексті складних військових симуляцій, де важлива не лише

точність, а й швидкодія системи.

Система AI Perception у симуляторі виконує ключову роль у зборі та обробці інформації про навколишнє середовище, забезпечуючи інтелектуальних агентів необхідними даними для прийняття рішень [3]. Вона дозволяє моделювати сприйняття світу подібно до людського чи технічного – через поєднання кількох типів сенсорів, кожен із яких відповідає за певний аспект аналізу простору.

Для юнітів, що здійснюють охорону прибережної зони, було реалізовано комплекс спеціалізованих сенсорів, здатних адаптуватися до різних умов. Основним елементом є візуальний сенсор, який імітує зір і враховує такі фактори, як відстань видимості, освітлення та погодні умови. Це дозволяє забезпечити реалістичну поведінку агентів, оскільки вони реагують на зміни у середовищі так само, як це відбувається у реальних ситуаціях.

Додатково використовується акустичний сенсор, який дає змогу виявляти об’єкти за допомогою звукових сигналів, наприклад шуму двигуна надводного дрона або руху техніки на воді. Такий підхід підвищує рівень достовірності симуляції, адже дозволяє моделювати багатоканальне сприйняття, подібне до того, яке використовують справжні військові системи спостереження.

Окремо було розроблено новий тип сенсора, який відповідає за дальнє виявлення дронів – своєрідний аналог радарної системи. Він забезпечує раннє попередження про появу цілей на великій відстані, що дає агентам змогу своєчасно реагувати та змінювати свій поточний стан – переходити від патрулювання до переслідування чи підготовки до атаки.

Завдяки інтеграції системи AI Perception із різними типами сенсорів досягається високий рівень адаптивності та реалістичності поведінки агентів. Це робить симуляцію більш наближеною до реальних бойових умов, де ефективність дій залежить від здатності своєчасно сприймати та інтерпретувати інформацію з навколишнього середовища.

Система Environment Query System (EQS) [4] в нашому симуляторі використовується для аналізу тактичної обстановки й визначення вигідніших позицій для маневрування та ведення бою. EQS формує запити, які одночасно оцінюють різні фактори – від відстані до ворожих цілей і доступності засобів, придатних для боротьби з дронами, до наявності позицій для атаки з прямою видимістю на ціль і комбінує ці показники в загальну оцінку придатності точки. На основі зважених критеріїв система ранжує потенційні місця розміщення та пропонує агентам оптимальні варіанти для пересування, прихованого розміщення або відкритого обстрілу.

Крім того, EQS працює динамічно: під час зміни ситуації – появи нових загроз, переміщення супротивника або зміни умов оточення, запити переоцінюють доступні опції й оновлюють пріоритети, що дозволяє агентам адаптувати тактику в реальному часі. Такий підхід підвищує ефективність прийняття рішень і забезпечує більш реалістичну й гнучку поведінку підрозділів у складних сценаріях симуляції.

Система підтримує динамічне зважування критеріїв залежно від поточного стану ШІ-агента. Наприклад, ворожий піхотинець використає гранатомет для більш чіткого влучання по гравцеві, якщо той відпливе від відстані стрільби автомата.

Адаптивність системи досягається через механізм аналізу дій гравця та модифікації параметрів поведінки. Для цього розроблено компонент на C++, який постійно відстежує ключові аспекти дій гравця – напрямок і швидкість його руху, відстань між гравцем і ворожим юнітом, модель надводного дрона, яким керує гравець, а також наявність або відсутність озброєння на цьому дроні. На основі зібраних даних система адаптує тактичні налаштування: змінює агресивність переслідування, пріоритети виявлення, вибір зброї та тактику укриття, що дозволяє створити більш реалістичну й складну поведінку супротивника та підвищити загальну ефективність тренувального процесу.

На основі отриманих даних система налаштовує параметри ризику для ШІ-агентів, перевіряє пороги активації режимів поведінки та аналізує критерії у EQS-запитах. Даний підхід надає поступове підвищення складності та створює відчуття "розумного" супротивника.

Для оптимізації продуктивності було реалізовано систему рівнів деталізації (Level of Details, LOD) для ШІ-логіки. ШІ-опоненти, поза полем зору гравця, використовують спрощені алгоритми прийняття рішень та рідшу частоту оновлення стану цих агентів. Ворожі юніти, що знаходяться у межі поля зору гравця, використовують повний спектр їхнього функціоналу. Також у симуляторі застосовано асинхронні EQS-запити для запобігання просадкам кадрової частоти.

Тестування розробленої системи показало, що комбінування State Trees для стратегічного планування та Behavior Trees для тактичної реалізації забезпечує гнучку та масштабовану архітектуру. ШІ-агенти демонструють наступну поведінку:

- координовані атаки піхотними або машинними групами;
- використання наявних поблизу інструментів для отримання тактичної переваги над гравцем (стаціонарних кулеметів, гранатометів, прожекторів, засобів РЕБ та РЕР);
- застосування маневру оточення.

Адаптивна система надає змогу ШІ поступово підлаштовуватися під стиль гри користувача, що у свою чергу, покращує реіграбельність симулятора.

Розроблений підхід до створення адаптивного ШІ супротивників для симуляторів морських операцій на базі Unreal Engine 5 забезпечує реалістичну та динамічну поведінку ШІ-агентів. Використання State Trees для стратегічного управління у поєднанні з Behavior Trees для тактичної реалізації дій створює ефективну багаторівневу архітектуру прийняття рішень. Інтеграція EQS та AI Perception дозволяє агентам адекватно оцінювати тактичну обстановку та приймати обґрунтовані рішення. Механізм адаптації на основі аналізу дій гравця підвищує складність та реіграбельність симулятора. Подальший розвиток системи може включати застосування методів машинного навчання для більш глибокої адаптації поведінки та розширення тактичного репертуару ШІ-агентів.

Список використаної літератури

[1] Трофименко О., Дика А., Логінова Н., Задерейко О., Струк Н. (2024). Штучний інтелект у військових навчальних симуляторах. *Інформаційні технології та суспільство*, (2 (13), 89-95. https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.13

[2] Epic Games, "State Tree in Unreal Engine", Unreal Engine Documentation, 2024. [Online]. Available: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/overview-of-state-tree-in-unreal-engine?application_version=5.3. [Accessed: Oct.10, 2025].

[3] Epic Games, "AI Perceptioon in Unreal Engine", Unreal Engine Documentation, 2024. []. Available: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/ai-perception-in-unreal-engine?application_version=5.3. [Accessed: Oct. 10, 2025]

[4] Epic Games, "Environment Query System in Unreal Engine", Unreal Engine Documentation, 2024. [Online]. Available: https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/environment-query-system-in-unreal-engine/. [Accessed: Oct. 10, 2025].

УДК 004.45:004.438:004.94

ОПЕРАЦІЙНІ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ У VR/AR-ТРЕНАЖЕРАХ ТА ІГРОВИХ СИМУЛЯТОРАХ

Таволжан Д.О., Ткаченко О.М.
(dianatavolzhan@knu.ua, olga.tkachenko@knu.ua),
Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка (Україна)

Високоточні вбудовані системи є основою для створення ефективних VR/AR-тренажерів та ігрових симуляторів, оскільки дозволяють досягти мінімальних затримок при обробці даних та забезпечують високу точність відслідковування рухів і відображення зображень. Задля цього використовуються інноваційні апаратні та програмні рішення, такі як високопродуктивні процесори, графічні процесори з низьким рівнем затримок, та реальні операційні системи (RTOS), які гарантують детерміноване планування задач. Алгоритми сенсорної фьюжн та графічні API забезпечують високу точність у обробці даних, що сприяє створенню реалістичних віртуальних середовищ з мінімальною затримкою.

Постановка проблеми.

Сучасні VR/AR-тренажери та ігрові симулятори вимагають високопродуктивних вбудованих систем, що здатні забезпечити реальний час обробки мультимодальних даних з мінімальною

затримкою для створення реалістичних і інтерактивних віртуальних середовищ. Проблемою є необхідність інтеграції апаратних і програмних рішень, здатних виконувати складні обчислення з високою точністю при обмежених ресурсах.

Важливим аспектом є використання операційних систем реального часу (RTOS), які дозволяють ефективно управляти багатозадачністю, забезпечуючи мінімальні затримки у зворотному зв'язку між користувачем і системою.

Однак, через складність інтеграції апаратного та програмного забезпечення в рамках обмежених енергетичних і обчислювальних можливостей, досягнення необхідного рівня ефективності є складним завданням.

Операційні системи реального часу (RTOS) використовуються для гарантованого виконання задач у визначений час, що є критично важливим для таких застосувань, як автомобільні системи, медичні пристрої та промислові рішення, де затримки можуть мати серйозні наслідки. Вони забезпечують високу передбачуваність у виконанні завдань, що дозволяє підтримувати надійність та точність роботи системи у реальному часі.[2]

Метою дослідження є аналіз архітектурних і алгоритмічних стратегій для розробки високопродуктивних вбудованих платформ, що підтримують реальний час в обробці мультимодальних даних для VR/AR-тренажерів та ігрових симуляторів. Зокрема, розглядаються можливості використання RTOS для забезпечення точного трекінгу користувацьких рухів, рендерингу високоякісних візуальних сцен і досягнення мінімальної затримки в системах, що використовуються для віртуальних реалій.

Операційна система реального часу (RTOS) — це тип операційної системи, призначений для забезпечення своєчасної та детермінованої обробки додатків реального часу. Ці системи вимагають негайної реакції на події або виконання певних завдань у визначений проміжок часу.

Високопродуктивні вбудовані системи є ключовими компонентами для забезпечення реального часу в сучасних VR/AR-програмах. Вони інтегрують різноманітні датчики (сенсори), наприклад, акселерометри та гіроскопи, для точного трекінгу користувацьких рухів. Однак, одна з головних проблем полягає в необхідності низької латентності при обробці та відображенні даних, що критично для підтримки реалістичного досвіду користувача. Використання RTOS дозволяє забезпечити детерміновану роботу системи, де пріоритетні задачі, такі як обробка сенсорних даних та рендеринг візуальних зображень, виконуються без затримок. Враховуючи необхідність високої обчислювальної потужності при обмеженому енергоспоживанні, вбудовані системи використовують спеціалізовані процесори та інтегровані графічні платформи для оптимізації витрат енергії без втрати якості зображень. Для забезпечення високої точності у трекінгу і рендерингу, особливо в умовах 3D середовищ, важливим є використання алгоритмів ф'южн-сенсорів і графічних API, таких як Vulkan та OpenGL ES, що дозволяють оптимізувати обробку графіки[1].

За допомогою RTOS, системи здатні обробляти велику кількість завдань в реальному часі, гарантуючи, що важливі функції, такі як управління сенсорами та взаємодія з користувачем, виконуються без затримок. Це досягається завдяки чітко визначеним пріоритетам задач та механізмам, які забезпечують, щоб критичні операції виконувалися в необхідний час[2].

Серед популярних RTOS, які можуть бути потенційно застосовані в системах VR/AR, — FreeRTOS, Zephyr, QNX, VxWorks, RTEMS, ChibiOS, NuttX тощо. Ці системи відрізняються підходами до пріоритетного планування, контекстного переключення, підтримки апаратного прискорення та інтеграції з графічними стеками. Наприклад, NuttX — це мікроядро RTOS з підтримкою POSIX інтерфейсів, що дозволяє переносити багато додатків між RTOS та загальними ОС [NuttX у списку джерел]. RTOS, орієнтовані на вбудовані системи, можуть мати мінімальний наклад (footprint) і оптимізовані механізми пріоритетного виконання, що робить їх придатними для часових вимог VR-додатків, де важлива низька латентність [3].

Висновки.

Реалізація ефективних вбудованих систем з використанням операційних систем реального часу (RTOS) для VR/AR-тренажерів та ігрових симуляторів є критично важливою для досягнення низької латентності, високої точності обробки даних і створення переконливих віртуальних середовищ. RTOS дозволяють гарантувати детерміноване виконання задач, що забезпечує

надійний і стабільний зворотний зв'язок між користувачем та системою в умовах високих навантажень. Завдяки чітко структурованій багатозадачності, механізмам пріоритетного планування і ефективному керуванню ресурсами, RTOS значно підвищують продуктивність вбудованих систем у реальному часі.

Інтеграція RTOS з високопродуктивними процесорами, енергоефективними графічними прискорювачами та сучасними алгоритмами обробки мультимодальних даних (сенсорна ф'южн, трекінг, рендеринг) дозволяє реалізувати надреалістичні й інтуїтивно зрозумілі користувацькі сценарії. Особливої важливості набуває використання гнучких та масштабованих RTOS, таких як FreeRTOS, Zephyr, QNX, RTEMS, NuttX, що мають підтримку сучасних інтерфейсів, зокрема POSIX, і можуть бути адаптовані під конкретні вимоги VR/AR-додатків.

Враховуючи зростаючу складність тренажерних і симуляційних систем, доцільним є подальше дослідження адаптації RTOS до нових викликів, пов'язаних із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту, глибокого навчання та прогнозної аналітики в умовах реального часу. У перспективі поєднання RTOS з інтелектуальними системами прийняття рішень може дозволити досягти ще вищого рівня інтерактивності, адаптивності й персоналізації досвіду користувача.

Список використаної літератури:

[1] L. Silva, "High-Fidelity Embedded Systems for Virtual Reality Applications," *American Journal of Embedded Systems and VLSI Design*, vol. 6, no. 3, 2025. [Online]. Available: https://australiansciencejournals.com/ajesvd. [Accessed: 05-Oct-2025].

[2] BVM, "The benefits of using an RTOS," BVM Ltd., [Online]. Available: https://www.bvm.co.uk/faq/the-benefits-of-using-an-rtos/. [Accessed: 05-Oct-2025].

[3] Lynx Software Technologies, "Most popular real-time operating systems (RTOS) (2025)," Lynx, [Online]. Available: https://www.lynx.com/blog/most-popular-real-time-operating-systems-rtos. [Accessed: 05-Oct-2025].

УДК 004.582

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВІДКРИТОГО WEB-AR-КОНСТРУКТОРА У GITHUB-СЕРЕДОВИЩІ З ПІДТРИМКОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Халаміренко О. І., Блажко О. А. (isalliok@gmail.com, blazhko@op.edu.ua)
Національний університет «Одеська політехніка» (Україна)

В тезах розглянуто процес модернізації конструктора для маркер-орієнтованої технології доповненої реальності та змішаної реальності. Конструктор дозволяє налаштовувати візуалізацію маркерів через редагування JSON-файлу у GitHub-репозиторії та розгортати WebAR-застосунок через GitHub Pages. Модернізований конструктор може бути використаний для створення каркасу настільної AR/MR-гри.

Вступ. Навесні 2021 року за підтримки міжнародної IT-компанії *GlobalLogic* було виконано освітній проєкт «Розробка настільних навчальних ігор за темами дисципліни «Операційні системи» з використанням технологій доповненої та змішаної реальності" [1]. В межах проєкту було створено *WebAR*-конструктор, який дозволяє створювати *WebAR*-застосунки на веб сервісі *GitHub* [2]. Впродовж наступних декількох років *WebAR*-конструктор було впроваджено у навчальний процес студентів 1-го курсу [3].

Постановка проблеми. Результати освітнього проєкту 2021 року підтвердили відомі твердження, які є актуальними у 2025 році:

– студенти охоче беруть участь у розважальних настільних іграх із гральним полем, фішками, картками та кубиками, які активізують змагання і відпочинок за одним столом;

– гра може стати інструментом підвищення інтересу та повторного опрацювання навчальних знань, які складно засвоюються через класичний навчальний процес;

– створення навчальної гри вимагає міждисциплінарної роботи (педагогічний дизайн, ігрова механіка, тестування), складність якої залежить від сценарію гри(від простих карток «запитання-відповідь» до десятків правил переходу гри у різні стани);

– маркер-орієнтована технологія доповненої реальності (*Marker-based AR*) дозволяє динамічне оновлювання мультимедійного контенту (представлення) карток та ігрових елементів настільної гри через цифрові ресурси, без зміни фізичних об’єктів;

– *AR*-технологія ефективна для настільних ігор із простими сценаріями;

– для складних сценаріїв, що вимагають двосторонньої взаємодії гравців із віртуальними об’єктами, необхідно застосовувати технологію змішаної реальності (*MR*);

– розробка *AR/MR*-гри може бути складною при використанні традиційних програмних методів із залученням програмістів;

– сучасні *low-code* платформи конструювання *AR*-застосунків зменшують рівень навичок програмування, але надають обмежені можливості вільного та безкоштовного некомерційного використання, що важливо для впровадження у навчальному процесі;

Результати використання декількох років запропонованого в освітньому проєкті *WebAR*-конструктора визначили наступні недоліки:

– необхідність навичок із подальшого редагування автоматично створеного *JavaScript*-модуля (множина масивів із описом маркерів та мультимедіа-контенту);

– відсутність можливості застосувати *MR*-технологію.

Мета роботи – спростити процес налаштування *AR*-маркерів із описом мультимедіа-контенту різного типу та підключити *MR*-технологію зі спеціалізованим маркер-контролером.

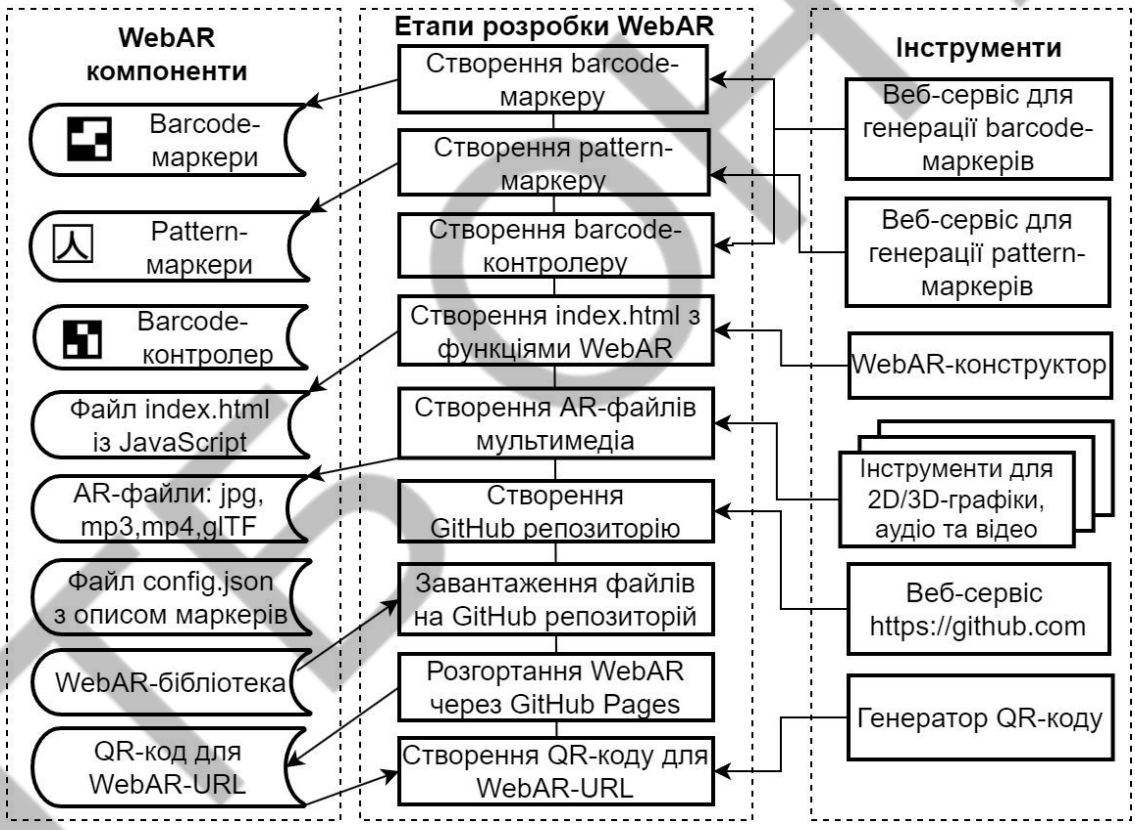


Рисунок 1 – Процеси для створення *WebAR*-застосунку з використанням конструктора

Опис рішення. Для досягнення мети проведено аналіз процесів, які виконувалися для створення *WebAR*-застосунку з використанням *WebAR*-конструктора (рисунок 1).

WebAR-конструктор пропонує створювати *AR*-маркери, враховуючи наступне:

1) серед *WebAR*-маркерів одним із найпростішим для використання є *BarCode*-маркер, створення якого базується на відомій концепції *QR*-кодів, але лише для кодування переліку чисел, наприклад, піксельна матриця *3x3* дозволяє закодувати числа від 0 до 63 [4];

2) *Pattern*-маркер (шаблонний маркер) – маркер, який містить просте бітональне (двокольорове) зображення всередині кордону квадратної смужки інверсного кольору (чорного або білого), перевагою якого перед *BarCode*-маркером є можливість відобразити особливий малюнок, семантично пов'язаний із об’єктом та більш зрозумілий для користувача [5];

3) процес створення *Pattern*-маркерів вимагає базується на перетворені малюнку у формат маркер орієнтованого зображення та текстового *patt*-файлу, який містить стиснене представлення зображення із роздільною здатністю *16x16*, що вимагає додаткових дій з пошуку та розпізнавання маркерів серед переліку маркерів, які зберігаються у каталозі *WebAR*-застосунку, тому *BarCode*-маркер розпізнається швидше та надійніше.

WebAR-конструктор підключає до *AR*-маркерів (*Barcode/Patern*) наступний мультимедіа-контент: зображення, аудіо, відео та *3D*-моделі (рекомендовано *glTF/glb*-формат).

Для підключення *MR*-технології було оновлено *JavaScript*-код основного файлу *index.html* за наступними кроками:

1) у якості *MR*-контролера «торкання» *AR*-об’єктів рекомендовано використати *Barcode*-маркер через його надійність та швидкість розпізнавання;

2) *MR*-контролер використовує *3D*-примітив у формі вузького зеленого чотирикутника та додаткового кордонного червоного прямокутника як *MR*-об’єкта, який повинен «торкатися» *AR*-об’єктів;

3) контроль появи події «торкання» *MR*-об’єкту із *AR*-об’єктами реалізовано через просторовий перетин їх поверхонь;

4) поява події «торкання» призводить до зміни мультимедіа-контенту *AR*-об’єкту з першого на другий, що визначається в описі *AR*-маркеру;

Для спрощення процесу налаштування *AR*-маркерів їх опис винесено в окремий файл *config.json*. Додатково представлено опис *MR*-контролера.

На рисунку 2 наведено фрагмент конфігураційного файлу *JSON*-структури з опису двох *AR*-маркерів та одного *MR*-маркеру.

```
{ "id": 7,                          <-------- Ідентифікатор маркеру
  "type": "pattern",                <-------- Тип маркеру (barcode або pattern)
  "target": "pattern-Bender.patt",  <-------- Для barcode=маркера - це число, для pattern - назва patt-файлу
  "contentType": "primitive",       <-------- Тип мультимедіа-контенту - 3D-примітив
  "primitive": {                    <-------- Тип - геометричний примітив
    "type": "SphereGeometry",       <-------- Тип примітиву - Сфера
    "radius": 0.5,                  <-------- Радіус сфери
    "widthSegments": 16,            <-------- Ширина сегменту
    "heightSegments": 16,           <-------- Висота сегменту
    "color": "#00ff00",             <-------- Колір сегменту
    "textureFile": "texture_red.jpg",<-------- Файл із текстурою сфери
    "animation": { "type": "rotation", "axis": "x", "speed": 0.02 } <-------- Опис анімації об'єкту
  },
  "alternativeContent": { <-------- Альтернативний контент, який відображається під час торкання MR-маркером
    "contentType": "primitive", <-------- Тип мультимедіа-контенту - 3D-примітив
    "primitive": {
      "type": "BoxGeometry", <-------- Тип примітиву - Куб
      "size": [1.2, 1.2, 1.2], <-------- маштабування 3D-примітиву
      "textureFile": "texture_blue.jpg", <-------- Файл із текстурою сфери
      "animation": { "type": "rotation", "axis": "z", "speed": 0.025 }
    }}},
{ "id": 10, <-------- Ідентифікатор маркеру
  "type": "barcode",
  "target": 7,
  "contentType": "controller"       <-------- Тип контенту - контролер для взаємодії з грою
}
```

Рисунок 2 – Приклад конфігураційного файлу

Висновки. З використанням оновленого *WebAR*-конструктора створено експериментальний каркас для майбутньої *AR/MR*-гри, який у зовнішньому конфігураційному *JSON*-файлі містить опис 5-ти *Barcode*-маркерів із анімованими *3D*-примітивами типу *BoxGeometry* (куб), *SphereGeometry* (сфера), *CylinderGeometry* (циліндр), *ConeGeometry* (конус), *TorusGeometry* (тор або «бублик») та опис 4-х *Pattern*-маркерів із відео та *3D*-моделями. Перевірено можливість «торкання» *MR*-контролера до *AR*-об’єктів через зміну кольору для 2-х *3D*-примітивів. Тому мету роботи зі спрощення процесу налаштування *AR*-маркерів та підключення *MR*-технології зі спеціалізованим маркер-контролером, досягнуто.

Список використаної літератури

[1] “GameHub ONPU. Презентація проєкту ‘Розробка настільних навчальних AR/MR-ігор з дисципліни “Операційні системи”’,” [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=EssxpJPtf1Y [Accessed: October 10, 2025].

[2] О. Ю. Савенюк і О. А. Блажко, “Особливості використання технології доповненої реальності для розробки настільних навчальних ігор,” *Матеріали XXII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій”*, 21–22 квіт. 2022 р., Одеса, Україна. Одеса: Видавництво ОНТУ, 2022, с. 219–220. [Online]. Доступно: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2022/Conference_abstract-IT-21-22-04-22.pdf

[3] O. Blazhko and N. Shtefan, “Development of Marker-Based Web Augmented Reality Educational Board Games for Learning Process Support in Computer Science,” *2023 6th Experiment@ International Conference (exp.at'23)*, Évora, Portugal, 2023, pp. 146–151. doi: 10.1109/exp.at2358782.2023.10545689.

[4] “2D Barcode Marker Generator for ARToolKit Professional v4.5.3,” ARToolworks, Inc., 2011. [Online]. Available: https://www.artoolworks.com/support/app/marker.html. [Accessed: October 10, 2025].

[5] “AR.js Marker Training,” Jerome Etienne, 2017. [Online]. Available: https://jeromeetienne.github.io/AR.js/three.js/examples/marker-training/examples/generator.html. [Accessed: October 10, 2025].

УДК 794.9:339.1

ІНДУСТРІЯ РОЗВАГ: БІЗНЕС-МОДЕЛІ, МАРКЕТИНГ ТА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Циб А.О. (anna.tsyb.07@gmail.com)
Державний біотехнологічний університет (Україна)

У роботі проведено комплексний аналіз сучасних бізнес-моделей та маркетингових стратегій у двох найприбутковіших, але принципово різних за спрямуванням сегментах індустрії розваг – геймдеві (розробці відеоігор) та азартних іграх. Досліджено ключові відмінності та точки перетину в підходах до отримання доходу, залучення та утримання клієнтів. Геймдев орієнтований на продаж розважального досвіду, тоді як азартні ігри – на отримання прибутку через азарт та ризик грошей, що формує різні моделі монетизації. Визначено основні проблеми та виклики, пов’язані з етикою, регулюванням та соціальною відповідальністю компаній у цих галузях, зокрема критику механік на межі азарту (loot boxes) у іграх та ризики ігрової залежності. Запропоновано перспективні напрями розвитку обох індустрій, зокрема, інтеграцію штучного інтелекту для персоналізації досвіду та підвищення ефективності маркетингу.

Сучасна цифрова економіка характеризується стрімким зростанням індустрії розваг, серед яких ключові місця посідають розробка відеоігор (геймдев) та азартні ігри. Обидва напрями базуються на створенні високої залученості користувача, проте мають принципово різні цілі та філософію: геймдев орієнтований на надання якісного розважального досвіду, розвиток креативності та майстерності гравця, тоді як азартні ігри зосереджені на отриманні виграшу та ризику грошових вкладень. Ринок онлайн-гемблінгу за період 2017-2024 рр. зазнав стрімкого глобального зростання, проте з різною динамікою по країнах (табл.1).

Беззаперечним лідером за темпами зростання стали США (у 8.2 рази), що свідчить про швидку легалізацію та масштабне впровадження послуг у цьому регіоні. Разом з тим, формується чітка географічна стратифікація: високий середній дохід на користувача в Австралії ($1683) вказує на зрілий ринок з високою платоспроможністю, тоді як значне зростання в Індії (у 3.7 рази) при низькому середньому чеку ($138) свідчить про етап масового охоплення нових користувачів із великим потенціалом. Таким чином, індустрія демонструє одночасну експансію як у вже сформованих, так і на нових ринках, що підтверджує її глобальну трансформацію та адаптивність.

Метою даного дослідження є систематизація бізнес-підходів, порівняльний аналіз механік монетизації та маркетингових інструментів у цих двох сегментах, а також оцінка майбутніх трендів та регуляторних викликів, пов'язаних із етикою, соціальною відповідальністю та законодавчими обмеженнями.

Таблиця 1 – Дохід на ринку онлайн-гемблінгу, млрд. $ [1]

Країна	2017	2024	2024 до 2017, %	Середній дохід з одного користувача, 2024 рік
Австралія	3,04	10,1	у 3,4 рази	1683 $
США	2,8	23,03	у 8,2 рази	421 $
Велика Британія	6,12	13,78	у 2,3 рази	590 $
Німеччина	2,4	5,65	у 2,4 рази	608 $
Індія	0,78	2,9	у 3,7 рази	138 $
Канада	1,08	3,69	у 3,4 рази	190 $
Франція	1,98	4,12	у 2,1 рази	307 $

У геймдеві домінуючою бізнес-моделлю стала Free-to-Play (F2P), яка передбачає безкоштовний доступ до гри з монетизацією через внутрішньоігрові покупки. «In-App Purchases» – це стратегія заробітку в мобільних і онлайн-іграх, коли розробники пропонують гравцям купувати віртуальні товари, послуги чи контент за реальні гроші всередині гри, щоб отримати переваги, прискорити прогрес або отримати доступ до ексклюзивного контенту.

Основними механіками монетизації в цій моделі є: продаж виключно косметичних предметів (скінів, одягу для персонажів), що не надають ігрових переваг; покращення (бусти) для прискорення прогресу; а також бойові пропуски (Battle Passes) – системи винагород за активність, які стали одним з найефективніших інструментів утримання гравців. На відміну від азартних ігор, де основним об'єктом купівлі-продажу є шанс на виграш грошей, монетизація в геймдеві спрямована на продаж додаткового досвіду та емоцій [2].

Класична Premium-модель (разова оплата) залишається актуальною для великих AAA-проєктів з високим бюджетом та впізнаваними брендами. Модель підписки (наприклад, Xbox Game Pass) набуває популярності, пропонуючи доступ до великої бібліотеки ігор за регулярну плату, що робить ігровий досвід більш доступним. Додатковими джерелами доходу, особливо для мобільних ігор, є реклама (перегляд відео за винагороду, банери) та спонсорські інтеграції [3].

В азартних іграх основним джерелом доходу є депозитна модель, коли гравець вносить реальні гроші для участі. На відміну від геймдеву, де гроші сплачуються за контент або емоції, тут кошти є прямою ставкою та об'єктом ризику. Платформи отримують прибуток за рахунок вбудованої математичної переваги казино (house edge) – алгоритму, що гарантує оператору стабільний дохід у довгостроковій перспективі незалежно від результатів окремих ігор. Основними механізмами реалізації цієї переваги є: комісія (рейк) у покері, запрограмований відсоток повернення (RTP) у слотах та рулетці (наприклад, RTP 95% означає, що в середньому 95% ставок повертається гравцям, а 5% становить прибуток казино), або маржа (марджа) на ринках ставок на спорт. Ключовим інструментом залучення є агресивні бонусні програми: бездепозитні бонуси, фріспіни, кешбек та програми лояльності, які стимулюють постійну участь гравців у ігровому процесі та компенсують високий рівень регуляторних обмежень на пряму рекламу [4, 5].

Маркетингові стратегії в обох галузях орієнтовані на максимальне охоплення та конверсію. У геймдеві активно використовуються:

- вірусний маркетинг та створення гіпну через соціальні мережі (TikTok, YouTube);
- співпраця з інфлюенсерами та стрімерами (Twitch, YouTube Gaming) для автентичної демонстрації геймплею;
- целеві кампанії User Acquisition (UA) через Facebook Ads, Google UAC, рекламні мережі;
- участь у великих виставках (E3, Gamescom) для анонсів та створення медіа-резонансу [6].

Маркетинг азартних ігор функціонує в рамках суворих правових обмежень. До ключових вимог належать:

- Усі рекламні матеріали повинні містити чіткі попередження про ризики залежності та азартних ігор, а також пряму заборону націлюватися на неповнолітніх.
- Навіть такі інструменти, як афілійований маркетинг (залучення гравців через сайти-партнери за комісію) та спонсорство спортивних команд, підлягають строгому контролю для дотримання загальних правил рекламування [7].

Геймдев та індустрія азартних ігор стикаються зі значними викликами, хоча їхня природа відрізняється. У геймдеві основним предметом критики є хитрі механіки монетизації, зокрема loot boxes (скрині з випадковою нагородою), механіка яких за принципом дії зближує їх з азартними іграми та може сприяти формуванню ігрової залежності. В умовах високої конкуренції на ігровому ринку вартість залучення одного гравця може досягати $3-5 за кожне встановлення гри. Це створює серйозні труднощі для невеликих студій, які часто не мають бюджету на масштабні маркетингові кампанії з такою високою ціною за користувача [8].

Для азартних ігор головними проблемами є надзвичайно жорстке регулювання, необхідність отримання ліцензій в різних юрисдикціях та високі репутаційні ризики. Соціальна відповідальність, боротьба з ігроманією та забезпечення довіри користувачів є критично важливими факторами для довгострокового успіху. Відповідно до законодавства України, діяльність у сфері азартних ігор підлягає обов'язковому ліцензуванню, а реклама має супроводжуватися попередженням про заборони участі осіб, які не досягли 21 року, та ризики втрати грошей.

Майбутнє обох галузей пов'язане з глибокою інтеграцією сучасних технологій. Штучний інтелект (ШІ) вже використовується для:

- персоналізації досвіду та пропозицій (динамічний підбір контенту, індивідуальні бонуси);
- створення розумних NPC (неігровий персонаж) та збалансування ігрових процесів;
- оптимізації маркетингових витрат через предиктивну аналітику та прогнозування LTV (анг. lifetime value – довічна цінність клієнта) користувача – це загальна сума грошей, яку гравець витрачає в грі або на ігровій платформі за весь час взаємодії з нею [9].

Також зростає роль технологій віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR).

VR (віртуальна реальність) повністю занурює користувача в штучний світ, тоді як AR (доповнена реальність) накладає цифрові елементи на реальне оточення, що дозволяє створювати ефект повного занурення та нові форми взаємодії. Управління спільнотами та прозорість стають ключовими конкурентними перевагами. Тренд на відповідальну гру змушує компанії впроваджувати інструменти самоконтролю для користувачів, що вже стало стандартом де-факто в розвинених ринках [10].

Незважаючи на різні цілі, бізнес-моделі геймдеву та азартних ігор демонструють конвергенцію в методах монетизації (мікротранзакції, бонуси) та маркетингу (робота з інфлюенсерами, целева реклама). Ключовим фактором успіху в обох випадках є здатність створювати високий рівень залученості та утримувати користувача. Майбутній розвиток цих індустрій буде визначатися здатністю компаній знаходити баланс між ефективністю бізнес-моделей, дотриманням норм законодавства та соціальною відповідальністю перед своєю аудиторією.

Список використаної літератури

1. Глобальна Статистика Gambling та Тренди 2024. URL: https://ban.media/story/globalna-statistika-gambling-ta-trendi-2024.
2. Що таке F2P і як це працює. URL: https://itech.co.ua/novyny/rozpovidaiemo-shcho-oznachaie-f2p-free-to-play-i-iak-tse-pratsiuie/.
3. Структура Xbox Game Pass. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Xbox_Game_Pass
4. Як оподатковують виграш в азартних іграх. URL: https://lcf.ua/thought-leadership/tax/yak-opodatkovuyut-vigrashi-v-azartnih-igrah-detalnij-gajd-vid-yurista/.
5. Що таке маржа, маржинальність, націнка. URL: https://goit.global/ua/articles/osnovy-biznes-analityky-shcho-take-marzha-marzhynalnist-natsinka/.
6. Маркетингові стратегії майбутнього: як поєднуються емоції, дані й ШІ у 2025. URL: https://journal.gen.tech/post/marketynhovi-stratehii-maibutnoho-iak-poiednuiutsia-emotsii-dani-i-shi-u-2025.

7. Нові правила реклами азартних ігор. URL: https://imi.org.ua/monitorings/novi-pravyla-reklamy-azartnyh-igor-zhorstkishi-vymogy-ta-bilshi-shtrafy-i67930.
8. Ігрова залежність URL: https://www.gc.gov.ua/ua/Informatsiini-povidomlennia/32809.html
9. Як технології ШІ впливають на ігрову індустрію. URL: https://ai360.com.ua/yak-shtuchnyy-intelekt-zminiuie-industriiu-videoihor-providni-kompanii/.
10. VR/AR. URL: https://speka.ua/life/vr-bezmezhnij-svit-u-yakomu-hochetsya-zhiti-dosvid-vikoristannya-vr-garnituri-meta-quest-2-vzdww6.

УДК 004.588

ІНТЕГРАЦІЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ (LLM) ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ДІАЛОГОВИХ СИСТЕМ ТА ОБРОБКИ КОМАНД ПРИРОДНОЮ МОВОЮ В ІГРАХ ЖАНРУ TYCOON

Чепендюк О.О., Манаков С.Ю.
Національний університет «Одеська юридична академія» (Україна)

Постановка проблеми

Класичні ігри жанру idle/tycoon, попри захоплюючі економічні моделі, часто страждають від обмеженої взаємодії з неігровими персонажами (NPC). Їхні діалоги, як правило, базуються на статичних, заздалегідь прописаних сценаріях, що робить їх повторюваними та знижує занурення гравця. Крім того, створення великого обсягу унікального текстового контенту є значним викликом для розробників. Сучасні великі мовні моделі (LLM) пропонують технологічне рішення цих проблем, дозволяючи генерувати динамічний контент та створювати нові механіки взаємодії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Традиційні підходи до симуляції спілкування в іграх включають дерева діалогів, які є обмеженими та передбачуваними [4]. Ранні методи процедурної генерації (PCG) намагалися вирішити проблему повторюваності, однак часто створювали неприродний, шаблонний текст [5]. Поведінка NPC зазвичай керується алгоритмічним AI, таким як кінцеві автомати (FSM), який ефективний для простих дій, але не для осмисленого спілкування [4]. Новітні дослідження в галузі генеративного AI демонструють здатність LLM генерувати високоякісний, контекстно-залежний текст, що практично не відрізняється від написаного людиною [6]. Проте, практичних архітектурних рішень для їх інтеграції в ігровий процес жанру tycoon все ще недостатньо.

Постановка задачі

Задача даної роботи полягає у розробці архітектури та методології інтеграції великих мовних моделей (LLM) в ігровий рушій Unity для реалізації ігрових механік нового покоління в жанрі tycoon. Це включає в себе проєктування програмного інтерфейсу для асинхронної взаємодії, встановлення процедур формування контекстно-залежних запитів (промптів), формування критеріїв оцінки якості згенерованих діалогів та точності розпізнавання команд, а також розробку рекомендацій щодо практичного впровадження моделі. Особлива увага приділяється адаптації LLM до специфіки ігрового середовища та визначенню меж застосовності даної технології порівняно з традиційними скриптовими системами.

Виклад основного матеріалу

В рамках даного дослідження було розроблено програмний прототип гри в жанрі tycoon на базі багатоплатформового ігрового рушія Unity [1]. Спроєктована система є модульною, що забезпечує її гнучкість та розширюваність. Основою архітектури взаємодії є програмний інтерфейс, який виступає в ролі "контракту" для всіх інтерактивних об'єктів. Головний компонент, що закріплений за об'єктом гравця, у реальному часі сканує оточення за допомогою фізичних запитів (Physics Overlap Sphere) для виявлення об'єктів, що реалізують даний інтерфейс. Такий підхід дозволяє повністю відокремити логіку гравця від логіки інтерактивних об'єктів, що дає змогу легко додавати нові типи NPC або інтерактивних предметів, не вносячи змін у керуючий скрипт персонажа.

Для зв'язку з великою мовною моделлю Google Gemini було створено централізований програмний менеджер, реалізований за патерном Singleton, що гарантує єдину точку доступу до API з будь-якої частини програмного коду [2, 6]. Взаємодія з хмарним сервісом відбувається асинхронно. Щоб уникнути "зависання" ігрового процесу під час очікування відповіді від сервера, яке може тривати кілька секунд, система використовує вбудовані в Unity корутини. Запит відправляється у фоновому потоці, а після отримання відповіді виконується метод зворотного виклику (callback), який безпечно оновлює елементи інтерфейсу користувача. Це забезпечує плавність ігрового процесу, що є критично важливим для позитивного користувацького досвіду.

Ключовою особливістю розробленої діалогової системи є динамічне формування запитів до LLM на основі принципів "prompt engineering". Для кожного інтерактивного персонажа в редакторі Unity задається спеціальний системний промпт — текстовий блок інструкцій, що визначає його роль, характер, стиль мовлення та обсяг знань (наприклад, "Ти — офісний менеджер, відповідай ввічливо, але коротко"). Ця інструкція автоматично додається на початок кожного запиту, який гравець вводить у діалогове вікно. Таким чином, система "скеровує" загальноцільову мовну модель, змушуючи її генерувати відповіді, що відповідають образу конкретного NPC та загальному тону гри.

Окрім генерації діалогів, було реалізовано інноваційну механіку керування грою через природну мову, що є прикладом гібридної системи вводу. Перед відправкою тексту гравця до AI, система проводить його локальний аналіз на наявність ключових слів-команд (наприклад, "прокачай", "покращити"). Якщо команда розпізнана, система перериває діалоговий потік і виконує відповідну ігрову дію (наприклад, викликає метод покращення об'єкта), надаючи гравцеві миттєвий фідбек. Якщо ж команда не знайдена, текст обробляється як звичайне діалогове питання і відправляється до LLM. Такий підхід поєднує вільне спілкування та функціональне керування в єдиному текстовому інтерфейсі, що є актуальним завданням сучасного геймдизайну та значно поглиблює занурення гравця в роль [3].

Практична реалізація підтвердила, що розроблена архітектура є життєздатною та ефективною. Наукова новизна полягає у створенні комплексної гібридної системи, де LLM використовується одночасно для вирішення двох різних завдань: генерації креативного контенту (нескінченно варіативних діалогів) та функціонального керування ігровими процесами (обробка команд). Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований підхід може слугувати архітектурним шаблоном для розробників, що прагнуть інтегрувати сучасні AI-технології в ігри жанру tycoon для підвищення їх імерсивності та реіграбельності.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило високий потенціал інтеграції LLM для підвищення імерсивності та реіграбельності в іграх жанру tycoon. Розроблена система успішно вирішила поставлені завдання. Водночас були виявлені ключові виклики: затримка відповіді від API, що вимагає відповідного дизайну UI, та необхідність ретельного проєктування системних промптів. Розроблена архітектура є гнучкою і може бути адаптована для інших ігрових проєктів.

Перелік джерел посилання

1. Unity Technologies. (2024). Unity User Manual. URL: https://docs.unity3d.com/Manual/index.html.
2. Google. (2024). Gemini API Documentation. URL: https://ai.google.dev/docs.
3. Schell, J. (2019). The Art of Game Design: A Book of Lenses, Third Edition. CRC Press.
4. Millington, I., & Funge, J. (2009). Artificial Intelligence for Games, Second Edition. CRC Press.
5. Shaker, N., Togelius, J., & Nelson, M. J. (2016). Procedural Content Generation in Games. Springer.
6. Gemini Team, Google. (2023). Gemini: A Family of Highly Capable Multimodal Models. arXiv preprint. URL: https://arxiv.org/abs/2312.11805.

УДК 004.5

АДАПТИВНИЙ ДИЗАЙН, ШВИДКІСТЬ ТА SEO-ОПТИМІЗАЦІЯ СУЧАСНИХ ВЕБСАЙТІВ

Чубатов М. А. (mykyta.chubatov@dpu.edu.ua)
Державний податковий університет (Україна)

В умовах стрімкого зростання конкуренції серед веб-сайтів, ключовими є фактори, що впливають на видимість сайту та досвід користування потенційних клієнтів. Мета роботи: обґрунтувати необхідність застосування технологічних рішень, а саме адаптивного дизайну, оптимізації сайту з метою пришвидшення його завантаження та застосування SEO-оптимізації задля підвищення конкурентоспроможності. Зроблено висновки щодо комплексного підходу до створення сучасних веб-сайтів.

Розробка дизайну – один із найважливіших етапів при створенні веб-сайтів, що впливає на репутацію сайту, його здатність утримувати користувачів та якість їхнього досвіду. Для створення сучасного веб-сайту необхідно дотримання вимог адаптивного дизайну та SEO-оптимізації [1].

Перша вимога – адаптивний дизайн. Він – невід'ємна складова будь-якого веб-сайту, оскільки відвідувачі сайтів використовують різні пристрої (смартфон, стаціонарний ПК, ноутбук тощо). Для цього слід використовувати відносні величини розмірів, такі як rem. Наприклад, використовуючи CSS, варто задати розмір тексту у такий спосіб: body { font-size: 1.2rem;} [2]. На противагу абсолютній величині px, використання rem забезпечує масштабованість контенту на різних типах пристроїв. Окрім цього, рекомендується надавати значення розмірів елементам, використовуючи відсотки замість пікселів, що дозволить елементам адаптуватись під різні пристрої, з яких здійснюється перегляд веб-сторінки. Цей метод має назву «гнучкі сітки» [3].

Не менш важливою складовою адаптивного дизайну є медіа-запити – це CSS-правила, які адаптують стиль сайту під пристрій користувача, змінюючи властивості сайту в залежності від заданої умови [3].

Друга вимога – швидкість завантаження сайту. Відповідно до дослідження, проведеним компанією Pingdom, було зроблено висновок, що чим довше завантажується сторінка, тим вищий рівень відтоку клієнтів.

Page Load Time (seconds)	Bounce Rate (%)
1	7
2	6
3	11
4	24
5	38
6	46
7	53
8	59
9	61
10	65
11	62
12	67
13	69
14	66
15	69
16	73

Рис. 1 – кореляція між часом завантаження сторінки та показником відмов [4].

НТБОНТУ

Відповідно до неведеної таблиці, при завантаженні сторінки за 2 секунди, відтік користувачів найнижчий – 6%, а при тривалості завантаження у 16 секунд – найвищий відтік (73%).

Щодо швидкості завантаження веб-сайту, можна зробити наступні висновки:

1. Використання таких платформ, як jscompress, CSS Drive, CSS Compressor, що зменшують частину зайвого коду CSS та JavaScript [5].

2. Використання формат зображень WEBP замість PNG зменшує розмір файлу на 26% згідно Google [6].

3. Зміна хостингу на такий, що використовує SSD замість HDD, оскільки твердотільні накопичувачі пришвидшують роботу серверу у 5 разів [5].

4. Обрання хостингу з LiteSpeed замість Apache скорочує час відгуку в 4 рази [7].

Наступний критерій SEO-оптимізації полягає в адаптації сайту відповідно до алгоритмів пошукових систем та виконується у внутрішній (зміст веб-сайту) та зовнішній (підвищення позиції сторінки в переліку результатів пошуку) оптимізації [8]. Для цього необхідно визначити ключові слова для сайту та використовувати їх. SEO-спеціалісти з радять використовувати ключові слова з частотою 1-3%, оскільки це значно покращує видимість веб-сайту в пошуковій системі [8].

Важливо, щоб у тексті сайту не було помилок, а сайт було проіндексовано з використанням платформи Google Search Console. Для цього необхідно бути власником веб-сайту, щодо якого необхідно виконати SEO-оптимізацію, підтвердити його власність та подати запит на індексацію. У разі невиконання сайт не буде відображено у пошуковій системі.

Проведено аналіз-порівняння Google Ads (на момент публікації кваліфікаційної роботи – Google Keyword Planner) та аналогічних платформ, таких як SEMrush, Ahrefs, Moz Keyword Explorer, Keyword Tool та Ubersuggest. Згідно кваліфікаційної роботи, не було обрано сервіс, який може задовольнити усі потреби для власників сайтів, оскільки кожен має свої переваги та недоліки [9]. Однак, для більшості користувачів, оптимальним варіантом буде Google Ads – безкоштовна платформа, яка допомагає підібрати ключові слова для SEO-оптимізації. Щоб скористатися Ads, потрібен обліковий запис Google. Окрім вище вказаного, сервіс дозволяє оцінити обсяги частоту використання користувачами певних ключових слів, перевіряти рівень їхньої конкуренції та аналізувати їх ефективність. Google Ads має зручний інтерфейс та доступ до даних, отриманих Google через власну пошукову систему, що призводить до підвищення точності рекомендованих ключових слів [9].

Висновок

В цій роботі було досліджено методи оптимізації веб-сайтів відповідно до сучасних вимог та обрано найкращі з точки зору зручності, швидкості, раціональності та зрозумілості. Для адаптивного дизайну найкращим виявилися: відносні величини розмірів, медіа-запити та гнучкі сітки; для SEO-оптимізації – LiteSpeed-хостинг з використанням SSD, формат зображень WEBP, видалення зайвого коду CSS та JavaScript, надання переваги Google Ads для формування переліку ключових слів.

Список використаної літератури

[1] ТОП 10 вимог до сучасного веб-сайту https://laweb.com.ua/uk/blog/top-10-vimog-do-suchasnogo-veb-saytu\

[2] REM проти EM: Як вибрати правильну CSS одиницю https://www.dreamhost.com/blog/uk/rem-proti-em-iak-vibrati-pravilnu-css-odinitsiu-uk/

[3] Адаптивність веб-сайту: що це таке і чому вона важлива у 2025 році https://webdevandseo.com/website-adaptability/

[4] Does Page Load Time Really Affect Bounce Rate? https://www.pingdom.com/blog/page-load-time-really-affect-bounce-rate/

[5] 9 способів збільшити швидкість завантаження сайтуhttps://hostiq.ua/blog/ukr/site-speed-suggestions/

[6] An image format for the Web https://developers.google.com/speed/webp

[7] Як збільшити швидкість роботи сайту за допомогою LiteSpeed Cache https://hostiq.ua/blog/ukr/litespeed-cache/

[8] SEO на мінімалках — що власник сайту може зробити самостійно для просування сайту без залучення спеціалістів https://cityhost.ua/uk/blog/seo-na-minimalkah-scho-vlasnik-saytu-mozhe-zrobiti-samostiyno-dlya-prosuvannya-saytu-bez-zaluchennya-specialistiv.html
[9] Криськова С.А. Дослідження методів та засобів SEO оптимізації наукових публікацій: кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „122 – комп'ютерні науки“ / С. А. Криськова. – Тернопіль : ТНТУ, 2023. – 71 с.

УДК 004.9:378.147

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ ІТ ТЕРМІНОЛОГІЇ З АДАПТИВНИМ ПІДХОДОМ ДО НАВЧАННЯ

Швець Р.Ю. Грушко С.С.
(hustlezp@gmail.com, grushko_ss@i.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

У роботі проаналізовано проблему недостатнього володіння англійською ІТ термінологією серед студентів комп'ютерних спеціальностей в Україні. Досліджено обмеження традиційних методів вивчення іноземної мови та проведено порівняльний аналіз існуючих освітніх платформ для вивчення мови. Виявлено, що зарубіжні платформи (Duolingo, Memrise) орієнтовані на загальну лексику і не враховують специфіку ІТ термінології. Проаналізовано підходи до побудови навчальних систем: статичні тести, адаптивні алгоритми та системи з інтервальним повторенням. Обґрунтовано вибір методу інтервального повторення для запам'ятовування технічних термінів через психологічні особливості засвоєння спеціалізованої лексики. Запропоновано тематичну структуризацію ІТ термінів за чотирма напрямками та визначено вимоги до архітектури веб-орієнтованої навчальної системи. Обґрунтовано вибір технологічного стеку для реалізації інтерактивного додатку з можливістю збереження прогресу навчання.

Професійна комунікація в ІТ сфері вимагає впевненого володіння англійською технічною термінологією. За даними дослідження DOU.UA 2023 року, 87% вакансій в українському ІТ секторі містять вимогу знання англійської мови на рівні не нижче Intermediate.

Метою дослідження є аналіз методів навчання іноземної мови та підходів до побудови інтерактивних освітніх систем для обґрунтування вибору оптимального підходу до створення веб-додатку для вивчення англійської ІТ термінології з урахуванням специфіки навчання студентів технічних спеціальностей.

Було проведено систематичний аналіз існуючих платформ для вивчення іноземних мов. Duolingo використовує геймифікований підхід та адаптивні алгоритми, має базу 40+ мов з більш ніж 500 млн користувачів. Система застосовує spaced repetition та immediate feedback, що підвищує ефективність запам'ятовування. Однак платформа орієнтована на загальну лексику і містить менше 5% ІТ термінів. Memrise базується на мнемотехніках та користувацькому контенті, дозволяє створювати власні набори слів. Система використовує науково обґрунтовані інтервали повторення (1 година, 1 день, 1 тиждень, 1 місяць). Quizlet пропонує різноманітні режими навчання (флешкарти, тести, ігри), має велику базу користувацького контенту. Важливим недоліком є відсутність валідації якості термінів та перекладів.

Українські рішення для вивчення англійської обмежуються загальними курсами без спеціалізації. Prometheus English пропонує загальні курси англійської для ІТ, але без інтерактивних вправ на запам'ятовування термінів. EnglishDom орієнтований на розмовну практику з репетиторами, а не на систематичне вивчення технічної лексики. Lingualeo використовує адаптивний підхід, але має обмежене покриття ІТ тематики. Важливі недоліки українських рішень – це відсутність фокусу на технічній термінології, слабка структуризація за ІТ напрямками (Big Data, Web Development, AI/ML тощо), обмежені можливості для самостійного навчання, відсутність систем відстеження прогресу в засвоєнні спеціалізованої лексики.

В роботі було проаналізовано три основні підходи до організації навчального процесу. Статичні тести базуються на фіксованому наборі питань з заздалегідь визначеними варіантами

відповідей. Перевага методу - простота реалізації та можливість швидкої перевірки знань. Основні недоліки - відсутність адаптації до рівня учня, ефект запам'ятовування послідовності відповідей, швидка втрата мотивації через одноманітність. У вивченні термінології статичні тести ефективні лише для початкової перевірки знань, але не забезпечують довготривалого запам'ятовування.

Адаптивні системи динамічно підлаштовують складність завдань під рівень користувача. Алгоритми аналізують швидкість відповідей, відсоток правильних варіантів та час, витрачений на кожне питання. На основі цих даних система визначає наступне питання оптимальної складності. Перевагами є підтримка мотивації через відповідний рівень складності, ефективне використання часу навчання, можливість виявлення слабких місць у знаннях. Недоліки - складність реалізації алгоритмів, потреба в накопиченні статистики для точної роботи, можливість "застрягання" на одному рівні складності.

Системи інтервального повторення (Spaced Repetition Systems, SRS) базуються на кривій забування Еббінгауза, згідно з якою інформація забувається експоненційно з часом. Метод передбачає повторення матеріалу через збільшувані інтервали часу. Класичний алгоритм SM-2 (SuperMemo 2) використовує формулу

$$I_n = I_{n-1} \times EF,$$

де I_n - інтервал до n-го повторення, EF - фактор легкості (easiness factor), що залежить від якості відповіді. Для вивчення IT термінології SRS є оптимальним підходом, оскільки технічна лексика потребує багаторазового повторення для переходу з короткострокової пам'яті в довгострокову. Метод забезпечує довготривале утримання великих обсягів спеціалізованої термінології.

На основі аналізу обрано гібридний підхід з елементами інтервального повторення для навчальної системи. Новий користувач може почати навчання відразу після вибору тематичного блоку. Система автоматично зберігає прогрес після кожної відповіді, що дозволяє продовжити навчання в будь-який момент. Алгоритм відстежує складні для користувача терміни та пропонує їх частіше для повторення. Метод не потребує складних математичних моделей та великих обсягів користувацьких даних для початку роботи.

Запропоновано тематичну структуризацію IT термінів за чотирма напрямками. Кожен блок містить 20 складних професійних термінів з українським перекладом та контекстом використання. Блок "Big Data" охоплює термінологію великих даних та аналітики (sharding, denormalization, mapreduce, columnar, eventual-consistency). Блок "Web Development" включає терміни веб-розробки та сучасних технологій (hydration, reconciliation, memoization, server-side-rendering, middleware). Блок "AI/ML" містить лексику штучного інтелекту та машинного навчання (backpropagation, regularization, convolutional, attention-mechanism, ensemble-learning). Блок "Cloud Computing" охоплює термінологію хмарних обчислень та інфраструктури (kubernetes, serverless, orchestration, load-balancer, autoscaling).

Для кожного терміну створено набір з чотирьох варіантів відповіді, де три неправильні варіанти підібрані за принципом семантичної близькості до правильного. Це забезпечує якісну перевірку розуміння термінів, а не випадкового вгадування. Варіанти автоматично перемішуються при кожному показі для запобігання запам'ятовування позиції правильної відповіді.

Визначено функціональні вимоги до системи. Підсистема вибору тематики має відображати чотири блоки термінів з візуальними індикаторами прогресу та найкращих результатів. Модуль тестування включає інтерактивні вправи з вибором перекладу з чотирьох варіантів, миттєвий зворотний зв'язок про правильність відповіді (зелений/червоний колір), прогрес-бар з відображенням поточного питання (X/20) та відсотка виконання. Система збереження прогресу має автоматично зберігати стан після кожної відповіді у localStorage браузера, пропонувати продовження незавершеного квізу при поверненні, зберігати найкращі результати для кожного блоку окремо. Модуль озвучки забезпечує автоматичну вимову англійських термінів через Web Speech API, можливість повторного прослуховування за запитом користувача. Інтерфейс має бути повністю адаптивним для десктопів, планшетів та смартфонів з підтримкою української мови в усіх елементах інтерфейсу.

Обґрунтовано вибір технологічного стеку. Для реалізації обрано односторінковий веб-додаток (Single Page Application) через можливість роботи повністю в браузері без потреби в серверній частині. HTML5 забезпечує семантичну розмітку та підтримку сучасних веб-стандартів. CSS3 з використанням Flexbox та Grid дозволяє створити адаптивний дизайн без залежності від фреймворків. Vanilla JavaScript обраний як основна мова програмування через відсутність

залежностей, швидкість завантаження та простоту розгортання. Web Speech API інтегрується для озвучки англійських термінів без потреби в зовнішніх сервісах.

LocalStorage API використовується для зберігання користувацького прогресу локально в браузері. Це забезпечує роботу додатку в офлайн режимі та не потребує реєстрації користувачів. Архітектура з єдиним HTML файлом спрощує розгортання - додаток можна відкрити безпосередньо з файлової системи без веб-сервера. Такий підхід оптимальний для MVP (Minimum Viable Product) та освітніх цілей, де важлива демонстрація функціоналу без складної інфраструктури.

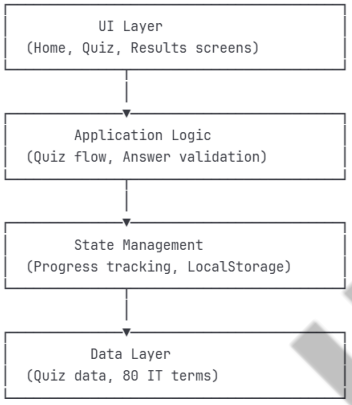


Рис. 1 - Модульна архітектура односторінкового додатку

Запропоновано модульну структуру коду з чітким поділом відповідальностей. Модуль даних (Data Module) містить масиви з термінами для чотирьох блоків, функції для доступу до термінів за категорією. Модуль стану (State Module) відповідає за поточний стан додатку (вибір блоку, номер питання, кількість правильних відповідей), методи збереження/завантаження стану з LocalStorage. Модуль UI (UI Module) управляє рендерингом інтерфейсу, обробляє події користувача (кліки, вибір відповідей), забезпечує анімації та візуальний зворотний зв'язок. Модуль логіки (Logic Module) реалізує алгоритм перевірки відповідей, обчислює статистику (відсоток правильних, прогрес), керує переходами між питаннями. Модуль озвучки (Speech Module) інтегрується з Web Speech API, обробляє помилки при недоступності озвучки в браузері (рис. 1).

Проведений аналіз виявив відсутність спеціалізованих українських систем для вивчення англійської IT термінології та обґрунтував необхідність створення веб-орієнтованого навчального додатку. Запропонована тематична структуризація термінів за чотирма IT напрямками та визначений мінімалістичний технологічний стек створюють основу для розробки ефективної системи самостійного навчання, адаптованої до потреб студентів комп'ютерних спеціальностей.

Список використаної літератури

[1] S. Colbran, W. Jones, and J. Milburn, "Comparing spaced repetition algorithms for digital flashcards," presented at the CQUniversity Conference, 2018. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/10018/1265867

[2] O. Shevchenko, "The use of AI technology in language learning," in Prospective Global Scientific Trends' 2024, 2024, pp. 233-240.

[3] L. Lafleur and Y. Kanazawa, "The effects of interleaved spaced repetition learning on vocabulary knowledge," Computer Assisted Language Learning Electronic Journal (CALL-EJ), vol. 25, no. 3, pp. 172-194, 2024.

УДК 004.9

ШКІДЛИВІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР

Дзіміна А.А. (angela.dzimina@gmail.com),
Шевченко Д.Г. (dash37979@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Анотація: *у статті розглянуто вплив комп'ютерних ігор на фізичне, психічне та соціальне здоров'я людини. Проаналізовано ключові негативні наслідки надмірного захоплення ігровою діяльністю, зокрема формування ігрової залежності, підвищення рівня агресивності, проблеми зі здоров'ям, зниження академічної успішності та соціальної активності. Особливий*

акцент зроблено на вікових відмінностях сприйняття ігор та їхньому деструктивному впливі на дітей і підлітків, у яких інтенсивна ігрова практика може сприяти закріпленню небажаних моделей поведінки.

Ключові слова: *комп'ютерні ігри, ігрова залежність, психічне здоров'я, агресія, соціалізація, підлітки.*

Вступ

У сучасному інформаційному світі комп'ютерні ігри стали невід'ємною частиною життя аудиторії різного віку. Попри певний позитивний потенціал (розвиток когнітивних навичок, стратегічного мислення, миттєвої реакції), численні дослідження вказують на суттєві ризики та шкідливі наслідки ігрової активності. Проблема надмірної ігрової активності вже давно виходить за межі індивідуальної поведінки і набуває суспільного масштабу, оскільки безпосередньо впливає на рівень продуктивності, психоемоційний стан та якість соціальних взаємодій.

Основні негативні наслідки комп'ютерних ігор:

1. Формування залежності – неконтрольоване постійне прагнення до ігрової активності, що призводить до уникання реальності, втрати відчуття часу та ігнорування соціальних і професійних зобов'язань.

2. Психологічний вплив – надмірне занурення у віртуальну реальність може зумовлювати підвищення рівня агресії, розвиток фонової тривожності та зниження емоційної стабільності.

3. Фізичні проблеми – тривале перебування перед екраном провокує порушення сну, головні болі, хронічний біль у спині, сухість очей та значне зниження загальної рухової активності.

4. Соціальна ізоляція – зниження рівня комунікації з оточенням, відсутність емпатії, проблеми з адаптацією у навчальних та трудових колективах, нерозуміння зальноприйнятих соціальних норм.

5. Зниження академічної та професійної продуктивності – відволікання від освітньої та робочої діяльності, зниження рівня мотивації та цілеспрямованості, що призводить до втрати інтересу до повсякденних обов'язків.

6. Негативний вплив на дітей і підлітків – формування агресивних моделей поведінки, ілюзія вседозволеності та знецінення поняття соціальної відповідальності, що особливо небезпечно у віці становлення моральних якостей.

Шляхи подолання проблеми:

- обмеження часу перебування за комп'ютерними іграми;
- ретельний вибір ігор з урахуванням вікових категорій;
- залучення до активного способу життя;
- надання психологічної підтримки особам із симптомами залежності;
- просвітницька діяльність серед батьків, педагогів і молоді з метою формування культури користування медіа.

Висновок

Надмірне захоплення комп'ютерними іграми становить загрозу для фізичного, психологічного та соціального благополуччя людини. Подолання цієї проблеми потребує багаторівневого підходу: від розвитку індивідуального контролю та самодисципліни до впровадження системних профілактичних програм на рівні суспільства. Вчасна діагностика, виявлення та усунення ігрової залежності, а також формування здорової цифрової культури здатні мінімізувати ризики та сприяти природньому розвитку особистості.

Список використаної літератури

1. Комп'ютерна залежність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://esu.com.ua/article-4394
2. Вплив комп'ютерних ігор на психічний стан дітей [Електронний ресурс]. – Режим доступу https://tirc.do.zt.ua/vplyv-kompyuternyh-igor-na-psyhichnyj-stan-ditej-naslidky-ta-rekomendacziyi/
3. Цифрове середовище – це небезпечно для психіки школяра [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3208676-cifrove-seredovise-ce-nebezpecno-dla-psihiki-skolara.html
4. Симптоми комп'ютерної залежності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.annadomina.com/studentam/pershodzherela/simptomi-kompyuterno%D1%97-zalezhnosti/

НТБОНТУ

Розділ 9.

Бібліометрика. Інформатизація навчального, наукового, дослідного процесів

УДК 004.42:004.738.5:7.05

КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ ТА WEB-ДИЗАЙН

Антонов З.Є. (zhrntnv@gmail.com)
Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій ОНТУ (Україна)

У даній статті розглядаються сучасні тенденції у сфері комп'ютерних ігор та веб-дизайну. Проаналізовано основні етапи створення ігрових проєктів і веб-інтерфейсів — від ідеї та концепції до реалізації й тестування. Особливу увагу приділено взаємозв'язку між художнім оформленням, зручністю користування та технічною реалізацією. Описано популярні інструменти та технології, що застосовуються під час розробки інтерактивного контенту. У висновках підкреслюється важливість творчого підходу, сучасного дизайну та оптимізації, які забезпечують привабливість і ефективність цифрових продуктів.

Постановка проблеми

У сучасному цифровому просторі комп'ютерні ігри та веб-дизайн відіграють ключову роль у сфері розваг, освіти та бізнесу. Зростання вимог користувачів до якості графіки, зручності інтерфейсу та інтерактивності створює потребу у високопрофесійних підходах до розробки таких продуктів.

Основна проблема полягає у поєднанні творчого дизайну з технічною реалізацією: розробники повинні забезпечити не лише естетичну привабливість, а й оптимальну продуктивність, кросплатформеність та адаптивність. Крім того, швидкий розвиток технологій вимагає постійного оновлення знань і вдосконалення методів створення ігрових і веб-систем, що робить процес розробки ще складнішим і більш відповідальним.

Мета

Метою роботи є дослідження сучасних підходів до створення комп'ютерних ігор та веб-дизайну, а також вивчення способів поєднання художнього оформлення з технічними рішеннями. Основна увага приділяється розробці ефективних, зручних і візуально привабливих цифрових продуктів, що відповідають вимогам сучасних користувачів.

Комп'ютерні ігри

Розробка комп'ютерних ігор є складним і багатогранним процесом, який поєднує в собі елементи програмування, дизайну, мистецтва, психології та менеджменту. Сучасні ігри вже давно вийшли за межі простих розваг — вони стали потужним інструментом комунікації, навчання, реклами та культурного вираження. Створення гри починається з ідеї та концепції, де визначається основна тема, жанр, сюжет і цільова аудиторія. На цьому етапі формується бачення того, якою має бути гра — динамічною шутерною, стратегічною, рольовою чи казуальною. Далі розробляється ігровий дизайн-документ (Game Design Document), який містить детальний опис механік, рівнів, персонажів, правил і логіки гри.

Одним із найважливіших аспектів є вибір технологій та інструментів. Найпопулярнішими рушіями для розробки ігор сьогодні є Unity, Unreal Engine, Godot.

НТБОНТУ

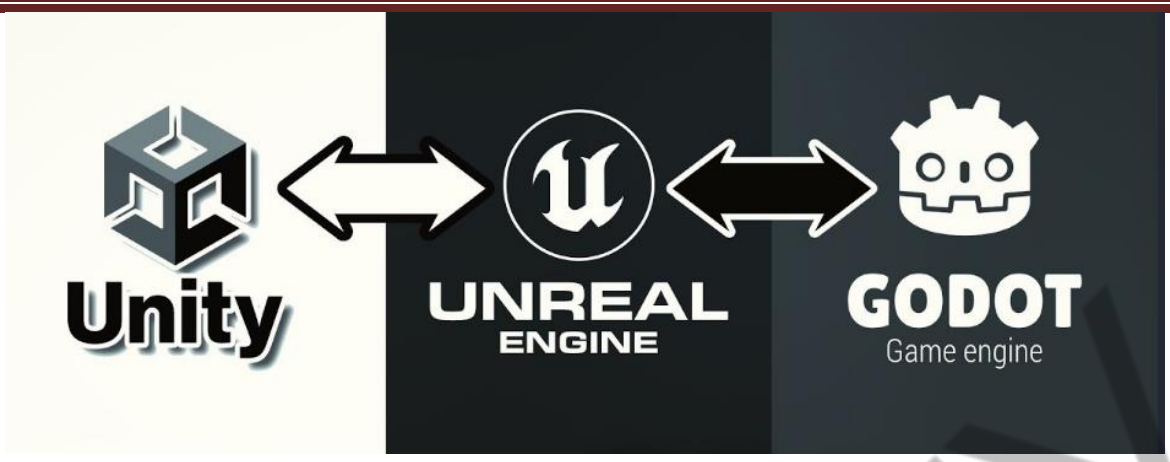


Рисунок 1 – Unity, Unreal Engine, GODOT

Вони забезпечують потужні засоби для роботи з графікою, фізикою, анімацією та навіть штучним інтелектом. Для створення 2D- та 3D-графіки використовуються програми Blender, Maya, Aseprite, ZBrush.

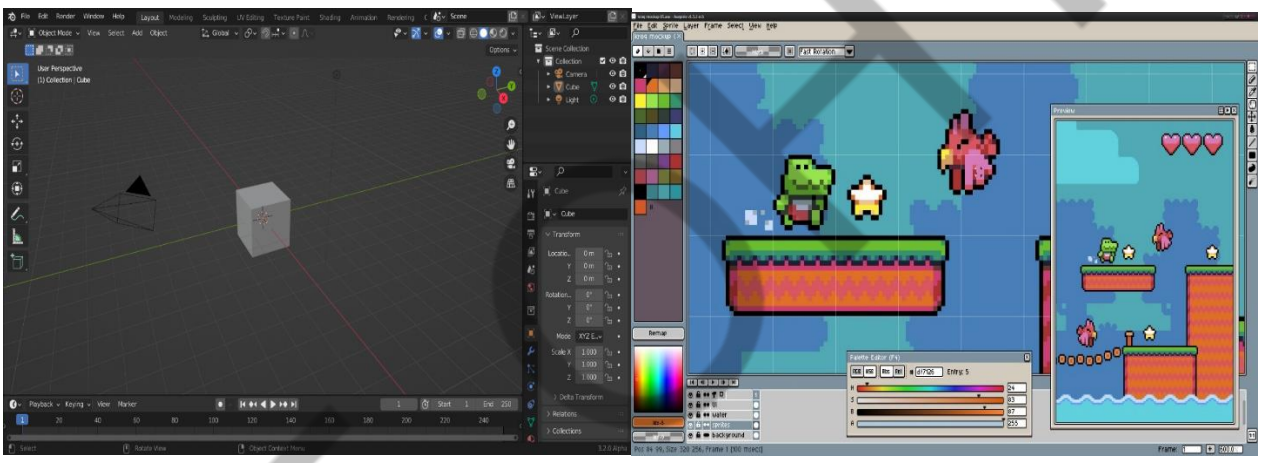


Рисунок 2 – Blender та Aseprite

Звукове оформлення створюється за допомогою Audacity, FL Studio, SFXR та ін. Audacity та FL Studio є більш класичними саме звуковими редакторами, які потребують більшої кількості знань у сфері саунд-дизайну. В той час, як SFXR дозволяє, за допомогою налаштувань генератора, отримати індивідуальний звук за необхідним шаблоном.

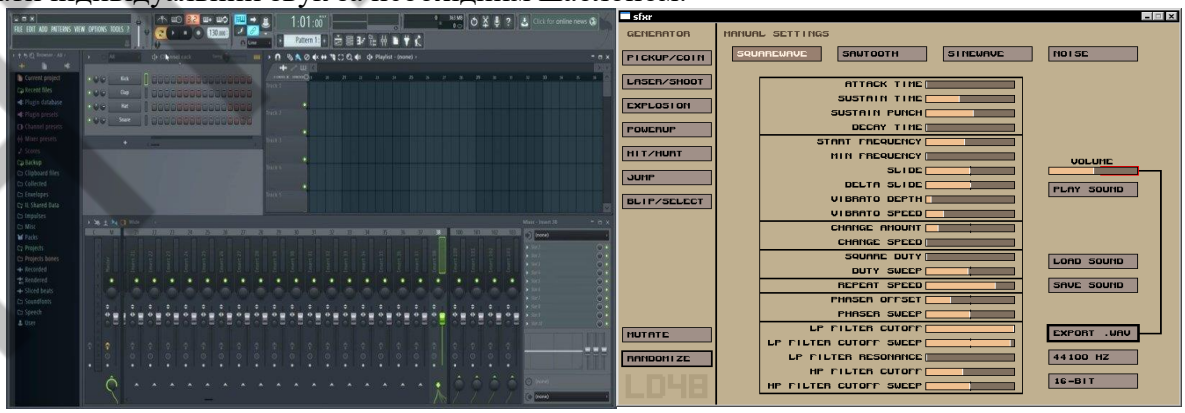


Рисунок 3 – FL Studio та SFXR

Розробка гри передбачає злагоджену роботу різних фахівців: геймдизайнерів, програмістів, художників, аніматорів, звукорежисерів та тестувальників. Програмісти відповідають за логіку, оптимізацію та роботу з рушієм; дизайнери — за графіку, структуру рівнів і ігровий процес; художники — за візуальну складову; тестувальники — за виявлення помилок і перевірку

стабільності гри. Важливу роль відіграє також веб-компонент сучасних ігор. Багато проєктів мають онлайн-режими, інтеграцію з веб-сервісами, ігрові спільноти або браузерні версії. У таких випадках розробники застосовують HTML5, JavaScript, WebGL, WebAssembly та інші технології, що дозволяють реалізовувати ігрові механіки прямо у веб-браузері. Окрім технічної частини, значну увагу приділяють юзабіліті та геймплею — від того, наскільки зручно гравцеві взаємодіяти з грою, залежить її успіх. Важливими стають також елементи UX/UI-дизайну, які формують загальне враження користувача від продукту.

На завершальному етапі проводиться тестування та оптимізація, після чого гра публікується на платформах, таких як Steam, Epic Games Store, Google Play, App Store тощо. Після релізу розробники продовжують підтримувати гру, випускаючи оновлення, виправлення та додатковий контент.

Рисунок 4 – Epic Games Store, Steam та Play Market, App store

Таким чином, створення комп’ютерної гри — це не лише технічний процес, а й творче мистецтво, яке вимагає командної роботи, інноваційного підходу та глибокого розуміння потреб сучасного користувача.

Список використаної літератури

[1] J. Schell, The Art of Game Design: A Book of Lenses, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019.
[2] I. Millington and J. Funge, Artificial Intelligence for Games, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2016.
[3] T. Adams, Learning Unreal Engine Game Development, Birmingham, UK: Packt Publishing, 2016.
[4] A. Blackman, Beginning 3D Game Development with Unity 2020, New York, NY: Apress, 2021.

УДК 004.318

ДО ПИТАННЯ ОНТОЛОГО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ БІБЛІОТЕК

Бойко М.О., Вихованець Д.Д. (xeldag@ukr.net, vykhovanets.dmitriy@gmail.com)
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (Україна)

В тезах розглядається онтолого-орієнтована система семантичної обробки цифрових наукових бібліотек, спрямована на прискорення добування знань із наукової літератури шляхом формального подання змісту публікацій і виконання природномовних запитів. Актуальність розробки зумовлена невпинним зростанням кількості публікацій та обмеженістю традиційних засобів пошуку, що переважно оперують лексичним збігом ключових слів і не підтримують інтегрованого аналізу на рівні понять і відношень між документами. Особливо відчутним є дефіцит інструментів, здатних працювати з україномовним контентом, забезпечувати уніфіковане подання знань і повертати результати, зручні для наукової інтерпретації. Представлена система поєднує технології Semantic Web та графів знань, зберігає публікації у вигляді OWL/RDF-репозиторію та надає можливість виконувати складні SPARQL-запити з подальшим відображенням результатів у табличній і когнітивно-візуальній формах [1].

Робота базується на твердженні, що для ефективного наукового пошуку необхідна не лише релевантність за ключовими словами, а й семантичне узгодження сутностей (*статей*, *авторів*, *ключових слів* тощо), їхніх атрибутів і зв'язків. Формальне моделювання дозволяє ставити інтегровані запити до сукупності документів, отримувати відповіді та виявляти приховані взаємозв'язки, недоступні у звичайних пошукових системах. Наша система розрахована як на персональні бібліотеки дослідників, так і на колекції документів наукових підрозділів.

Архітектура системи припускає підготовчий і основний етапи. На підготовчому етапі для кожної публікації створюється OWL-онтологія на основі уніфікованого шаблону, що визначає класи (*Стаття, Автор, Організація, Ключове_слово тощо*), об'єктні властивості (зокрема *hasAuthor*, *hasKeyword*, *cites*) та властивості даних (*назва, анотація, рік публікації* тощо). Таке шаблонування забезпечує інтероперабельність між поданнями різних статей і коректну роботу SPARQL-запитів на об'єднаному репозиторії. Далі сформовані OWL-файли завантажуються до RDF-сховища. Основний етап реалізовано у двох конфігураціях. У локальному варіанті виконання запитів забезпечують процесор ARQ онторедактора Protégé на комп'ютері інженера зі знань із доступом користувачів до системи по локальній мережі. У клієнт-серверній конфігурації використано Apache Jena Fuseki як віддалену SPARQL прикінцеву точку; користувачі звертаються до спільного сховища через мережевий інтерфейс.

Одним із важливих компонент є конвеєр автоматичного перетворення PDF-документів у OWL-онтології, що суттєво знижує трудомісткість наповнення системи. Конвеєр складається з трьох послідовних стадій. По-перше, виконується вилучення та очищення PDF тексту із нормалізацією розривів рядків, видаленням колонтитулів і збереженням маркерів структури. По-друге, застосовується сегментація сутностей на основі набору правил і регулярних виразів, налаштованих під типові формати академічних видань; ідентифікуються назва, автори та їхня приналежність, анотація, ключові слова, рік публікації, а за потреби – елементи бібліографії. По-третє, сформовані фрагменти даних проектуються в елементи онтології: створюються індивіди відповідних класів, встановлюються зв'язки та заповнюються атрибути; результат зберігається як OWL-файл із підтримкою іменованих графів для подальшого адресного доступу в SPARQL-запитах. Використано бібліотеки Apache PDFBox та Apache Jena; залежності керуються засобами автоматизованого збирання проєкту, що полегшує розгортання і супровід.

Прототип системи розгорнуто на корпусі з шістнадцяти публікацій. Колекція охоплює матеріали з провідних українських видань у галузі інформатики, має двомовну природу (переважно українську і частково російську), що продемонструвало перевагу онтологічного подання: семантичні структури та ідентифікатори концептів позамовні, а текстові мітки можуть надаватися кількома мовами. Сукупний RDF-репозиторій налічує приблизно 1200 трійок, близько двадцяти п'яти класів і тридцяти властивостей; на статтю припадає в середньому сімдесят п'ять індивідів. Для кожного документа призначено унікальний ідентифікатор, узгоджений з URI графа, що спрощує знаходження підмножин даних у запитах.

Оцінювання функціональності здійснювалося через виконання типових інформаційних запитів, доступних користувачеві як шаблони природною мовою з параметрами. Серед показових сценаріїв – отримання списку назв статей за заданою темою на основі ключових слів; вибірка анотацій за переліком ідентифікаторів статей; побудова множини унікальних співавторів конкретного автора з наведенням контекстних публікацій; формування хронологічно впорядкованого списку статей усього корпусу з варіаціями фільтрації (наприклад, роботи без співавторів). На наявному обсязі даних час відповіді для більшості запитів становив менше секунди; агреговані запити виконувалися за кілька секунд без помітних втрат продуктивності. Допоміжні аналітичні процедури, зокрема підрахунок частот ключових слів у колекції, підтвердили відповідність тематичному профілю дослідника та продемонстрували готовність системи до експериментального впровадження.

Порівняно з традиційними цифровими бібліотеками, де результати пошуку здебільшого являють собою неструктурований список документів, онтолого-орієнтований підхід забезпечує повернення саме змістових фрагментів знань та їх агрегацій. Завдяки уніфікованим онтологічним схемам можливе розширення сховища за рахунок нових статей без порушення сумісності, а також інтеграція з зовнішніми джерелами пов'язаних відкритих даних – наприклад, реєстрами авторських ідентифікаторів і предметних таксономій, що підвищує виразність запитів і точність відповідей.

Обмеження поточної реалізації пов'язані передусім із якістю вихідних PDF-файлів (нестандартна верстка) та потребою первинної розмітки шаблонів видобування сутностей під конкретні формати. Разом із тим модульність конвеєра відкриває можливість поступової автоматизації: зростання покриття шаблонів для типових макетів академічних видань, використання статистичних і нейромережевих методів для узагальнення правил сегментації, а також запровадження адаптивного зіставлення полів формату статті зі структурами онтології. Наступним кроком передбачено розроблення модуля когнітивної графіки для візуального подання результатів пошуку у вигляді концептуальних карт і мереж співпраці; це має підвищити інтерпретованість відповідей і підтримати творчі дослідницькі завдання. Окрему увагу планується приділити напівавтоматичній трансляції довільних природномовних запитів у SPARQL запити із використанням схеми онтології та обмежених доменних словників, що значно може розширити коло користувачів системи.

Підсумовуючи, представлена система демонструє практичну життєздатність онтологічного підходу до організації наукових бібліотек і надання смислових пошукових запитів. Формальне моделювання змісту публікацій, автоматизований конвеєр їх перетворення з PDF у OWL та використання засобів зберігання і запитування RDF-даних створюють підґрунтя для масштабованого розгортання у персональних сценаріях. Поєднання семантичного пошуку з когнітивною візуалізацією забезпечить не лише швидший доступ до релевантної інформації, а й можливість синтезу знань на основі взаємозв'язків між документами, темами та учасниками наукової комунікації. З огляду на постійне зростання обсягів літератури, подібні рішення мають потенціал стати невід'ємним компонентом інтелектуальної інфраструктури Computer Science.

Список використаної літератури

[1] "Знання-орієнтований інструментальний комплекс оброблення баз даних наукових публікацій", О.В. Палагін, М.Г. Петренко, О.М. Бойко, С.М. Матвєйшин, Control Systems and Computers. 2022. № 3. С. 11–28. https://doi.org/10.15407/csc.2022.03.011.

УДК 378.147:001.891:004

ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ: ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Листопад О. А., Мардарова І. К. (lystopad.oa@pdpu.edu.ua, mardarova.ik@pdpu.edu.ua)
Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Україна)

Розглянуто особливості організації наукових досліджень у закладах вищої освіти в умовах цифровізації та активного використання інформаційно-комунікаційних технологій. Акцентовано увагу на тому, що цифрове освітнє середовище створює можливості для науково-дослідницької діяльності здобувачів вищої освіти та науково-педагогічних працівників, зокрема забезпечує доступ до електронних наукових ресурсів, інтерактивних платформ, цифрових інструментів аналізу даних і засобів академічної комунікації. Обґрунтовано значення цифрових технологій у підвищенні ефективності організації досліджень, розвитку академічної мобільності, формуванні навичок відкритої науки та дотриманні принципів академічної доброчесності.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку суспільства визначається інтенсивними процесами цифровізації, які охоплюють усі сфери життєдіяльності, зокрема освітню та наукову. Глобальна інформатизація відкриває широкі можливості для академічної мобільності, міжнародної співпраці та оптимізації використання наукових ресурсів. Водночас вона зумовлює виникнення низки складних проблем, серед яких провідною є потреба кардинального оновлення організаційно-педагогічних засад наукової діяльності, оскільки традиційні методи організації досліджень виявляються недостатньо ефективними в нових умовах. Зокрема, постає необхідність подолання суперечностей між потенціалом цифрових технологій та реальним рівнем цифрової

компетентності науково-педагогічних працівників і здобувачів вищої освіти; між вимогами до відкритості, прозорості та оперативності поширення знань і проблемами, пов'язаними із захистом інтелектуальної власності, забезпеченням кібербезпеки та дотриманням принципів академічної доброчесності.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є аналіз впливу цифровізації на організацію наукових досліджень у закладах вищої освіти та визначення перспективних напрямів її розвитку. Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: визначити ключові виклики та проблеми, пов'язані з інтеграцією інформаційно-комунікаційних технологій в науково-дослідний процес; систематизувати та класифікувати функції інформаційно-комунікаційних технологій у науковій діяльності; проаналізувати роль цифрових інструментів у формуванні дослідницьких компетентностей у здобувачів вищого ступеня освіти (магістрів, докторів філософії); охарактеризувати перспективні напрями подальшого розвитку цифрової науки (Open Science, штучний інтелект, міжуніверситетські хаби).

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний етап розвитку вищої освіти характеризується інтенсивною інтеграцією цифрових технологій, що зумовлює глибинні трансформації її наукової складової. Сутність дослідження полягає у здійсненні комплексного аналізу цифровізації не лише як технологічного явища, а й як ключового чинника та каталізатора системних організаційних, інституційних і культурних змін у науковому середовищі університетів. Зазначені трансформації відбуваються під впливом глобальних процесів інформатизації суспільства та становлення цифрового суспільства, що актуалізує потребу наукового осмислення означеного явища [1].

Результати дослідження підтверджують справедливість твердження, що цифровізація є фундаментальною основою інтеграції закладів вищої освіти у світовий академічний простір. Інструментами такої інтеграції виступають: електронні бібліотечні системи та інституційні репозитарії (зокрема, на платформі DSpace), які забезпечують зберігання, накопичення та відкритий доступ (Open Access) до наукових результатів; підписка на міжнародні наукометричні бази даних (Scopus, Web of Science), що надають доступ до актуальних рецензованих джерел та забезпечують об'єктивне оцінювання наукових результатів відповідно до міжнародних критеріїв; спеціалізоване програмне забезпечення для статистичного аналізу (R, Python, SPSS), візуалізації даних (Tableau, Power BI) та математичного моделювання, яке значно розширює методологічний інструментарій дослідника, підвищує точність, об'єктивність і доказовість отриманих результатів [2; 3].

У цьому контексті слід враховувати, що інформаційно-комунікаційні технології у науковому процесі виконують низку ключових функцій. По-перше, інформаційно-бібліографічну, яка забезпечує оперативний та всебічний доступ до світового масиву наукової інформації. По-друге, комунікативну, що сприяє розвитку нових форм академічної взаємодії (віртуальні конференції, вебінари, онлайн-семінари), завдяки чому долаються географічні бар'єри наукового дискурсу. По-третє, координаційну, яка полягає в ефективній організації та управлінні міжнародними й міждисциплінарними дослідницькими проєктами за допомогою хмарних сервісів (Google Workspace, Microsoft Teams) та систем управління проєктами (Trello, Asana). Нарешті, мобілізаційну, що передбачає розширення можливостей віртуальної академічної мобільності та забезпечує участь дослідників у спільних наукових ініціативах без необхідності фізичного переміщення [4].

Не можна не враховувати, що пріоритетним завданням сучасної вищої освіти є підготовка науковця, здатного ефективно діяти в цифровому середовищі. Підготовка науковця, здатного ефективно діяти в цифровому середовищі реалізується через опанування інструментів управління бібліографічною інформацією (Mendeley, Zotero), використання систем перевірки академічної доброчесності (StrikePlagiarism.com, Turnitin/Skandy) для забезпечення оригінальності досліджень, а також застосування спеціалізованих платформ для аналітичної обробки даних. Запропоновані напрями формують у здобувачів вищої освіти повний цикл наукової діяльності – від пошуку інформації до публікації та популяризації результатів – і водночас сприяють розвитку критичного мислення, інформаційної грамотності та наукової відповідальності [5].

Результати проведеного аналізу дозволяють виділити основні виклики та ризики цифрової трансформації вищої освіти. По-перше, загрози кібербезпеки та забезпечення конфіденційності дослідницьких даних стають критичними через зростання обсягів електронної інформації та

використання хмарних сервісів для обміну результатами досліджень, що підвищує ймовірність несанкціонованого доступу та витоку інформації. По-друге, ускладнення захисту інтелектуальної власності в умовах цифрового середовища виникає через легкість копіювання та поширення наукових матеріалів онлайн, що створює потребу у впровадженні сучасних правових та технічних механізмів охорони авторських прав. По-третє, зростання ризиків академічного плагіату та маніпуляцій із науковими результатами зумовлено доступністю цифрових джерел та інструментів редагування тексту, що вимагає підвищеної уваги до формування академічної доброчесності та застосування спеціалізованих систем перевірки оригінальності (StrikePlagiarism.com, Turnitin/Skandy). По-четверте, цифрова нерівність (digital divide) між здобувачами освіти та закладами проявляється у різному рівні доступу до сучасних технологій, баз даних і програмного забезпечення, що призводить до асиметрії у можливостях для проведення наукових досліджень та участі в міжнародних проєктах.

Врахування зазначених викликів є критично важливим для формування стратегій цифрової трансформації університетів, що спрямовані на підвищення ефективності наукової діяльності та забезпечення рівних можливостей для учасників академічного середовища. Мінімізація ризиків можлива шляхом реалізації низки заходів: активне впровадження принципів відкритої науки (Open Science), включаючи Open Access, Open Data та Open Source; розвиток міжуніверситетських альянсів та цифрових платформ для спільного використання даних, знань і інфраструктури; інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації рутинних операцій (збір даних, первинна обробка, перевірка літератури) та підвищення ефективности наукового пошуку і аналізу [6]. Відтак, можна впевнено стверджувати, що цифровізація наукового середовища закладів вищої освіти є багатовимірним і поліструктурним процесом, що одночасно впливає на технологічний, організаційно-управлінський та соціокультурний рівні його функціонування. Вона створює безпрецедентні умови для підвищення якости, прозорості досліджень, сприяє становленню культури академічної комунікації та відкритості. Однак для реалізації її позитивного потенціалу необхідний системний та стратегічний підхід, спрямований на подолання супутніх ризиків, забезпечення цифрової рівності та формування етики ведення наукової діяльності в цифрову епоху.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На підставі проведеного аналізу сформовано наступні висновки.

1. Цифровізація є ключовим фактором трансформації науково-дослідної діяльності у закладі вищої освіти, що вимагає системного оновлення її організаційно-педагогічних засад. Інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій сприяє підвищенню ефективності, прозорості та якості наукових результатів.
2. Функції інформаційно-комунікаційних технологій у науковому дослідженні є багатоаспектними та охоплюють інформаційно-бібліографічний, комунікативний, координаційний та мобілізаційний компоненти, що в сукупності інтегрують заклад вищої освіти у світовий науковий простір.
3. Формування цифрових дослідницьких компетентностей у магістрів та докторів філософії є невід’ємною складовою сучасної підготовки наукових кадрів і спрямоване на опанування повного циклу роботи з використанням сучасних інструментів.
4. Незважаючи на існуючі виклики (кібербезпека, академічна доброчесність, цифрова нерівність), перспективи розвитку пов’язані з поширенням практик відкритої науки, розвитком спільних цифрових інфраструктур та застосуванням штучного інтелекту.

Перспективою подальших досліджень є розробка конкретних моделей інтеграції принципів відкритої науки в організаційну структуру закладів вищої освіти, а також емпіричне дослідження впливу штучного інтелекту на продуктивність науково-дослідної діяльності.

Список використаної літератури

[1] Л. О. Ковальчук, Моделювання науково-педагогічних досліджень: навч. посіб., Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2020, 520 с.

[2] О. Листопад та І. Мардарова, «Цифрова трансформація вищої освіти: теоретичний та практичний аспекти», Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету: збірник наукових праць. Педагогічні науки, вип. 66, с. 143–152, 2024. doi: https://doi.org/10.31909/26168812.2024-(66)-19

[3] О. Листопад, І. Мардарова та Н. Листопад, «Педагогічна підтримка сталого професійно-творчого саморозвитку майбутніх педагогів», Вісник Дніпровської академії неперервної освіти. Серія: Філософія. Педагогіка, № 1 (8), с. 105–111, 2025. doi: https://doi.org/10.54891/2786-7013-2025-1-12

[4] О. Листопад та В. Нестеренко, «Особливості організації науково-дослідної роботи майбутніх вихователів дошкільних навчальних закладів», Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки: збірник наукових праць, № 3 (58), с. 243–249, верес. 2017.

[5] О. А. Листопад та Н. Л. Листопад, «Організація проєктно-дослідницької діяльності здобувачів освіти в цифровому освітньому середовищі закладу вищої та фахової передвищої освіти», Ідеї. Практики. Перспективи сучасної освіти: наук.-метод. альм., ч. 1, с. 346–355, 2025.

[6] M. J. Piran and N. H. Tran, “Enhancing Research Methodology and Academic Publishing: A Structured Framework for Quality and Integrity,” arXiv preprint, arXiv:2412.05683, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2412.05683

УДК 004.738.5:001.8

ПЕРСОНАЛІЗОВАНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ СЕРВІС ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДОСЛІДНИКІВ

Шовкопляс М.О. (shovkoplyasmaks02@gmail.com)
Сумський державний університет (Україна)

У тезах представлено результати дослідження, спрямованого на розроблення моделі персоналізованого інформаційного сервісу для підтримки наукової діяльності дослідників. Актуальність теми зумовлена зростанням інформаційного навантаження та фрагментованістю цифрових інструментів, якими користуються науковці. Запропонована модель базується на поєднанні механізмів індивідуального налаштування, семантичного аналізу та інтеграції відкритих наукових ресурсів. Представлено концептуальні та технічні засади створення сервісу, що передбачає адаптацію інтерфейсу, формування рекомендацій і підтримку колаборацій. Результати апробації демонструють підвищення ефективності дослідницької діяльності, що підтверджує практичну цінність запропонованого підходу.

Актуальність і проблематика

У сучасному науковому середовищі дослідники стикаються з постійним зростанням обсягів інформації, розмаїттям цифрових платформ і роз’єднаністю інструментів для наукової діяльності. Така фрагментованість призводить до дублювання дій, втрати часу й зниження ефективності досліджень.

У цьому контексті особливої ваги набуває створення **інтегрованих персоналізованих сервісів**, здатних враховувати індивідуальні інтереси, стиль роботи та поточні наукові потреби користувача. Персоналізація інформаційних систем розглядається сьогодні як один із ключових напрямів розвитку цифрової наукової інфраструктури та відкритої науки.

Мета і завдання дослідження

Дослідження спрямоване на розроблення моделі персоналізованого інформаційного сервісу, що поєднує пошукові, аналітичні, бібліографічні та комунікаційні інструменти в єдиному адаптивному середовищі.

Проведено послідовні етапи роботи, у ході яких було сформовано концептуальні засади, створено модель користувача та розроблено технічний прототип сервісу.

У подальшому розвиток дослідження орієнтовано на створення інтелектуального сервісу підтримки дослідників на основі штучного інтелекту, який забезпечуватиме автоматизацію пошуку, аналізу та управління науковими процесами.

Під час роботи було виконано такі завдання:

- проаналізовано сучасні моделі індивідуального налаштування наукових сервісів;
- сформовано описову та формалізовану модель користувача;

- розроблено методи інтеграції відкритих наукових джерел через API;
- впроваджено механізми адаптації інтерфейсу та поведінкової аналітики;
- створено прототип системи та проведено його апробацію.

Огляд і концептуальні засади

На **першому етапі роботи** (Любчак, Шовкопляс, 2024) було проведено аналіз моделей і методів індивідуалізації інформаційних сервісів. У результаті визначено концепцію **«особистого кабінету науковця»** як інтегратора цифрових інструментів, подібного до корпоративних платформ типу *Google Workspace* або *Slack*. Такий підхід забезпечує централізований доступ до ресурсів, аналітики, бібліографії та комунікаційних засобів.

У ході дослідження запропоновано описову модель користувача:

$$U_{ser} = < G, N, D, T, S >$$

де G — професійна діяльність, N — потреби, D — робоче середовище, T — технологічна компетентність, S — соціальна взаємодія.

Ця структура дозволила формалізувати профіль дослідника та здійснювати персональне налаштування сервісів відповідно до його характеристик.

На другому етапі дослідження було уточнено інформаційну модель системи. Вона включає модулі профілю (P), відбору сервісів (S), інтеграції даних (D), інтерфейсу (I) та аналітики й адаптації (U). Взаємодія між ними реалізується через інформаційні потоки, що забезпечують циклічне самонавчання системи та її адаптацію до змін у поведінці користувача.

Методи і технічна реалізація

Під час розроблення моделі застосовано комплекс сучасних методів — моделювання, системного аналізу, семантичного пошуку, машинного навчання та обробки природної мови. Для реалізації прототипу використано такі технології:

- **Flutter** — для створення інтерфейсу користувача та клієнтської логіки;
- **Firebase Firestore** — для зберігання профілів і даних активності;
- **REST API** — для інтеграції з базами *Scopus*, *arXiv*, *Semantic Scholar*;
- **TensorFlow**, **scikit-learn**, **spaCy** — для побудови моделей машинного навчання та семантичного аналізу;
- **Google Cloud Translation API** — для забезпечення багатомовної підтримки.

Створена архітектура охоплює такі функціональні модулі:

1. **User Profile Manager** — формування багаторівневого профілю дослідника;
2. **Semantic Recommendation Engine** — аналіз контенту та створення персоналізованих рекомендацій;
3. **Collaboration Module** — управління подіями, комунікацією та співавторством;
4. **Calendar & Event Manager** — інтеграція з календарями *Google* і *iCal*;
5. **Feedback Loop** — механізм самооновлення системи на основі поведінкових даних користувачів.

Наукова новизна та практична цінність

Наукова новизна проведеного дослідження полягає у формалізації профілю науковця як векторної структури з ваговими коефіцієнтами, поєднанні методів семантичного аналізу, машинного навчання та UX-аналітики, а також у реалізації механізмів самоадаптації через зворотний зв’язок між користувачем і системою.

Розроблена модель створює передумови для побудови нових **цифрових платформ підтримки досліджень,** що інтегрують відкриті наукові джерела, рекомендаційні системи та інструменти співпраці.

Практична цінність полягає в можливості застосування сервісу для:

- автоматизованого добору релевантної наукової інформації;
- управління дослідницькими процесами;
- підтримки спільних проєктів;
- формування цифрових екосистем відкритої науки.

Висновки

Отримані результати свідчать, що персоналізовані сервіси з елементами штучного інтелекту істотно підвищують ефективність наукової праці, сприяють міждисциплінарній співпраці та

зменшують інформаційне перевантаження дослідників. Планується подальше розширення моделі за рахунок впровадження алгоритмів глибинного навчання для прогнозування наукових інтересів, інтеграції з додатковими базами даних та розроблення інтелектуального асистента для підтримки дослідницького циклу в режимі реального часу.

Список використаної літератури

[1] Y. Koval, “Application of modern information systems and technologies in scientific activity,” *Pedagogy and Education Management Review*, vol. 5, no. 7, pp. 11–18, 2022. doi: 10.36690/2733-2039-2022-5-11.

[2] Y. Ko, S. Lee, Y. Park, and A. Choi, “A survey of recommendation systems: Recommendation models, techniques, and application fields,” *Electronics*, vol. 11, no. 1, 141, 2022. doi: 10.3390/electronics11010141.

[3] I. H. Sarker, “Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions,” *SN Computer Science*, vol. 2, 160, 2021. doi: 10.1007/s42979-021-00592-x.

[4] В. Любчак, М. Шовкопляс, “Огляд моделей та методів індивідуального налаштування інформаційного сервісу науковця,” *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, vol. 2, pp. 88–96, 2024. doi: https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-11

[5] E. Masciari, A. Umair, and M. A. Habib Ullah, “A systematic literature review on AI-based recommendation systems and their ethical considerations,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 22445–22463, 2024. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3451054.

НТБ ОНТУ

Розділ 10.

Інформаційні технології у медицині

UDC: 004.8.67

MOBILE APPLICATION FOR EFFECTIVE COORDINATION OF BLOOD DONORS

Meliukhina K, Rysovanyi O. (rysov81524@gmail.com)
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

This study used various methods and technologies aimed at ensuring the functionality and effectiveness of mobile applications for blood donors. The mobile application "Donor Blood Life" was developed, which makes the blood donation process more accessible and attractive.

In today's world, where every drop of blood can save a life, it is important to have effective tools for coordinating blood donors. However, existing systems do not always provide the necessary level of convenience and accessibility, which limits their attractiveness to potential donors [1].

The creation of a mobile application "Donor Blood Life" can make the blood donation process more accessible and attractive to different segments of the population, providing users with a convenient tool for quickly and effectively searching for and contacting donors. Such an approach can increase awareness of donation and encourage more people to become active blood donors [2-3].

The relevance of the topic is the need to improve the blood donation system through the introduction of innovative technologies.

The main goal of Donor Blood Life is to ensure fast and effective coordination of blood donation and to raise awareness among the population about the importance of this activity.

To achieve this goal, the following tasks are envisaged:

- analysis of domestic and foreign sources;
- development of a user interface;
- registering donors and storing medical data;
- providing information on blood donation;
- making an appointment for blood donation;
- search for blood collection centres;
- protection of personal data;
- Preparation of instructions for users;
- testing the application.

When developing the blood donor coordination app, a variety of methods and technologies were used to ensure its functionality and efficiency. Here are some of them:

- Kotlin programming language;
- firebase Realtime Database;
- android Studio.

The research and development of the mobile application "Donor Blood Life" demonstrates its success in improving the accessibility of blood donation and raising awareness of its importance. Further development of the program is planned for maximum benefit to society. Also, a telegram channel with useful information and links to download the application has been created.

References

1. Donating blood: what the requirements are and how it works. gesund.bund.de | Informationen für Ihre Gesundheit. URL: https://gesund.bund.de/en/donating-blood

2. Contributors to Wikimedia projects. Blood donation - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Blood_donation

3. Kotlin and Android | Android Developers. Android Developers. URL: https://developer.android.com/kotlin .

UDK 004.588

TELEMEDICINE — A NEW STAGE IN THE DEVELOPMENT OF COMPUTER TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE

O. V. Miroshnyk, S. V. Kotlyk
(miroshnik1112@gmail.com, sergknet@gmail.com)
Odesa National University of Technology (Ukraine)

Abstract. *The paper analyzes the concept of telemedicine, its principles of functioning, and its role in transforming modern healthcare systems through the use of computer telecommunication technologies. The study presents current trends in the implementation of telemedical systems in Ukrainian healthcare institutions, focusing on the experience of Odesa region. The advantages, challenges, and prospects of telemedicine are outlined, emphasizing its significance as a new stage in the digital evolution of medicine.*

Keywords: *telemedicine, digital health, telecommunication technologies, healthcare systems, e-health, remote diagnostics, Odesa region, medical information systems*

Introduction

Digitalization has become one of the leading directions in healthcare development worldwide. Information and communication technologies (ICT) are now transforming medical services, ensuring more accessible and effective healthcare delivery. One of the fastest-growing fields of this transformation is telemedicine — a system that uses telecommunication tools to provide medical assistance remotely.

In Ukraine, as in many countries, telemedicine is gaining importance due to limited access to medical professionals in rural or remote regions, the need for faster consultation and diagnosis, and the growing demand for remote patient monitoring. The COVID-19 pandemic has further accelerated the adoption of telehealth solutions, proving their efficiency in crisis conditions.

Research Objective and Tasks

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of telemedicine technologies in healthcare institutions and to determine their role in improving the accessibility and quality of medical services in the Odesa region.

To achieve this goal, the following tasks were defined:

- To analyze the principles and architecture of telemedical information systems;
- To identify the key technical components and their integration mechanisms;
- To assess the current state and development prospects of telemedicine in regional healthcare institutions;
- To formulate recommendations for improving telecommunication infrastructure and ensuring secure data exchange.

Technological Framework of Telemedicine

Telemedical systems integrate information technologies, computer networks, cloud platforms, and mobile communication tools that enable real-time transmission of medical data. The basic components of such systems include:

- cloud or local servers for data storage and processing;
- software platforms for video consultations and e-health records;
- databases of electronic medical cards;
- peripheral medical devices for remote physiological monitoring.

The implementation of telemedicine in Odesa healthcare institutions has improved the accessibility of medical services, reduced the workload of specialists, and optimized consultation

processes. Patients from rural areas can now receive specialist advice without leaving their homes. Moreover, teleconsultations have become an efficient method for primary diagnosis, post-hospital supervision, and rehabilitation follow-up.

Challenges and Development Prospects

Despite significant progress, several issues hinder the full integration of telemedicine in Ukraine:

- Insufficient telecommunication infrastructure in rural regions;
- Lack of unified standards and protocols for data exchange;
- Data privacy and cybersecurity concerns related to sensitive medical information;
- Limited digital competence among healthcare professionals.

To overcome these barriers, it is necessary to strengthen the regulatory framework, train medical personnel in digital literacy, and ensure compliance with ISO/TS 13131:2021 Health Informatics — Telehealth Services — Quality Planning Guidelines, which define quality and safety standards for telehealth systems.

The future of telemedicine lies in integrating AI-based diagnostic support, Internet of Medical Things (IoMT) devices, and cloud-based patient platforms capable of real-time analysis and secure communication between doctors and patients. Establishing a national telemedicine platform would unify standards and improve interoperability among regional healthcare networks.

Case of Odesa Region

In the Odesa region, pilot telemedicine projects have demonstrated tangible benefits. Regional hospitals have introduced systems for remote ECG transmission, teleconsultations between district and city hospitals, and digital monitoring of chronic patients. Such initiatives show that telemedicine reduces unnecessary patient transfers, improves diagnostic accuracy, and saves both time and costs for healthcare institutions.

However, the sustainability of these projects depends on reliable Internet connectivity, sufficient server capacity, and systematic personnel training. Establishing permanent technical support units and standardized software environments will significantly improve efficiency and scalability.

Conclusions

Telemedicine represents a new stage in the evolution of computer telecommunication technologies in healthcare. It enhances communication between patients and medical professionals, expands access to qualified care, and optimizes resource utilization.

For Ukraine, telemedicine is not only a technological innovation but a strategic direction for healthcare modernization. Its successful implementation requires a coordinated approach that combines technical, organizational, and legal solutions, including the creation of a unified e-health infrastructure, data security policies, and continuous professional training.

Further research should focus on integrating telemedicine with artificial intelligence and predictive analytics tools, developing national databases, and designing adaptive platforms for personalized medical services.

References

[1] Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy, Natsionalna stratehiia rozvytku elektronnoi okhorony zdorov'ia na 2023–2030 roky. Kyiv, Ukraina: MOZ Ukrainy, 2023. [Online]. Available: https://moz.gov.ua/article/ministry-mandates/nacionalna-strategija-ehealth-2030. [Accessed: October 20, 2025].

[2] O. V. Kryvenko, "Telemedytsyna: suchasni vyklyky ta perspektyvy rozvytku," Informatsiini tekhnolohii v okhoroni zdorov'ia, №4, s. 15–22, 2022.

[3] World Health Organization, Global Strategy on Digital Health 2020–2025. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2021. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924. [Accessed: October 20, 2025].

[4] L. I. Palamarchuk, I. S. Holovchenko, "Vprovadzhennia telemedychnykh tekhnolohii u systemi okhorony zdorov'ia Ukrainy," Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Informatyka, t. 28, №2, s. 45–51, 2023.

[5] ISO/TS 13131:2021, Health informatics — Telehealth services — Quality planning guidelines. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2021.

UDC 004.8:616.89

EARLY-STAGE DIAGNOSIS OF ALZHEIMER'S DISEASE USING MACHINE LEARNING METHODS

Veronika Pletnova, Inna Zhulkovska,
Oleg Zhulkovskyi (olalzh@ukr.net)
Dniprovsky State Technical University (Ukraine)

The study examines the application of machine learning and deep learning methods to improve the efficiency of early diagnosis of Alzheimer's disease. Separate investigations were conducted for models focused on the analysis of clinical indicators and for those processing MRI images. The obtained results demonstrated high accuracy for both machine learning models and convolutional neural networks. Based on the analysis, the study identifies the prospect of developing a multimodal system that integrates both model types to enhance the reliability of diagnosis.

Alzheimer's disease is one of the most common neurodegenerative disorders, characterized by the gradual decline of cognitive functions and memory impairment. Early diagnosis of the disease remains a challenging task, as the initial changes in the brain occur long before the onset of clinical symptoms. Traditional diagnostic methods, including cognitive testing and neuroimaging, do not always provide sufficient accuracy and often require expert interpretation [1]. This highlights the relevance of applying intelligent analytical methods capable of automating data evaluation and identifying hidden patterns in the progression of the pathology.

Modern approaches based on machine learning and deep learning demonstrate high potential in the diagnosis of neurodegenerative diseases [2]. They enable comprehensive analysis of heterogeneous data (ranging from numerical medical indicators to brain imaging) and reveal complex nonlinear dependencies that are unachievable through traditional statistical methods. Unlike conventional diagnostic procedures, machine learning algorithms can automatically detect hidden correlations driving disease progression and build predictive models to assess individual patient risks. Deep neural networks, in turn, effectively handle large volumes of imaging data, allowing spatial and structural analysis of brain tissue and identifying microscopic alterations at early disease stages.

An important aspect of applying such approaches is the integration of clinical, cognitive, and imaging data into a unified system, which enhances classification accuracy and interpretability of results. Furthermore, automated models reduce the subjectivity of physician assessment and shorten diagnostic time, which is a crucial factor when working with large-scale medical datasets. However, combining heterogeneous data types requires a specialized model structure and alignment of input formats. Therefore, the study analyzed the effectiveness of individual approaches:

– machine learning models for tabular (clinical and demographic) data;

– deep learning models for medical image analysis.

The obtained results justify the applicability of further integrating individual models into a multimodal system that comprehensively accounts for both clinical and structural characteristics of patients.

Considering machine learning models, they provide a high level of result interpretability that is an essential advantage for medical decision-making. Algorithms such as Logistic Regression, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), and XGBoost have demonstrated consistent performance in analyzing clinical and demographic parameters, including age, education level, cognitive indicators, and coexisting conditions [1, 3]. These models effectively differentiate between healthy individuals, patients with mild cognitive impairment, and those with Alzheimer's disease, achieving accuracy levels of 85-90%. Their advantages include interpretability and the ability to evaluate feature importance. However, they are limited in handling unstructured data such as MRI images, which contain spatial information about morphological brain changes. The performance of these models also depends heavily on data completeness, balance, and quality, making them sensitive to missing or inconsistent records.

Deep learning methods, by contrast, have shown high effectiveness in processing visual medical data. Architectures such as Convolutional Neural Networks (CNN), VGG16, and EfficientNet can automatically extract meaningful spatial patterns from MRI scans and detect slight structural changes in the hippocampus and cerebral cortex [2, 4]. Studies indicate that these models achieve accuracy rates between 90% and 95%, outperforming traditional machine learning algorithms. Their strength lies in the

ability to learn from large datasets and form complex feature representations, though they require substantial computational resources and extensive labeled data. Additionally, due to their multilayer architecture, deep networks remain less interpretable, which complicates clinical interpretation without supplementary visualization tools such as feature importance mapping.

Summarizing the advantages and limitations of both approaches, it can be concluded that neither provides complete informativeness when applied independently. Machine learning methods better describe patterns in structured clinical data, while deep neural networks capture visual and spatial dependencies. This creates the foundation for multimodal systems, in which the results of both model types are combined for comprehensive analysis of cognitive and structural brain characteristics [5]. Such an approach enhances classification accuracy, improves interpretability of predictions, and opens opportunities for practical implementation in clinical decision-support systems.

References

[1] S. Grueso and R. Viejo-Sobera, “Machine learning methods for predicting progression from mild cognitive impairment to Alzheimer’s disease dementia: A systematic review,” Alzheimer’s Research & Therapy, vol. 13, no. 162, Sep. 2021. doi: 10.1186/s13195-021-00900-w

[2] R. Zhang, J. Sheng, Q. Zhang, J. Wang та B. Wang, “A review of multimodal fusion–based deep learning for Alzheimer’s disease,” Neuroscience, vol. 576, pp. 80-95, Apr. 2025. doi: 10.1016/j.neuroscience.2025.04.035

[3] R. M. Wahul, S. Ambadekar, D. M. Dhanvijay et al., “Multimodal approaches and AI-driven innovations in dementia diagnosis: A systematic review,” Discover Artificial Intelligence, vol. 5, no. 96, Jun. 2025. doi: 10.1007/s44163-025-00358-x

[4] M. L. Raza, S. T. Hassan, S. Jamil, N. Hyder, K. Batool, S. Walji and M. K. Abbas, “Advancements in deep learning for early diagnosis of Alzheimer’s disease using multimodal neuroimaging: Challenges and future directions,” Frontiers in Neuroinformatics, vol. 19, pp. 311-322, May 2025. doi: 10.3389/fninf.2025.1557177

[5] N. N. B. A. Kubi and S. Nazir, “Dementia prediction with multimodal clinical and imaging data”, International Journal of Information Technology, vol. 17, pp. 5-16, Dec. 2024. doi: 10.1007/s41870-024-02326-7

UDC 616.8-009.18

USE OF NEUROHEADSETS IN LIMB PROSTHESIS

Romanyuk [1] O. N., Pavlov [1] S.V., Maidanyuk [1] V.P., Romanyuk [2] S.O., Titova [2] N.V. (rom8591@gmail.com)
[1] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
[2] National University "Odessa Polytechnic" (Ukraine)

Significant progress in the field of neuroscience and bioengineering has contributed to the development of new prosthetic technologies that bring the functionality of artificial limbs closer to the capabilities of a healthy arm or leg. One of the most innovative technologies in this direction has been the use of neuro-headsets - devices that read signals from the cerebral cortex and allow you to control prostheses without physical contact. The basis of such systems is the concept of a brain-computer interface, which provides feedback between the user's intention and the execution of the movement. This opens up a new dimension in the restoration of motor functions for people with limb amputations.

Most modern neuro-headsets use non-invasive methods of recording electrical activity of the brain, in particular electroencephalography (EEG). The system consists of a helmet or a headband with electrodes that record signals from different areas of the brain. These signals are further processed using machine learning algorithms that can classify patterns of brain activity and correlate them with the user’s desired actions [1], [2]. For example, if the user visualizes bending the arm, the system recognizes this activity and transmits a command to the prosthetic servos.

Early use of neuro-headsets in medicine focused mainly on research into neuroplasticity and brain training in stroke patients. However, in the 2010s, active attempts to integrate neuro-interfaces into

functional prostheses began. Companies and research institutions began to create modules that allowed not only unidirectional control, but also implemented bidirectional communication, where the user receives feedback information - for example, about pressure, temperature or bending angle [3].

Modern implementations of such systems demonstrate a high level of accuracy - up to 85–95% in recognizing simple motor intentions [4]. In particular, the use of deep convolutional neural networks has made it possible to achieve stability of results in different conditions - both in the laboratory and in real-life scenarios. A number of studies also show that neuro-headsets can adapt to the individual characteristics of the user - for example, changing algorithms for a specific type of brain waves [5].

The development of technology is also stimulated by the emergence of open hardware-software platforms, such as OpenBCI, NeuroSky, Emotiv Epoc, etc. Thanks to them, it has become possible to design affordable neurocontrolled prostheses that can serve educational or rehabilitation purposes [6]. In addition, these systems are widely used in training people after amputation - as they allow the formation of new motor patterns and the gradual integration of the prosthesis into everyday life.

An important aspect of the functioning of such systems is sensory feedback. As is known, it is difficult for a person to accurately coordinate movements based only on visual control. Therefore, modern prostheses often have tactile or vibration feedback, which helps the brain "feel" the effort or position of the limb [7]. This is especially important for manipulating objects - grabbing, holding, pressing, etc. Such mechanisms increase the level of brain involvement in control and contribute to neuroplasticity - the ability of the brain to adapt to new conditions.

EEG signals have low spatial resolution and high noise, making it difficult to accurately read the user's intentions [8]. In addition, the speed of signal processing and command transmission must be fast enough to ensure realistic movements - too much delay causes discomfort and reduces the effectiveness of the prosthesis. Technical teams are working on improving signal filtering, optimizing classification algorithms, and new forms of sensory feedback.

It is also worth mentioning implantable neurointerfaces that allow receiving signals directly from the cerebral cortex. They provide much more precise control and a wider range of commands, but require surgical intervention and concomitant medical supervision [9]. Therefore, their use is currently limited to individual clinical cases.

To date, dozens of prototypes of neurocontrolled prostheses have been implemented. Among the most famous are the DARPA projects, OpenHand, Mind-Controlled Arm from DEKA Research, as well as Ukrainian developments that combine 3D printing and EEG control. Some models are already available for use by war veterans and people who have lost limbs due to injuries.

In the near future, commercially available deep learning prosthetics that adapt to the user are expected. Additionally, the possibility of using augmented reality (AR) for visual feedback, as well as the development of hybrid interfaces - for example, combining neuro-headsets with myoelectric control or eye tracking - is being considered.

Thus, the use of neuro-prosthetics in prosthetics is an example of combining the latest advances in neurophysiology, machine learning, and robotics. Although there are technical and ethical barriers, the rapid development of technology gives hope that in the near future such systems will become more accessible, more effective, and help thousands of people around the world regain motor independence.

References

[1] AJ Ortiz-Catalan, M. Håkansson, R. Brånemark, and B. Hakansson, “Real-time and simultaneous control of artificial limbs based on pattern recognition algorithms,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* , vol. 22, no. 4, pp. 756–764, 2014.

[2] B. He, Y. Yuan, J. Meng, et al., “Brain–computer interfaces based on motor imagery: Techniques and clinical applications,” *IEEE Rev. Biomed. Eng.* , vol. 7, pp. 143–154, 2014.

[3] H. Abdollahi, AR Singh, C. Yang, et al., “Brain–machine interface for controlling a robotic arm using EEG signals,” *Biomed. Signal Process. Control* , vol. 65, 102407, 2021.

[4] L. Rognini, T. Zollo, MD Llorens, et al., “Multisensory feedback enhances embodiment of bionic limbs,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* , vol. 27, no. 6, pp. 1332–1340, 2019.

[5] M. Xu, Z. Zhang, T. Yao, et al., “Improving EEG classification with spatio-temporal multi-view learning,” *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* , vol. 33, no. 2, pp. 558–572, 2022.

[6] OpenBCI. [Online]. Available: https://openbci.com[7] J. Sitaram, M. Lee, R. Rana, et al., “OpenBMI: A real-time brain–machine interface toolbox,” *Front. Neuroinform.* , vol. 13, 2020.

[8] N. Sharma, R. Vig, MT Singh, “Noise Reduction in EEG for Brain-Computer Interfaces,” *Procedia Comput. Sci.* , vol. 167, pp. 234–240, 2020.

[9] S. Salari, M. Yousefi, A. Khosrowabadi, “A review on invasive brain-machine interfaces for controlling upper limb prostheses,” *J. Neural Eng.* , vol. 19, no. 2, 021002, 2022.

UDC 615.47

CONDUCTING VIRTUAL MEDICAL SURGERIES ABROAD AND IN UKRAINE

Titova [1] N.V., Romanyuk [1] S.O. , Kotlyk [3] S.V. , Romanyuk [2] O.N. , Pavlov [2] S.V.
(rom8591@gmail.com)
[1] National University "Odessa Polytechnic" (Ukraine)
[2] Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
[3] Odessa National Technological University (Ukraine)

The current state of development of technologies for conducting virtual medical operations in Ukraine and abroad, based on the use of virtual and augmented reality systems, three-dimensional modeling, and simulation training, is considered.

Virtual medical operations are one of the most modern directions in the development of digital medicine and human-machine interaction engineering. This concept encompasses the use of virtual and augmented reality technologies, three-dimensional visualization, computer modeling of anatomical structures, as well as intelligent algorithms that recreate the conditions of a real operating room. The goal of such systems is to create the most realistic training and research environment in which a doctor can train his skills without risk to the patient's life, as well as plan future surgical interventions with high accuracy.

The basis of the technology is the creation of a digital twin of the patient - a three-dimensional model of the body, which is formed on the basis of medical images obtained using computed tomography, magnetic resonance imaging or ultrasound diagnostics. Based on this data, a three-dimensional model of individual organs, vessels, bones, tissues is formed. Then this model is integrated into the software environment, which allows the doctor to interact with it in the same way as during a real operation. The modeling process takes into account the physical properties of tissues - elasticity, resilience, resistance, blood flow. This provides a sense of reality, and in some systems is supplemented by tactile feedback through special gloves or tools.

In a virtual operating environment, a surgeon can perform various manipulations: make incisions, stitch tissues, remove tumors, practice suturing, or perform microsurgical operations. During this, the system measures accuracy parameters, movement trajectory, pressure force, operation duration, and other indicators. This allows you to assess the level of skill and progress of the doctor, as well as conduct standardized training in medical institutions. Unlike traditional training on cadavers or animals, virtual simulations allow not only to repeat the same procedure many times, but also to change the complexity of the scenario, introduce complications, and simulate unforeseen situations, which forms a stable professional response in real conditions.

Augmented reality systems play a significant role in the development of virtual surgeries. They allow the doctor to see digital information superimposed on the patient - anatomical boundaries, the course of blood vessels, the location of the tumor - in real time during the operation. This increases the accuracy of actions, reduces the duration of the intervention and reduces the risk of complications. Such systems actively use special glasses or helmets that create the effect of immersion in a virtual environment. In some modern developments, artificial intelligence algorithms are added to this, which prompt the surgeon for optimal movements, predict the consequences of actions or warn about possible errors.

Virtual surgeries have a wide range of applications. First of all, it is education - training of medical university students, interns and young doctors. With the help of simulators, they can learn to perform complex operations even before the first contact with a real patient. Such systems allow objectively

assessing the knowledge and skills of each user. For example, the computer records the accuracy of the incision, compliance with anatomical boundaries, speed and accuracy of movements. This creates a new level of medical education, focused on competence, and not only on theoretical knowledge.

The second direction is the planning of real surgical interventions. The doctor can simulate the operation on a specific patient, assess possible complications, determine the best way to access the affected organ, check the effect of various instruments. In some cases, such training saves lives, especially during complex operations on the brain, heart or blood vessels. In addition, it helps to reduce the time spent by the patient under anesthesia, which has a positive effect on his condition.

Among the advantages of virtual operations are safety, the possibility of multiple repetition, availability at any time, the absence of the need for expensive biological materials, controllability of the environment and objectivity of assessment. At the same time, there are certain limitations. The most important of them are the high cost of equipment and software, the need for powerful computers and feedback systems, the complexity of reproducing tactile sensations and accurate modeling of physiological processes. There are also questions of standardization - how to assess how successfully a doctor performed a virtual operation if each system has its own accuracy scale?

In some countries, national centers for simulation medicine have already been established, which use virtual technologies to train doctors of various specialties. For example, in clinics in the USA, Germany, Japan and South Korea, virtual operating rooms are an integral part of the educational process. In Ukraine, this direction is also actively developing, especially in university medical centers, where training using VR technologies is conducted for surgeons, dentists, anesthesiologists and nurses. Such initiatives are supported by the Ministry of Health and the European Union's educational programs on medical simulation.

A separate direction is robotic systems that combine real manipulators and virtual simulation. The surgeon controls the robotic instrument, seeing a virtual image of the organs, and the program analyzes its actions, preventing excessive pressure or incorrect movement. Such systems allow you to safely practice interaction with the robot assistant before a real intervention. In addition, thanks to the development of remote technologies, a new direction is emerging - telesurgery, when an experienced doctor can perform an operation while in another country, using a virtual environment for navigation and control of instruments.

An important task is the integration of virtual operations with medical data systems. Thanks to this, the doctor can work not only with an abstract model, but also with the patient's real clinical indicators - pulse, blood pressure, test results. In the future, such platforms can become the basis for individualized medicine, where each patient will receive his own "digital twin", and all procedures will be performed first in a virtual environment.

Scientists are also developing methods for psychophysiological adaptation of a doctor to a virtual operating room. It turned out that a long stay in a VR environment can affect vision, coordination, and spatial perception, so researchers are working on improving comfort, image stability, optimizing colors, and rendering speed. In the future, it is planned to integrate biometric sensors that will monitor the operator's condition and adapt the interface to his physical parameters.

Current trends in the development of virtual surgeries indicate a gradual transition from educational simulations to clinical applications. Some medical centers are already conducting preliminary testing of operations in a VR environment before real interventions in order to predict potential risks. Further development of artificial intelligence, computer graphics and cloud computing will allow the creation of integrated medical systems, where the surgeon will have full digital control over the treatment process.

Among the examples is the simulation center of Lviv Medical University, where a virtual operating room with an augmented reality system has been deployed. Students work with virtual mannequins that respond to manipulations and can change the parameters of breathing, heart rate, and pressure. During surgical training, participants see anatomical structures and the results of their actions on the screen in real time. Special software from Ukrainian developers is used, which allows you to create individual scenarios and save the history of each simulation.

The Vinnytsia National Medical University named after M. I. Pirogov has created a Simulation Training Center, which uses virtual reality technologies to simulate surgical operations and emergencies. Students have the opportunity to practice algorithms for actions in case of injuries, wounds, bleeding, and heart attacks. For this purpose, VR helmets, mannequins with tactile feedback, and computer programs from Ukrainian and international manufacturers are used. International educational projects are also

implemented on the basis of this center together with universities in Poland and the Czech Republic, which involve the exchange of simulation methods.

Ternopil National Medical University named after I. Ya. Horbachevsky has extensive experience in the field of virtual operations. It operates the Center for Simulation Technologies, equipped with modern simulators for laparoscopic, endoscopic and cardiac surgical practice. Since 2022, the university has implemented the digital platform "Virtual Patient", which allows for remote training and collective planning of surgical operations. The platform software was developed by Ukrainian engineers together with specialists from Ternopil IT companies, which confirms the high level of national integration of science and technology.

The Bogomolets National Medical University has created the “Center for Innovative Learning Technologies”, where the “Virtual Surgeon” simulation module has been implemented. It allows performing simulated operations on organ models in a three-dimensional visualization environment. Participants can feel the resistance of tissues, perform incisions, sutures, stop bleeding, and the system automatically evaluates the quality of task performance. The program has been adapted to Ukrainian curricula.

Among private initiatives, it is worth noting the activities of the companies "C3D Labs Ukraine" and "Rehab Lab", which develop simulation medical software based on their own 3D engines. Their solutions are used in clinics in Kyiv, Kharkiv and Dnipro for training interns and young specialists. In 2024, the company "C3D Labs Ukraine" launched the "Virtual Surgery UA" platform, which allows doctors to create individual patient models based on MRI or CT results, plan operations and reproduce them in a VR environment.

Some medical centers in Kyiv, including the Heart Institute and the National Cancer Institute, are experimenting with the use of virtual surgeries to plan cardiac and neurosurgical interventions. Thanks to three-dimensional modeling of the vascular system and bone structures, doctors can pre-assess risks, determine the trajectory of surgical access, and reduce the duration of the operation.

An additional direction of development is the use of virtual operations in military medicine. After 2022, training simulators are being actively introduced in Ukraine to train medics to work in combat conditions. Virtual simulators allow you to simulate complex injuries, explosive injuries, burns and other critical conditions. Such systems are used in military hospitals and as part of paramedic training courses.

Thus, virtual medical operations are one of the most important directions of digital transformation of healthcare. They combine engineering, computer, biological and psychological sciences, promote safe learning, increase the efficiency of medical practice and form new standards in the training of specialists. In the coming years, widespread implementation of such systems in medical universities, hospitals and scientific institutions is expected, which will contribute to improving the quality of medical care and patient trust in modern technologies.

References

1. Riddle EW Surgical Simulation: Virtual Reality to Artificial Intelligence. Surgical Simulation, 2024.
2. Shahrezaei A., et al. The Impact of Surgical Simulation and Training Technologies. Journal of Surgical Education, 2024.
3. Coxe FR, et al. Virtual Reality Simulation in Orthopedic Surgery Education. Medical Simulation Review, 2025.
4. Choi C. Research Trends in Virtual Reality Surgical Simulation. E-JMIS, 2025.
5. Mergen M., Graf N., Meyerheim M. Reviewing the Current State of Virtual Reality Integration in Medical Education. BMC Medical Education, 2024.
6. Gorman PJ Simulation and Virtual Reality in Surgical Education. JAMA Surgery, 1999.
7. Seeger P., et al. Surgical Training Simulation Modalities in Minimally Invasive Surgery: A Narrative Review. Surgical Practice, 2025.

UDC 004.896:37.018.43

INFORMATION TECHNOLOGY IN MEDICINE

Andreiev A.S., Sotnik S.V.
(anton.andreiev@nure.ua, svetlana.sotnik @nure.ua)
Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)

This work examines modern information technologies used in medicine, in particular electronic medical records (EMR), telemedicine platforms, and medical imaging systems, which are widely used for educational and research purposes. A comparative analysis of the capabilities of these technologies, their features, and the limits of their application is conducted. The article provides recommendations on choosing an information system depending on the specific tasks of the user. The use of information technologies in medical education plays an important role, as they allow students and researchers to acquire practical skills in conditions close to real life, without the need to use physical patients in the early stages of training. This is especially important when studying complex medical systems where mistakes can be costly or even dangerous. Information systems provide the opportunity to experiment with different scenarios, develop and test diagnostic algorithms, which significantly speeds up the learning process.

Problem Statement.

Rapid advances in information systems, automation, and digitization are creating new demands for the training of qualified medical professionals [1-7]. Technology-based learning methods are becoming an important tool in the process of mastering complex medical procedures, as they provide students with the opportunity to learn in an interactive environment that simulates real clinical situations [8, 9]. Such methods often include simulations, virtual laboratories, and digital platforms where students can work with virtual models of patients and medical systems.

Given that the digitization of medicine is becoming increasingly relevant in today's world, where information technology is being introduced into various areas of healthcare, the topic of technological training is becoming particularly important. Effective training of future specialists in working with medical information systems is a key factor in ensuring their successful integration into real clinical processes and other areas of activity.

This work focuses on medical information technology. Medical information modeling is the process of creating virtual models of medical systems and their environments for simulation and testing. It is an important tool in modern medical education, allowing students, doctors, and researchers to develop, test, and optimize medical information systems without the need for physical prototyping in the early stages of development.

The aim of the work is to analyze systems such as electronic medical records (EMR), telemedicine platforms, and medical imaging systems, followed by the identification of all the features of such tools. So, the plan is as follows:

- overview of the characteristics of electronic medical records, telemedicine platforms, and medical imaging systems;
- detailed analysis of the capabilities of information systems;
- overview of the limitations of EMRs, telemedicine platforms, and imaging systems.

This comparison will help users choose the most suitable system for their specific tasks, whether for educational purposes, research projects, or clinical practice. Understanding the strengths and weaknesses of each system will help optimize workflow, increase efficiency, and ensure more accurate results.

Essence of study.

Let's start with the fact that electronic medical records (EMR) are a powerful and versatile medical information management system that has become widespread since the early 2000s. EMR provides a digital environment for storing and managing patient medical data, including medical history, test results, prescriptions, and other clinically relevant information. The system supports various data exchange standards, such as HL7 and FHIR, making it a flexible tool for healthcare institutions of various profiles.

Modern EMRs integrate with laboratory information systems (LIS), radiology information systems (RIS), and other specialized modules. They support clinical decision-making through built-in algorithms and knowledge bases, allowing physicians to quickly access up-to-date patient information.

Next, we will look at telemedicine platforms, which have seen particularly rapid development over the last decade. These systems have quickly gained popularity due to their ability to provide remote access to medical services. Telemedicine platforms are distinguished by their ability to conduct video consultations, remotely monitor patient conditions, and exchange medical information between specialists.

Modern telemedicine solutions include artificial intelligence features for preliminary diagnosis, integration with wearable devices for continuous health monitoring, and secure communication channels to ensure the confidentiality of medical data.

The third important area is medical imaging systems. These are specialized information systems designed to process, store, and analyze medical images. Originally created to work with X-ray images, modern imaging systems support a variety of modalities: CT, MRI, ultrasound, PET, and others.

Medical imaging systems, such as PACS (Picture Archiving and Communication System), provide centralized storage of images and access to them from anywhere in a medical facility. Modern solutions include AI-based tools for automatic detection of pathologies, 3D reconstruction, and quantitative image analysis.

EMC, telemedicine platforms, and medical imaging systems are powerful tools in the field of medical information technology, each with its own history of development and unique characteristics, which are presented in Table 1.

Table 1 – Comparison of key characteristics

Platform/feature	Electronic medical records (EMR)	Telemedicine platforms	Medical imaging systems
Supported operating systems	Windows, macOS, Linux, web browsers	Windows, macOS, Linux, iOS, Android	Windows, Linux, specialized workstations
Main functions	Patient data storage, medical record management, integration with HIS/RIS	Video consultations, remote monitoring, data exchange	Image storage, processing, analysis, 3D visualization
Standards and protocols	HL7, FHIR, ICD-10, SNOMED CT	WebRTC, HL7, secure communication protocols	DICOM, HL7, IHE
Licensing	Commercial solutions, some open-source options	Commercial and free versions	Commercial versions, some open-source (e.g., Orthanc)
Ease of use	Medium entry threshold, training of medical staff required	High-quality, intuitive interface for patients and doctors	High entry threshold, specialized training required
Community support	Active professional community, extensive documentation	Fast-growing community, lots of resources	Specialized community of radiologists and engineers
Extensibility	High, support for modules and integrations	High, API for integration with other systems	Medium, plugin support for analysis

Table 1 includes a point of integration with medical information exchange standards, which are widely used in healthcare to ensure compatibility between different systems and secure exchange of patient data.

Conclusions

This work provides an in-depth analysis of three important categories of medical information technologies: electronic medical records (EMRs), telemedicine platforms, and medical imaging systems.

Analysis of various medical information technology platforms has shown that each has its own unique features that should be considered when selecting a tool for educational and research purposes.

EMR are a versatile and flexible tool with powerful medical data management capabilities, making them suitable for a wide range of tasks in clinical practice, but they have a moderate entry threshold, which can be challenging for novice users.

Telemedicine platforms, which have seen particular development in recent years, are distinguished by their accessibility and ease of use, making them an ideal choice for users who need to interact remotely with patients and colleagues. They are particularly important in the context of expanding access to healthcare in remote regions.

Medical imaging systems, with their specialized image processing and analysis capabilities and support for the DICOM standard, are the best choice for radiologists and researchers working in this field. Modern systems with integrated artificial intelligence open up new possibilities for automated diagnostics.

Therefore, the choice of an information system should be based on the specific needs of the user, taking into account factors such as supported operating systems, functionality requirements, data exchange standards, licensing terms, ease of use, and community support. Choosing the right tool will optimize the workflow, reduce costs, and improve patient outcomes.

References

[1] A. Tverdokhlib, et al., “Intelligent tools for optimizing information and search engines,” *Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26*. 2024, pp. 28-31

[2] Y. Vasylchenko, et al., “Development of Security and Fire Alarm Integrated Automation System at Enterprise*,” WSEAS Transactions on Systems*. 2025, 24, pp. 642-664

[3] S. V. Sotnik, “Study of Shrinkage of Thermoplastics in Injection Molding*,” Scientific Bulletin of Valahia University - Materials and Mechanics*. 2025, 21(24). pp. 13-17

[4] S. Sotnik, M. Rudenko, “Evaluating relational database scaling strategies in web engineering,” *International Conference on Advanced Trends In Radioelectronics and Infocommunications (ATRIC-2025) (May 21–22, 2025), Lviv Polytechnic Publishing House, Lviv, Ukraine*. 2025, pp. 224-228.

[5] С. Сотник, “Розробка автоматизованої інформаційно-пошукової системи вибору маніпулятора промислових роботів,” *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2025, 1 (68), pp. 52-58

[6] D.A. Sukhomlinova, et al., “Aerial robot in urban environments,” Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Thesises of Reports. 2025, pp. 45-46

[7] A. S. Andreiev, et al., “Computer games and Web design,” *Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024»*. 2024, pp. 712-714

[8] S. V. Sotnik, “Implementation of game-based learning method,” Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2024 / Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 26-27 вересня 2024 р. 2024, pp. 19-22

УДК 616-71

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ

Бандурка Л.М. (bandurkalyda@gmail.com)
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова (Україна)

В тезах розглядається процес створення системи моніторингу людини, визначено основні компоненти складові системи, їх взаємодію між собою та обґрунтовано їх вибі. Наведено також принципову та електричну схеми систем моніторингу.

Вступ. Розроблення програмно-апаратної системи для моніторингу стану людини спрямоване на створення надійного інструмента для безперервного спостереження фізіологічних параметрів у побутових і напівпрофесійних умовах. Метою проєкту є інтеграція набору сенсорів, вбудованого оброблення сигналів і зручного програмного інтерфейсу для оперативного збору, збереження і передачі даних про стан здоров'я з можливістю подальшого аналізу. Практична цінність полягає у ранньому виявленні відхилень у роботі серцево-судинної та рухової систем, моніторингу сну та фізичної активності, а також у наданні об'єктивної інформації для лікаря або опікуна. Для реалізації системи обрано апаратну платформу з комбінацією мікроконтролера STM32 (Cortex-M4, наприклад STM32F407) для обробки сигналів у реальному часі та модуля бездротового зв'язку nRF52840 або ESP32 для передачі даних по Bluetooth Low Energy 5.0 і Wi-Fi 802.11n. Для розширення пам'яті і локального збереження використовуються microSD-карти об'ємом до 32 Гбайт.

Основна частина. Сенсорна частина включає: AFE для ЕКГ (наприклад MAX30003 або еквівалентний аналог) з частотою дискретизації 250-500 Гц для забезпечення якісного відтворення кардіоциклу; фотоплетизмографічний модуль SpO2/PPG (наприклад MAX30102) з частотою 50-100 Гц; інерціальні датчики (акселерометр і гіроскоп, наприклад MPU-6050 або сучасніший IMU) з частотою зчитування 100 Гц для виявлення падінь, активності та походження рухів; цифровий температурний датчик (наприклад TMP117) з частотою 1 Гц для вимірювання шкірної температури. Формат запису сигналів - 16-бітні дискрети для кожного каналу, що забезпечує баланс між точністю і об'ємом даних. При наведених параметрах обчислено обсяг вихідних даних: ЕКГ (500 зразків/с × 2 байти = 1000 байт/с), PPG (100 × 2 = 200 байт/с), акселерометр (100 Гц × 3 осі × 2 байти = 600 байт/с), гіроскоп (100 Гц × 3 осі × 2 байти = 600 байт/с), температура (1 Гц × 2 байти = 2 байти/с). Сумарно це близько 2402 байт/с ≈ 2,35 КБ/с, що відповідає приблизно 8,25 МБ/годину та 198 МБ/добу при безперервному записі. Така оцінка дозволяє обирати ємність накопичувача і планувати періоди синхронізації з сервером.[2]

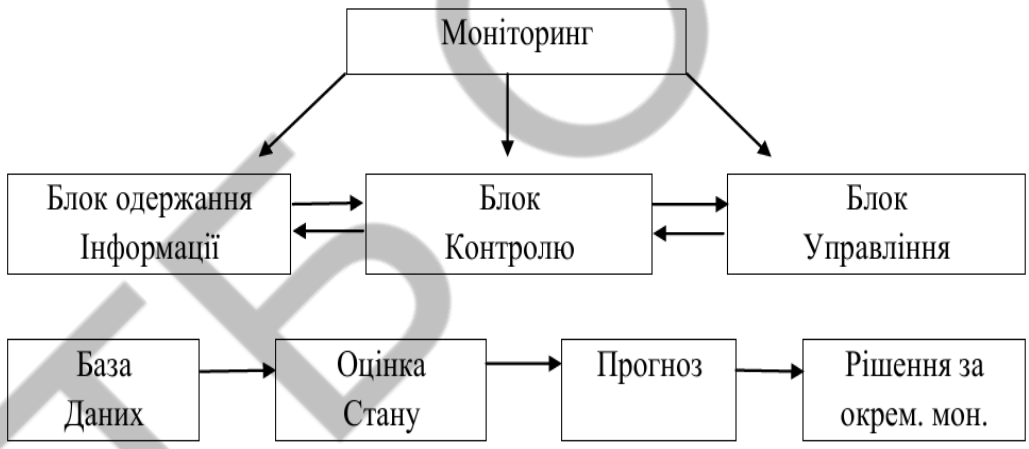


Рис 1. Принципова схема моніторингу

Архітектура програмного забезпечення будується на RTOS (FreeRTOS) для гарантування часових обмежень обробки сигналів. На вбудованому рівні реалізовано фільтрацію зваженими цифровими фільтрами (високопропускний для усунення дрейфу постійної складової, низькопропускний для усунення високочастотного шуму) та алгоритми видалення артефактів руху шляхом поєднання даних IMU і PPG. Для отримання частоти серцевих скорочень (HR) і насичення крові киснем (SpO2) використовуються сукупні алгоритми пікової детекції й адаптивного віконного аналізу; для оцінки вегетативної регуляції застосовується аналіз варіабельності серцевого ритму (HRV) у часовій і спектральній області. Алгоритми класифікації подій (наприклад, раптові зміни ритму, епізоди бради- або тахікардії, падіння) реалізовано як правило-базовані блоки з пороговими умовами та як полегшені моделі машинного навчання (наприклад, деревоподібні моделі або легкі нейронні мережі), які можуть працювати на пристрої або в хмарі. Важливо підкреслити, що для клінічного застосування необхідна додаткова верифікація й

сертифікація; поточна система позиціюється як засіб моніторингу та попереднього виявлення змін.[1]

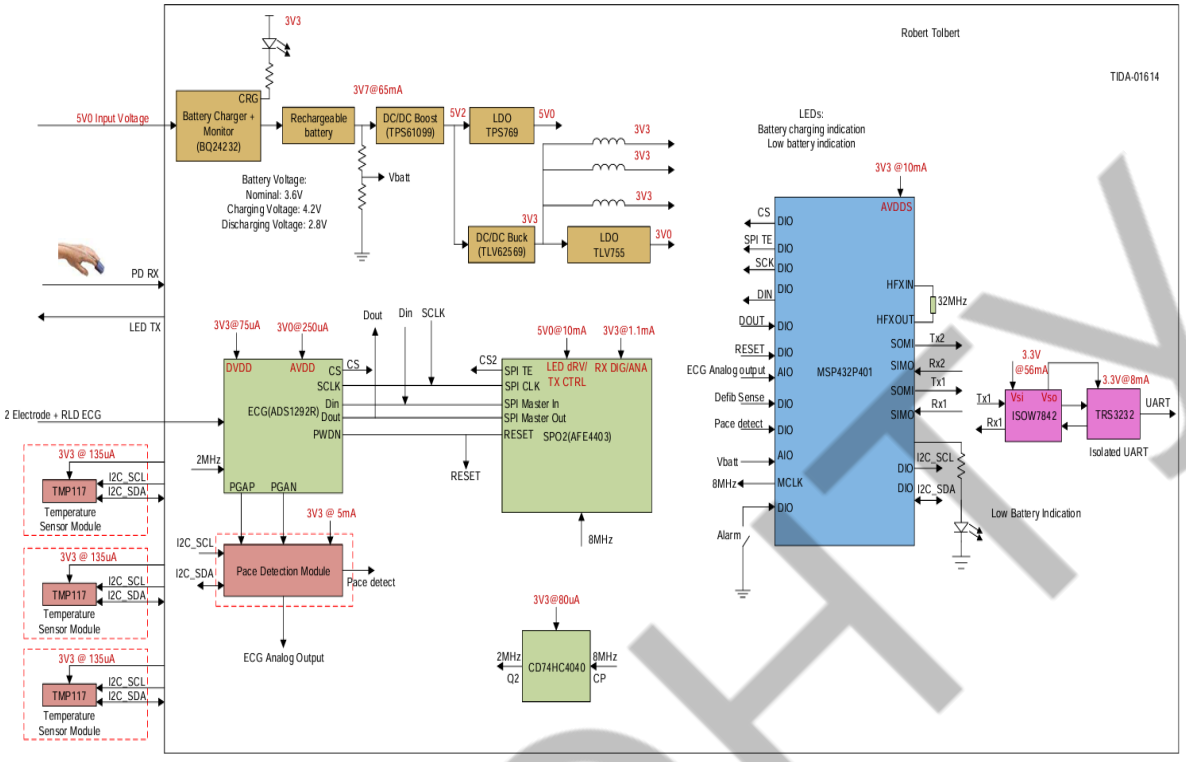


Рис 2. Електрична схема системи моніторингу

Комунікаційний стек підтримує локальну передачу даних через Bluetooth LE (очікуваний радіус дії до 50 м у відкритому просторі при BLE 5.0) і пряме підключення через Wi-Fi для великих пакетів даних. Для передачі в реальному часі використовується MQTT-протокол з QoS рівнем 1 для критичних повідомлень, а для синхронізації - REST API з HTTPS (TLS 1.2/1.3). Передача даних шифрується AES-256 на транспортному рівні та додатково зберігається з використанням симетричного шифрування на локальному накопичувачі. Серверна частина передбачає збереження даних у реляційній базі PostgreSQL для часових рядів і окремому сховищі файлів для сирих записів; повідомлення тривоги обробляються через брокер повідомлень (Mosquitto або еквівалент) і доставляються до мобільного додатку або веб-інтерфейсу.[4]

Мобільний додаток підтримується для Android (API 29+) і iOS (версії, що підтримують BLE 5). Інтерфейс відображає поточні показники (частота серця, SpO2, кроки, температура), тренди за останні 24/72 години, гістограми активності та позначки подій. Для фахівців передбачено експорт даних у форматі CSV або EDF для подальшого аналізу. Важливими функціональними вимогами є інтерфейс оповіщень (push-сповіщення з пріоритетом), можливість створення профілів пацієнтів і налаштування індивідуальних порогів тривоги.

Живлення реалізовано від літій-полімерного акумулятора ємністю 1000 мА·год при середньому струмі споживання 40 мА в активному режимі. Приблизний час автономної роботи розраховується як 1000 мА·год / 40 мА = 25 годин без підзарядки; у режимі енергозбереження (періодичне зняття даних, deep sleep між опитуваннями) можливо досягти 48-72 годин. Для заряджання передбачено USB-C з контролером зарядки та захистом від перезаряду.[3]

План валідації включає лабораторні випробування на синтетичних сигналах, тестування на добровольцях у контрольованих умовах та порівняння результатів ЕКГ і SpO2 з еталонним медичним обладнанням. Критерії успішності: середня похибка вимірювання ЧСС не більше ±3 уд./хв у діапазоні 40-180 уд./хв у спокої та фізичній активності, розходження SpO2 не більше ±2% у діапазоні 90-100% у станах без значних артефактів руху. Окрім технічних тестів проводиться оцінка користувацького досвіду: зручність кріплення при носінні, інтуїтивність інтерфейсу, час реакції на тривожні події (ціль - <30 с від події до повідомлення у мобільний додаток при підключенні через BLE/Wi-Fi).

Забезпечення конфіденційності та відповідність нормативам - невід'ємна частина проєкту. Дані зберігаються з обмеженим доступом, реалізовано рівні доступу (користувач, клініцист, адмін), передбачено механізми анонімізації при експорті даних для досліджень. Для потенційної експлуатації в медичному середовищі необхідно виконати процедуру сертифікації відповідно до вимог стандартів медичних пристроїв (національних та міжнародних), а також організувати збереження логів і аудит доступу.[5]

Висновки. Запропонована програмно-апаратна система поєднує сучасні апаратні модулі (STM32 / ESP32 / nRF52840, MAX30003, MAX30102, MPU-серія), стандартизовані протоколи зв'язку (BLE 5.0, Wi-Fi, MQTT, HTTPS), перевірені підходи цифрової обробки сигналів і базові методи машинного навчання для класифікації подій. Технічні розрахунки обсягу даних і енергоспоживання дозволяють планувати конфігурації накопичувачів і акумуляторів для забезпечення безперервного моніторингу. Система розробляється як інструмент для повсякденного спостереження та попереднього виявлення змін у стані людини з можливістю подальшої інтеграції у клінічні робочі процеси за умови додаткової медичної валідації і сертифікації.

Список використаних джерел

1. В. В. Голян, Д. І. Самойленко, «Створення архітектури програмної системи моніторингу інформації про стан здоров'я людини», Системи обробки інформації: № 1(156), 2019, с. 22-27.
2. Н. Є. Романюк, Л. М. Романюк, О. П. Нагорна, «Моніторинг стану здоров'я як основний елемент визначення проблем громадського здоров'я в Україні», Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України, № 1(95), 2023, с. … (УДК 613.9:005.584.1:614.2(477)).
3. «Мобільні технології для моніторингу психофізіологічного стану здоров'я людини», Н. В. Дорош, Вісник гігієни та екології, 2022
4. «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу стану здоров'я людини : магістерська дис. : 111 с.», О. О. Нагога, Київ, 2024.
5. «Діагностика і моніторинг рівня здоров'я : програма навчальної дисципліни», Віталій Осіпов (розробник), Бердянський державний педагогічний університет, Бердянськ, 2017

УДК 614.2:004.9:528.9(477)

ПОТЕНЦІАЛ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СИСТЕМІ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я

Білошицька О.К. (biloshytska.oksana@lll.kpi.ua), **Галкін О.Ю.** (a.galkin@lll.kpi.ua), **Бесараб О.Б.** (besarab@lll.kpi.ua), **Луценко Т.М.** (lutsenko.tetiana@lll.kpi.ua)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У тезах обґрунтовується потенціал упровадження геоінформаційних систем (ГІС) у національну систему громадського здоров'я України як інструменту підвищення ефективності моніторингу, прогнозування та прийняття управлінських рішень. Показано, що впровадження ГІС-компонента як частини системи моніторингу здоров'я населення сприятиме інтеграції багатоджерельних даних, розвитку аналітичної інфраструктури, підвищенню прозорості й підзвітності політик охорони здоров'я.

Геоінформаційні системи (ГІС) − це клас технологій, що інтегрують дані про здоров'я з просторовими та часовими характеристиками, забезпечуючи візуалізацію, аналіз і моделювання ризиків на різних географічних рівнях. Для систем громадського здоров'я ГІС перетворюють розрізнені джерела (реєстри випадків, демографію, соціально-економічні індикатори, фактори довкілля, інфраструктуру) на дієву ситуаційну обізнаність, необхідну для профілактики, таргетування втручань та оцінювання їх результативності. Після пандемії COVID-19, а також на тлі ускладнення інфекційних і неінфекційних загроз, ГІС стали стандартним інструментом для

епіднагляду, планування та комунікації ризиків у провідних установах світу [1], що підвищує стратегічну актуальність їх впровадження й в Україні.

Українська правова рамка вже створює передумови для широкого застосування ГІС у сфері здоров'я. Закон України «Про систему громадського здоров'я» № 2573-IX (06.09.2022) закріплює функції епіднагляду, профілактики, міжвідомчої координації та даних як основи для управлінських рішень − що прямо узгоджується з використанням просторової аналітики у державних програмах та публічній звітності [2].

Ключовим суміжним актом є Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» № 554-IX (2020) [3] та вторинні акти до нього (зокрема Постанова КМУ № 532 від 26.05.2021 про порядок функціонування НІГД [4] і Наказ № 347 від 10.11.2021 щодо технічних вимог [5]), які встановлюють стандарти інтероперабельності, метаданих, візуалізації та публікації геоданих. Це − фундамент для легальної інтеграції медичних показників із реєстрами адрес, територіальними межами, інфраструктурою тощо.

На рівні європейського права Регламент (ЄС) 2025/327 про Європейський простір даних охорони здоров'я (EHDS) задає сучасні правила первинного й вторинного використання електронних медичних даних (доступ, інтероперабельність, анонімізація/псевдонімізація, каталоги датасетів) [6]. Для України, що орієнтується на зближення з ЄС, EHDS − релевантний орієнтир для сумісної архітектури даних і геоаналітики.

ВООЗ системно нарощує ГІС-спроможність країн і підтримує створення глобальних ресурсів (централізовані набори геоданих, методики картографування послуг, інструменти для планування щеплень) через WHO GIS Centre for Health [1]. Це прискорює прийняття рішень і зменшує нерівності доступу до послуг.

У ЄС ECDC Surveillance Atlas of Infectious Diseases надає інтерактивні карти й таблиці з даними з країн-членів (через систему TESSy), що слугує еталоном для візуалізації інфекційних ризиків та трендів [7]. Паралельно ECDC публікує оперативні огляди щодо арбовірусів (зокрема денге), підкреслюючи потребу в геопросторовому моніторингу для раннього виявлення автохтонної передачі [8]

У США платформа CDC PLACES забезпечує стандартизовані ГІС-дружні набори даних про поведінкові фактори та хронічні стани на рівні округів/цензус-трактів/ZIP-кодів, створюючи основу для проспективного планування здоров'я на місцевому рівні [9]. У Великій Британії Health Inequalities Dashboard та NHS Healthcare Inequalities Improvement Dashboard інтегрують просторові зрізи нерівності для таргетування інтервенцій [10].

Науково-методичний потенціал застосування ГІС для України:

1) Виявлення просторових кластерів і «гарячих точок». ГІС дозволяють виявляти територіальні скупчення захворюваності/ризиків (spatial clustering, hotspot-аналіз), що дає змогу таргетувати ресурси на рівні громад/районів − від мобільних бригад до логістики лабораторної діагностики.

2) Інтеграція багатоджерельних потоків. Поєднання даних з РАЦС/демографії, eHealth-записів, довкілля (повітря/вода/стічні води), мобільності, інфраструктури (заклади, аптеки, дороги, укриття) та соціально-економічних шарів (дефіцит лікарів, бідність, відстань до послуг) розкриває причинно-наслідкові зв'язки й детермінанти нерівності.

3) Підтримка планування та готовності. Для управління надзвичайних ситуацій (спалахи, релокації, перебої енергетики) карти доступності допомагають оптимізувати маршрути, мережу послуг та розміщення тимчасових пунктів допомоги. Досвід HeRAMS Ukraine підтверджує критичну роль просторового моніторингу наявності послуг у період війни [11].

4) Комунікація ризиків і прозорість. Інтерактивні карти, дашборди та story-maps стимулюють довіру та залученість громад, полегшують міжвідомчу координацію. Практики ECDC та NHS демонструють, як equity-views (зрізи за депривацією, етнічністю, міським/сільським статусом) переводять дискусію про «здоров'я для всіх» у конкретні географічні пріоритети [7, 10].

Доцільність розвитку ГІС-компонента в системі моніторингу здоров'я населення полягають в наступному.

По-перше, ГІС дають приріст аналітичної потужності існуючих дашбордів: від простої агрегації показників − до просторово справедливих рішень (equity-oriented targeting). Доступність стандартних наборів (на кшталт CDC PLACES) показує, як локальні карти стають «мостом» між наукою та політикою [9].

По-друге, нормативна сумісність уже забезпечена: національна інфраструктура геопросторових даних (НІГД) (закон та підзаконні акти) визначає технічні й організаційні правила для геоданих; EHDS надає рамку для вторинного використання медичних даних і якості; закон № 2573-IX− для функцій громадського здоров'я. Отже, розвиток ГІС-компонента не потребує створення «з нуля» − ідеться про зшивання наявних засад у цілісну просторову аналітику. [2, 6]

По-третє, міжнародні приклади (ECDC Atlas, NHS Inequalities, CDC PLACES) засвідчують операційний ефект: швидша ідентифікація «білих плям» у доступі, моніторинг автохтонних випадків арбовірусів, точна маршрутизація ресурсів. Це напряму релевантно Україні, де війна й внутрішня міграція внесли сильну географічну неоднорідність у потреби населення. [7, 9, 10]

По-четверте, ГІС підтримують відкритість і підзвітність: метод-сторінки з описом шарів, періодичності, джерел та обмежень підвищують відтворюваність і довіру − вимогу, зокрема, EHDS [6].

Для ефективного впровадження ГІС у систему громадського здоров'я України необхідно створити єдину архітектуру геопросторових даних на базі Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД). Основу мають становити стандартизовані шари − медичні реєстри, демографічні, соціально-економічні та довкільні показники, інтегровані з даними eHealth. Важливим є впровадження відкритих ГІС-сервісів (WMS/WFS) для публічної аналітики та захищених API для службового використання. Пріоритетними напрямами є карти доступності послуг, раннє попередження інфекцій, equity-панелі та операційні карти спроможності системи. Для цього слід запровадити чітке управління даними, стандарти якості, метадані та механізми захисту конфіденційності. Такі заходи забезпечать інтеграцію ГІС у національну систему моніторингу здоров'я, підвищивши її прозорість, оперативність і стійкість.

ГІС є стратегічним множником ефективності національної системи громадського здоров'я: вони перетворюють дані на просторово конкретні, справедливі та відтворювані рекомендації для дії. Україна має необхідні правові (№ 2573-IX; НІГД; підзаконні акти) та інституційні передумови для повноцінного впровадження ГІС у моніторинг, тоді як EHDS пропонує зрозумілу рамку для сумісності та вторинного використання даних. Розгалужений міжнародний досвід (ECDC, CDC, NHS, WHO GIS Centre) доводить практичну цінність ГІС у ранньому виявленні загроз, таргетуванні інтервенцій і зменшенні нерівностей. Для України, що працює в умовах війни та відновлення, розвиток ГІС-компонента системи моніторингу − це не опція, а необхідність, що забезпечує швидкість, прозорість і підзвітність управлінських рішень.

Зв'язок з науковою роботою. Робота виконана за рахунок бюджетних коштів в рамках Договору №ДЗ/166-2025 між Міністерством освіти та науки України та Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у рамках виконання НТР на 2025 рік.

Список використаної літератури

[1] "GIS Centre for health," Oct. 17, 2025. https://www.who.int/data/GIS

[2] "Про систему громадського здоров'я," *Офіційний Вебпортал Парламенту України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#Text

[3] "Про національну інфраструктуру геопросторових даних," *Офіційний Вебпортал Парламенту України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-IX#Text

[4] "Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних," *Офіційний Вебпортал Парламенту України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text

[5] Zakononline, "Наказ № 347 від 10.11.2021 Технічні вимоги до специфікацій геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних | ZAKONONLINE - Право знати!," Nov. 10, 2021. https://zakononline.ua/documents/show/513461___712109

[6] "Regulation - EU - 2025/327 - EN - EUR-LEX." https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/327/oj/eng

[7] "Surveillance Atlas of Infectious Diseases," *European Centre for Disease Prevention and Control*, May 31, 2017. https://www.ecdc.europa.eu/en/surveillance-atlas-infectious-diseases

[8] "Dengue worldwide overview," *European Centre for Disease Prevention and Control*, Sep. 16, 2025. https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue-monthly

[9] “PLACES: Local data for better health,” *PLACES: Local Data for Better Health*, Oct. 29, 2024. https://www.cdc.gov/places/index.html

[10] N. England, “NHS England » The Healthcare Inequalities Improvement Dashboard.” https://www.england.nhs.uk/about/equality/equality-hub/national-healthcare-inequalities-improvement-programme/data-and-insight/hi-improvement-dashboard/

[11] “HeRAMS Ukraine status update report October 2024: Noncommunicable diseases and mental health services.” https://www.who.int/publications/m/item/herams-ukraine-status-update-report-2024-10-non-communicable-disease-and-mental-health-services-en

УДК 004.738.5:616.98

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РЕАЛІЗАЦІЇ КЛІНІЧНИХ МАРШРУТІВ ПАЦІЄНТІВ ПІД ЧАС ПРОТЕЗНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕДУР

Білошицька О.К. (biloshytska.oksana@lll.kpi.ua)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

У тезах обґрунтовується актуальність застосування інформаційних технологій у реалізації клінічних маршрутів пацієнтів під час протезно-реабілітаційних процедур. Розглянуто роль ІТ у підтримці прийняття рішень, інтегрованому моніторингу, мультидисциплінарній координації та навчанні пацієнтів. Наведено приклади міжнародних стандартів ВООЗ та української нормативної бази. Продемонстровано, що впровадження цифрових клінічних маршрутів підвищує якість реабілітації, безпеку пацієнтів та ефективність системи охорони здоров’я.

Клінічні маршрути (КМ) пацієнтів є структурованими планами медичної допомоги, що визначають ключові етапи, обов’язки учасників мультидисциплінарної команди, строки виконання та очікувані результати. У сфері протезно-реабілітаційних процедур, де інтегровані хірургічне лікування, вибір і підгонка протеза, фізична терапія, психологічна підтримка та соціальна реінтеграція, впровадження КМ дозволяє зменшити варіабельність медичної практики, прискорити процес реабілітації та підвищити безпеку пацієнтів.

Сучасні інформаційні технології (ІТ), включно з хмарними платформами, інтероперабельністю даних (HL7/FHIR), алгоритмами підтримки прийняття рішень, 3D-скануванням та інтеграцією сенсорів/IoT, відкривають нові можливості для впровадження, моніторингу та безперервного вдосконалення клінічних маршрутів. Використання ІТ у цьому контексті є науково обґрунтованим та системно важливим, оскільки забезпечує:

- покращення якості рішень щодо вибору протеза та планування реабілітації;
- координацію мультидисциплінарної роботи;
- моніторинг стану пацієнта та раннє виявлення ускладнень;
- підвищення залученості та освіти пацієнтів;
- забезпечення аналітики для управління та прийняття політичних рішень.

Актуальність теми підтверджується міжнародними стандартами ВООЗ та рекомендаціями щодо цифрового здоров’я, а також нормативною базою України, включно із Законом України «Про реабілітацію у сфері охорони здоров’я» (2020) та положеннями щодо електронної охорони здоров’я [1].

Клінічні маршрути (care pathways, integrated care pathways) − це структуровані мультидисциплінарні плани, що визначають: передопераційне обстеження; гострий післяопераційний період; ранню реабілітацію; час призначення та підгонки протеза; тренування ходи та адаптаційні вправи; психологічну підтримку та соціальну реінтеграцію; регулярні контрольні огляди та повернення до професійної діяльності.

Дослідження показують, що відсутність чітко визначених маршрутів призводить до неузгодженості між спеціалістами, затримок у призначенні протезів, погіршення функціональних

результатів і підвищення ризику вторинних ускладнень [2]. У цьому контексті ІТ дозволяють стандартизувати процеси, забезпечити прозорість та контроль за виконанням всіх етапів.

ІТ забезпечують підтримку клінічних маршрутів за рахунок чотирьох основних механізмів:

1. Підтримка прийняття рішень та персоналізація. ІТ-платформи інтегрують дані пацієнта (рівень ампутації, стан м'язів та кісток, супутні хвороби, рівень фізичної активності, психологічні особливості) з базою знань про протези та алгоритмами оптимізації, що дозволяє обирати індивідуально оптимальний протез та програму реабілітації [3].

2. Інтегрований збір даних та моніторинг у реальному часі. Хмарні сховища електронних медичних записів, DICOM/PACS-зображень та 3D-сканів, а також дані від носимих сенсорів і IoT-пристроїв дозволяють відстежувати біомеханіку, навантаження на кінцівку та використання протеза. Аналітика цих даних допомагає попереджати виникнення виразок, неправильного навантаження та технічних проблем протеза [4].

3. Організація робочого процесу та мультидисциплінарна координація. Цифрові платформи надають єдину інформаційну панель для лікарів, реабілітологів, психологів та соціальних працівників, забезпечують облік призначень, повідомлення, аудит та контроль доступу. Дослідження показують, що такі системи зменшують затримки у клінічних маршрутах та підвищують відповідність стандартам [5].

4. Контроль якості та навчання системи охорони здоров'я. Цифрові клінічні маршрути акумулюють анонімізовані дані про результати лікування, ефективність протезів, задоволеність пацієнтів та витрати. Це дозволяє оновлювати алгоритми, формувати KPI та підтримувати прийняття управлінських рішень. Інтеграція з науковими базами (PubMed, Cochrane Library) забезпечує швидке впровадження нових доказів у клінічні маршрути [6].

ВООЗ у «Global Strategy on Digital Health 2020–2025» та ініціативі «Rehabilitation 2030» наголошує на необхідності інтегрованих цифрових рішень, стандартизованих клінічних рекомендацій та систем моніторингу для масштабування реабілітаційних послуг [7, 8]. Цифрові клінічні маршрути відповідають цим вимогам, дозволяючи ефективно інтегрувати реабілітаційні послуги та підтримувати навчання системи охорони здоров'я.

В Україні правові та нормативні документи забезпечують як обов'язок, так і можливості для цифровізації реабілітаційної практики:

1. Закон України «Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я» №1053-IX визначає індивідуальні реабілітаційні плани та можливості використання телереабілітації [9].

2. Постанова КМУ №31 від 19.01.2022 «Порядок надання реабілітаційних заходів» встановлює механізми комплексної реабілітації та контроль за послідовністю виконання процедур [10].

3. Інтеграція з eHealth забезпечує міжоперабельність даних, стандартизацію та доступ до телемедичних сервісів, що дозволяє впроваджувати ІТ-клінічні маршрути на національному рівні [11].

В умовах сучасної медичної практики ефективність протезно-реабілітаційних процедур значною мірою визначається здатністю клінічних команд оперативно приймати обґрунтовані рішення та координувати дії між фахівцями різних дисциплін. Інформаційні технології виступають ключовим інструментом для забезпечення цілісності та послідовності клінічних маршрутів, дозволяючи інтегрувати дані про стан пацієнта, результати обстежень та ефективність лікування у єдину цифрову платформу. Таким чином, застосування ІТ створює основу для персоналізованої, безпечної та доказово обґрунтованої реабілітаційної допомоги.

Використання ІТ у клінічних маршрутах дозволяє: покращувати якість рішень та спільне прийняття рішень; прискорювати та безпечніше проводити реабілітаційний процес; своєчасно виявляти ускладнення; оптимізувати ресурси та контроль витрат; підвищувати мотивацію та залученість пацієнтів через AR/VR та гейміфікацію; масштабувати послуги, забезпечуючи доступність у віддалених регіонах.

При впровадженні інформаційних технологій у клінічні маршрути пацієнтів слід усвідомлювати, що ефективність цифрових рішень значною мірою залежить від правильного поєднання технічних, організаційних та клінічних аспектів. Важливо враховувати як нормативні та правові вимоги, так і специфіку мультидисциплінарної взаємодії між фахівцями та пацієнтами. Лише комплексний підхід забезпечує безпечне, ефективне та персоналізоване впровадження ІТ у протезно-реабілітаційний процес. Необхідно враховувати:

- стандартизацію та інтероперабельність даних (HL7/FHIR);
- безпеку та конфіденційність інформації (GDPR, закон України про персональні дані);
- прозорість алгоритмів та клінічний контроль;
- інфраструктурні обмеження та цифрову грамотність персоналу;
- інтеграцію з існуючими клінічними процесами та оцінку ефективності впровадження.

Клінічні маршрути пацієнтів є фундаментом надання високоякісної протезно-реабілітаційної допомоги. Застосування інформаційних технологій дозволяє трансформувати ці маршрути у вимірювані, адаптивні та орієнтовані на пацієнта процеси, що забезпечують:

- обґрунтований вибір протеза та персоналізоване планування реабілітації;
- безперервний моніторинг стану пацієнта та своєчасне втручання у разі ускладнень;
- ефективну координацію роботи мультидисциплінарної команди;
- формування аналітичної інформації для управління та оптимізації ресурсів системи охорони здоров'я.

Впровадження цифрових клінічних маршрутів відповідає стратегії ВООЗ щодо цифрового здоров'я та українському законодавству, що регламентує надання реабілітаційних послуг і використання телемедицини. Сучасні наукові дослідження підтверджують, що інтеграція інформаційних технологій підвищує ефективність лікування, якість реабілітаційних процесів та загальну результативність системи охорони здоров'я.

Зв'язок з науковою роботою. Дослідження виконано за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту №149/0073 від 03.03.2025 «Розробка концепції поліфункціонального протезно-реабілітаційного центру з інноваційно-освітнім компонентом для пацієнтів з ампутацією кінцівок».

Список використаної літератури

[1] "Електронна система охорони здоров'я," *Електронна Система Охорони Здоров'я*. https://ehealth.gov.ua/

[2] S. Zahedi, "REVIEW OF PROSTHETICS & ORTHOTICS NEEDS FOR 21ST CENTURY – VISION FOR 2025," *Canadian Prosthetics & Orthotics Journal*, vol. 4, no. 2, Sep. 2021, doi: 10.33137/cpoj.v4i2.37113

[3] C. B. Anderson, S. Fatone, and C. L. Christiansen, "A Narrative review of prosthesis design decision Making after Lower-Limb Amputation for developing Shared Decision-Making Resources," *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, vol. 12, no. 1, pp. 26–38, Feb. 2024, doi: 10.1007/s40141-024-00432-y.

[4] I. Yildiz, S. Hamideyin, Z. Duman, F. Gungordu, and M. Korkmaz, "A Rare Case of Multiple Thrombosis Associated with COVID-19 Pneumonia," *Turk Kardiyoloji Dernegi Arsivi-Archives of the Turkish Society of Cardiology*, vol. 50, no. 6, pp. 466–469, Aug. 2022, doi: 10.5543/tkda.2022.22379.

[5] N. Magida, H. Myezwa, and W. Mudzi, "Factors Informing the Development of a Clinical Pathway and Patients' Quality of Life after a Non-Union Fracture of the Lower Limb," *Healthcare*, vol. 11, no. 12, p. 1810, Jun. 2023, doi: 10.3390/healthcare11121810.

[6] D. C. Morgenroth, E. G. Halsne, A. W. Henderson, and D. C. Norvell, "Future directions in prosthetic component research and clinical prescription: A precision rehabilitation and patient-centered care approach," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.apmr.2024.08.016.

[7] Digital Health and Innovation (DHI), "Global strategy on digital health 2020-2025," Aug. 18, 2021. https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924?utm_source=chatgpt.com

[8] "Rehabilitation 2030." https://www.who.int/initiatives/rehabilitation-2030

[9] "Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я," *Офіційний Вебпортал Парламенту України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1053-20#Text

[10] "Про затвердження Порядку здійснення реабілітаційних заходів," *Офіційний Вебпортал Парламенту України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/31-2022-%D0%BF?utm_source=chatgpt.com#Text

[11] K. S. Malakhov, "Insight into the Digital Health System of Ukraine (eHealth): Trends, Definitions, Standards, and Legislative Revisions," *International Journal of Telerehabilitation*, vol. 15, no. 2, Dec. 2023, doi: 10.5195/ijt.2023.6599.

УДК 004.8:616.71

ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ У ФІЗИЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ

Вишемірська Я. С., Вишемірський Є.Д.
(vyshemirska.yaroslava@tnu.edu.ua, b22746123@tnu.edu.ua)
Таврійський національний університет
імені В. І. Вернадського (Україна)

У тезах розглядається поняття мобільних медичних додатків та їх роль у сучасній медицині. Визначається актуальність використання цифрових рішень для оптимізації роботи лікаря та покращення взаємодії з пацієнтом. А також розглядається сутність мобільних медичних застосунків у діагностиці опорно-рухової системи з фокусом на аналіз постави. Обґрунтовується актуальність таких інструментів для ранньої діагностики сколіозу, асиметрій та інших порушень, особливо в контексті профілактики та реабілітації. Як приклад подається застосунок Apecs, який використовує фотограмметричні алгоритми для оцінювання положення тіла з усіх боків (фронт, спина, боки). У ньому передбачено аналіз міток (автоматичне й ручне позиціювання), вимірювання кутів, індекси симетрії (ATSI, POTSI) та створення детальних PDF-звітів. Додатково доступний відеоаналіз динамічної постави й налаштування протоколів для різних клінічних сценаріїв. Висновок підкреслює, що Apecs може бути корисним допоміжним інструментом у роботі фахівців з реабілітації і ортопедії та має потенціал для впровадження в освітній і клінічній практиці як частина цифрової трансформації медицини.

Сучасний етап розвитку медицини та реабілітації характеризується активною інтеграцією цифрових технологій у клінічну практику. Поряд із традиційними методами відновлення зростає потреба у використанні мобільних застосунків, які здатні підвищити ефективність лікувально-реабілітаційного процесу, забезпечити зворотний зв'язок між пацієнтом і фахівцем та сприяти формуванню у пацієнтів відповідальності за власне здоров'я.

Мобільні застосунки у фізичній реабілітації можуть виконувати низку важливих функцій: від діагностики й оцінювання стану пацієнта до надання доступу до індивідуальних комплексів вправ та відстеження динаміки відновлення [1]. Прикладом є застосунок Apecs, який дозволяє проводити фотограмметричний аналіз постави та формувати об'єктивні звіти для подальшого використання у клінічній практиці. Його можливості сприяють виявленню асиметрій і відхилень, що є важливою складовою розробки персоналізованих програм реабілітації.

Таким чином, постає завдання дослідити можливості застосування мобільних технологій, зокрема спеціалізованих програм на зразок Apecs, у процесі фізичної реабілітації пацієнтів. Необхідно визначити їх переваги та обмеження, проаналізувати ефективність використання у порівнянні з традиційними методами та окреслити перспективи інтеграції у національну систему охорони здоров'я.

В ході дослідження було поставлено та вирішено такі завдання:

- Ознайомлено з сучасними мобільними застосунками для діагностики та контролю стану опорно-рухового апарату.
- Проаналізовано кожен із застосунків, визначено їхні функціональні можливості, переваги та обмеження у практичному використанні.
- Розкрито особливості практичного застосування Apecs, включаючи використання фотограмметричних методів та формування аналітичних висновків. Визначено Apecs як один із найбільш перспективних інструментів у роботі реабілітолога. Дослідження за допомогою Apecs дозволяють визначити патогенетично значущий регіон, з якого слід розпочинати корекцію.
- Оцінено можливості інтеграції Apecs у клінічну практику для підвищення об'єктивності, зручності та ефективності реабілітаційних заходів.

На сьогодні існує велика кількість мобільних застосунків, спрямованих на діагностику постави та контроль стану опорно-рухового апарату [1]. У ході дослідження було здійснено їх порівняльний аналіз із метою визначення функціональних можливостей, переваг та обмежень. Результати цього аналізу представлено нижче.

PostureScreen Mobile дозволяє виконувати фото- та відеоаналіз постави, формувати детальні звіти та інтегрувати результати з електронними медичними картами. Його перевагами є широке

використання у світі, багатоплатформність та докладні звіти для пацієнтів, проте застосунок є платним і потребує якісних фотографій для точного аналізу.

Apecs забезпечує фотограмметричну оцінку постави з автоматичним визначенням відхилень та формуванням детальних звітів. Його простота у використанні, можливість об'єктивного відстеження динаміки та зручність для фізичних терапевтів роблять його перспективним інструментом у клінічній практиці. До недоліків можна віднести меншу поширеність на міжнародному ринку та потребу у дотриманні правильних умов зйомки.

Posture Screen: Spine Analysis (Health You Up) дає змогу оцінювати поставу спини, шиї та плечей за допомогою фотографій із різних боків та формувати звіти з порівнянням результатів. Програма добре підходить для освітніх та базових діагностичних цілей, проста у використанні та доступна у домашніх умовах. Водночас вона може не забезпечувати такої глибини аналізу, як Apecs або PostureScreen, а якість результатів залежить від якості фотографій.

PosePro: Postural Assessment дозволяє швидко оцінити поставу за однією боковою фотографією, надає рекомендації щодо покращення постави та простий у використанні для загального моніторингу. До переваг відносяться зручність і швидкість, проте цей застосунок має обмежені функції та меншу точність, оскільки аналізується лише бокова проекція.

Kaia Health орієнтований на лікування болю в спині та тренування правильної постави за допомогою персоналізованих вправ. Перевагами є медичне схвалення у ЄС та США, адаптивні програми та підтримка пацієнтів у домашніх умовах. Однак цей застосунок більше спрямований на вправи, ніж на детальну діагностику постави.

Таким чином, серед існуючих мобільних застосунків для оцінювання постави найбільш поширеним і функціонально розвиненим залишається **PostureScreen Mobile** [2]. Тоді як Posture Screen: Spine Analysis використовується переважно з освітньою та базовою діагностичною метою. **Apecs** займає проміжне місце: він менш відомий на міжнародному ринку, однак має перевагу у зручності використання та наочності звітів, що робить його корисним у клінічній практиці фізичних терапевтів.

Серед наявних цифрових інструментів для аналізу постави в нашому дослідженні було обрано застосунок Apecs, оскільки він поєднує доступність, простоту використання та достатній рівень точності для клінічної практики фізичного терапевта. Цей мобільний застосунок працює на основі фотограмметрії: спеціаліст робить серію фотографій пацієнта у фронтальній та сагітальній площинах, після чого програма автоматично визначає ключові антропометричні точки й формує показники щодо симетрії, нахилів та відхилень від норми [3]. Завдяки цьому процес оцінювання стає швидким і об'єктивним, без потреби у складному дорогому обладнанні.

У практичній роботі Apecs дозволяє ефективно поєднувати первинну діагностику з подальшим контролем результатів. Наприклад, після проведення початкового обстеження терапевт отримує аналітичний звіт, який можна використати для формування індивідуальної програми вправ [4]. Важливо, що такі дослідження дозволяють визначити патогенетично значущий регіон, з якого слід розпочинати корекцію, що підвищує ефективність усього реабілітаційного процесу. Надалі, повторюючи вимірювання через певні проміжки часу, фахівець може відстежувати динаміку змін та вносити корективи в реабілітаційний процес. Важливо, що звіти мають наочну візуальну форму: графіки, схеми та цифрові показники легко зрозумілі як фахівцю, так і пацієнту. Це підсилює мотивацію останнього до систематичних занять, адже він може на власні очі бачити поступові покращення.

Особливістю Apecs є його інтуїтивний інтерфейс і швидкість роботи. На відміну від багатьох складних систем, застосунок не потребує тривалого навчання, тому ним можуть користуватися не лише досвідчені реабілітологи, а й студенти спеціальності І7 «Терапія та реабілітація» у процесі навчання. Це робить Apecs також ефективним освітнім інструментом, який дає можливість закріплювати теоретичні знання практичними навичками аналізу постави.

Приклади практичного використання включають діагностику сколіотичних деформацій у підлітків, контроль постави після травм опорно-рухового апарату чи операцій, а також спостереження за ефективністю програм профілактики болю в спині у дорослого населення. У кожному з цих випадків Apecs допомагає не лише зафіксувати проблему, а й об'єктивно продемонструвати результати реабілітаційного втручання.

НТБ ОНТУ

Таким чином, Apecs можна розглядати як сучасний цифровий інструмент, що посідає важливе місце у практиці фізичної реабілітації, поєднуючи діагностичну функцію, освітній потенціал та мотиваційний ефект для пацієнтів.

В результаті проведеного дослідження було підтверджено, що мобільні застосунки для оцінювання постави є ефективним інструментом у фізичній реабілітації та можуть значно підвищити об'єктивність і якість контролю за станом опорно-рухового апарату. Було здійснено аналіз існуючих цифрових програм, визначено їхні функціональні можливості, переваги та обмеження, що дозволило представити результати у порівняльній таблиці. Встановлено, що застосунок Apecs поєднує доступність, простоту використання та достатній рівень точності для клінічної практики фізичного терапевта, що робить його корисним інструментом як для діагностики та моніторингу, так і для освітніх цілей.

Важливо зазначити, що використання мобільних цифрових засобів у сфері охорони здоров'я підтримується на рівні державної політики, що сприяє широкому впровадженню таких технологій у клінічну практику та реабілітацію пацієнтів [5].

Таким чином, поставлені задачі дослідження — ознайомлення з мобільними застосунками, аналіз їхніх можливостей, розкриття практичного застосування Apecs та оцінка перспектив інтеграції у клінічну практику — виконані, а отримані результати підтверджують потенціал цифрових технологій у сучасній фізичній терапії та реабілітації.

Список використаної літератури

[1] R. Moreira, A. Teles, R. Fialho, R. Baluz, T. C. Santos, R. Goulart-Filho, L. Rocha, F. J. Silva, N. Gupta, V. H. Bastos, and S. Teixeira, "Mobile Applications for Assessing Human Posture: A Systematic Literature Review," *Electronics*, vol. 9, no. 8, art. 1196, 2020. doi: 10.3390/electronics9081196. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/electronics9081196

[2] B. B. Hopkins, P. R. Vehrs, G. W. Fellingham, and S. T. Ridge, "Validity and Reliability of Standing Posture Measurements Using a Mobile Application," *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, vol. 42, no. 2, pp. 132–140, 2019. doi: 10.1016/j.jmpt.2019.02.003. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161475417302610

[3] B. Trovato, F. Roggio, M. Sortino, M. Zanghì, L. Petrigna, R. Giuffrida, and G. Musumeci, "Postural Evaluation in Young Healthy Adults through a Digital and Reproducible Method," *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, vol. 7, no. 4, art. 98, 2022. doi: 10.3390/jfmk7040098. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/jfmk7040098

[4] M. Çankaya and F. N. Takı, "Comparison of postural assessment and awareness in individuals receiving posture training using the digital AI posture assessment and correction system (APECS)," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2024. doi: 10.1080/10803548.2024.2397836. [Online]. Available: https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2397836

[5] Міністерство охорони здоров'я України, *Мобільні цифрові засоби і застосунки*. Київ, Україна, Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://moz.gov.ua/uk/mobilnij-telefon-smartfon-ta-mobilni-zastosunki

УДК 004.9; 004.8

РОБАСТНИЙ БЕГІНГОВИЙ АНСАМБЛЬ З АГРЕГУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА МЕДІАНОЮ

Гаврилюк М.А. (myroslav.a.havryliuk@lpnu.ua),
Ізонін І. В., Чесанов С. В., Савіцький Н. О.
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розроблено ансамблевий метод інтелектуального аналізу коротких високорозмірних вибірок даних, що використовує удосконалений підхід аугментації на основі декартового квадрату множини вхідних компонент векторів та медіанне агрегування для розв'язання задачі регресії. Такий підхід підвищує робастність розробленого ансамблю до викидів та аномалій у даних, які у випадку екстремально коротких вибірок даних важко виявити. Продемонстровано підвищення точності розв'язання задач регресії задач у галузі медицини.

Аналіз коротких вибірок даних досі залишається актуальною проблемою у сфері машинного навчання. Це пов’язано зі схильністю переважної більшості відомих моделей до перенавчання в умовах обмежених обсягів даних [1]. Окрім цього, часто малі набори містять досить велику кількість вхідних ознак, що ще більше ускладнює їх ефективне опрацювання через “прокляття розмірності”. Через це обробка коротких вибірок даних потребує розроблення нових підходів, що враховують їх особливості.

Найчастіше для покращення ефективності аналізу малих даних використовують техніки аугментації (що штучно збільшують кількість екземплярів) та ансамблевого навчання (що агрегують передбачення, зроблені різними моделями) [2]. Комбінація згаданих підходів часто може компенсувати недоліки кожного з них.

У цій роботі розроблено ансамблевий метод інтелектуального аналізу коротких високорозмірних вибірок даних, що використовує удосконалений підхід аугментації на основі декартового квадрату множини вхідних компонент векторів та медіанне агрегування для розв’язання задачі регресії. На відміну від класичного беггінгового усереднення, у запропонованому ансамблі агрегування здійснюється шляхом пошуку медіанного значення передбачення.

Ансамблевий метод було реалізовано на основі нейронної мережі узагальненої регресії (GRNN), яка не потребує навчання та демонструє високу швидкість обчислення передбачень в умовах обмеженого обсягу даних. Аугментацію даних було здійснено за допомогою удосконаленого підходу на основі декартового квадрату множини вхідних компонент векторів із [3]. Цей метод дозволяє збільшувати обсяг вибірки квадратично без суттєвого збільшення кількості ознак.

Першим кроком процедури навчання ансамблю є формування випадкових підмножин екземплярів початкової вибірки даних визначеного розміру. Наступним кроком є збільшення обсягу кожної із утворених підвибірок за допомогою аугментації. Передбачення для кожного із членів ансамблю обчислюються за допомогою нейронної мережі узагальненої регресії. Фінальне передбачення ансамблю є медіаною отриманих від кожної моделі значень цільового атрибуту.

Для тестування ефективності розробленого ансамблевого методу було використано два короткі набори медичних даних. Перший набір (24 екземпляри, 7 атрибутів) використовується для передбачення відсотку жиру в організмі, другий (36 екземплярів, 6 атрибутів) – для передбачення рівня крихкості кісток у пацієнтів з остеоартритом.

Також ефективність розробленого ансамблевого методу було порівняно з ефективністю відомих підходів, які є його основними складовими. Табл. 1 демонструє значення метрик точності запропонованого методу для двох наборів даних.

Табл. 1. Результати

	Набір даних 1	Набір даних 2
MAPE	0.060 ± 0.017	0.393 ± 0.137
RMSE	1.007 ± 0.150	4.957 ±1.033
MAE	0.834 ± 0.121	3.951± 0.923
MSE	1.037 ± 0.308	25.636 ± 9.901
MedAE	0.803 ± 0.043	3.236 ± 1.084

На рис. 1 візуалізовано порівняння RMSE розробленого ансамблю з існуючими методами: нейронною мережею узагальненої регресії, аналогічним ансамблем на її основі, а також аугментаційним підходом із [3] на базі GRNN.

НТБОНТУ

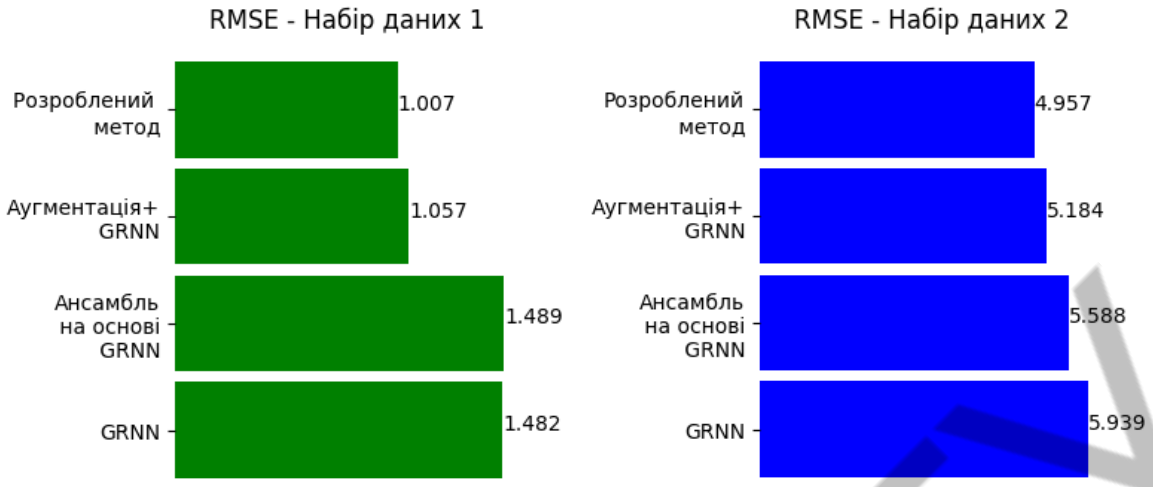


Рис. 1. Порівняння розробленого методу з існуючими моделями, які є його компонентами

Результати порівняння продемонстрували, що розроблений ансамблевий метод підвищив точність порівняно з базовими методами для обох наборів даних. Наприклад, RMSE було знижено на 4.7% порівняно з аугментаційним підходом із [3] для першого набору даних. Для другої короткої вибірки точність було підвищено на 11.3% відносно ансамблю на основі GRNN та на 4.4% відносно моделі на основі аугментації. Таким чином, отримані результати підтвердили ефективність розробленого методу для розв'язання регресійних задач.

Список використаної літератури

1. I. Izonin, "An Unsupervised-Supervised Ensemble Technology with Non-Iterative Training Algorithm for Small Biomedical Data Analysis", *CSIT*, no. 4, pp. 67–74, Dec. 2023, doi: 10.31891/csit-2023-4-9.

2. P. Vitynskyi, R. Tkachenko, I. Izonin, and H. Kutucu, "Hybridization of the SGTM Neural-Like Structure Through Inputs Polynomial Extension," in *Proc. 2018 IEEE Second Int. Conf. Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 386–391, doi: 10.1109/DSMP.2018.8478456.

3. M. Havryliuk, "Enhanced Two-Step Augmentation Method for Analyzing Small Datasets in Medical Applications", *CSIT*, no. 1, pp. 156–162, Mar. 2025, doi: 10.31891/csit-2025-1-18.

УДК 004.588

МЕДИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК КОМПОНЕНТА УСПІШНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Головчук Ю. О., Плюшко Р. І.
(holovchuk@ua.fm , ruslanpliushko222@gmail.com)
Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (Україна)

В тезах розглядаються медичні інформаційні системи, що є інструментами роботи в сфері охорони здоров'я України. Висвітлено принципи використання та проведено оцінку їх ролі як функціонального важелю в структурі закладів охорони здоров'я. Актуальність медичних інформаційних систем пояснюється в першу чергу категоричністю у їх безальтернативності з одного боку, зручним та сучасним рішенням оптимізації у сфері охорони здоров'я з іншого боку.

Електронна система охорони здоров'я (ЕСОЗ) – це національна інформаційна система, яка зберігає медичні дані про здоров'я пацієнтів у єдиному місці. ЕСОЗ вміщує в собі центральну базу даних та медичних інформаційних систем (МІС). Центральна база даних ЕСОЗ містить реєстри даних: реєстр пацієнтів, реєстр медичних записів, реєстр медичних висновків та інші. Для роботи з ЦБД лікарям, фармацевтам і лаборантам необхідні МІС.

Медичні інформаційні системи – це інформаційно-комунікаційні системи, які дозволяють лікарням, лабораторіям та аптекам автоматизувати свою роботу та взаємодіяти з центральною

базою даних ЕСОЗ, за їх використання фахівці сфери охорони здоров'я можуть створювати, оцінювати та обмінюватися інформацією в центральній базі даних ЕСОЗ. В свою чергу, фармацевти, можуть переглядати дані відносно електронних рецептів. Окрім інструментів для взаємодії з ЕСОЗ, також створюються дотичні сервіси для закладів охорони здоров'я – це бухгалтерський модуль, система обліку запасів ліків і система запису на прийом до лікаря. [1, с. 785-787] Взаємо функціонування ЕСОЗ із медичними інформаційними системами, включаючи підключення нових МІС, вказує на успішне функціонування та розвиток цифрового медичного ринку в Україні. Необхідно наголосити, що усі без винятку МІС, що працюють з центральною базою даних ЕСОЗ, проходять тестування на відповідність вимогам безпеки та технічних характеристик, що встановлені та контролюються державою.

За умовами державно-приватного партнерства ЕСОЗ є двокомпонентною системою, а саме включає в себе центральну базу даних, що є компонентом державної структури та МІС, що є приватним компонентом. Двохкомпонентна архітектура ЕСОЗ являє собою сукупність приватного капіталу, підвищення якості послуг завдяки інноваціям, економічний розвиток та створення робочих місць, уніфікація стандартів якості електронних сервісів, прискорення реалізації проєктів. [2, с. 240-289]

Системи, що впроваджують інноваційні підходи, стають більш резилієнтними в турбулентних умовах сьогодення, а також володіють властивостями адекватного пристосовування до змін і впровадження новаторських методів, що сприяють подоланню сучасних викликів і роблять можливим розбудування стійкої основи для кооперації з майбутніми викликами. [3, с. 113-162; 4] Усі перераховані ознаки дозволяють системі охорони здоров'я адаптуватися до швидкозмінних викликів і обставин, особливо обумовленими військовими діями. Робота з МІС сприяє якісній координації процесу лікування так як фахівці мають можливість швидко отримувати доступ до історії хвороби, результатів додаткових обстежень інструментальної та лабораторної діагностики. Цифровізація також сприяє зниженню витрат на управління медичними установами.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику трьох найпоширеніших медичних інформаційних систем (МІС), що використовуються у вітчизняних закладах охорони здоров'я: **Helsi.me, Doctor Eleks** та **Health24**.

Як видно з таблиці, Helsi.me є однією з найбільш масових платформ в Україні, яка забезпечує зручну взаємодію між пацієнтами та лікарями. Її основними перевагами є популярність серед користувачів, інтеграція з державною системою eHealth, а також можливість онлайн-запису на прийом і доступу до електронної медичної історії. Водночас система має певні недоліки: низьку швидкість роботи підсистеми helsi.pro, складний інтерфейс для медичних працівників без досвіду роботи з МІС, а також громіздкість для малих приватних практик. Наявність різних інтерфейсів у підсистемах може ускладнювати навігацію та навчання персоналу.

Doctor Eleks орієнтована насамперед на комплексне управління діяльністю медичних установ. Вона підтримує ведення електронних медичних карт, інтегрується з діагностичним обладнанням і лабораторними системами, а також дає змогу формувати управлінську звітність відповідно до вимог Міністерства охорони здоров'я України. До недоліків можна віднести обмежену кросплатформність (основний модуль доступний лише для Windows), застарілий дизайн десктопного додатку та високу вартість впровадження, що може бути суттєвим бар'єром для невеликих клінік.

Health24 є сучасною хмарною платформою, що надає користувачам доступ до сервісів з будь-якого місця за наявності інтернет-з'єднання. Перевагами системи є простота використання, відповідність стандартам МОЗ та інтеграція з eHealth. Разом з тим, вона має обмежені можливості для налаштування під специфічні потреби конкретного закладу, а також повністю залежить від якості інтернет-з'єднання.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що вибір МІС залежить від масштабів діяльності закладу, фінансових можливостей та рівня цифрової підготовки персоналу**.** Для великих багатопрофільних установ доцільно впроваджувати комплексні системи, такі як *Doctor Eleks*, тоді як для менших або приватних практик зручнішими можуть бути *Helsi.me* чи *Health24*, які мають хмарну архітектуру та простіший інтерфейс користувача.

Таблиця 1. Оцінка медичних інформаційних систем України

Система	Характеристика	Переваги	Недоліки
Helsi.me	Одна з найпопулярніших МІС в Україні, яка дозволяє пацієнтам записуватися на прийом до лікарів, зберігати медичну історію та отримувати електронні рецепти.	-широке розповсюдження та популярність серед користувачів; -можливість онлайн-запису до лікаря та доступ до медичної історії пацієнта -інтеграція з електронною системою охорони здоров'я eHealth.	-низька швидкість роботи підсистеми helsi.pro; -складний інтерфейс для лікарів без досвіду роботи з МІС; -громіздкість для малих установ та ФОПів; -різні інтерфейси у підсистемах, що ускладнює навігацію.
Doctor Eleks	Розробник медичних інформаційних систем для різних типів медичних закладів, спрямованих на покращення управління клінікою та оптимізацією адміністративних процесів.	-підтримка електронних медичних карток та управління розкладом; -інтеграція з діагностичним обладнанням та лабораторіями; -можливість формування управлінської звітності та документації згідно з вимогами МОЗ.	-основний модуль доступний лише для Windows, що обмежує використання на інших платформах; -застарілий дизайн десктопного застосунку; -висока вартість впровадження: близько 400 доларів США на одне робоче місце на два роки.
Health24	Хмарна МІС, що допомагає пацієнтам знаходити лікарів, записуватися на прийом та зберігати медичні дані.	-хмарна МІС з доступом через інтернет; -можливість запису на прийом та зберігання медичних даних; -інтеграція з eHealth та відповідність стандартам МОЗ.	-обмежені можливості для кастомізації під специфічні потреби закладу; -потреба в стабільному інтернет-з'єднання для повноцінної роботи.

Джерело: сформова но автором на основі [4; 5, с. 95-99]

Враховуючи вище описаний матеріал, можна зробити наступний висновок, що електронні медичні записи виконують автоматизацію документообігу, відкривають легкий доступ до медичної документації, що сприяє підвищенню рівня ефективності та результативності роботи закладів охорони здоров'я. МІС підвищують якість маршруту пацієнта в надані медичної послуги, опікуються медичними даними та забезпечують успішну адаптацію медичних закладів до нових викликів, зокрема у векторі швидкого технологічного прогресу та диференціації потреб пацієнтів, що визначає їх необхідними інструментами в сучасній медицині.

Список використаної літератури

[1] Ю. О. Головчук, "Аналіз загроз інформаційній безпеці в закладах охорони здоров'я та ефективні заходи їх запобігання," *Інформаційні технології і автоматизація – 2024*, Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 31 жовтня – 1 листопада 2024 р., с. 785-787. Available: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf [Accessed: October 20, 2025].

[2] Ю. О. Головчук, "Адаптація європейського досвіду впровадження цифрових технологій в освітні та медичні заклади України," *Цифровізація як інструмент забезпечення якості надання освітніх послуг з урахуванням європейського досвіду* / за ред. А. В. Череп, І. М. Дашко, Ю. О. Огренич, О. Г. Череп. Запоріжжя: ФОП Мокшанов В. В., 2024, с. 240-289. [Online]. Available: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/24081 [Accessed: October 20, 2025].

[3] Ю. О. Головчук, "Цифровізація медицини як ключовий фактор ефективного управління закладами охорони здоров'я," *Цифрова трансформація економіки України шляхом інтеграції європейського досвіду в умовах війни та повоєнного відновлення* / за ред. А. В. Череп, І. М. Дашко,

Ю. О. Огренич, О. Г. Череп, В. М. Гельман. Рига, Латвія: Baltija Publishing, 2025, с. 113-162. Available: https://dspace.vnmu.edu.ua/123456789/10185 [Accessed: October 20, 2025].
[4] Ю. О. Головчук, К. М. Вергелес, О. А. Назарчук, О. А. Ночвіна, Г. М. Мазур, "Інновації в електронній охороні здоров'я як складова менеджменту в Україні," *Інвестиції: практика та досвід*, № 2, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.2.61 [Accessed: October 20, 2025].
[5] Ю. О. Головчук, Г. М. Мазур, "Цифрові технології в управлінні закладами охорони здоров'я," *Кращі практики цифровізації в ЄС та цифрова трансформація економіки України: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції*, Запоріжжя, 19 листопада 2024 р., с. 95-99. Available: https://dspace.vnmu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6710/ilovepdf_merged.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed: October 20, 2025].

УДК 004.8:613.2

СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДТРИМКИ ЗДОРОВОГО СПОСОБУ ЖИТТЯ

ГУЛЕВИЧ О.О. (leshagulevich1@gmail.com)
Державний податковий університет (Україна)

У статті розглядається роль смарт-технологій у сучасній охороні здоров'я як інструменту підвищення ефективності профілактичних заходів, контролю стану здоров'я та формування здорового способу життя. Аналізуються основні напрямки застосування цифрових рішень: носимі пристрої, мобільні додатки, телемедицина, штучний інтелект, IoT-пристрої та онлайн-фітнес-платформи. Використання смарт-технологій інтегрує сучасні інформаційні рішення у щоденну діяльність людини, сприяючи профілактиці захворювань, підвищенню фізичної активності та психоемоційного добробуту, що робить їх важливим чинником розвитку персоналізованої медицини та покращення якості життя населення.

У сучасних умовах цифрової трансформації суспільства важливе місце у сфері охорони здоров'я посідають смарт-технології, що сприяють підвищенню ефективності профілактичних заходів, контролю стану здоров'я та формуванню здорового способу життя. Смарт-технології розглядаються як сукупність інтелектуальних цифрових рішень, що ґрунтуються на використанні сенсорних пристроїв, мережевих систем, програмного забезпечення та елементів штучного інтелекту. Їх застосування забезпечує автоматизований збір, обробку й аналіз даних про фізичну активність, харчування, сон, показники фізіологічного стану та інші параметри, що дає змогу людині здійснювати свідоме управління власним здоров'ям. Таким чином, смарт-технології стають важливим інструментом цифровізації медицини та популяризації здорового способу життя серед населення.

Серед найпоширеніших напрямів упровадження смарт-технологій у сфері здоров'я варто виокремити використання носимих пристроїв, мобільних застосунків та інтелектуальних систем моніторингу. У сукупності такі технології сприяють підвищенню самосвідомості, мотивації та залученості людини до процесу збереження власного здоров'я.

1. Фітнес-трекери та носимі пристрої

Носимі пристрої, такі як фітнес-браслети та смарт-годинники, дають змогу відстежувати фізичну активність, кількість кроків, частоту серцевих скорочень, рівень кисню в крові та якість сну. За результатами метааналізу Д. Браваті та співавт. [4], використання таких трекерів призводить до збільшення щоденної активності більш ніж на 2000 кроків та зниження індексу маси тіла. Дж. Якісич та співавт. [10] зазначають, що «носимі пристрої для моніторингу активності можуть слугувати ефективними інструментами для стимулювання фізичної активності та формування здорових звичок». Водночас довготривалі результати залежать від мотивації користувача, регулярного отримання зворотного зв'язку та проведення поведінкових інтервенцій. У цьому контексті Г. Айзенбах [6] наголошує на «законі відмови» – поступовому зниженні зацікавленості користувачів у цифрових програмах з часом. Аналогічні висновки наводять і вітчизняні дослідники. Зокрема, С. Іващенко підкреслює, що «регулярне застосування мобільних

трекерів рухової активності сприяє усвідомленню принципів здорового способу життя та дозволяє коригувати поведінкові моделі підлітків» [1, с. 112].

2. Мобільні додатки для моніторингу здоров'я

Мобільні додатки (mHealth) надають користувачам можливість відстежувати харчування, сон, фізичну активність, настрій та інші аспекти життя. Вони поєднують алгоритми зміни поведінки, моніторинг та персоналізовані рекомендації. А. Дірейто та співавт. [5] відзначають, що «мобільні застосунки можуть виступати платформами для комплексних поведінкових інтервенцій, об'єднуючи моніторинг, зворотний зв'язок та мотивацію». Систематичний огляд К. Фрі та колег [8] демонструє, що такі технології здатні помірно покращувати рівень фізичної активності, харчові звички та контроль ваги. В українських реаліях особливо актуальним є питання психічного здоров'я молоді. Так, О. Клименко підкреслює, що «використання мобільних застосунків для самодопомоги може значно зменшувати рівень ситуативної тривожності завдяки мікроінтервенціям та щоденному відстеженню настрою» [3, с. 47].

3. Телемедицина

Телемедицина забезпечує доступ до лікарів через відеозв'язок, асинхронну комунікацію та мобільні сервіси, що значно розширює можливості регулярного медичного спостереження. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я [13], телемедичні підходи покращують доступ до медичної допомоги та скорочують час до початку втручання, особливо для мешканців сільських або віддалених регіонів. Огляд Г. Флодґрена та співавт. [7] демонструє ефективність телемедичних втручань у веденні хронічних неінфекційних захворювань, таких як цукровий діабет 2 типу, артеріальна гіпертензія та серцево-судинні патології, завдяки підвищенню регулярності спостереження та прихильності до лікування. В українському контексті Т. Карабін та М. Близнюк підкреслюють, що телемедицина відкриває нові можливості для профілактики, ранньої діагностики та підтримки хронічних пацієнтів у сільських регіонах [2, с. 89]. Таким чином, телемедичні технології не лише покращують доступність медичної допомоги, а й сприяють ефективнішому контролю хронічних станів та зміцненню здоров'я населення.

4. Штучний інтелект та персоналізовані рекомендації

Штучний інтелект (ШІ) дозволяє аналізувати великі обсяги персональних даних – включно з історією захворювань, біомаркерами, генетичною інформацією та поведінковими патернами – для створення індивідуалізованих медичних інтервенцій. Як зазначає Е. Тополь [12], ШІ надає змогу надавати адаптивні рекомендації щодо здоров'я в режимі реального часу, орієнтовані на конкретні поведінкові моделі користувача. Дослідження Д. Зееві та співавт. [14] демонструє, що персоналізовані рекомендації щодо харчування, сформовані на основі мікробіому та метаболічного профілю, забезпечують більш ефективний контроль глікемічної відповіді, ніж стандартні універсальні поради. Таким чином, використання ШІ у сфері охорони здоров'я сприяє більш точній та ефективній персоналізації медичних втручань, покращуючи управління здоров'ям та поведінковими ризиками.

5. Інтернет речей (IoT) у моніторингу здоров'я

IoT-пристрої, включно зі смарт-вагами, тонометрами, пульсоксиметрами та моніторами сну, забезпечують безперервний збір даних про стан здоров'я та їхню передачу у хмарні платформи або мобільні застосунки. Ці технології широко застосовуються для тривалого самоспостереження та раннього виявлення змін у фізіологічних показниках, що дозволяє ефективніше контролювати хронічні захворювання та здійснювати профілактичні заходи. С. Ислам, Д. Квак, М. Кабір та М. Хоссейн [9] підкреслюють, що «системи дистанційного моніторингу здоров'я на основі Інтернету речей докорінно змінюють підходи до ведення хронічних захворювань і профілактичної медицини». Водночас критично важливими залишаються забезпечення кібербезпеки, точності вимірювань та відповідність стандартам захисту персональних даних, що визначає надійність та ефективність цих технологій.

6. Віртуальні фітнес-платформи та онлайн-тренери

Онлайн-платформи для фізичної активності надають користувачам доступ до тренувань у зручному форматі, включаючи відеоуроки, прямі трансляції та інтерактивні програми, із можливістю персоналізації інтенсивності та типу навантаження. Часто такі сервіси інтегрують елементи гейміфікації та соціальної взаємодії, що сприяє підтримці мотивації та регулярності занять. Як відзначають М. Пател та співавт. [11], «гейміфікація у поєднанні з соціальними стимулами підвищує рівень фізичної активності користувачів». Ефективність платформ додатково посилюється завдяки

змагальним елементам, соціальній відповідальності та можливості обміну результатами з іншими учасниками, що стимулює залученість та формування стійких здорових звичок.

Отже, смарт-технології виступають ефективним інструментом реалізації принципів здорового способу життя в умовах цифрового суспільства. Вони забезпечують інтеграцію інноваційних інформаційних рішень у щоденну діяльність людини, сприяючи формуванню відповідальної поведінки щодо власного здоров'я. Завдяки поєднанню можливостей сенсорних пристроїв, мобільних застосунків і систем штучного інтелекту створюється нова модель взаємодії між людиною та технологіями, орієнтована на профілактику захворювань, підвищення рівня фізичної активності й психоемоційного добробуту. Таким чином, використання смарт-технологій у сфері охорони здоров'я є важливим чинником розвитку персоналізованої медицини та підвищення якості життя населення.

Список використаної літератури

[1] С.В. Іващенко, «Цифрові технології у процесі формування здоров'язбережувальної компетентності учнів старших класів», дис. … канд. наук з фіз. виховання і спорту : 24.00.02, Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова, Київ, 2021, 218 с.

[2] Т.О. Карабін та М.В. Близнюк, «Телемедицина в Україні: проблеми та шляхи розвитку», Медичні перспективи, vol. 25, no. 3, pp. 88–93, 2020.

[3] О.В. Клименко, «Психологічна ефективність мобільних інтервенцій для зниження тривожності у студентів», Психологія і особистість, no. 2 (22), pp. 42-50, 2022.

[4] D.M. Bravata et al., «Using pedometers to increase physical activity: a systematic review», JAMA, vol. 298, no. 19, pp. 2296–2304, 2007.

[5] A. Direito et al., «Do physical activity and dietary smartphone applications incorporate evidence-based behaviour change techniques?» JMIR mHealth, vol. 5, no. 3, p. e7, 2017.

[6] G. Eysenbach, «The Law of Attrition», Journal of Medical Internet Research, vol. 7, no. 1, p. e11, 2005.

[7] G. Flodgren et al., «Interactive telemedicine: effects on professional practice and health care outcomes», Cochrane Database of Systematic Reviews, issue 9, CD002098, 2015.

[8] C. Free et al., «The effectiveness of mobile-health technologies», PLoS Med., vol. 10, no. 1, p. e1001362, 2013.

[9] S.M. R. Islam, D. Kwak, M. Kabir, and M. Hossain, «The Internet of Things for Health Care», IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 3, pp. 943-980, 2015.

[10] J.M. Jakicic et al., «Wearable technology and long-term weight loss: the IDEA randomized clinical trial», JAMA, vol. 316, no. 11, pp. 1161-1171, 2016.

[11] M.S. Patel et al., «Effect of gamification with social incentives on physical activity: a randomized clinical trial», Ann Intern Med., vol. 170, no. 10, pp. 689-697, 2019.

[12] E. Topol, Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books, 2019.

[13] World Health Organization, Telemedicine: Opportunities and Developments. Geneva: WHO, 2010. Доступно: https://www.who.int/health-topics/digital-health

[14] D. Zeevi et al., «Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses», Cell, vol. 163, no. 5, pp. 1079-1094, 2015.

УДК 004.4

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ПІД ПОТРЕБИ ОСІБ З ВАДАМИ ЗОРУ

Драченко А.В., Селіванова А.В.
(azaiwolf@gmail.com, av_selivanova@ukr.net)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі представлено результати дослідження, спрямованого на визначення ефективних методів адаптації програмних продуктів під потреби осіб із порушеннями зору. Метою дослідження є створення інтегрального індексу оцінювання доступності — AIVI (Accessibility

Index for Visually Impaired), який дозволяє кількісно оцінювати рівень пристосованості інтерфейсів до потреб користувачів із вадами зору на основі реальних користувацьких даних та технічних характеристик вебресурсів.

Сучасні цифрові сервіси та програмні продукти дедалі частіше стають базовими інструментами соціальної взаємодії, освіти та роботи. Водночас, для осіб із вадами зору вони часто залишаються частково або повністю недоступними. За статистикою Всесвітньої організації охорони здоров'я (World Health Organization, 2024), понад 285 мільйонів людей у світі мають ті чи інші порушення зору, а понад 39 мільйонів є незрячими [1].

Проблема цифрової інклюзії залишається актуальною навіть попри існування міжнародних стандартів, таких як WCAG 2.1 (Web Content Accessibility Guidelines), що регламентують вимоги до вебдоступності [4]. Згідно з даними звіту AudioEye (2024), близько 56 % зображень у мережі залишаються без альтернативного тексту, а близько 70 % сайтів мають некоректну семантичну структуру, що ускладнює роботу з екранними рідерами [2].

У межах дослідження було проведено анкетування 13 респондентів із різними ступенями порушень зору. 76,9 % респондентів мають слабкий зір, 15,4 % — астигматизм або нечіткість фокусування, 7,7 % — дуже низький рівень зору. Результати показали, що:

- 84,6 % користувачів мають труднощі з масштабуванням інтерфейсу;
- 53,8 % відзначили недостатній контраст тексту та фону;
- 53,8 % повідомили про відсутність альтернативних текстів;
- 69,2 % вказали на неповну сумісність з екранними рідерами.

На основі цих даних було запропоновано індекс AIVI, який дозволяє кількісно визначити рівень доступності цифрового продукту.

Формула має вигляд:

$$AIVI = \lfloor \omega_S \times S + \omega_C \times C + \omega_L \times L + \omega_N \times N + \omega_{AT} \times AT \rceil$$

де ⌊…⌉— округлення до найближчого цілого. Відповідність практикам оці-нюється порогами інтерпретації: 0–49 — низька доступність; 50–74 — середня; 75–100 — висока. Для нормативного зв'язку з WCAG пропонується прив'язка: A — ≥50, AA — ≥75, AAA — ≥90 (орієнтирні пороги для комунікації результатів, а не формальної сертифікації).

Опис вимірювання компонентів.

- S (масштабованість): перевіряється можливість збільшення тексту до 200% і UI-елементів без горизонтального скролу й деградації функ-цій. Оцінка: частка ключових сценаріїв (форми, списки, таблиці, карт-ки) із успішним масштабуванням;
- C (контрастність/читабельність): частка текстових/графічних пар, що відповідають мінімум 4,5:1 (основний текст) і 3:1 (великий текст); на-явність шрифтів, придатних для довгого читання;
- L (семантика/альтернативи): частка інтерактивних елементів з корект-ною доступною назвою (accessible name), частка зображень з релеван-тним alt або aria-label, відсутність «кольорозалежних» станів без текс-ту/ікон;
- N (керованість/навігація): повнота клавіатурної навігації (tab-order, skip links, логічний фокус), передбачуваність структури меню та сто-рінок, стабільність розкладки при масштабуванні;
- AT (екранні рідери та ін.): покриття читанням основних областей, правильність оголошення ролей/станів/значень, доступність критич-них функцій. Емпірично це узгоджується з відповідями: 69,2% — «часткова» підтримка, 15,4% — «майже не підтримуються» або «не підтримуються», 7,7% — «майже повністю». — вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного критерію.

Формула відображає комплексну оцінку, де кожен параметр отримує значення у межах від 0 до 1, а кінцевий результат — у діапазоні від 0 (повна недоступність) до 1 (повна доступність). Для тестування моделі проведено експериментальну оцінку українського медіаресурсу «Читомо» (chytomo.com), який отримав показник AIVI = 0,78. Найбільші проблеми виявлено у масштабуванні шрифтів та роботі з ARIA-атрибутами, що вказує на потребу покращення семантичної розмітки.

Методологічно індекс AIVI поєднує технічну перевірку доступності (аналіз коду, контрастності, структурної валідності) та користувацькі дані, отримані з опитувань і тестів. Це дозволяє оцінити не лише формальну відповідність стандартам WCAG 2.1 [4], а й фактичну зручність використання інтерфейсу людьми з вадами зору.

Наукова новизна роботи полягає у розробці універсальної формули оцінки доступності, придатної як для вебсайтів, так і для мобільних додатків. Практичне значення полягає у можливості впровадження індексу AIVI у системи UX-аудиту, а також в автоматизовані платформи тестування, які дозволяють враховувати не лише технічні, а й поведінкові показники.

Отримані результати підтверджують, що доступність не може бути зведена лише до перевірки контрасту чи наявності alt-тегів. Вона є комплексною характеристикою, що поєднує семантичну структуру, коректність взаємодії з допоміжними технологіями та суб'єктивний комфорт користувача [3].

Список використаної літератури

[1] Barriers to digital inclusion 2 | american foundation for the blind. The American Foundation for the Blind. URL: https://afb.org/research-and-initiatives/bdis-series/barriers-digital-inclusion-2 (дата звернення: 07.10.2025).

[2] Vision impairment and blindness. World Health Organization (WHO). URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment (дата звернення: 07.10.2025).

[3] Web accessibility stats and data 2024. AudioEye. URL: https://www.audioeye.com/post/accessibility-statistics (дата звернення: 07.10.2025).

[4] Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1. W3C. URL: https://www.w3.org/TR/WCAG21 (дата звернення: 07.10.2025).

UDC: 004.42:61

MEDICAL DEVICE OPERATING SYSTEMS: CURRENT STATUS, CHALLENGES AND FUTURE TRENDS

Zhelezniak-Kranh I. O. (illiakrang@gmail.com)
Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)

This abstract examines the current state of RTOS operating systems in the context of medical devices, key issues in their development and operation, future of these systems. Particular attention is paid to present and future system-testing methods, security, variety of issues. It also analyses the challenges of implementing artificial intelligence in RTOS systems. The conclusions highlight future trends in real-time systems, which are of paramount importance for innovation in medical technology.

Introduction:

Various operating systems are used in our daily lives, whether it's Windows, Linux, Android, or macOS. They power our computers, smartphones, and other devices that we've become so accustomed to that we rarely think about how they work. However, beyond the usual user experience, there's a class of operating systems that serve a completely different purpose: to control critical devices like MRI machines, X-ray systems, infusion pumps, heart monitors, aircraft navigation systems, and Mars rovers. Such systems must respond precisely within a specified time frame, as even the slightest delay can pose a threat to human life. That is why specialized real-time operating systems (RTOS) are used for medical devices. They are designed to provide stability, predictability, high speed and security, guaranteeing a timely response of the system to any event.

Why Commodity OS are Not Real-Time? Key differences:

Safety: The main use case for RTOSs is in mission-critical systems where failures can have serious consequences. RTOSs are designed to operate predictably and deterministically, which minimizes the risk of failure. One of the important problems in such systems is deadlock, a situation where two or more

processes or threads are waiting for each other's resources and cannot continue execution. In conventional commercial operating systems, such situations are not always resolved predictably at the system level, while RTOSs use mechanisms to prevent, detect, and limit deadlocks (for example, priority inheritance or lock timeouts). This reduces the likelihood of critical failures during the execution of vital operations, such as processing navigation information in aviation.

Priority Queueing: In traditional operating systems, process scheduling is typically based on an equal distribution of processor time among all active tasks, which can lead to unpredictable behavior in critical scenarios. Real-time operating systems (RTOS) use a priority queuing mechanism, in which tasks with higher priority are given priority access to the processor, while tasks with lower priority wait in a queue until higher priority operations are completed. This approach provides deterministic system behavior, allowing you to guarantee the timely execution of critical functions and increasing the reliability of operation in real-world conditions.

High performance: Real-time operating systems (RTOS) are characterized by high performance and high sensitivity to task execution time. They are able to perform operations in significantly shorter time frames compared to commercial or general-purpose operating systems, providing deterministic response to events. RTOS achieve this through a minimalist system interface, optimized process scheduling, and efficient memory management, which reduces overhead and resource consumption. This approach allows you to implement critical functions even on devices with limited computing capabilities and a small amount of RAM.

Classification [2]:

RTOS systems are classified according to their algorithms and logic for processing the specified timing requirements, and are divided into: hard - the slightest discrepancy leads to failure, firm - a small delay is allowed within clearly defined terms, soft - discrepancies with timing requirements do not lead to system failure. Hard systems - most common in medicine, this sector cannot overestimate the importance of precise timing.

Medicine device examples:

Infusion pump device

Insertable cardiac monitor by Medtronic [4]

Infusion pumps are critical medical devices that ensure the precise delivery of drugs to the patient. To do this, they use RTOS, which guarantees a high level of accuracy, reliability and safety. The American company Medtronic, which specializes in medical equipment, produces a wide range of such devices. One example is a cardiac monitor that monitors the patient’s heart rate in real time and automatically adjusts the delivery of drugs if it increases or decreases. The use of RTOS allows you to achieve flawless operation of the device, because even a small delay in drug delivery can pose a threat to the patient’s life. Thus, RTOS provides precise control, reliability and safety during therapy.[4]

Potential risks and challenges when using operating systems in specific areas:

One of the interesting challenges facing real-time systems is the impact of cosmic ray bit-switching on their operation [3]. These high-energy particles from space can alter the state of memory, potentially leading to errors in critical systems. Radiation such as X-rays or gamma rays can cause similar effects to cosmic rays, as both belong to ionizing radiation capable of altering the charge within microelectronic circuits. When high-energy photons interact with semiconductor materials, they may disturb the charge stored in transistors or memory cells, leading to transient errors or bit flips. In real-time operating systems (RTOS), where predictable and timely execution is critical, such radiation-induced faults can disrupt task scheduling or sensor readings, potentially causing system instability or incorrect operation. Therefore, safety-critical RTOS used in aerospace, medical, or nuclear applications often implement radiation-

НТБОНТУ

hardened components and fault-tolerant mechanisms to ensure reliability under exposure to ionizing radiation.

Possible problems with RTOS Systems in the future:

A) Although absolute predictability can never be fully achieved, real-time systems require a high degree of predictability. This requirement is one of the biggest obstacles in the design and development of large-scale RTOS-based devices, since any modification requires complete testing of the program to eliminate critical flaws. One possible solution is worst-case analysis, which allows us to examine the behavior of the system in the worst case. Furthermore, it is standard practice to guarantee less than the actual capabilities of the system.

B) Single-processor systems can never be truly reliable for mission-critical applications. Therefore, mission-critical systems are often forced to use multiple hardware components as cold or hot standbys. For example, spacecraft systems typically use multiple processors to perform the same task. If one processor encounters a soft error, others can step in to maintain the integrity of the system.

C) Real-time AI systems are impractical with existing, already-developed systems. These systems are inherently unpredictable and, as a result, require the development of new methodologies. The technologies of today's real-time operating systems may not be sufficient to meet the scalability requirements of future systems. The next generation of real-time operating systems will require the development of new technologies to meet and, more importantly, test these requirements. Currently, systems mostly use artificial intelligence as a third-party tool, for example, for intelligent notifications.

Example of using AI service as a third party in RTOS systems [4]

Conclusion:

The thesis declares the current state of real-time operating systems (RTOS) in medical devices and key aspects of their development and operation. RTOS ensure the accuracy, predictability, and reliability of critical systems, which is especially important for drug delivery and patient monitoring. Testing, security, and priority management remain key challenges in the creation and implementation of such systems. The integration of artificial intelligence into RTOS opens up new possibilities for ‘smart’ medical devices, but requires additional methods to ensure predictability and safety. Future trends in RTOS development are focused on building much more complex systems, improving reliability, performance, and security, which are critical for innovation in medical technology.

References:

[1] “An Overview of Real-Time Operating Systems”, Walter Cedeño Ph.D, Phillip A. Laplante Ph.D. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1535553506005284
[2] “A Comparative Study of Real Time Operating Systems for Embedded Systems”, 2016, Karunakar Pothuganti, Aredo Haile. Available: https://www.researchgate.net/publication/315614699_A_Comparative_Study_of_Real_Time_Operating_Systems_for_Embedded_Systems
[3] “Real Time Operating Systems”, Arjun Sundar. Available: https://www.researchgate.net/publication/384421860_Real_Time_Operating_Systems
[4] Medtronic devices, Available: https://europe.medtronic.com/xd-en/healthcare-professionals/products/cardiac-rhythm/cardiac-monitors/linq-ii.html

ITEOHTY

УДК 004.056.5

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ АНОНІМІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ЕКГ ЗВІТІВ

Закржевський Д.С.(zakr7135@gmail.com)
Інститут кібернетики НАН України (Україна)

У тезі розглянуто проблему відсутності великих відкритих медичних баз даних з нашого регіону, яка спричинена обмеженнями щодо збереження персональних даних пацієнтів. Запропоновано метод автоматичної анонімізації електрокардіографічних звітів із використанням оптичного розпізнавання символів (OCR) та подвійної конвертації JPEG-PNG. Описано принцип дії додатку, етапи обробки даних, а також технічне обгрунтування ефективності подвійної конвертації для захисту від відновлення видалених відомостей.

Постановка проблеми

Однією із проблем сучасних медичних досліджень є відсутність структурованих і доступних наборів клінічних даних .Більшість відкритих баз таких як PTB-XL , та PhysioNet не завжди відповідають вимогам конкретних дослідницьких задач, в той час як клініки, або практикуючі лікарі мають великі масиви даних, але доступ до них обмежений вимогами щодо захисту медичної таємниці. Тож без їх залучення процес формування баз даних із специфічними вимогами стає майже неможливий.

Мета роботи

Метою дослідження є розробка додатку для автоматизованої анонімізації медичних звітів, насамперед ЕКГ, із можливістю подальшого використання анонімних даних у наукових дослідженнях, та системах машинного навчання.

Основна частина

Більшість ЕКГ-звітів мають обмежений набір персональних даних, зазвичай це лише ім’я, такі елементи розташовані після ключових слів по типу NAME, PATIENT, ІМ’Я тощо, що дає змогу виявити їх автоматично.

Для реалізації методу використано мову Python[1] і бібліотеку Tesseract OCR[2], яка забезпечує оптичне розпізнавання тексту на графічних зображеннях

Алгоритм роботи додатку складається з таких етапів:

Растризація документа. Якщо файл був у форматі PDF, він конвертується в растрове зображення, це прибирає приховані текстові шари , які б могли містити якусь інформацію.

Оптичне розпізнавання (OCR). Програма шукає координати текстових блоків

Виявлення персональних даних. Програма визначає ключові слова та виділяє зони, у яких містяться імена

Маскування даних. Усі виділенні області перекриваються білими пікселями

Подвійна конвертація (JPEG-PNG). Після перекриття відповідних зон зображення зберігається у форматі JPEG із середнім рівнем стиснення. Формат JPEG використовує трансформацію, що руйнує дрібні контури символів. Це знищує будь-які залишки тексту , які могли б бути частково відновлені. Далі файл відкривається повторно і зберігається в PNG, що фіксує отримані зміни без подальших втрат. Комбінація цих дій робить процес відновлення даних неможливим.

Застосування подвійної конвертації має ще одну перевагу, зображення втрачають будь які приховані шари , які неявно можуть містити інформації. Після цього файли є “пласкими” зображеннями, придатними для використання і публікації без ризику витоку персональних даних

У ході тестування на зразках ЕКГ- звітів програма продемонструвала повне видалення тексту без пошкодження самої електрокардіограми.

Висновки

Розроблена програма забезпечує: автоматизовану анонімізацію ЕКГ-звітів без втрати якості сигналів.

неможливість відтворення персональних даних після обробки.

усунення людського фактору при знеособлені інформації.

ИТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] Python Software Foundation, *Python 3 Documentation*, 2024. [Online]. Available: https://docs.python.org

[2] Tesseract OCR, *Tesseract User Manual*, GitHub Repository, 2024. [Online]. Available: https://github.com/tesseract-ocr/tesseract

УДК 004.5

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОБРОБКИ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ У МЕДИЧНІЙ ТА ВЕТЕРИНАРНІЙ ПРАКТИЦІ

Іванова Л.В., Краснієнко Н.В., Кавалжі Д.Д.

(ivanova_l_v@ukr.net, krasniyenko@ukr.net, david.kavalzhi14@gmail.com)

ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного унівеситета» (Україна)

У тезах наведені основні відомості про технологію комп'ютерного зору, що застосовується для автоматизованої обробки рентгенівських зображень у медичній та ветеринарній практиці. Розглянуто етапи попередньої обробки, сегментації анатомічних структур, виявлення патологічних ознак та класифікації стану пацієнта. Описано архітектуру програмного рішення XrayApp3, яке реалізовано на основі Python із використанням бібліотек OpenCV, scikit-image та TensorFlow. Особливу увагу приділено адаптації інтерфейсу для мобільних пристроїв та забезпеченню доступу через хмарну платформу Streamlit Cloud. Наведено приклади практичного застосування, що демонструють ефективність технології у польових умовах. Результати дослідження підтверджують перспективність використання додатку для цільової аудиторії: лікарі та ветеринари; дослідники без технічного бекграунду; здобувачі освіти медичних та біологічних спеціальностей.

Постановка проблеми. У сучасній медичній та ветеринарній практиці рентгенографія залишається одним із ключових методів первинної діагностики. Проте інтерпретація рентгенівських зображень часто потребує високої кваліфікації, значного досвіду та доступу до спеціалізованого обладнання. У віддалених регіонах, польових умовах або при великому потоці пацієнтів ці вимоги стають бар'єром до своєчасного та точного встановлення діагнозу.

З іншого боку, стрімкий розвиток технологій комп'ютерного зору відкриває нові можливості для автоматизованого аналізу медичних зображень. Алгоритми машинного навчання здатні виявляти патологічні ознаки, класифікувати стани та надавати попередні висновки з високою точністю. Проте більшість існуючих рішень залишаються складними у використанні, потребують потужних обчислювальних ресурсів або не адаптовані для мобільних пристроїв.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка доступної, мобільно-орієнтованої системи обробки рентгенівських зображень, яка поєднує точність алгоритмів комп'ютерного зору з простотою використання для медичних фахівців без глибокої технічної підготовки. Вирішення цієї проблеми сприятиме підвищенню якості діагностики, зниженню навантаження на лікарів та розширенню доступу до медичних послуг.

Мета. Розробити мобільно-орієнтовану систему автоматизованого аналізу рентгенівських зображень, яка забезпечує високу точність виявлення патологій та доступність для користувачів без технічної підготовки.

Об'єкт і предмет дослідження. Рентгенівські зображення медичного та ветеринарного призначення. Алгоритми комп'ютерного зору для автоматизованої обробки, класифікації та інтерпретації рентгенівських зображень

Методи дослідження.

– Попередня обробка зображень: фільтрація шуму, нормалізація, покращення контрасту.

– Сегментація анатомічних структур за допомогою алгоритмів порогового поділу та контурного аналізу.

– Виявлення патологій: використання ознак текстури, форми та глибокого навчання.
– Класифікація стану: застосування нейронних мереж для розпізнавання патологічних змін.
– Розробка інтерфейсу: використання Streamlit для створення адаптивного веб-додатку.

Виклад основного матеріалу. У світі, де рентгенівське зображення — це мовчазна картина болю, надії та невідомості, розроблено інструмент, здатний бачити більше, ніж людське око доцільним є розробка програми обробки рентгенівських зображень – цифрового асистента, що вміє читати тіні кісток, розпізнавати тріщини кісток тварин, вловлювати сигнали страждання, заховані в пікселях.

Проєкт XrayApp3 – це спроба дати комп'ютеру очі лікаря, інтуїцію ветеринара, терпіння дослідника. Він створювався з прагнення зробити складне – доступним, а невидиме – зрозумілим. Його сутність це алгоритми комп'ютерного зору, що вміють очищати зображення, виділяти структури, шукати патології, класифікувати стан. Його інструменти – доступність у польових умовах.

Цей інструмент не вимагає технічної освіти. Він не ставить запитань – він дає відповіді. Лікар у сільській амбулаторії, ветеринар у мобільній клініці, дослідник у лабораторії – всі вони отримують шанс побачити більше, діяти швидше, рятувати точніше.

XrayApp3 – це не просто код. Це доказ того, що технології можуть бути доступними. І кожне зображення, яке проходить крізь його алгоритми, це ще один крок до світу, де діагностика стає не привілеєм, а правом.

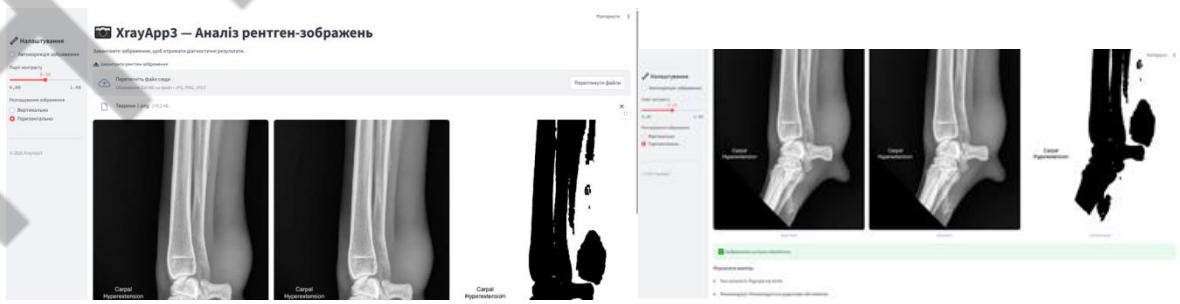
XrayApp3 — це простий веб-додаток для попереднього аналізу рентгенівських зображень. Він працює прямо в браузері, не потребує встановлення, і адаптований для мобільних пристроїв.

У XrayApp3 реалізовано алгоритми попередньої обробки рентгенівських зображень, зокрема CLAHE для покращення локального контрасту, Gaussian Blur для зменшення шуму, а також Adaptive Thresholding і Canny Edge Detection для виділення анатомічних структур. Сегментація доповнюється морфологічними операціями. У перспективі передбачено інтеграцію моделей глибокого навчання (ResNet, EfficientNet) для автоматизованої класифікації патологій з можливістю візуалізації рішень за допомогою Grad-CAM.

Додаток XrayApp3 завантажується через браузери за посиланням. Для найкращого вигляду потрібно використовувати сучасний браузер (Chrome, Safari, Edge). Рентген-зображення завантажуються з доступних джерел у форматі *.jpg, *.png, *.jpeg. Функціонал системи дозволяє здійснити автокорекцію зображення, налаштувати поріг контрасту, змінити розташування зображень у вертикальному або горизонтальному форматі, а також здійснювати сегментування. Для фахівці будуть доступні три варіанти зображення: оригінал, контрастне і сегментоване зображення.

Додаток не зберігає завантажені зображення. Результати є попередніми і не замінюють професійну діагностику.

Результатом дослідження є прототип системи XrayApp3 з підтримкою мобільних пристроїв. Реалізовано хмарне розгортання, що дозволяє використовувати додаток без встановлення. Рекомендовано тестування серед ветеринарів для підтвердження зручністі та ефективності інтерфейсу. Приклад результат обробки рентгенівських зображень представлено на рисунку 1.



а) б)

Рисунок 1 – Результати обробки рентгенівських зоюражень а) вид мобільнлго застосунку; б) результати дослідження

Висновок. Розроблена система демонструє високу ефективність у задачах автоматизованого аналізу рентгенівських зображень.

Поєднання алгоритмів комп'ютерного зору з простим інтерфейсом дозволяє розширити доступ до діагностики в умовах обмежених ресурсів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію з електронними медичними записами та розширення функціоналу для інших типів медичних зображень.

Список використаної літератури

1. Russ J. The Image Processing Handbook. CRC Press, Boca Raton London New York Washington, D.C. 2022.
2. Litjens G. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis, 2017. [Online]. – Available https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361841517301135 [Accessed: October 05, 2025]
3. OpenCV Documentation [Online]. – Available: https://docs.opencv.org [Accessed: October 05, 2025]
4. Streamlit Documentation [Online]. – Available: https://docs.streamlit.io [Accessed: October 05, 2025]

УДК 004.588

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБРОБКИ КАПІЛЯРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Каліна В.В., Будник М.М.
(vovakalina96@gmail.com , budnykmykola@gmail.com)
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАНУ (Україна)

Розроблена методика включає отримання негативного зображення, перетворення у сіре, розмиття (блюр), збільшення контрасту, бінаризацію та сегментацію. Створена програма на мові програмування C#, яка реалізує зазначену методику та забезпечує візуалізацію зображень, детекцію та сегментацію кожного капіляра.

Вступ та постановка задачі. Капіляроскопія нігтьових складок, традиційний метод візуалізації для оцінки стану здоров'я. За останні 30 років вона продемонструвала великий потенціал у діагностиці серцево-судинних та імунних захворювань [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Попередні дослідження виявили, статистично значущі відмінності в кількісних характеристиках зображень капіляроскопії між пацієнтами та особами з такими захворюваннями, як діагнози склеродермія та ревматизм [1, 7, 8]. Однак ручне застосування цього методу створює труднощі, оскільки вимагає значних людських зусиль для вимірювання морфологічних ознак та спирається на суб'єктивну, засновану на досвіді оцінку [9, 10, 11].

Багато існуючих клінічних підходів спираються на традиційні методи обробки зображень, що забезпечує вищу швидкість порівняно зі звичайними ручними оцінками [7, 12, 13]. Впровадження машинного зору знаменує собою кардинальний зсув, представляючи автоматизований аналіз медичних зображень як перспективну альтернативу завдяки його вищій точності порівняно з традиційними алгоритмами обробки зображень [11]. Дослідження створили моделі та алгоритми глибокого навчання, орієнтовані на конкретні завдання, такі як сегментація капілярів нігтьових складок [8, 14], вимірювання розміру та щільності капілярів [11] та підрахунок лейкоцитів [15]. Незважаючи на помітні досягнення, потенціал повністю автоматизованого аналізу медичних зображень залишається невикористаним з двох ключових причин: по-перше, існує критична нестача великомасштабних, анотованих наборів даних, необхідних для ефективного навчання та точного налаштування моделей глибокого навчання; по-друге, хоча попередні дослідження автоматизували окремі компоненти, повністю автоматизована система, що охоплює весь процес, все ще чекає на реалізацію.

Медична та комп'ютерна діагностика в Україні набирають обороти проте дослідження капілярних захворювань відстає від індустріальних країн. Тож є сенс вдосконалити додати комп'ютерний зір у виявлені, прискоренні та більш точніший діагностиці капілярних захворювань. Задача - створити програмні засоби аналізу капіляроскопічних зображень.

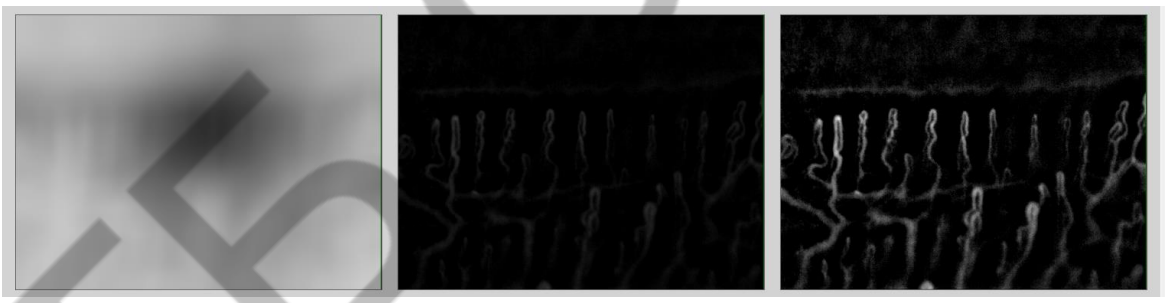
Обробка включає основні етапи:

1) Завантажується зображення формату JPG з роздільною здатністю 1024 x 768 та за допомогою бібліотеки OpenCVSharp перетворюється у масив даних типу Mat. Таким чином оригінальне зображення відображається на рисунку 1(А).
2) Перетворюємо на негатив на рисунку 1(Б).
3) Перетворюємо у сіре на рисунку 1(В).

А - зображення з капіляроскопа, Б - негативне, В - сіре

Рис 1.

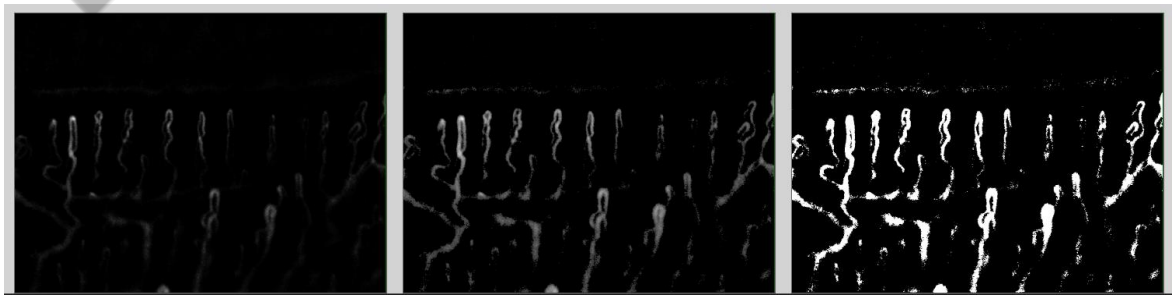
4) Обчислюємо фон який допомагає компенсувати нерівномірність освітлення на рисунку 2(Г).
5) Віднімаємо фон на рисунку 2(Д).
6) Розтягнення контрасту для підсилення капілярів, алез'являються стороні шуми на рисунку 2(Е).



Г – Фон, Д – Без фону, Е – Розтягнення контрасту.

Рис. 2.

7) Виконуємо гама-корекцію для того щоб видалити шуми і та зробити більш чіткими капіляри на рисунку 3(Є).
8) Відсікаємо шуми та залишаємо каріляри стало краще видно на рисунку 3(Ж).
9) Бінаризація щоб ще краще зробити контраст між фоном та капілярами на рисунку 3(З).



Є – Гама-корекція, Ж – Без шумів, З – Бінарізація.

Рис 3.

10) Сегментація - виділяємо капіляри окремо на рисунку 4.

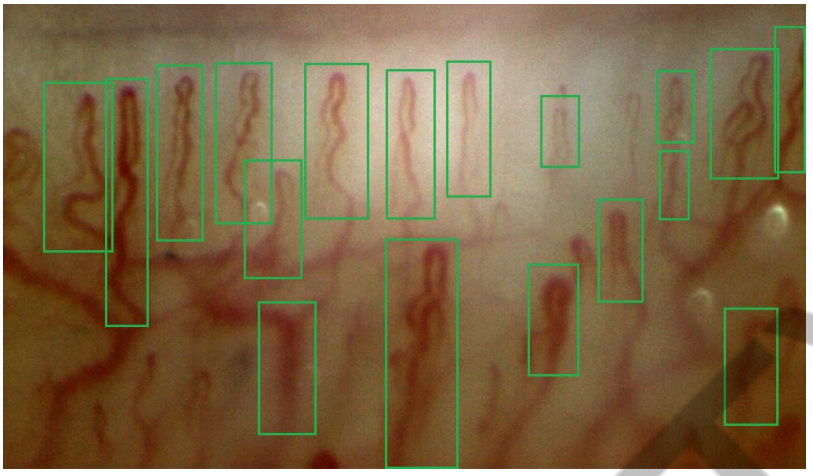


Рис. 4. Виділення окремих капілярів (сегментація).

Висновки: розроблено методику обробки капіляроскопічних зображень, яка дає змогу провести у подальшому медичну діагностику

Список використаної літератури

[1] Martin Hahn, Tobias Heubach Anke Steins, and Michael J¨unger, “Hemodynamics in nailfold capillaries of patients with systemic scleroderma: Synchronous measurements of capillary blood pressure and red blood cell velocity,” Journal of investigative dermatology, vol. 110, no. 6, pp. 982–985, 1998.

[2] Mahnaz Etehad Tavakol, Alimohammad Fatemi, Abdolamir Karbalaie, Zahra Emrani, Bj¨orn-Erik Erlandsson, et al., “Nailfold capillaroscopy in rheumatic diseases: Which parameters should be evaluated?,” BioMed research international, vol.2015, 2015.

[3] Vanessa Smith, Claudia Ickinger, Elvis Hysa, Marcus Snow, Tracy Frech, Alberto Sulli, and Maurizio Cutolo, “Nailfold capillaroscopy,” Best Practice & Research Clinical Rheumatology, p. 101849, 2023.

[4] Vanessa Smith, Ariane L Herrick, Francesca Ingegnoli, Nemanja Damjanov, Rossella De Angelis, Christopher P Denton, Oliver Distler, Karinna Espejo, Ivan Foeldvari, Tracy Frech, et al., “Standardisation of nailfold capillaroscopy for the assessment of patients with raynaud’s phenomenon and systemic sclerosis,” Autoimmunity reviews, vol. 19, no. 3, pp. 102458, 2020.

[5] Alexandra Arvanitaki, George Giannakoulas, Eva Triantafyllidou, Christos Feloukidis, Afroditi K Boutou, Alexandros Garyfallos, Haralambos Karvounis, and Theodoros Dimitroulas, “Peripheral microangiopathy in precapillary pulmonary hypertension: A nailfold video capillaroscopy prospective study,” Respiratory Research, vol. 22, pp. 1–9,2021.

[6] Arzoo Mishra, Chander Grover, Archana Singal, Shiva Narang, and Gopal Krishna Das, “Nailfold capillary changes in newly diagnosed hypertensive patients: An observational analytical study,” Microvascular Research, vol. 136, pp. 104173, 2021. Michael Berks, Phil Tresadern, Graham Dinsdale, Andrea Murray, Tonia Moore, Ariane Herrick, and Chris Taylor, “Anautomated system for detecting and measuring nailfold capillaries,” in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2014: 17th International Conference, Boston, MA, USA, September 14-18, 2014, Proceedings, Part I 17. Springer, 2014, pp. 658–665.

[8] Praveen Gurunath Bharathi, Michael Berks, Graham Dinsdale, Andrea Murray, Joanne Manning, Sarah Wilkinson, Maurizio Cutolo, Vanessa Smith, Ariane L Herrick, and Chris J Taylor, “A deep learning system for quantitative assessment of microvascular abnormalities in nailfold capillary images,” Rheumatology, vol. 62, no. 6, pp. 2325–2329, 2023.

[9] Abdolamir Karbalaie, Zahra Emrani, Alimohammad Fatemi, Mahnaz Etehadtavakol, and Bj¨orn-Erik Erlandsson, “Practical issues in assessing nailfold capillaroscopic images: A summary,” Clinical Rheumatology, vol. 38, pp. 2343–2354, 2019.

[10] Yasser El Miedany, Sherif Ismail, Mary Wadie, and Mohammed Hassan, “Nailfold capillaroscopy: Tips and challenges,” Clinical Rheumatology, vol. 41, no. 12, pp. 3629–3640, 2022.

[11] B Gracia Tello, E Ramos Iba˜nez, P Fanlo Mateo, L S´aez C´omet, E Mart´ınez Robles, JJ R´ıos Blanco, B Mar´ı Alfonso, G Espinosa Garriga, J Todol´ı Parra, N Ortego Centeno, et al., “The challenge of comprehensive nailfold videocapillaroscopy practice: A further contribution,” Clin Exp Rheumatol, vol. 40, no. 10, pp. 1926–32, 2022.

[12] Aur´elien Bourquard, Ian Butterworth, Alvaro S´anchez-Ferro, Luca Giancardo, Luis Soenksen, Carolina Cerrato, Rafael Flores, and Carlos Castro-Gonz´alez, “Analysis of white blood cell dynamics in nailfold capillaries,” in 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015, pp. 7470–7473.

[13] Michael Berks, Graham Dinsdale, Andrea Murray, Tonia Moore, Joanne Manning, Chris Taylor, and Ariane L. Herrick, “Automated structure and flow measurement — a promising tool in nailfold capillaroscopy,” Microvascular Research, vol.118, pp. 173–177, 2018.

[14] Yuli Sun Hariyani, Heesang Eom, and Cheolsoo Park, “Dacapnet: Dual attention deep learning based on u-net for nailfold capillary segmentation,” IEEE Access, vol. 8, pp. 10543–10553, 2020.

[15] Byeonghwi Kim, Yuli-Sun Hariyani, Young-Ho Cho, and Cheolsoo Park, “Automated white blood cell counting in nailfold capillary using deep learning segmentation and video stabilization,” Sensors, vol. 20, no. 24, pp. 7101, 2020.

УДК:504 75.05.001.05

КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗДОРОВ’Я ТА ЙОГО СКЛАДНИКІВ В КОНТЕКСТІ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

Кіфоренко С.І., Бєлов В.М., Лавренюк М.В., Гонтар Т.М., Козловська В.О. (skifor@ukr.net, motj@ukr.net, mykolalav@ukr.net, gtm_kiev@ukr.net, vittoria13apr@gmail.com)
Інститут інформаційних технологій та систем НАНУ (Україна)

В центрі уваги наших досліджень - використання методології інтероперабельності при розробленні інформаційних систем біологічної та медичної спрямованості, які базуються на системно-ієрархічному підході. Проблема розроблення і використання інформаційних систем в тих сферах діяльності, які пов’язані зі здоров’ям людини, особливо в напрямах створення діагностичних комп’ютерних систем в медичній діяльності і в валеології – сфері, яка безпосередньо пов’язана зі здоров’ям людини, його кількісним оцінюванням, підтримкою та збереженням, наразі набуває особливої актуальності. Технологічне забезпечення інтероперабельності систем підтримки прийняття рішень в прикладних задачах оцінювання та підтримки здоров’я підвищує якість їх функціональності, робить дієвими, зрозумілими і доступними для широкого використання.

Розвиток комп’ютерних технологій, програмного забезпечення, форм і способів зберігання, обробки та розповсюдження інформації визначило широке впровадження великої кількості різноманітних інформаційних систем як великомасштабних - в економіці, фінансовій сфері, в промисловості, так і локальних, безпосередньо пов’язаних зі специфікою розв’язання конкретних прикладних задач. В тому числі набули актуальності прикладні комп’ютерні розробки в медичній сфері, в валеології, цифровій медицині, яка безпосередньо пов’язана зі здоров’ям людини, його підтримкою та збереженням. Це відкрило нові можливості у розв’язанні реальних задач підтримки прийняття рішень і, в той же час, призвело до ускладнення як при їх розробці, так і при використанні. Складності пов’язані з проблемами забезпечення взаємодії як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмних систем, створених за різних мов програмування, що теж потребує взаємоузгодження при реалізації інформаційного обміну між цими системами.

Метою розробок є показати доцільність використання методологічного підходу за використання технології інтероперабельності для забезпечення збалансованої взаємодії модульної

структури систем, які створюються при розв'язанні задач в прикладних розробках оцінювання та підтримки здоров'я.

Завдання: обгрунтувати доцільність та необхідність використання методології інтероперабельності при розробці складних інформаційних систем біологічної та медичної спрямованості; сформулювати основні положення щодо забезпечення інтероперабельності в структурно-ієрархічній моделі кількісного оцінювання здоров'я.

Методи дослідження: ієрархічний синтез інформаційних складових трьох статусів здоров'я, структурно-функціональне моделювання, метод ієрархічної згортки різноякісних показників, кількісне оцінка здоров'я – метод розрахунку індексу персонального здоров'я, технологія алгоритмічно-програмного моделювання.

Результати.

Комп'ютерні системи, які розробляються для підтримки прийняття рішень при діяльності, що пов'язана зі здоров'ям людини, мають складну структуру і складаються з великої кількості взаємодіючих підсистем, що об'єднані для досягнення мети певною сукупністю зв'язків і правил функціювання. Ефективність таких комп'ютерних програмних систем залежить від того, наскільки якісно в них реалізовані процеси взаємодії та обміну даними. Для забезпечення збалансованої взаємодії модульної структури інформаційно-комп'ютерних систем, які створюються при розв'язанні задач в прикладних розробках цифрової медицини, пов'язаних з оцінюванням та підтримкою здоров'я, доцільно використання технології інтероперабельності. В сучасному інформаційному просторі широко використовується термін ***Інтероперабельність*** – це ключовий термін, який означає здатність до взаємодії різних систем, реалізовану на базі стандартних правил та уніфікованих інтерфейсів, що надає можливість обмінюватися інформацією та осмислено її використовувати. Основу інтероперабельності складають набори стандартів інформаційно-комунікаційних технологій. Проблема забезпечення інтероперабельності є досить багатогранною, включає безліч різних аспектів, які згідно сучасних уявлень, можна розглядати на таких рівнях: *організаційному, синтаксичному, семантичному і технічному*.

Комп'ютерні системи, які розробляються для підтримки прийняття рішень при діяльності, що пов'язана зі здоров'ям людини, мають складну структуру і складаються з великої кількості взаємодіючих підсистем, що об'єднані для досягнення мети певною сукупністю зв'язків і правил функціювання. Ефективність таких комп'ютерних і програмних систем залежить від того, наскільки якісно в них реалізовані процеси взаємодії та обміну даними, інакше – як виконується принцип інтероперабельності. Зазначимо, що таку методологію, на якій ґрунтується принципово-загальна описова модель інтероперабельності, можна спроєктувати на системи локального рівня реалізації *спеціального призначення*. У нашому випадку це - система кількісного оцінювання здоров'я людини, якій ми приділили конкретну увагу.

Здоров'я людини як система має складну ієрархічну структуру, розгалуження якої ґрунтується на трьох основних складових (статусах): фізичному, психічному і соціальному, кожна з яких, у свою чергу, має безліч підсистем, модулів, показників. Кожен складник має певну інформаційну цінність і як самостійний елемент, і як такий, що пов'язаний з усіма іншими у цілісному нероздільному комплексі. Окремі модулі цієї системи розглядаються в комплексі з усією складною архітектурою взаємозв'язків щодо здоров'я людини в цілому, якому може надаватись пріоритет на певному етапі досліджень. При цьому, *організаційний* рівень інтероперабельності для системи кількісного оцінювання здоров'я полягає в розробці самої концепції оцінювання – в ієрархічній структурі організації дослідження. Інформаційна модель оцінки здоров'я людини з урахуванням особливостей його фізичного та психосоціального статусу за використанням технології інфотомування являє собою віртуальну ієрархію структури статусу здоров'я, що включає сам статус, його компоненти, складові компонентів статусу, показники функціонування компонентів.

Синтаксичний рівень інтероперабельності, **у** нашому випадку, забезпечується завдяки спеціально розробленому синтаксису – методу *нормування* різноякісних показників МНУРІ, який задає метричну визначеність показників, що стосуються здоров'я людини. Отже, завдяки процедурі нормування різні шкали вимірювань трансформуються в єдину нормовану шкалу, роздільні позиції якої змінюються в діапазоні [0 – 1].

На базі розробленого синтаксису (нормування), який є базою для «взаєморозуміння», розглядаються дані, що вимірюються в різних одиницях в єдиному смисловому полі –

семантичний рівень інтероперабельності, що дозволяє порівнювати інтенсивність дії показників, які вимірюються в різних одиницях, заздалегідь оцінити в комплексі силу прояву взаємодії різних за призначенням підсистем певного рівня ієрархії. Це забезпечує можливість зрозумілої користувачеві інтерпретації про взаємоузгоджену інтенсивність взаємодії між конкретними підсистемами та їхніми складовими.

Технічний рівень інтероперабельності – рівень, на якому виконується алгоритмічно-програмна реалізація правил і процедур для забезпечення взаємодії та передачі даних, розроблених на трьох попередніх рівнях – організаційному, синтаксичному і семантичному.

Такий принцип забезпечення взаємодії, з урахуванням трьох рівнів інтероперабельності, зазначених вище: організаційному, синтаксичному, семантичному і, надалі, програмно-технічному, для кількісного оцінюванні здоров'я і його складників, програмно реалізовано нами у комп'ютерній програмі «Експрес діагностика» система експрес діагностики стану здоров'я (СЕДСЗ).

Організаційний рівень СЕДСЗ забезпечується за рахунок розробки структурно-алгоритмічної схеми системи, яка ґрунтується на реляційній базі даних, компоненти якої можна умовно розділити на діагностичну та користувальницьку категорії. Під категорію діагностуючої компоненти укладається необхідний базис, який забезпечує процес діагностики та представлений у вигляді набору таблиць, що містять напрями досліджень, тести-запитання, питання та варіанти відповідей. Користувальницька категорія бази здійснює можливість фіксувати дані кожного користувача, включаючи отримані результати з компонентами діагностики.

Модель СЕДСЗ побудована згідно з гібридним підходом, який дозволяє проходити експрес-діагностику в режимі on-line у глобальних та локальних мережах та на персональному комп'ютері, при цьому використовується єдиний програмний комплекс. Реалізація розроблених алгоритмів у комп'ютерних та мобільних додатках дає можливість проводити обстеження на персональному комп'ютері, смартфоні та в режимі он-лайн у мережах, що підвищує ефективність підтримки самостійного прийняття рішень при контролі та корекції здоров'я людини.

Висновки.

Використання принципу інтероперабельності при розв'язанні прикладних задач цифрової медицини, в тому числі і задачі кількісної оцінки здоров'я та його складників для розробки системи підтримки реабілітаційних рішень, дає можливість забезпечення взаємодії як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмного забезпечення, створеного за різних мов програмування, яка потребує узгодження при реалізації інформаційного обміну між цими програмами.

Функціонування в комплексі трьох програмних модулів СЕДСЗ забезпечує ефективну взаємодію розробленої системи кількісної оцінки стану здоров'я та підтримки прийняття рішень, що оптимізує в подальшому, за необхідності, реабілітаційний процес.

УДК 004.9

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА „АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ЛІКАРЯ-ПСИХОЛОГА"

Костішин С. В., Конахов О. Ю. (seruykost@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

У тезах розглядається процес розроблення і функціонального опису роботи комп'ютерної програми "Автоматизоване робоче місце лікаря-психолога". Визначено його призначення, проаналізовано область задач, яку він вирішує та наведено інтерфейси вікон програмного засобу, визначено принцип взаємодії з ними.

Постановка проблеми. Комп'ютеризація галузі охорони здоров'я є надзвичайно актуальною проблемою в наш час, оскільки дозволяє забезпечити ефективне управління медичними даними, підвищує якість діагностики та сприяє швидкому обміну інформацією між медичними закладами. Використання електронних медичних карток, баз даних та автоматизованих систем обліку даних

дозволяє оптимізувати роботу лікарів, зменшити кількість помилок та покращити доступ пацієнтів до медичних послуг.

Суть дослідження.

Програма призначена для автоматизації роботи лікаря-психолога, а саме ведення документації щодо проходження пацієнтами комп'ютеризованих тестових психологічних методик з можливістю автоматичної генерації заключень як по окремими методикам, так і формування інтегрального комплексного звіту по обстеженню людини [1]. Даний засіб дозволяє вести персональні картки пацієнтів, в яких зберігаються дані щодо анамнезу (вкладка біографічні дані), результати проходження тестових методик (результати психодіагностики), можливість формування індивідуального процесу психодіагностики та заходи щодо психокорекції пацієнта.

Опис інтерфейсу та принципів роботи з комп'ютерною програмою.

Головне вікно програми поділено на кілька зон, кожна з яких виконує власну функціональну задачу. Ліва частина представлена закладками, на яких розташовуються інформаційні та управлінські елементи:

- вкладка "Біографічні дані" (рис. 1) - персональна інформація про пацієнта - прізвище ім'я, дата і місце народження, анамнез, контакти, інформація про спосіб життя пацієнта.

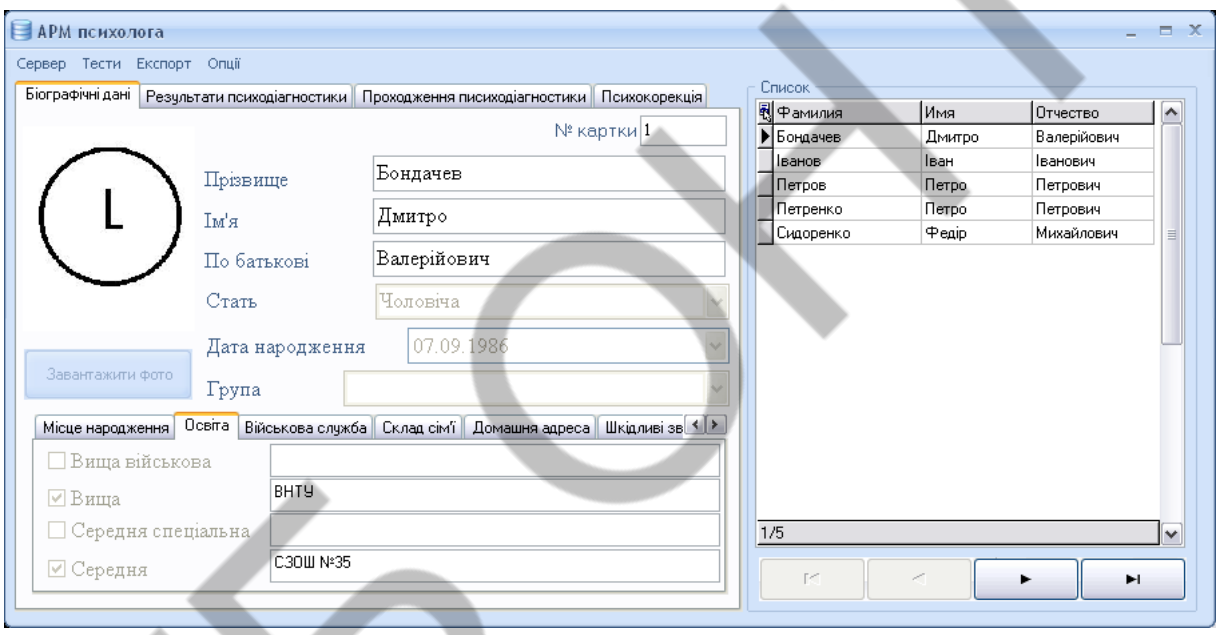


Рисунок 1 - Головне вікно програми, вкладка "Біографічні дані"

- вкладка "Результати психодіагностики" (рис. 2) - кінцеві результати проходження тестових психологічних методик із зазначенням дати та результатів, що функціонально розбиті на 2 групи - тести для інтелектуального відбору та загальні психологічні методики тестування. Також на цій вкладці можна переглянути окремі результати тестів та згенерувати комплексний звіт згідно пройденої стратегії тестування [2].

- вкладка "Проходження психодіагностики" - на даній вкладці можна згенерувати стратегію проходження психодіагностики пацієнта, переглянути, а також запустити або призупинити її прогрес.

- вкладка "Психокорекція" містить функціонал для внесення інформації щодо проведених робіт з пацієнтом (дата, суть робіт, оцінка результатів).

Права частина екрану містить список пацієнтів, що знаходяться в базі даних програми, виділених згідно пошукового критерію, що ввів користувач. також під списком присутні елементи навігації по ньому.

Робота з програмою починається з введення даних про пацієнта в базу даних (або зі знаходження потрібного пацієнта за допомогою пошуку), формуванні та побудові стратегії проходження психодіагностики (згідно побажань лікаря-спеціаліста) і її запуску для обраного пацієнта. При цьому доступ до програми блокується, послідовно запускаються обрані тестові методики, які проходить пацієнт, без виведення результатів тестування. Натомість, всі результати

зберігаються в базі даних. Після завершення проходження останньої тестової методики зі стратегії екран програми блокується, очікуючи введення лікарем відповідного йому персонального паролю. Передивившись результати, лікар має змогу відкорегувати стратегію і запустити її повторно на ті методики, як він вважає за необхідне. Отримавши задовільний пакет результатів, лікар переходить на вкладку результатів психодіагностики і має змогу згенерувати резюме по дослідженню, яке містить перелік результатів всіх тестових психологічних методик та, при бажанні, заповнити вкладку щодо проведення заходів психокорекції.

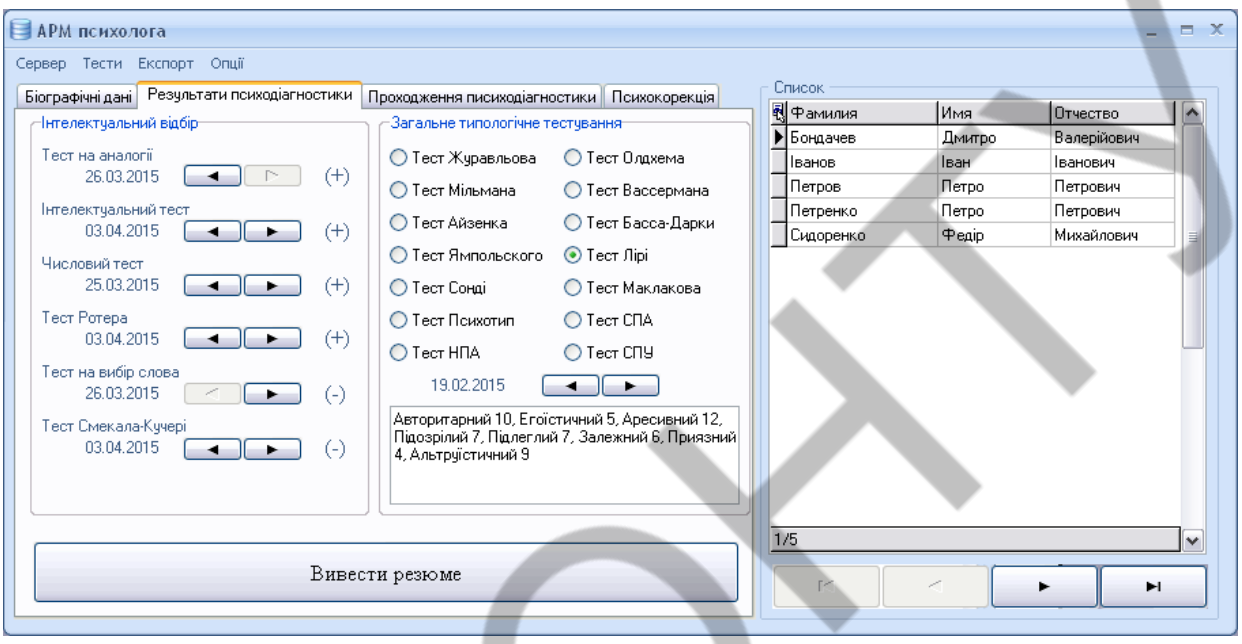


Рисунок 2 - Головне вікно програми, вкладка “Результати психодіагностики”

Висновки.

Даний програмний засіб є дієвим інструментом підвищення продуктивності та якості роботи психолога. Він забезпечує централізоване зберігання даних пацієнтів, автоматизує проведення психодіагностичних тестів і формування комплексних звітів, знижує ризик помилок, спрощує документування та дозволяє оптимізувати процес психокорекції пацієнтів [3]. Використання програми сприяє стандартизації психологічної практики та покращенню обслуговування пацієнтів.

При цьому шляхи подальшого вдосконалення полягають у наступному:

- інтеграція модуля аналітики для візуалізації динаміки стану пацієнта;
- впровадження мобільної або веб-версію для віддаленого доступу до даних;
- оптимізація інтерфейсу для спрощення навігації та підвищення зручності користування;
- підключення агентів штучного інтелекту для інформаційного супроводу лікаря.

Список використаної літератури

1. Інформаційна технологія психофізіологічного відбору кандидатів на контрактну службу: картка психологічного супроводу. Злепко С.М., Петренко В.В., Коваль Л.Г., Костішин С.В. // Медична інформатика та інженерія. – Київ, Укрмедикнига. – №1. – 2010. – С. 15-19.

2. Адаптивний алгоритм тестування для оцінювання когнітивних функцій людини / К. С. Навроцька, Д. Х. Штофель, С.В. Костішин, В. І. Макогон // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" (Серія: Інформатика і моделювання) – 2017 – № 21 (1243). – 135-143.

3. Аналіз результатів впровадження медичних інформаційних систем і технологій в клінічну практику / С. М. Злепко, Л. Г. Коваль, С. В. Тимчик, С.В. Костішин // Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Всеукраїнської конференції, 15 квітня, 16 жовтня 2014 р., м. Київ. – С. 76–78.

НТБОНТУ

УДК 004.891.3

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПСИХОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ

Крячок Т.В., Кобзар Т.А., Чалий П.В.
(kondratyuktanya@gmail.com, Kobzarta@ukr.net)
Інститут інформаційних технологій та систем НАНУ (Україна)

В роботі було проведено ретроспективний аналіз фізичного і емоційного стану респондента за період з 2019 по 2024 роки [1], це дозволило визначити вплив психогенних факторів (епідемія Covid-19 , початок військової агресії) на показники темпу старіння та на зміну характеру особистості [2]. Для цього було створено алгоритм оцінки психофізичного стану здоров'я людини [3]; виокремлено оптимальний набір методів та інструментальних засобів цифрової медицини, які призначені для оцінки цих показників та станів; вдосконалено діагностичну експертну систему збору, обробки, оцінки і збереження результатів медичних даних, яка була розроблена раніше.

Повсякденне життя українського суспільства отримує безліч викликів. Події, що відбуваються в Україні негативно впливають на психічне та фізичне здоров'я населення. Проведений аналіз [1] показав, що найбільш поширеними наслідками цих подій є посттравматичні стресові розлади (ПТСР) [4]. Можливість виявлення, а в подальшому і корекції таких станів ПТСР дуже важлива. Тому розробка діагностичної експертної системи, направленої на виявлення закономірностей впливу довгострокового стресу у різних гендерних, вікових та професійних групах є затребуваною.

На *першому етапі* розробки інформаційної системи оцінювання впливу психогенних факторів на психофізичний стан людини було проведено пілотне дослідження групи осіб розумової праці, в яких має місце синдром ПТСР на фоні пандемії Covid-19. Воно направлене на виявлення особливостей прояву розладів фізичного здоров’я та функційного стану, а також для оцінки рівня та ресурсів здоров'я. За результатами цього дослідження було проведено аналіз розподілу ПТСР-позитивних осіб у віковому аспекті. Визначено попередні діагностичні критерії для оцінювання фізичного і психічного стану здоров'я людини, який може бути використаний при скринінгу здоров'я для своєчасного виявлення загрози ПТСР та серцево-судинних захворювань у осіб, трудова діяльність яких пов'язана з підвищеним інтелектуальним та психоемоційним навантаженням.

Як компонент психічного статусу людини, характер зумовлює тип психогенної реакції на вплив надзвичайних ситуацій. Тому для оцінювання показників характерологічного компоненту здоров’я людини, відповідальних за порушення психосоціального стану було застосовано методику ТОХО-20 [5].

Наявність ПТСР оцінювали за допомогою короткої шкали тривоги, депресії та посттравматичного стресового розладу (B.B. Hart) [6].

Для визначення темпу старіння застосовували алгоритм [7], який містить визначення біологічного віку людини за методом В. П. Войтенко (анкетування, антропометрія, проба Штанге, проба Генча, проба Озерецького) та обраховували індекс самооцінки здоров’я «Суб’єктивна оцінка здоров’я».

Для аналізу показників варіабельності серцевого ритму та оцінки стану симпатичної та парасимпатичної нервової системи до та після навантажувальних вправ виконували дослідження за допомогою приладу Фазаграф [8]:

Другий етап досліджень, який було проведено через 5 років після першого дослідження розширили, застосувавши додатково до описаних вище такі методики:

1) методика самооцінювання психічних станів за Г.Айзенком (призначена для визначення і оцінки станів тривожності, психологічного стану зростаючого емоційно-вольового напруження, що виникає в конфліктній ситуації, агресивності та тенденції до збереження своїх стереотипів, способів мислення, надає оцінку нездатності змінити власну точку зору);
2) методика визначення стресостійкості та соціальної адаптації Холмса і Раге (шляхом комплексного аналізу пережитих подій за останній рік дає можливість відтворити картину стресу індивіда та оцінити здатність опору до стресу.).

Аналіз результатів. Особливої уваги, на нашу думку, потребує ретроспективний аналіз показника ТС (темп старіння) для визначення впливу на нього подій, що відбулись у період з 2019 по 2024 роки. При детальному аналізі даних отримуємо такі результати: у 54.5 % всієї групи показник ТС значно збільшився, що свідчить про погіршення (у порівнянні з 2019 роком) стану їх фізичного здоров'я, а також і , в деякій мірі, психосоціального стану, оскільки у формулі розрахунку ТС використано анкету «Суб'єктивна оцінка здоров'я»;

При аналізі даних персонального і сімейного анамнезу було виявлено, що у переважної більшості респондентів (близько 90%) мають місце захворювання психосоматичного характеру, зокрема це артеріальна гіпертензія, ішемічна хвороба серця, захворювання травної системи, у тому числі виразкова хвороба шлунку і 12-палої кишки, цукровий діабет, судинні захворювання кінцівок, бронхіальна астма, та інші. В основі цих захворювань – гіперсимпатикотонія, незмінна супутниця любого стресу. Підтвердженням тому є дослідження контингенту науковців на рівень стресостійкості за шкалами, яке показало середній і низький рівень цього феномену у переважної кількості досліджуваних осіб, фізіологічним підтвердженням чого є низький рівень адаптаційного потенціалу Баєвського, що свідчить про незадовільну адаптацію до стресу та виснаження ресурсів, яке незмінно веде до соматичних захворювань психогенного характеру.

Висновки. Підтверджено гіпотезу про стресогенну дію поточної соціальної ситуації на функціональний, фізичний та психоемоційний стан, доказом чого є зниження рівня стресостійкості, темпу старіння, адаптаційного потенціалу та загального рівня здоров'я.

Проведене дослідження має багатоаспектне значення, оскільки дає можливість простими скринінговими засобами, якими є опитувальники та нескладні неінвазивні методи, проводити моніторинг функціонального стану працівників та виявляти небезпечні для здоров'я і життя стани щоб завчасно скеровувати їх до медичних установ та надавати поради щодо коригування способу життя. Тому розробка систем збору, оцінки та збереження медичних даних, які направлені на виявлення закономірностей впливу довгострокового стресу на осіб різного темпераменту, з різними характерологічними особливостями у різних гендерних та вікових групах є важливою.

Список використаної літератури

1. Крячок Т.В.,Кобзар Т.А., ЧерленюкН.В. // Скринінг посттравматичних стресових розладів групи науковців у віковому аспекті. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції пам'яті академіка Академії наук вищої освіти, професора Анатолія Володимировича Касперського. «Актуальні проблеми та перспективи розвитку фундаментальних, прикладних, загальнотехнічних та безпекових наук» 23червня 2021 р.С.43-48

2. Крячок Т. В., Крячок О.С. // Інформаційна система оцінки зміни стану здоров'я респондента в результаті дії психогенних факторів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1882 с. С.1559. https://doi.org/10.5281/zenodo.15520692

3. Kobzar, T., Kriachok, T., Semikhova, O., & Chaliy, P. Algorithm for Determining the Features of a Person's Psycho-Emotional and Functional State under Stressful Conditions. Information Technologies and Systems, 1(1), 77–88. https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/its/article/view/ 14887

4. Belov V.M., Kobzar T.A., Krychok T., Kozlovska V. The Use of Methodical Complex for Assessment of the Functional State of a Person Taking Into Account his Inclination to Post-Traumatic Stress Disorders. Control Systems and Computers. 2022. № 4. С. 73-80. https://doi.org/10.15407/csc.2022.04.073

5. Бєлов В. М., Гонтар Т. М., Кобзар Т. А., Козловська В. О. Інформаційна технологія самооцінювання здоров'я для реабілітації посттравматичного стресового розладу. Cybernetics and computer engineering. 2020. № 2 (200). С. 76–94.

6. Коротка шкала тривоги, депресії та посттравматичного стресового розладу. B.B. Hart Режим доступу: https://nkpk.op.edu.ua/docs/syicud/test.pdf

7. Неведомська Є. О. Методика визначення біологічного віку школярів і студентів Теоретичні та практичні аспекти розвитку біологічних наук: матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 25 листопада 2015 р., м. Рівне / Мельник В.Й., Грицай Н.Б. – Рівне: Зень, 2015., 1 (1). С. 303-308.

8. Файнзільберг Л.С. Інформаційна технологія для діагностики функціонального стану оператора // Управляючі системи і машини. — 1998. — № 4. — С. 40-45.

УДК 575.17

ГЕНОМНИЙ СЕРВІС ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ПІДТВЕРДЖЕННЯ РОДИННИХ ЗВ'ЯЗКІВ І ОЦІНКИ ПОХОДЖЕННЯ ЗА СИРИМИ ДАНИМИ СЕКВЕНУВАННЯ

Кузьменко Д. С., Морозова А. І.
(dmytro.kuzmenko@nure.ua, anna.morozova@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

У роботі представлено веб-сервіс, що приймає наявні у користувача дані секвенування у форматах FASTQ, BAM або VCF, перевіряє їхню якість і гармонізує під спільні правила обробки. Сервіс вирішує дві задачі: визначає близьку спорідненість і виконує пошук можливих родичів у великій внутрішній базі зразків без прив'язки до однієї лабораторії. Далі оцінює близькість до референтних груп населення та етнокультурних кластерів на макро, мезо і мікрорівнях із доречним рівнем деталізації. Рівень деталізації залежить від якості та повноти даних користувача і від представленості відповідних груп в еталонних наборах. Як еталони використовуються відкриті міжнародні колекції, зокрема 1000 Genomes, Human Genome Diversity Project, Simons Genome Diversity Project та Human Origins, які перед застосуванням кураторськи опрацьовуються. Надійність підходу підтверджується перевірками на відкладених еталонах і синтетичних сценаріях. Отримані висновки супроводжуються поясненням меж упевненості та призначені для інформаційно-дослідницького використання.

Сучасні юридичні, медичні та генеалогічні запити потребують надійних інструментів для встановлення родинних зв'язків і зрозумілої інтерпретації походження. Запропонований сервіс працює з уже наявними у користувача даними секвенування у форматах FASTQ, BAM або VCF, перевіряє їхній формат і якість, гармонізує під спільні правила обробки та формує узгоджений звіт. Результат включає три частини: підтвердження близької спорідненості з індикаторами впевненості, пошук можливих родичів у великій внутрішній базі зразків без прив'язки до однієї лабораторії, а також оцінку близькості до референтних груп населення і етнокультурних кластерів із доречним рівнем деталізації.

Перший функціональний блок – визначення спорідненості і пошук родинних збігів. Окрім парного порівняння двох наданих зразків, сервіс виконує пошук можливих родичів серед великої внутрішньої бази, яку формують користувачі різних лабораторій. База функціонує як незалежний від клінік і провайдерів сервіс та масштабується до мільйонів користувачів. Для ефективності кожен зразок перетворюється на компактний генетичний підпис, що сумісний з іншими за правилами підготовки даних. Система ранжує кандидатів, а далі перевіряє збіги за відрізками, успадкованими від недавніх предків [2]. Для пар батько або мати та дитина, а також для повних братів і сестер достатні дані з покриттям близько одного разу за умови прийнятної якості. Для другого ступеня бажані дані з покриттям від двох до чотирьох разів або якісний підсумковий варіант у VCF [3]. Висновки супроводжуються індикаторами впевненості та короткими поясненнями чинників, що впливають на результат.

Другий блок – інтерпретація походження. Йдеться про оцінку близькості зразка до референтних груп населення та етнокультурних кластерів. Сервіс розміщує зразок у координатах простору ознак, побудованого за еталонними даними, і обчислює ймовірності належності для різних рівнів деталізації. Макрорівень відповідає континентальним макрорегіонам. Мезорівень відображає субрегіони, зокрема Південну Азію або Північну Європу. Мікрорівень описує регіональні кластери та етнокультурні спільноти в межах цих субрегіонів. Деталізація підвищується за двох умов: достатньої якості і повноти даних користувача та належного представлення відповідних груп у референтній базі [1]. Якщо хоча б одна умова не виконується, система свідомо подає узагальнений рівень, щоби уникнути хибно конкретних висновків.

Усі вхідні файли приводяться до єдиного референсного збирання і узгодженого набору маркерів, після чого дані стають порівнюваними між різними платформами. Проводиться гармонізація алелей, перевірка орієнтації, відсікання неоднозначних позицій і відбір інформативної, розрідженої панелі для порівнянь. На цій панелі будується компактний генетичний підпис зразка. Пошук родичів починається швидким етапом за індексом наближених сусідів, який формує короткий список кандидатів у великій базі, а потім виконується точна перевірка спільних відрізків, успадкованих від недавніх предків, із маскуванням проблемних ділянок.

Перед аналітикою обчислюються ключові показники якості, зокрема ефективне покриття і частка придатних позицій, алельний дисбаланс і ознаки домішок, частка дублікатів, відповідність заявленої та генетично визначеної статі, єдність референсного збирання і відсутність грубих невідповідностей метаданих. Якщо покриття низьке або домішки помітні, модулі автоматично знижують рівень деталізації походження і обмежують пошук віддалених ступенів спорідненості. За критичних проблем якості сервіс блокує інтерпретацію і пропонує повторне опрацювання або доотримання даних [3].

Функції сервісу організовано як набір незалежних компонентів із чіткими контрактами. Приймання і перевірка даних забезпечує цілісність та мінімальний набір метаданих. Гармонізація уніфікує референс, алелі та панель маркерів. Побудова генетичного підпису формує компактне подання, сумісне між платформами. Пошук родичів працює поверх швидкого індексу кандидатів і окремого модуля точного підтвердження спільних відрізків. Оцінювання походження виконує багаторівневу інтерпретацію близькості до референтних груп. Побудова звіту агрегує результати і застосовує правила подання [5]. Взаємодія компонентів відбувається через чергу задач і подій. Обчислювальні робітники безстанні, масштабуються горизонтально і підтримують ідемпотентні повторні запуски.

Сховище розподілено за типами навантажень. Файли FASTQ, BAM і VCF зберігаються в об’єктному сховищі з версіонуванням, метадані та стан задач – у транзакційній базі, а генетичні підписи та проміжні ознаки – у векторному або хеш-індексі з розбиттям на частини для швидкого пошуку у мільйонних колекціях. Індекси версіонуються разом з панелями маркерів і еталонами, оновлення виконуються схемою подвійного індексу з безшовним перемиканням, що дозволяє оновлювати еталони без простою і повторної перезбірки всієї системи.

Алгоритмічні модулі підключаються як змінні компоненти з конфігурацією через прапори можливостей. Це дає можливість обирати панель маркерів, правила фільтрації і метод підтвердження спорідненості під конкретний тип даних та сценарій [2]. Для стабільності застосовуються контрольні списки якості перед запуском аналітики, обмеження на максимальний рівень деталізації за несприятливих умов і окремі ліміти для масових пошуків [4]. Поетапне розгортання з перевіркою на відкладених підмножинах забезпечує надійність оновлень, а журнали доступу, ідентифікатори версій та незмінні артефакти обробки роблять кожен звіт відтворюваним і простежуваним. Ізоляція орендарів і розділення прав доступу підтримують багатокористувацький режим без ризику перетину даних.

Еталонні набори даних мають вирішальне значення для інтерпретації. Для побудови референтів використовуються відкриті міжнародні колекції варіацій людини, серед яких 1000 Genomes, Human Genome Diversity Project, Simons Genome Diversity Project та історично сформовані панелі типу Human Origins. Перед використанням еталони проходять кураторську підготовку. Із наборів прибирають очевидні родинні пари, гармонізують позначення маркерів і вирівнюють розміри референтних груп. Це зменшує статистичне зміщення та робить оцінки стабільнішими на тонких рівнях, зокрема на рівні субрегіонів і кластерів.

Практичні межі інтерпретації формулюються як орієнтири. За покриття близько одного разу перший ступінь спорідненості визначається надійно, а походження доцільно подавати на рівні макрорегіонів. За покриття від двох до чотирьох разів стабілізується визначення другого ступеня і стає можливим опис субрегіонів [3]. Деталізація до кластерів потребує кращих даних або якісного підсумкового варіанта. Для етнічного виміру вказується близькість до етнокультурних кластерів, а не юридичне чи соціальне віднесення до певної етнічності, оскільки статистична близькість не тотожна самовизначенню.

Надійність підвищується завдяки перевіркам на відкладених підмножинах еталонів і контрольним сценаріям на синтетичних даних. У сценаріях змінюють покриття, моделюють змішане походження і додають невеликі домішки [1]. Після цього узагальнюють залежності

точності від умов даних і публікують результати перевірок разом зі значущими оновленнями еталонів та правил обробки, щоб пояснити користувачам можливі відмінності між запусками.

Результати подають у зв'язку з правовими та етичними вимогами. Генетичні дані є чутливими, тому застосовуються практики мінімізації обробки, контроль доступу та прозорий облік дій з даними. Звіт має інформаційно-дослідницький характер і не призначений для встановлення клінічних діагнозів або прийняття лікувальних рішень. Для клінічного застосування потрібні акредитована лабораторія та сертифікація інструмента як медичного виробу.

Підсумовуючи, запропонований сервіс знімає ключові бар'єри доступу до геномних послуг. Він працює з наявними файлами користувача, сумісний із даними різних провайдерів, масштабується до мільйонів зразків і повертає зрозумілі результати без прив'язки до однієї лабораторії. Рішення закриває практичний запит на швидке підтвердження близької спорідненості, пошук можливих родичів у спільній базі та виважену інтерпретацію походження. Воно доречне у юридичних і генеалогічних кейсах та дослідницьких проєктах і має чітку траєкторію розвитку через розширення еталонних баз і підвищення точності для даних невисокого покриття та віддалених ступенів спорідненості.

Список використаної літератури

[1] M. Byrska-Bishop et al., "High-coverage whole-genome sequencing of the expanded 1000 Genomes Project cohort including 602 trios," Cell, vol. 185, no. 18, pp. 3426–3440.e19, Sep. 2022. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.08.004

[2] E. Bernice, Ed., The Ethics and Regulation of Human Genetic Databases: Global Perspectives. Aldershot, England: Ashgate Pub. Ltd., 2008.

[3] D. L. Hartl, Primer of Population Genetics and Genomics. Oxford Univ. Press, 2020.

[4] M. Kappelmann-Fenzl, Ed., Next Generation Sequencing and Data Analysis. Cham: Springer Int. Publishing, 2021. Accessed: Oct. 18, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-62490-3

[5] A. Abraham and A. K. Tyagi, Data Science for Genomics. Elsevier Sci. Technol. Books, 2022.

УДК 004.9

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ

Лозовий Д. О. (dmitrijlozovoj11@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

У роботі розглянуто сучасні інформаційні технології, що використовуються в медицині: електронні медичні записи, телемедицину, штучний інтелект, клінічні системи підтримки рішень, інтернет речей та етичні аспекти. Особлива увага приділена стандарту FHIR, як основі інтероперабельності медичних систем. Описано перспективи розвитку, включаючи застосування великих мовних моделей (LLM), ambient AI та федеративного навчання. Визначено переваги IT у підвищенні ефективності охорони здоров'я, а також основні виклики – безпека даних, нормативне регулювання, технічна інтеграція. У висновку наголошено на важливості адаптації технологій до локального контексту та етапного впровадження.

Інформаційні технології стрімко трансформують систему охорони здоров'я, стаючи її цифровим фундаментом. Вони проникають у всі ключові процеси — від діагностики й лікування до ведення обліку, зберігання медичної інформації та прийняття клінічних рішень. Завдяки цифровізації стає можливим не лише ефективніше керування ресурсами, а й підвищення точності медичних дій, зменшення кількості помилок та покращення комунікації між лікарями і пацієнтами.

Одним із основних напрямів є впровадження електронних медичних записів (Electronic Health Records, EHR), які забезпечують централізоване та стандартизоване зберігання даних про пацієнта: анамнез, результати досліджень, призначення лікарів, візуальні матеріали тощо. Це суттєво підвищує якість обслуговування, дозволяє лікарям оперативно приймати рішення, а також відкриває можливості для медичної аналітики. Важливим стандартом, що забезпечує обмін цими

даними між різними медичними системами, є FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources). Цей стандарт підтримує сучасні формати обміну — JSON, XML, REST API — і дає змогу легко інтегрувати системи різних розробників. Наприклад, платформа FHIR-DHP (Data Harmonization Pipeline) перетворює неструктуровані або слабо-структуровані клінічні дані у формат, придатний для подальшої аналітики та застосування штучного інтелекту.

Важливим напрямом є телемедицина — інструмент, що дозволяє здійснювати медичні консультації, моніторинг та навіть певні види лікування дистанційно. Це особливо актуально для пацієнтів, які проживають у віддалених регіонах, або для ситуацій, коли фізичний контакт є утрудненим (наприклад, під час пандемій). Телемедицина підвищує доступність послуг, оптимізує роботу лікарень і зменшує кількість невідкладних звернень. Разом з тим, вона вимагає вирішення низки питань: цифрова нерівність (відсутність техніки чи інтернету у певних груп населення), безпека каналів передачі даних, шифрування та захист приватності.

Штучний інтелект (AI) і машинне навчання (ML) дедалі частіше застосовуються в клінічній практиці. Алгоритми навчаються на великих обсягах медичних даних для прогнозування результатів лікування, діагностики зображень (рентген, МРТ), розпізнавання симптомів у текстах клінічних нотаток. Переваги очевидні: висока швидкість обробки, можливість виявлення прихованих закономірностей, зниження людського фактора. Проте існують виклики: непрозорість моделей («чорна скринька»), упередженість через якість навчальних даних, потреба в клінічній валідації. Інтеграція AI-модулів у медичні системи також вимагає дотримання стандартів, як-от FHIR, що дозволяє підключати AI як частину робочого процесу.

Клінічні системи підтримки прийняття рішень (CDSS) — ще один важливий інструмент, який допомагає лікарям у повсякденній практиці. Такі системи аналізують дані пацієнта і можуть рекомендувати дозування препаратів, попереджати про небезпечні поєднання ліків або нагадувати про актуальні клінічні протоколи. Це дозволяє зменшити кількість помилок і підвищити стандарти лікування. Водночас ефективність CDSS залежить від правильної інтеграції в клінічний робочий процес, мінімізації так званого «алярм-фатігу» (перевантаження повідомленнями) та від узгодженості рекомендацій із логікою лікаря.

Інтернет речей у медицині (IoMT) представлений носимими пристроями: трекерами активності, глюкометрами, тонометрами, пульсометрами, які дозволяють збирати клінічно значущі дані в реальному часі. Дані надсилаються в централізовані системи для аналізу, що дозволяє лікарю спостерігати за пацієнтом дистанційно та виявляти зміни на ранній стадії. В рамках цього напряму також активно розвивається концепція «цифрових двійників» — віртуальних моделей конкретного пацієнта, які дають змогу симулювати сценарії лікування та прогнозувати ризики. Серед викликів — стандартизація даних, енергоефективність пристроїв, безпека передачі інформації та юридичне регулювання.

Окремої уваги заслуговує питання безпеки, етики та регулювання у сфері медичних IT. Оскільки дані пацієнтів надзвичайно чутливі, необхідні технології захисту — шифрування, багатофакторна аутентифікація, аудит доступів, постійний моніторинг кіберзагроз. Етичні аспекти включають відповідальність за рішення, ухвалені за участі AI, прозорість моделей, ризики дискримінації певних груп. Наразі нормативне середовище (FDA у США, CE в ЄС) ще формується і потребує адаптації до стрімкого розвитку технологій.

Отже, інформаційні технології дають потужні інструменти для розвитку сучасної медицини — вони підвищують ефективність, точність та доступність медичних послуг. Але впровадження цих інструментів вимагає стратегічного підходу, що враховує не лише технічну, а й етичну, соціальну та правову складову. Для України це питання набуває особливої актуальності в умовах обмеженого фінансування, нерівного доступу до інфраструктури та різного рівня цифрової грамотності. Поетапне, локалізоване впровадження з акцентом на безпеку та доказову ефективність має стати ключем до успіху в цифровізації охорони здоров'я.

Список використаної літератури

[1] Barker W et al., "The Evolution of Health Information Technology," J Med Internet Res, 2024.
[2] "State-of-the-Art Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)," JMIR MedInform.
[3] "Machine Learning–Enabled Clinical Information Systems Using Fast Healthcare Interoperability Resources."
[4] "The impact of health information technology on patient safety."

[5] “A Standardized Clinical Data Harmonization Pipeline for Scalable AI (FHIR-DHP).”
[6] “Integrating Information Technology in Healthcare: Recent Developments, Challenges, and Future Prospects.”
[7] “Using FHIR to Optimize Clinical Artificial Intelligence.”
[8] Sylov Web, “Interoperability within Healthcare Systems through FHIR, Artificial Intelligence and Big Data.”

УДК 621.88 : 629.322 : 617.58-77

СПОСОБИ КРІПЛЕННЯ ВЕЛОАДАПТЕРА ДО ПРОТЕЗУ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ

Луценко К. О., Овчаренко А. Р. (lutskiria@gmail.com)
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»(Україна)

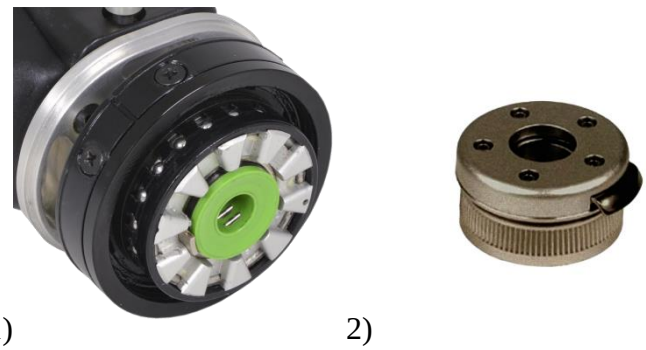
Розглянуто основні принципи кріплення велоадаптера до протезів верхньої кінцівки з трансрадіальною ампутацією. Описуються всі методи переходу від передпліччя до кисті в розрізі протезування, оскільки це ключовий етап розробки адаптера для керма велосипеда. Окремо приділено увагу типам протезування для пацієнтів з трансрадіальної ампутації. Оскільки велосипед – це потужний інструмент реабілітації, що може покращити як фізичний, так і психологічний стан.

Розробка велоадаптерів для протезів верхніх кінцівок зумовлена необхідністю фізичної та соціальної реабілітації. Для розробки велокріплення необхідно розуміти, яке саме з’єднання має бути між кермом та протезом. Складність проєктування вузла полягає у тому, що він має забезпечувати абсолютну жорсткість та безпеку для користувача. Вибір кріплення забезпечує повну функціональність всієї конструкції. Сам спосіб визначає універсальність та зручність використання. На ранніх етапах реабілітації велосипед виступає ефективним інструментом, який допомагає людям з ампутаціями швидше відновити відчуття повноцінного життя та відсутності фізичних обмежень.

Типи конекторів

Процес протезування може займати довгий час. Самі протези кінцівок можуть бути поділені на естетичні та активно-функціональні. Своєю чергою, перші задовольняють естетичні потреби та забезпечують рівновагу, а от функціональні протези замінюють дію м’язів та передають силу[1]. Саме для активно-функціональних протезів основою є модульність. Це пов’язано з тим, що не кожен термінальний пристрій може задовольнити весь спектр людських потреб. А для різних виробників та типів протезів верхніх кінцівок є різні конектори-перехідники у вузлах.

Стандартний зап’ястковий вузол, який легко знімається за допомогою кнопки, – це швидкоз’ємний конектор (наприклад, від компанії Fillauer[2]). При натисканні кнопки, звільняється замок, що дозволяє витягнути термінальний пристрій та вставити на його місце новий до характерного клацання. Це зручний та поширений спосіб для використання всіх можливих адаптерів, таких як велоадаптери, спортивні адаптери(наприклад, тримач для гантелі).



1) 2)

Рис. 1 - Приклади швидкоз’ємного конектора з кнопки

(1-від компанії Fillauer; 2- Hosmer попереднього покоління[3])

Також існує конектор зі схожим принципом швидкого знімання, але заміна відбувається шляхом обертання самого пристрою або фіксувального кільця. Це досить зручно для керування однією рукою, і до того ж такі системи частіше роблять водонепроникними. Наприклад, як у Ottobock Quickchange «Q-Lock», що має однаковий принцип як для рук, так і для нижніх кінцівок.

1) 2)

Рис. 2 - Приклади швидкоз’ємного конектора з прокруту
(1- Ottobock Quickchange (4R11) / Q-Lock[4]; 2- Fillauer WD[5])

Для більших навантажень та підвищеної надійності можливе використання важільного швидкого знімання. Його принцип роботи полягає в тому, що в заблокованому стані важіль притиснутий до корпусу протезу, а внутрішній штифт вставлений у паз на знімній частині. Для розблокування потрібно відтиснути важіль від корпусу і при заміні тримати його відтиснутим. Саме завдяки такій конструкції система має надійне позитивне блокування, розраховане на високе навантаження.

Рис. 3 - Приклад важільного швидкоз’ємного конектора[6]

Також існує більш спеціалізований тип конекторів для біонічних протезів. Вони забезпечують не тільки механічне з'єднання, а й мають електричні контакти для передачі міоелектричного сигналу на кисть. Такий тип конектора схожий на стандартний швидкоз'ємний, але при цьому додатково з'днує й електронні контакти. Це дозволяє швидко змінювати пристрій на інші міоелектричні термінали.

Рис. 4 - Приклад конектора біонічного протезу[7]

НТБОНТУ

Узагальнення проведеного аналізу

Наш огляд показує, що на ринку відсутній єдиний стандарт для зап'ясткового вузла. Проте існують конкурентні рішення під різні задачі користувача. Вибір способу з'єднання є не просто технічною деталлю, а фундаментальним обмеженням, яке диктує всю подальшу конструкцію. Розробка універсального велоадаптера неможлива без вирішення проблеми цієї фрагментації стандартів. Адаптер для різьбового з'єднання, буде абсолютно непотрібний для користувача з біонічним протезом на базі Q-Lock. Таким чином, технічна несумісність впливає на доступність спортивної реабілітації, змушуючи розробників шукати не одне універсальне, а гнучке, адаптоване рішення.

Висновки та подальші кроки

Проведений огляд типів конекторів для протезів верхніх кінцівок дозволив систематизувати ключові вимоги до конструкції спеціалізованого велокріплення. Головним висновком є те, що проблема сумісності є визначальною, оскільки на ринку домінують декілька різних стандартів, які часто є несумісними між собою. Практичне застосування аналізу полягає в тому, що він дозволяє сформулювати чітке технічне завдання для проєктування. Замість створення єдиного монолітного адаптера, доцільною є розробка модульної системи, яка б складалася з базового кріплення до керма та змінних перехідників під найпоширеніші типи конекторів. Напрямком для подальших досліджень є розробка та виготовлення прототипу такого універсального адаптера, його випробування на міцність та ергономіку, а також тестування з користувачами, що мають різні типи протезів.

Список використаної літератури

1. Functional assessment of current upper limb prostheses: An integrated clinical and technological perspective / P. Capsi-Morales et al. *PLOS ONE*. 2023. Vol. 18, no. 8. P. e0289978. URL: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289978.
2. Quick Disconnect Wrist – Fillauer Website. *Fillauer Website*. URL: https://fillauer.com/product/quick-disconnect-wrist/.
3. Hosmer Quick Disconnect Wrist - USMC Style - Orthopaedic Suppliers. *Orthopaedic Suppliers*. URL: https://os.co.za/product/hosmer-quick-disconnect-wrist-usmc-style/ .
4. Quickchange | Amplify your possibilities. *Ottobock*. URL: https://www.ottobock.com/en-us/product/4R11-61153#modal=media-gallery&nr=0 .
5. WD Quick Change Wrist – Fillauer Website. *Fillauer Website*. URL: https://fillauer.com/product/wd-quick-change-wrist/ .
6. OMEGA Wrist – Fillauer Website. *Fillauer Website*. URL: https://fillauer.com/product/omega-wrist/ .
7. Quick Wrist | Rapid Terminal Device Interchangeability. *KARE | The Best Prosthetics & Orthotics in India*. URL: https://www.karepoindia.com/quick-wrist.

UDC 004.82

ЦИФРОВА ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я: ШІ-АГЕНТИ ТА ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ЛЮДИНИ

Малахов К.С. (malakhovks@nas.gov.ua)
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України (Україна)

Робота презентує підхід до інтеграції цифрової охорони здоров'я, ШІ-агентів і концепції цифрового двійника людини (Human Digital Twin, HDT) для освіти, підтримки клінічних рішень і телереабілітації. Мета – обґрунтувати й продемонструвати використання ШІ-агентів як віртуальних пацієнтів для симуляційного навчання та як віртуальних лікарів спеціалізованої допомоги для консиліумної підтримки фахівців первинної ланки й реабілітологів. Методологія передбачає концептуальне моделювання HDT, побудову багатоагентної системи з ролями «віртуальний пацієнт»/«віртуальний лікар», сценарний аналіз клінічних кейсів і вимоги до безпеки даних та етики. Результати демонструють: безпечні симуляції для відпрацювання діагностики й тактики лікування; віртуальний консиліум, де лікар-реабілітолог взаємодіє з ШІ-агентами – членами міждисциплінарної реабілітаційної команди та, за потреби, вузькими спеціалістами;

персоналізацію телереабілітації завдяки безперервному оновленню стану HDT пацієнта. Новизна полягає в поєднанні HDT-пацієнтів і агентних «віртуальних лікарів» в єдиному робочому процесі від навчання до клінічної підтримки. Практичну цінність становить можливість інтеграції прототипів у наявні телемедичні сервіси та e-health записи для підвищення доступності, якості та своєчасності допомоги.

Вступ

Сучасна цифрова охорона здоров'я охоплює використання інформаційних технологій (телемедицина, телереабілітаці, мобільні додатки, тощо) для покращення надання медичних послуг. Нині до цього поняття стрімко інтегруються *агенти штучного інтелекту* (ШІ-агенти, англ. *AI agents*) та концепція *«цифрового двійника людини»* (англ. *Human Digital Twin, HDT*) [1,2]. Цифровий двійник пацієнта – це високоточно змодельований віртуальний образ пацієнта, що відтворює стан його організму і може постійно оновлюватися реальними даними для прогнозування змін стану здоров'я. Такі технології відкривають нові можливості: від персоналізованої профілактики до симуляції лікування віртуального пацієнта без ризику для реальної людини. Паралельно, системи штучного інтелекту дедалі частіше сприймаються як *віртуальні лікарі* – програмні агенти, здатні аналізувати медичні дані, спілкуватися з пацієнтом та навіть пропонувати діагнози. Уже розпочато експерименти з цілими віртуальними лікарнями, де ШІ-агенти виконують ролі лікарів, медичних сестер і пацієнтів, моделюючи різноманітні клінічні ситуації від звичайної застуди до складних операцій. На цьому тлі актуально дослідити, як поєднання цифрових двійників і ШІ-агентів може покращити медичну освіту та практику.

Метою роботи є аналіз та демонстрація можливостей використання ШІ-агентів у цифровій медицині на двох рівнях: як віртуальних пацієнтів у вигляді цифрових двійників людини для симуляційних експериментів і навчання медичних фахівців; як віртуальних лікарів спеціалізованої ланки для підтримки прийняття рішень у клінічній практиці (консультації сімейного лікаря, дистанційна реабілітація тощо).

Методи

Для досягнення мети проведено аналітичний огляд сучасних досліджень і технологій у галузі цифрових двійників та медичних ШІ-систем. Застосовано методи системного аналізу та концептуального моделювання: сформовано сценарії використання багатоагентної системи "лікарі–пацієнти", де віртуальні пацієнти моделюють реальні клінічні випадки, а віртуальні консультанти-лікарі асистують медичному персоналу. Описано приклади реалізації таких сценаріїв на основі доступних даних літератури та існуючих прототипів ШІ-систем [1,2].

Результати

Віртуальні пацієнти (цифрові двійники). Цифрові двійники людини здатні правдоподібно імітувати фізіологічні процеси конкретного пацієнта, слугуючи віртуальними "пацієнтами" для навчання і досліджень [1]. На відміну від традиційних медичних симуляторів, цифровий двійник може постійно підживлюватися реальними даними про пацієнта (наприклад, з електронної картки, сенсорів, аналізів) та здійснювати двонапрямний (бінаправлений) обмін даними з фізичним прототипом. Це дозволяє у віртуальному середовищі випробувати різні сценарії лікування або діагностики без ризику нашкодити реальному хворому. Зокрема, у кардіохірургії вже використовують цифрові моделі серця на основі КТ-знімків, що дають можливість хірургам візуалізувати та "програти" операцію в 3D перед втручанням. В освітньому процесі такі ШІ-агенти–пацієнти дозволяють студентам відпрацьовувати навички діагностики й лікування на віртуальних клінічних випадках, які реалістично відтворюють симптоматику і динаміку хвороби. Як наслідок, підвищується якість навчання і компетентність молодих фахівців за одночасного забезпечення повної безпеки – помилки "лікування" не шкодять живим пацієнтам. Перспективним є розвиток комплексних симуляційних середовищ: наприклад, в Китаї створено експериментальний віртуальний шпиталь, де тисячі ШІ-пацієнтів і ШІ-лікарів взаємодіють між собою, імітуючи роботу реальної лікарні та забезпечуючи випробувальний полігон для медичних алгоритмів.

Віртуальні лікарі-консультанти. ШІ-агенти, наділені експертними знаннями, можуть виконувати роль віртуальних лікарів вузької спеціалізації, допомагаючи лікарям первинної ланки та пацієнтам. Сучасні великі мовні моделі (англ. *Large Language Models, LLM*), навчені на медичних текстах, вже здатні спілкуватися з користувачем природною мовою, збирати скарги,

аналізувати симптоми і пропонувати попередні висновки. Прикладом, у дистанційній консультації сімейний лікар може ставити запитання пацієнтові, а ШІ-агент-помічник паралельно прослуховує розмову, перевіряє симптоми за базою знань і підказує лікарю можливі діагнози чи необхідність додаткових обстежень. Такий *віртуальний консиліум* забезпечує доступ до колективного досвіду множинних фахівців: ШІ може миттєво врахувати величезний масив клінічних даних і рекомендацій, слугуючи другою думкою для лікаря. Окремий випадок – інтеграція ШІ-лікарів у міждисциплінарну реабілітаційну команду. Результати досліджень свідчать, що застосування алгоритмів штучного інтелекту у програмі домашньої реабілітації підвищує ефективність відновлення пацієнтів. ШІ-агенти можуть виступати як віртуальні терапевти: аналізувати дані датчиків про рухи та стан хворого, автоматично оцінювати якість виконання вправ і надавати зворотний зв'язок. Так, за допомогою комп'ютерного зору та попередньо навчених моделей система може розпізнати, чи правильно пацієнт виконує вправу, і через аватар-тренер на екрані одразу скоригувати техніку руху. При низькій активності пацієнта ШІ здатен згенерувати нагадування та поради щодо збільшення фізичного навантаження. Уявімо сеанс телереабілітації: лікар-реабілітолог спостерігає за хворим через відеозв'язок, а поруч віртуальні асистенти – «ШІ-лікарі» фізіотерапевт та невролог – аналізують специфічні параметри (амплітуду рухів, неврологічні симптоми тощо) і підказують оптимальні коригування програми реабілітації. Таким чином, пацієнт отримує користь від консиліуму фахівців, навіть якщо фізично присутній лише один лікар, а роль інших виконує програмний інтелект.

Застосування віртуальних агентів-лікарів у практиці вже почалося в окремих задачах. Алгоритми ШІ перевершують людину у швидкості аналізу великих масивів даних, тому успішно використовуються для автоматичного виявлення патологій на зображеннях (радіологія, дерматологія), сортування звернень пацієнтів за терміновістю, нагадування про протоколи лікування тощо. Відомо, що такі системи здатні зменшити навантаження на лікарів, беручи на себе рутинні аспекти роботи. Водночас, обмеження нинішніх ШІ-моделей не дозволяють повністю покладатись на них: наприклад, діалогові ШІ добре складають тести, але поки що гірше ведуть живу розмову з пацієнтом і можуть пропустити важливу деталь. Тому впровадження віртуальних лікарів потребує ретельної перевірки та налаштування. На сьогодні жодна модель ШІ не пройшла повномасштабної клінічної валідації, як самостійний «лікар». Натомість найбільш доцільним є сценарій, коли ШІ-агенти діють у парі з медиками, підвищуючи якість та оперативність їх роботи, але остаточні рішення контролюються людиною.

Висновки

ШІ-агенти у поєднанні з технологією цифрових двійників пацієнта становлять перспективний напрям цифрової медицини, що має потенціал докорінно змінити і систему підготовки кадрів, і надання медичної допомоги. Віртуальні пацієнти на основі цифрових двійників дозволяють безпечно відпрацьовувати діагностично-лікувальні навички та проводити експериментальні випробування нових методів лікування *in silico* [1,3]. Віртуальні лікарі-ШІ, інтегровані у клінічні процеси, здатні забезпечити лікарям інтелектуальну підтримку – від попереднього сортування та обстеження пацієнта до рекомендацій щодо тактики лікування на основі найновіших доказових даних. Застосування таких агентів особливо цінне в умовах обмеженого доступу до вузьких спеціалістів та в системі телемедицини, коли пацієнт і лікар знаходяться віддалено один від одного. Водночас впровадження технології потребує подолання низки викликів. Необхідно забезпечити інтеграцію різнорідних даних і сумісність систем, гарантувати захист конфіденційної інформації пацієнтів та відповідати етичним нормам. Потрібні також клінічні випробування для підтвердження безпеки й ефективності ШІ-рішень у реальних умовах, формування довіри користувачів. Галузь цифрових двійників і медичних ШІ знаходиться лише на початковому етапі розвитку, але прогрес відбувається дуже швидко. Можна припустити, що вже у найближчому майбутньому кожна людина матиме власного "цифрового двійника" з моменту народження, який у режимі реального часу відстежуватиме стан здоров'я, прогнозуватиме ризики і підбиратиме індивідуальні профілактичні заходи. ШІ-агенти-лікарі, своєю чергою, будуть невід'ємною частиною медичних команд, забезпечуючи високоточну аналітику та консультації миттєво і в будь-який час. Таким чином, цифрова охорона здоров'я на основі ШІ та цифрових двійників поступово перетворюється з футуристичної ідеї на реальність, що обіцяє підвищити якість, доступність і персоналізація медичної допомоги у світі.

Подяки

Дослідження виконано за договором з Тернопільським національним медичним університетом ім. І.Я. Горбачевського МОЗ України – НДР «Розроблення дослідного зразка експертної системи підтримки прийняття рішень на основі ШІ (https://prozorro.gov.ua/uk/contract/UA-2025-05-13-012069-a-c1), у межах виконання НТР «Розроблення персоналізованої теледіагностичної платформи з ШІ для лікаря та пацієнта (ТД+AI)» згідно з договором між МОН України та ТНМУ імені І.Я. Горбачевського МОЗ України від 12.02.2025 № ДЗ/164-2025. Реєстраційна картка НДДКР 0125U001036 від 13.02.2025.

Дослідження також проведено в межах НДР «Розробити теоретичні засади і функціональну модель комп'ютера для обробки складних інформаційних структур» (державний реєстраційний номер: 0124U002317) та НДР «Розробити засоби підтримки технологій віртуалізації та їх використання в комп'ютерній інженерії та інших застосуваннях» (державний реєстраційний номер: 0124U001826). Усі проєкти реалізовано на базі Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (Київ, Україна).

Список використаної літератури

[3]. Петренко М.Г., Малахов К.С. Методологія і практика конвергенції міждисциплінарних знань у сфері цифрової охорони здоров'я. *Information Technologies and Systems*, Київ, 2025, Том 3 (3), 88–108. https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.03.088.

[4]. Petrenko, M., Palagin, O., Malakhov, K. S., & Boyko, M. (2025). Towards of IT-Support For Transdisciplinary Research. *International Journal "Information Theories and Applications*, 32(3), 203–221. https://doi.org/10.54521/ijita32-03-p01.

[5]. Pammi M., Shah P.S., Yang L.K., Hagan J., Aghaeepour N., Neu J. Digital twins, synthetic patient data, and in-silico trials: Can they empower paediatric clinical trials? The Lancet Digital Health, 2025, Vol. 7 (5), 100851. https://doi.org/10.1016/j.landig.2025.01.007.

УДК: 004.9:614.2

СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Мірецький В.В., Приходько О.В. (vova.miretskyi@gmail.com)
Західноукраїнський національний університет (Україна)

Розглянуто основні принципи побудови систем контролю показників здоров'я, їхню класифікацію, можливості застосування у клінічній практиці та для індивідуального використання. Особливу увагу приділено проблематиці збору та обробки медичних даних, їхньої достовірності, безпеки та сумісності в умовах зростання обсягів інформації. Обґрунтовано перспективи інтеграції таких систем у національні та міжнародні платформи e-Health, що відкриває нові горизонти підвищення якості діагностики, лікування та профілактики.

Сучасні системи контролю показників здоров'я поєднують сенсорні пристрої, мобільні застосунки, хмарні платформи та аналітичні інструменти для збору, зберігання й аналізу фізіологічних параметрів організму. Це сприяє переходу від реактивної медицини, орієнтованої на лікування вже наявних захворювань, до превентивної моделі, що забезпечує своєчасне виявлення відхилень та попередження ускладнень. Впровадження таких систем зумовлене широким поширенням хронічних захворювань, що потребують постійного спостереження та корекції способу життя, необхідністю підвищення якості медичної допомоги за умов обмежених ресурсів, стрімким розвитком телемедицини [1, 2]. Не менш важливу роль відіграє соціальний аспект, адже формування культури самоконтролю та відповідального ставлення до власного здоров'я є однією з передумов підвищення якості життя населення.

В той же час, впровадження таких систем супроводжується викликами, пов'язаними із захистом персональних даних, забезпеченням точності та достовірності вимірювань, стандартизацією форматів медичної інформації та інтеграцією з існуючими інформаційними

структурами. Це вимагає застосування комплексного підходу до розробки систем моніторингу, що поєднує медицину, інженерію та сучасні технології.

Таким чином, розробка системи моніторингу показників здоров'я людини в умовах викликів сьогодення вимагає формування комплексної моделі системи контролю, яка поєднуватиме сенсорні технології, інтелектуальні програмні засоби аналізу даних та інформаційну інфраструктуру e-Health.

Насамперед такі системи мають забезпечувати безперервність і достовірність збору даних про стан організму, тому важливим є застосування я сенсорів і переносимих пристроїв, що відзначаються високою точністю, надійністю та стійкістю до зовнішніх впливів. Другим не менш важливим аспектом є опрацювання й аналіз діагностичних даних. Система повинна забезпечувати інтеграцію великих масивів даних, що надходять у режимі реального часу, містити алгоритми інтелектуальної обробки, включно з методами машинного навчання й нечіткої логіки, а також формувати індивідуальні висновки та прогнози. Це сприятиме своєчасному виявленню відхилень показників від норми та підвищить ефективність профілактики й лікування [3].

В той же час усі процеси збору, зберігання та передачі інформації повинні здійснюватись із застосуванням сучасних криптографічних засобів, відповідати стандартам захисту персональних даних та гарантувати дотримання етичних норм у медичній сфері.

База даних у подібних системах є ключовим елементом інформаційної структури, від якого залежить надійність і ефективність усієї платформи. Вимоги щодо структурованості та гнучкості є пріоритетними, адже дані про стан здоров'я людини є багатокомпонентними та включають як числові показники, так і текстові записи, зображення чи результати діагностичних досліджень. Оскільки система працює з великими обсягами даних у реальному часі, важливою вимогою є швидкодія із гарантією цілісності даних. Зважаючи на вищезазначене, можна сформувати архітектуру системи моніторингу даних про стан здоров'я людини, структурну схема якої наведено на рис. 1.

Рисунок 1 – Структурна схема системи моніторингу показників здоров'я

Аналітичний рівень забезпечує перетворення зібраних даних у знання, які придатні для використання медичними працівниками для аналізу стану пацієнтів та прийняття рішень (постановки діагнозу) й інтегрує модулі статистичного аналізу, штучного інтелекту та засоби візуалізації результатів. Такі алгоритми повинні бути якісні, адекватно описувати реальні дані, оскільки саме від їх результатів залежить правильність прийнятих рішень.

Рівень взаємодії з користувачами забезпечує комунікацію між системою моніторингу та її учасниками – пацієнтами, лікарями, медичними закладами, інтерпретацію результатів аналізу та їх представлення у зрозумілому для пересічної людини вигляді. Зазначений рівень реалізують через мобільні додатки, веб-інтерфейси, інтегровані панелі керування для медичних працівників, системи сповіщень (push-повідомлення, SMS, електронна пошта) [2]. При цьому важливим аспектом виступає адаптивність інтерфейсу користувача, щоб люди різного віку та рівня цифрової грамотності могли комфортно взаємодіяти з системою.

Рівень інтеграції виконує функцію об'єднання внутрішніх модулів системи із зовнішніми інформаційними ресурсами та сервісами охорони здоров'я з метою забезпечення цілісності медичних даних, сумісності та безпечного обміну між різними інформаційними платформами.

Таким чином, система забезпечує взаємодію із широким цифровим простором медицини, що реалізує комплексний підхід до моніторингу стану показників здоров'я людини, мінімізує дублювання інформації та підвищує ефективність клінічних рішень.

Таким чином, система контролю показників здоров'я людини це комплексна техніко-інформаційна платформа, яка забезпечує безперервний моніторинг фізіологічних параметрів, їх зберігання, аналіз та представлення у зручній для користувача та медичного персоналу формі. Поєднання технологій Інтернету речей, мобільних застосунків, хмарних обчислень та методів штучного інтелекту дозволяє не лише фіксувати стан організму у реальному часі, але й прогнозувати потенційні ризики.

Список використаної літератури

[1] Мотайло О. В. Стратегія удосконалення системи моніторингу за станом здоров'я населення України / *Електронне «Державне управління та розвиток»* [Електронний ресурс]. URL: http://www.dy.nayka.com.ua/pdf/3_2021/39.pdf (дата звернення 23.09.2025 р.).

[2] Романюк Н. Є., Романюк Л. М., Нагорна О. П. Моніторинг стану здоров'я як основний елемент визначення проблем громадського здоров'я в України / Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров я України. 2023. № 1 (95). С. 66-69. DOI:10.11603/1681-2786.2023.1.13862.

[3] Дорош Н.В., Ільканич К.І., Дорош О.І., Бойко І.Р. Мобільні технології для моніторингу показників стану здоров'я / *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України.* 2017. № 3 (73). С. 47-50.

УДК 004.738.5:613.2

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ПЛАНІВ ХАРЧУВАННЯ

Мотошин А.А., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В. (electrumpal@gmail.com, mathew@zp.edu.ua, gontar@zp.edu.ua, timenko.a@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

У роботі розроблено інформаційну систему у вигляді мобільного додатку для автоматизованої генерації персональних планів харчування та моніторингу їх дотримання. Система використовує алгоритм на основі формули Харріса-Бенедикта для розрахунку індивідуальної калорійності з урахуванням антропометричних даних, рівня фізичної активності та харчових преференцій користувача. Реалізовано архітектуру на базі React Native для клієнтської частини та Node.js з MongoDB для серверної частини, що забезпечує кросплатформеність та гнучке зберігання даних. Функціонал системи включає генерацію збалансованого тижневого меню з бази понад 500 страв, візуальний моніторинг споживання калорій та макронутрієнтів, а також аналітику прогресу користувача. Тестування з групою 15 користувачів підтвердило високу точність розрахунків (93%) та зручність інтерфейсу (87% позитивних відгуків). Розроблена система забезпечує персоналізований підхід до планування харчування та може бути корисною для широкої аудиторії користувачів, які прагнуть здорового способу життя.

Проблема здорового харчування набуває все більшої актуальності в сучасному суспільстві. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, незбалансоване харчування є одним із ключових факторів ризику розвитку хронічних захворювань [1]. Водночас сучасний ритм життя ускладнює можливість самостійного планування раціонального харчування, що вимагає значних часових витрат та спеціалізованих знань у галузі дієтології.

Існуючі рішення на ринку часто мають обмежений функціонал або не враховують індивідуальні особливості користувачів, такі як алергії, харчові уподобання, рівень фізичної

активності та цілі щодо ваги. Крім того, більшість систем не забезпечують комплексного моніторингу дотримання плану харчування та не адаптуються до змін у потребах користувача [2].

Розробка мобільного додатку для генерації та моніторингу персональних планів харчування дозволить підвищити доступність інструментів для здорового способу життя, забезпечить персоналізований підхід до планування раціону та сприятиме формуванню правильних харчових звичок у користувачів.

Мета роботи полягає у розробці інформаційної системи у вигляді мобільного додатку для автоматизованої генерації персональних планів харчування з урахуванням індивідуальних особливостей користувачів та забезпечення моніторингу їх дотримання. Для реалізації інформаційної системи використано комплекс сучасних методів та технологій розробки програмного забезпечення.

Методи дослідження: системний аналіз існуючих рішень, порівняльний аналіз алгоритмів розрахунку калорійності, метод об'єктно-орієнтованого проектування для розробки архітектури системи.

Алгоритмічні методи: для розрахунку добової потреби в калоріях використано формулу Харріса-Бенедикта з урахуванням коефіцієнта фізичної активності [3]. Генерація плану харчування здійснюється за алгоритмом підбору страв, що забезпечує оптимальний розподіл макронутрієнтів (білків, жирів, вуглеводів) відповідно до цільових показників.

Технологічний стек: для розробки мобільного додатку обрано React Native, що забезпечує кросплатформеність та можливість розгортання на iOS та Android. Серверна частина реалізована на Node.js з використанням Express.js фреймворку. База даних побудована на MongoDB, що дозволяє гнучко зберігати структуровані дані про страви та користувачів.

Блок-схема основного алгоритму генерації плану харчування представлена на рисунку 1. Алгоритм аналізує вхідні параметри користувача, розраховує цільові показники калорійності та макронутрієнтів, після чого здійснює підбір страв з бази даних з урахуванням обмежень та преференцій.

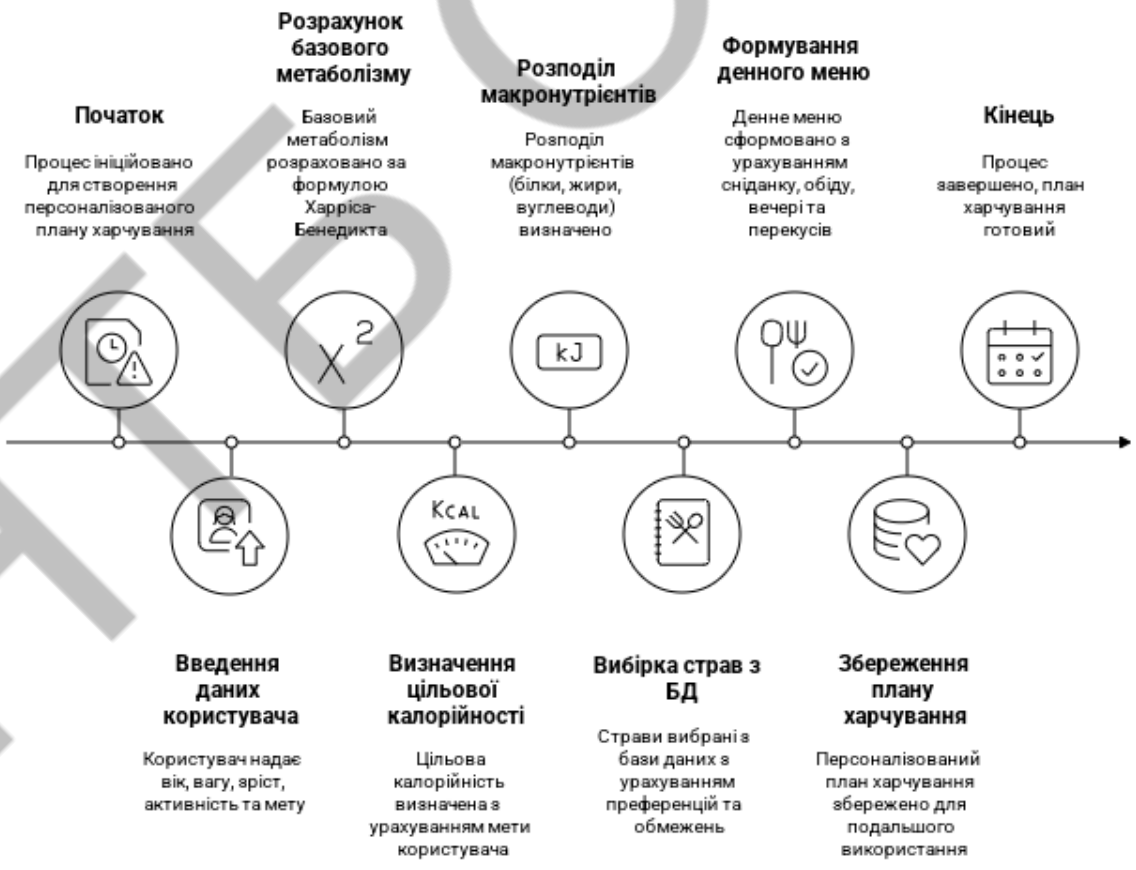


Рисунок 1 - Алгоритм генерації персонального плану харчування

У результаті виконання роботи розроблено функціональну інформаційну систему, яка включає наступні основні компоненти:

Модуль реєстрації та профілю користувача дозволяє ввести персональні дані: вік, стать, зріст, вагу, рівень фізичної активності, харчові обмеження (алергії, вегетаріанство тощо) та цілі (схуднення, набір м'язової маси, підтримання ваги).

Модуль генерації плану харчування автоматично розраховує індивідуальну добову потребу в калоріях та макронутрієнтах, формує збалансоване меню на тиждень з урахуванням усіх обмежень та преференцій користувача. Система використовує базу даних з понад 500 страв різних кухонь світу з детальною інформацією про їх склад [4-5].

Модуль моніторингу забезпечує відстеження фактичного споживання їжі протягом дня, візуалізацію прогресу через діаграми та графіки, нагадування про прийоми їжі та відображення статистики дотримання плану.

Модуль аналітики надає детальну статистику за тиждень, місяць та довільний період, відображає динаміку ваги, дозволяє експортувати дані про харчування.

Функціональні можливості системи узагальнено в таблиці 1.

Система пройшла функціональне тестування з використанням тестової групи з 15 користувачів різного віку та рівня фізичної активності. За результатами тестування встановлено, що 87% користувачів вважають інтерфейс інтуїтивно зрозумілим, 93% підтвердили точність розрахунків калорійності, а середній час генерації плану харчування становить 3-5 секунд.

Порівняння розробленої системи з аналогами показало переваги в персоналізації планів харчування, гнучкості налаштувань обмежень та зручності моніторингу прогресу. На відміну від багатьох існуючих рішень, система не вимагає преміум-підписки для доступу до базового функціоналу.

Таблиця 1 - Основні функціональні можливості системи

Модуль	Функціональність	Вхідні дані	Вихідні дані
Профіль користувача	Створення та редагування профілю	Антропометричні дані, активність, обмеження	Профіль користувача
Генерація плану	Автоматичне створення меню	Профіль, цільові показники	Тижневий план харчування
Моніторинг	Відстеження споживання їжі	Відмітки про прийоми їжі	Фактичні показники, відхилення
Аналітика	Статистика та звіти	Історичні дані користувача	Графіки, діаграми, тренди
База даних страв	Пошук та перегляд страв	Запит користувача	Інформація про страви

У роботі розроблено інформаційну систему для генерації та моніторингу персональних планів харчування у вигляді мобільного додатку. Система забезпечує автоматизований підхід до планування раціону з урахуванням індивідуальних особливостей користувачів та дозволяє ефективно контролювати дотримання здорового харчування.

Основні результати роботи включають: розроблений алгоритм генерації персоналізованих планів харчування на основі науково обґрунтованих методів розрахунку енергетичних потреб; спроектовану та реалізовану архітектуру системи з використанням сучасних технологій мобільної розробки; створену базу даних з широким асортиментом страв та детальною інформацією про їх склад; функціональний моніторинг споживання їжі з візуалізацією прогресу.

Тестування системи підтвердило її працездатність та ефективність. Розроблений додаток може бути корисним для широкої аудиторії користувачів, які прагнуть дотримуватись здорового способу життя, контролювати вагу або формувати правильні харчові звички.

Перспективами подальшого розвитку системи є інтеграція з носимими пристроями для автоматичного відстеження фізичної активності, впровадження машинного навчання для адаптації рекомендацій на основі результатів користувача, розширення бази даних страв регіональними кухнями та додавання функціоналу соціальної взаємодії для обміну досвідом між користувачами.

НТБОНТУ

Список використаної літератури

[1] I. Papastratis, K. Konstantinidis, P. Daras, and K. Dimitropoulos, “AI nutrition recommendation using a deep generative model and ChatGPT,” Scientific Reports, vol. 14, no. 1, Jun. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-65438-x.

[2] K. Kalpakoglou, M. Calderón-Pérez, N. Boqué, E. Guldas, E. Erdoğan Demir, P. Gymnopoulos, and K. Dimitropoulos, “An AI-based nutrition recommendation system: technical validation with insights from Mediterranean cuisine,” Frontiers in Nutrition, vol. 12, Aug. 2025, Art. no. 1546107, doi: 10.3389/fnut.2025.1546107.

[3] A. Zignoli, C. Dussin, and F. D’Aurizio, “Personalized nutrition and machine-learning: Exploring the role of continuous glucose monitoring,” Trends in Food Science & Technology, vol. 153, Nov. 2024.

[4] K. Agrawal, P. Sharma, and R. Singh, “Artificial intelligence in personalized nutrition and food systems: a comprehensive review,” Frontiers in Nutrition, vol. 12, Jul. 2025, Art. no. 1636980, doi: 10.3389/fnut.2025.1636980.

[5] P. Shamanna, R. Talari, and S. Kumar, “Application of digital twin technology for predictive glycemic response and real-time dietary recommendations,” Frontiers in Endocrinology, vol. 15, 2024, Art. no. 1485464, doi: 10.3389/fendo.2024.1485464.

УДК 004.9:796.015

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ФІТНЕС-КОУЧИНГУ

Наливайко А.Ю., Кудерметов Р.К., Грушко С.С.
(izyslav88@gmail.com, krk@zp.edu.ua, grushko@zp.edu.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

Проаналізовано проблематику персоналізації фітнес-програм та систематизовано недоліки існуючих рішень, основним з яких є відсутність глибокої персоналізації на основі біометричних показників. Порівняльний аналіз трьох категорій фітнес-додатків виявив їх функціональні обмеження. Характеристики архітектурних підходів для веб-платформ досліджено через порівняння монолітної та мікросервісної архітектури. Класифікація технологічних стеків охоплює backend, frontend та системи управління базами даних з оцінкою продуктивності, масштабованості та економічної ефективності. Для реалізації системи обґрунтовано комбінацію FastAPI, MongoDB та React з TypeScript завдяки оптимальному співвідношенню продуктивності та гнучкості. Визначено функціональні та нефункціональні вимоги до системи з урахуванням критеріїв безпеки, масштабованості та доступності. Запропоновано багаторівневу мікросервісну архітектуру з обґрунтуванням компонентів системи. Розроблено математичні моделі для розрахунку персоналізованих навантажень на основі формули Карвонена та рівняння Міффліна-Сан Жеора. Запропоновано концептуальні алгоритми адаптації програм для прогнозування ефективності тренувань.

Проблема недостатньої фізичної активності характеризується значними соціально-медичними наслідками. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, недостатня фізична активність є четвертим провідним фактором ризику глобальної смертності [1]. Індустрія фітнес-додатків активно розвивається, однак більшість рішень має суттєві обмеження: відсутність науково обґрунтованих алгоритмів адаптації навантажень, недостатню інтеграцію біометричних параметрів, обмежені можливості комплексного аналізу прогресу.

Метою дослідження є аналіз наявних підходів до проєктування інформаційних платформ фітнес-коучингу та обґрунтування вибору оптимальних архітектурних і технологічних рішень з урахуванням технічних, фізіологічних та експлуатаційних критеріїв.

На основі аналізу міжнародного досвіду виділено три основні категорії фітнес-додатків. Загальні фітнес-трекери (MyFitnessPal, Fitbit) забезпечують базове відстеження активності та підрахунок калорій без персоналізованих тренувальних програм на основі біометричних даних. Спеціалізовані тренувальні додатки (Nike Training Club, Adidas Training) пропонують

структуровані програми, проте персоналізація обмежується лише вибором рівня складності та типу активності без урахування індивідуальних фізіологічних параметрів. Професійні рішення для тренерів мають широкі можливості створення індивідуальних програм, але вимагають участі професійного тренера і не доступні для самостійного використання. Аналіз виявив потребу в системі, що поєднує автоматизацію з науково обґрунтованою персоналізацією.

Архітектурні підходи для веб-платформ класифіковано на дві категорії. Монолітна архітектура розміщує всю логіку в єдиному компоненті. Переваги включають простоту розробки для невеликих проєктів, проте має такі недоліки, як складність масштабування окремих компонентів, залежність від однієї технології, ризик повної відмови при збої модуля. Мікросервісна архітектура розділяє додаток на незалежні сервіси з конкретними бізнес-функціями. Перевагами такого варіанту є гнучкість вибору технологій, незалежне масштабування, підвищена стійкість до відмов, але в ньому складніше управління та моніторинг. Для фітнес-платформи обґрунтовано вибір мікросервісної архітектури через необхідність обробки різнотипних даних та потребу гнучкого масштабування.

Компоненти системи структуровано на шість функціональних модулів: сервіс авторизації та управління користувачами для реєстрації та автентифікації, сервіс обробки біометричних даних для збору та валідації показників здоров'я, сервіс генерації тренувальних програм з алгоритмами персоналізації, сервіс аналітики для формування звітів, API-шлюз для централізованого управління запитами, веб-інтерфейс для взаємодії користувачів.

Технологічні стеки проаналізовано за трьома категоріями. Backend технології включають Node.js з Express.js (перевагами є висока швидкість розробки, єдина мова для frontend/backend); Python з Django/Flask, що забезпечує швидкість розробки та читабельність коду; Python з FastAPI. Обґрунтовано вибір FastAPI через необхідність складних математичних обчислень, автоматичну валідацію біометричних даних, високу продуктивність при одночасних запитах.

Системи управління базами даних розділено на два типи. PostgreSQL забезпечує ACID-транзакції та складні запити. Ця реляційна база даних характеризується високою надійністю, підтримкою JSON та потужною індексацією, проте має меншу гнучкість схеми та складність горизонтального масштабування. MongoDB є документо-орієнтованою NoSQL базою з гнучкою схемою даних, природною підтримкою JSON, можливістю горизонтального масштабування та високою ефективністю роботи з неструктурованими даними. Обґрунтовано вибір MongoDB через різноманітну структуру біометричних даних, необхідність зберігання JSON тренувальних програм зі складною ієрархією, планову інтеграцію з пристроями моніторингу різних форматів.

Проаналізовано три основні технології для розробки клієнтської частини. React.js забезпечує компонентний підхід до розробки інтерфейсів і має розвинену екосистему бібліотек з підтримкою TypeScript, проте вимагає підключення додаткових модулів для повнофункціональної роботи. Vue.js відрізняється простішим синтаксисом та швидшим освоєнням для початківців, але має менше готових рішень порівняно з React. Angular пропонує повний набір вбудованих інструментів з TypeScript за замовчуванням, однак характеризується високою складністю та повільнішою розробкою. Для реалізації системи обрано React.js з TypeScript через декілька ключових факторів: широкий вибір готових компонентів прискорює розробку інтерфейсу, бібліотека Recharts надає інструменти для візуалізації графіків біометричних даних, використання Shadcn UI дозволяє створити сучасний та зручний інтерфейс, а типізація TypeScript суттєво зменшує ймовірність помилок при обробці числових біометричних показників.

Математичні моделі розроблено для розрахунку оптимальних навантажень. Розрахунок максимальної частоти серцевих скорочень:

$$ЧССмакс = 220 – вік.$$

Визначення тренувальних зон за формулою Карвонена:

$$ЧСС_тренувальна = (ЧССмакс - ЧСС_спокою) \times К_інтенсивності + ЧСС_спокою$$

де К_інтенсивності варіюється за цілями: жиросжигання 0.6-0.7, аеробна витривалість 0.7-0.8, анаеробна зона 0.8-0.9. Розрахунок базового метаболізму за рівнянням Міффліна-Сан Жеора дозволяє визначити оптимальний енергетичний баланс. Для чоловіків:

$$BMR = 10 \times вага + 6.25 \times зріст - 5 \times вік + 5.$$

Для жінок:

$$BMR = 10 \times вага + 6.25 \times зріст - 5 \times вік – 161.$$

Розрахунок енергетичних витрат враховує індивідуальні параметри:

$$Калорії = MET \times маса_тіла \times час \times К_корекції$$

де MET визначається для кожної вправи, К_корекції враховує вік, стать, підготовку.

Визначено функціональні вимоги до системи: реєстрація та авторизація з різними ролями доступу, збір та збереження біометричних параметрів, автоматична генерація персоналізованих програм, моніторинг прогресу з адаптацією програм відповідно до результатів, візуалізація статистичних даних та аналітичних звітів, інтеграція з пристроями моніторингу здоров'я. Нефункціональні вимоги включають безпеку персональних даних з хешуванням паролів та JWT автентифікацією, масштабованість для обслуговування великої кількості користувачів через мікросервісну архітектуру, високий рівень доступності системи з часом відгуку API <500 мс, зручність інтерфейсу для користувачів різного рівня технічної підготовки.

Концептуальні алгоритми персоналізації розроблено за принципом безперервної адаптації. Початкова програма формується на основі профілю користувача та заявлених цілей. Алгоритм адаптації аналізує такі критерії, як динаміка показників серцево-судинної системи, зміна антропометричних параметрів, суб'єктивна оцінка складності, регулярність виконання занять. На основі цих даних система коригує інтенсивність, тривалість та частоту тренувань, забезпечуючи оптимальний прогрес при мінімізації ризику перетренованості. Алгоритм прогнозування завантаженості аналізує історичні дані для визначення оптимальних параметрів з факторами: день тижня, поточний стан користувача, досягнутий прогрес, планові цілі.

Проведений аналіз дозволяє обґрунтувати оптимальні архітектурні та технологічні рішення для інформаційних платформ персоналізованого фітнес-коучингу. Розроблені математичні моделі та концептуальні алгоритми формують науково-методичну основу для технічної реалізації системи автоматичної генерації індивідуальних тренувальних програм з інтелектуальним аналізом біометричних даних.

Список використаної літератури

[1] S. Kang, "The Study on well-aging using digital fitness technology," Journal of Information and Security, 2024.

[2] P. S. Vijayalakshmi and D. D. A, "The Personalized Fitness and Nutrition Coach," International Journal of Research Publication and Reviews, 2025.

[3] X. Rui and R. Xu, "A Study of User Continuance Intention on Online Fitness Platforms: A Perspective from TAM Theories," International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews, 2024.

[4] P. U. Singh, P. Kavitha, and S. Kamalakkannan, "Synergistic Health Optimization through Integrated Fitness Management," International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 2024.

[5] R. H. Charfare, A. U. Desai, N. N. Keni, A. S. Nambiar, and M. M. Cherian, "Smart Healthcare Framework: Real-Time Vital Monitoring and Personalized Diet and Fitness Recommendations Using IoT and Machine Learning," *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2025.

УДК

БІОІНФОРМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ МУТАЦІЙ ГЕНІВ CYP450 З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ФАРМАКОТЕРАПІЇ

Пастушенко М.О. (pastushenko.maksym@lll.kpi.ua)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)
Шарий О.О. (sahasharyy@gmail.com)
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця (Україна)

Реферат. У роботі розглядається застосування методів машинного навчання для прогнозування функції гаплотипів CYP2D6 та оптимізації дозування ліків, таких як антидепресанти та варфарин. На основі аналізу літератури запропоновано модель прецизійного дозування з урахуванням генетичних варіацій. Обговорюються рекомендації CPIC та FDA щодо фармакогенетичних асоціацій, а також порівняльний аналіз ML-технік. Результати свідчать про підвищення точності прогнозування до 88-98% порівняно з традиційними методами, що сприяє зменшенню ризику побічних ефектів.

Вступ

Система цитохрому Р450 (CYP450) відіграє центральну роль у метаболізмі переважної більшості лікарських засобів. Генетичні варіанти генів цього сімейства зумовлюють суттєві міжіндивідуальні відмінності в швидкості та ефективності метаболічних процесів, що призводить до варіабельності терапевтичної відповіді та ризику побічних реакцій [1], [2]. Зважаючи на високу гетерогенність генів CYP2D6, CYP2C19 та CYP2C9, традиційні методи класифікації пацієнтів («повільні», «нормальні», «ультрашвидкі» метаболізатори) є недостатньо точними для індивідуалізації фармакотерапії.

Мета дослідження

Провести аналіз сучасних підходів до біоінформатичної інтерпретації мутацій генів CYP450 з використанням алгоритмів штучного інтелекту та оцінити їх потенціал для персоналізованого підбору доз і лікарських засобів.

Матеріали та методи

Проаналізовано дані провідних досліджень, що застосовують моделі глибокого та машинного навчання для прогнозування ферментативної активності генів CYP450. Особливу увагу приділено моделям на основі нейронних мереж, які оцінюють функціональну активність алелів CYP2D6, CYP2C19 і CYP2C9 за послідовністю ДНК [3]–[6], [8].

Результати та обговорення

Структурна варіабельність CYP2D6 (делеції, дуплікації, гібриди з псевдогеном CYP2D7) ускладнює аналіз, тому потребує спеціалізованих методів і стандартизованих протоколів [7]. Модель Hubble.2D6, заснована на згортковій нейронній мережі, передбачає функціональну активність гаплотипів CYP2D6 із точністю близько 88 % і здатна класифікувати нові алелі [3].

У дослідженнях метаболізму тамоксифену моделі машинного навчання пояснили до 79 % варіабельності метаболізму, що перевищує точність традиційних методів (54 %) [4]. Використання безперервної шкали активності CYP2D6 дозволило знизити частку пацієнтів із низьким рівнем ендоксифену з 22 % до менш ніж 5 % [5].

Для варфарину алгоритми машинного навчання врахували поліморфізми CYP2C9 і VKORC1, підвищивши точність дозування: система з навчанням із підкріпленням досягла цільового МНВ у 80,8 % пацієнтів проти 41,6 % за стандартного підходу [6]. Ансамблеві моделі (зокрема стекована генералізація) показали кращу узгодженість між прогнозованими та реальними дозами в різних популяціях [8].

Техніка	Точність (%)	MAE (mg/day)	R^2	Застосування
RL	80.8-98.55	0.11-0.9	0.87-0.98	Динамічне дозування [6]
SVM	85.71-95.92	0.14	0.98	Гомогенні популяції [6]
RF	49.1-81.2	1.0-1.8	0.56	Внутрішня валідація [6]
CB	72.21	-	-	Імбалансовані дані [8]
LSTM	70.0	-	-	Часові ряди [6]

Висновки

Використання алгоритмів штучного інтелекту у біоінформатичному аналізі мутацій генів CYP450 дозволяє підвищити точність прогнозування метаболічного фенотипу та клінічної відповіді на терапію [3]–[6], [8]. AI-підходи забезпечують науково обґрунтовану персоналізацію фармакотерапії, знижують ризик побічних ефектів і підвищують ефективність лікування. Для повноцінного впровадження таких систем у клінічну практику необхідні подальші проспективні клінічні дослідження з оцінюванням їх безпечності та економічної доцільності [5], [6].

Список використаної літератури:

[1] C. A. Bousman et al., “CPIC Guideline for CYP2D6, CYP2C19, CYP2B6, SLC6A4, and HTR2A Genotypes and Serotonin Reuptake Inhibitor Antidepressants,” Clin. Pharmacol. Ther., vol. 114, no. 1, pp. 51–67, 2023.

[2] U.S. Food and Drug Administration, “Table of Pharmacogenetic Associations,” FDA Precision Medicine, Oct. 2022.

[3] G. McInnes et al., “Transfer learning enables prediction of CYP2D6 haplotype function,” PLoS Comput. Biol., vol. 16, no. 11, e1008399, 2020.

[4] M. van der Lee et al., “Toward predicting CYP2D6-mediated variable drug response from CYP2D6 gene sequencing data,” Sci. Transl. Med., vol. 13, no. 603, 2021.

[5] B. C. Agema et al., “Toward model-informed precision dosing for tamoxifen: A population-pharmacokinetic model with a continuous CYP2D6 activity scale,” Biomed. Pharmacother., vol. 160, Art. 114369, 2023.

[6] P. Fülöp et al., “Machine Learning for Warfarin Therapy: A Systematic Review,” Pharmaceuticals, vol. 18, no. 10, Art. 1544, 2025.

[7] A. J. Turner et al., “PharmVar Tutorial on CYP2D6 Structural Variation Testing and Recommendations on Reporting,” Clin. Pharmacol. Ther., vol. 114, no. 6, pp. 1220–1237, 2023.

[8] Z. Ma et al., “A Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Therapeutic Warfarin Dose Prediction,” Proc. 7th Int. Conf. Robot Syst. Appl. (ICRSA), 2024, pp. 59–63.

УДК 004.22:616-07

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІАГНОСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕДИЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Пікуляк М. В., Перегінець І. В.

(mykola.pikuliak@cnu.edu.ua, ivan.perehinets.24@pnu.edu.ua)

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)

В тезах досліджуються архітектурні підходи до побудови системи медичної діагностики. Запропоновано розробку моделі автоматизації діагностичних процесів, застосування якої дозволяє створити систему для медичної галузі, яка здатна ефективно доповнювати експертизу лікаря, підвищуючи точність та швидкість діагностики за рахунок комплексного аналізу доступної медичної інформації.

НТБОНТУ

Вступ. У сучасній медицині діагностичний процес є одним із найважливіших етапів надання медичної допомоги, оскільки своєчасне та точне встановлення діагнозу безпосередньо впливає на ефективність лікування та прогноз для пацієнта.

Враховуючи зростаючу кількість пацієнтів та збільшення навантаження на медичних працівників (особливо в умовах повномасштабної війни з росією), автоматизація діагностичних процесів стає актуальним завданням. Застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема методів машинного навчання, аналізу великих даних та експертних систем відкриває широкі можливості для підвищення швидкості та точності діагностування, зменшення людського фактора в ухваленні рішень та оптимізації роботи медичних установ. Саме тому дослідження процесів діагностування хвороби є актуальною задачею сьогодення, а розробка моделі автоматизації медичної діагностики є важливим кроком для подальшої програмної реалізації з метою підвищенні ефективності надання медичних послуг та забезпечення якості лікування пацієнтів.

Аналіз останніх досліджень. Розробка ефективної автоматизованої системи медичної діагностики вимагає ретельного вибору архітектурних підходів, що можуть забезпечити необхідний рівень точності та масштабованості. У контексті сучасних досягнень у галузі штучного інтелекту існує чимала кількість архітектурних рішень, які демонструють значний потенціал для застосування у медичній діагностиці [1].

Зокрема, архітектура Mixture of Experts (MoE) [3], яка концептуально передбачає розподіл складної діагностичної задачі між декількома спеціалізованими моделями (експертами), кожна з яких оптимізована для окремого типу задачі.

Математично, вихід MoE-системи можна представити як:

$$y = \sum_{i=1}^{n} g(x)_i * E_i(x),$$

де $g(x)_i$ – вага і-го експерта, визначена маршрутизатором для вхідного набору параметрів x; $E_i(x)$ – вихід і-го експерта для того ж входу.

Кожен експерт в такій моделі являє собою невелику незалежну нейронну мережу, яка функціонує окремо, виконуючи власні обрахунки, результати яких з метою отримання кінцевого виходу мережі опрацьовує нейромережевий маршрутизатор (gating network). Фактично у медичній системі отримуємо нейронну мережу з навчальними параметрами, що описують певні симптоми пацієнта, яка тренується сумісно з експертами для прийняття ефективних кінцевих рішень щодо маршрутизації.

Також важливими класами моделей, особливо ефективних для аналізу послідовностей медичних даних виступають трансформерні архітектури [2], які дозволять встановлювати складні взаємозв'язки між різними патофізіологічними ланцюгами захворювань та графові нейронні мережі (GNN) [3], використання яких дає можливість моделі враховувати не лише безпосередні симптоми, але й їхні взаємозв'язки та контекст, що особливо важливо для диференційної діагностики станів із подібною симптоматикою.

Мета статті полягає у розробці моделі автоматизації процесів медичної діагностики на основі використання техніки MoE, яка дозволяє створити програмний модуль для інтелектуальної медичної системи, що здатна швидко аналізувати введені симптоми та супутню медичну інформацію, формувати диференційований діагноз та надавати обґрунтовані рекомендації щодо лікування пацієнтів медичним працівникам.

Виклад основного матеріалу. Концептуальна модель запропонованої системи складається з чотирьох ключових компонентів, які функціонують у синергії для забезпечення процесу діагностики. Першим елементом архітектури є препроцесор/маршрутизатор, який відповідає за первинну обробку та розподіл вхідних даних. Цей компонент отримує різнорідну інформацію (текстові описи симптомів, результати лабораторних досліджень, категоріальні дані про наявність чи відсутність певних ознак) і здійснює їх структурування та направлення відповідним експертам.

Другим ключовим компонентом архітектури є набір спеціалізованих експертів, що формують основу моделі MoE. Структура експертів розроблена з урахуванням особливостей різних типів медичної інформації (таких як температура тіла, артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, результати лабораторних досліджень, показники інструментальних методів діагностики та інші кількісні параметри), що дозволяє досягти вищої точності діагностики порівняно з універсальними моделями. Для конкретного клінічного випадку контролюючий механізм (gating network) використовує байєсівські мережі ймовірностей [4] з метою прийняття рішення про активацію та

пріоритезацію кожного експерта.

Третім компонентом системи є агрегатор результатів, який збирає та узагальнює висновки окремих експертів. Агрегатор використовує спеціалізований алгоритм зважування для об'єднання результатів аналізу різних типів даних, враховуючи рівень впевненості кожного експерта та значущість конкретних ознак для діагностики. Основне його завдання полягає у виявленні специфічних комбінацій симптомів, характерних для певних захворювань та визначенні пріоритетності різних діагностичних ознак. Для побудови прогнозних моделей експертів застосовуються такі алгоритми градієнтного бустингу, як CatBoost та XGBoost [5]. Методи базуються на ітеративному покращенні слабких моделей шляхом мінімізації функції втрат за допомогою градієнтного спуску у функціональному просторі.

Четвертим компонентом архітектури є динамічний механізм зворотного зв'язку, який аналізує невизначеності в проміжних діагностичних висновках та ідентифікує додаткову інформацію, необхідну для уточнення діагнозу. Цей механізм впроваджує адаптивний підхід до діагностики через генерацію цілеспрямованих уточнюючих запитань, що дозволяє системі активно збирати додаткові дані, зменшуючи невизначеність та підвищуючи точність діагностики. Він функціонує як інтелектуальний посередник між моделлю MoE та користувачем системи, здійснюючи цілеспрямований збір додаткової інформації для підвищення точності діагностики. Механізм реалізовано як байєсівська система прийняття рішень, де кожне нове питання вибирається таким чином, щоб максимізувати очікуване зменшення ентропії в розподілі ймовірностей діагнозів.

Отже, послідовність обробки даних у системі, відповідно до запропонованої моделі, відбувається за чітко визначеним алгоритмом:

1) на початковому етапі користувач (лікар або пацієнт) вводить доступну інформацію про стан здоров'я, включаючи описи симптомів, результати вже проведених обстежень та іншу релевантну медичну інформацію;

2) препроцесор отримує ці дані, здійснює їх первинний аналіз та структурування, після чого розподіляє їх між спеціалізованими експертами відповідно до типу інформації;

3) кожен експерт обробляє отриману інформацію, застосовуючи власні алгоритми аналізу та формує попередні висновки щодо можливих діагнозів із відповідними ймовірностями;

4) агрегатор об'єднує результати всіх експертів, формуючи узагальнений список ймовірних діагнозів;

5) далі, механізм зворотного зв'язку аналізує отримані результати, визначає області невизначеності та формує уточнюючі запитання для користувача;

6) після отримання відповідей на ці запитання система запускає новий цикл аналізу з урахуванням додаткової інформації. Цей процес повторюється ітеративно, доки не буде досягнуто достатнього рівня впевненості в діагнозі або вичерпано можливості для збору додаткової інформації (рис. 1):

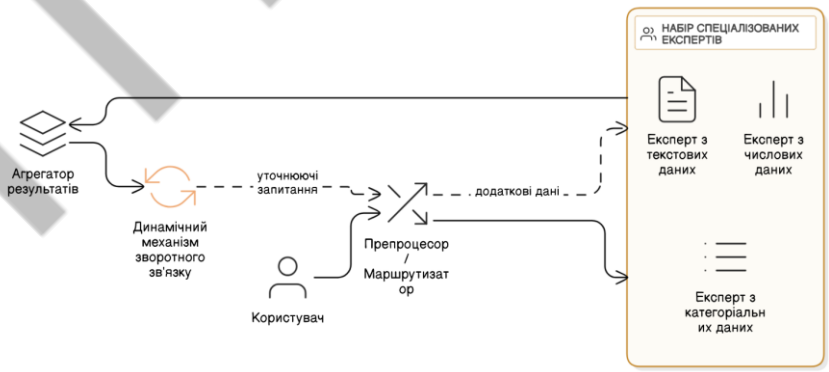


Рисунок 1 – Діаграма взаємодії ключових компонентів

Висновки. Проведене дослідження з побудови моделі автоматизації системи медичної діагностики ґрунтується на сучасних архітектурних підходах до розробки програмного забезпечення. Запропонована авторами модель розроблена на основі підходу MoE, використання якого дозволило застосувати відомі методи штучного інтелекту в медицині для підвищення точності, надійності та адаптивності діагностичних рішень шляхом поєднання декількох

спеціалізованих моделей-експертів, кожна з яких відповідає за аналіз конкретних аспектів медичних даних.

Дана модель служить основою для розробки медичної діагностичної системи, яка здатна усунути низку обмежень відомих програмних рішень, а саме дозволить якісно доповнювати експертизу лікаря, зокрема, спеціалізацію на вузьких напрямках; знизить високу вартість впровадження; розширить обмежену інтеграцію з медичними системами; підвищить ефективність завдяки модульній структурі та адаптивному механізму вибору експертів і надасть більш універсальний, точний та доступний діагностичний інструмент для сучасної медичної галузі.

Список використаної літератури

1. Pikuliak M., Kuz M., Lazarovych I., Kuzyk Y., Skliarov V. "Method of determining the parameter of qualitative evaluation of a web forum," Radio Electronics, Computer Science, Control. 2024. No 3, pp.151-159. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-13.

2. Raffel C., Shazeer N., Roberts A., Lee K., Narang S., Matena M., Zhou Y., Li W., Liu P. J. "Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer," The Journal of Machine Learning Research. 2020. No 21 (1), pp 5485–5551.

3. Графові нейронні мережі (GNN). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Graph_neural_network (дата звернення: 16.09.2025).

4. Бідюк П.І., Терентьєв О.М., Коновалюк М.М. "Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних," Штучний інтелект. 2010. № 2. С. 104-113. URI: https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/56141.

5. Friedman J. H. "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine," The Annals of Statistics. 2001. № 29(5), С. 1189–1232. URI: http://www.jstor.org/stable/2699986.

КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ СТРУМІВ У СЕРЦІ ЗА ДАНИМИ МАГНІТОКАРДІОГРАФІЇ

Риженко Т.М., Чайковський І.А., Будник М.М. (tata.ryzhenko@gmail.com, illya.chaikovsky@gmail.com, budnykmykola@gmail.com)

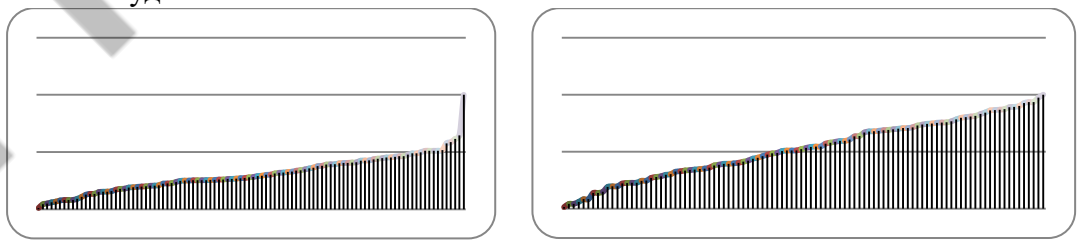
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (Україна)

Вступ: На сучасному етапі розвитку медицини однією з актуальних проблем залишається своєчасна діагностика кардіологічних захворювань, особливо на ранніх стадіях їх розвитку, що має вирішальне значення для підвищення ефективності лікування та покращення прогнозу пацієнтів. Використання новітніх методів дослідження, зокрема магнітотокардіографії (МКГ), сприяє підвищенню ефективності діагностики кардіологічних захворювань [1]. Метою даної роботи є розроблення методики візуалізації областей підвищеної щільності електричного струму в міокарді на основі МКГ-даних, що продовжує дослідження, розпочаті в [2].

1. **Алгоритм досліджень**.

Алгоритм досліджень включає наступні етапи:

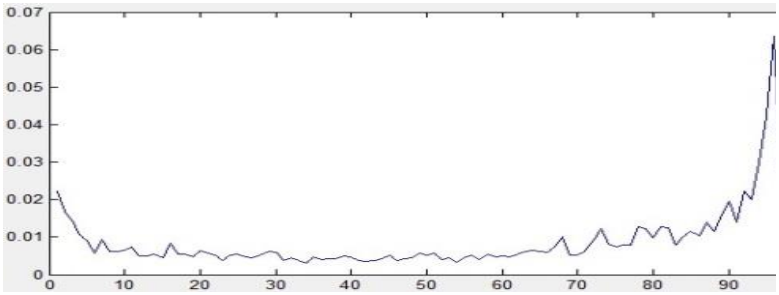
1. Упорядковуємо 100 векторів струму карти розподілу густини струму (РГС) в порядку зростання амплітуди.



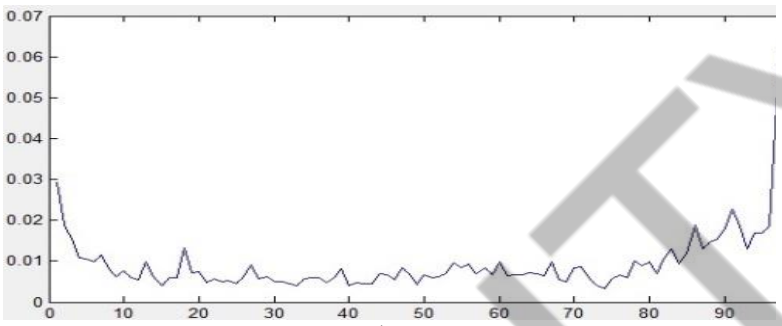
а) здоровий б) хворий

Рис. 1 - Обернена функція розподілу (ФР) амплітуд векторів струму карти РГС.

2. Обчислюємо спектр щільність розподілу амплітуд векторів як похідну від оберненої ФР усередненої по набору карт РГС.



а



б

Рис.2 - Спектр (похідна від оберненої ФР) амплітуд векторів струму для здорового (а) та хворого (б).

3. Вибираємо нижню та верхню відсічки по графіку спектру амплітуд векторів.

Особа	Нижня відсічка	Верхня відсічка
Здоровий	20%	70%
Хворий	15%	80%

4. Обраховуємо коефіцієнт компактності Kj для j-ї карти РГС та середній коефіцієнт компактності K по набору карт

$$K_j = \frac{\sum_{i=N}^{100} A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_I}, \ \overline{K} = \frac{\sum_{j=1}^{M} k_j}{M} \qquad (1)$$

де n(N) – нижня (верхня) відсічка по амплітуді векторів струму (порядковий номер вектора струму), M – кількість карт РГС у наборі для даного обстеженого.

5. Обчислюємо середню відстань між k-м вектором та іншими сильними векторами (номер яких більше верхньої відсічки), де G – к-ть сильних векторів, *RIK* – відстань між двома векторами.

$$\overline{rk} = \frac{\sum_{i=1}^{G} r_{ik}}{G}, \quad RIK = \sqrt{\left((x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2\right)}, \ \text{G=100-N.} \qquad (2)$$

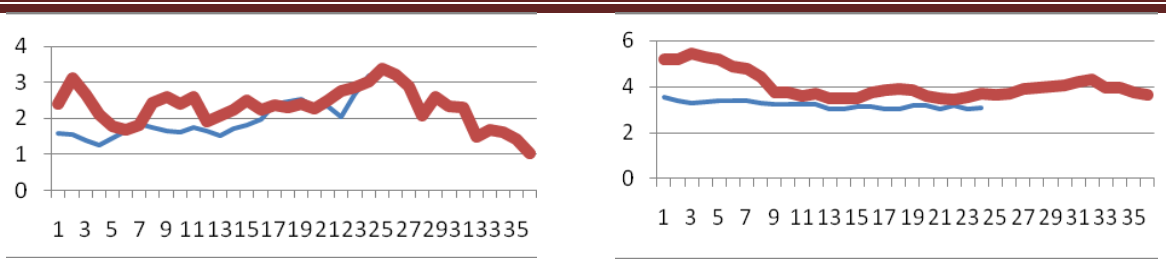
6. Обрахуємо середню відстань між сильними векторами Rj на j-й карті та по набору карт R.

$$\overline{R_j} = \frac{\sum_{k=1}^{G} \overline{rk}}{G}, \quad \overline{R} = \frac{\sum_{j=1}^{M} \overline{R_j}}{M} \qquad (3)$$

Результати кількісних обчислень наведено в таблиці нижче

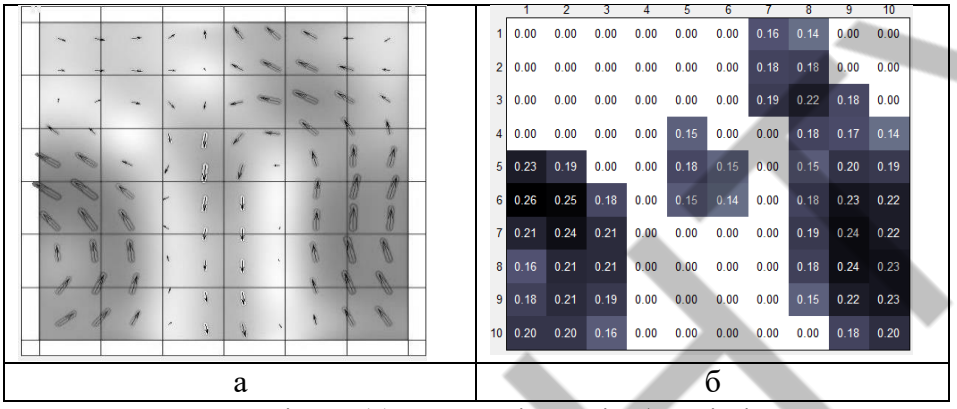
Обстежений	K	$\bar{R}$
Здоровий	2,308	4,046
Хворий	1,922	3,211
Відносна зміна	-16,7%	-20,6%

НТБОНТУ



а б

Рис.3 - Залежність (а) коефіцієнту компактності Kj (1) та (б) середньої відстані Rj (3) протягом хвилі T кардіоциклу: здоровий – товста лінія, хворий - тонка лінія.



а б

Рис.4 - Карта РГС хворого пацієнта (а) та локалізовані області підвищеної густини струмів (б) при відсічці по амплітуді 52%.

2. Аналіз результатів.

На основі порівняння представлених карт можна зробити висновок, що підхід, заснований на відсічці за амплітудою струмів, забезпечує достатньо достовірну локалізацію областей електричної активності в серцевому м'язі. З рисунка 4б видно наявність трьох таких областей, тоді як з аналізу карти РГС це не є очевидним: третя, центральна, область має незначні розміри та слабко виражена.

Для проведення діагностики необхідно мати інформативні кількісні параметри. У даній роботі запропоновано два таких показники — коефіцієнт компактності та середню відстань між найбільш інтенсивними струмами. З аналізу таблиці видно, що обидва параметри є інформативними, оскільки їхні значення у пацієнта з патологією на 17–20 % менші, ніж у здорової особи, при цьому відмінність середньої відстані є більш вираженою (на 3 %).

Крім того, перевага даного параметра спостерігається й на рисунку 3б, який демонструє, що у хворого протягом хвилі T значення параметра менше і практично не змінюється, тоді як у здорового воно має мінімум, що корелює з максимумом хвилі T. Це свідчить про підвищення локалізації області електричної активності, що також підтверджується морфологічним аналізом карт РГС. З іншого боку, характер змін коефіцієнта K як у здорового, так і у хворого пацієнта залишається не до кінця зрозумілим і потребує подальшого дослідження.

Висновки: У роботі наведено результати оброблення карт розподілу струмів та розроблення методик візуалізації областей електричної активності серця на основі даних магнітокардіографії. Проведений аналіз кількісних параметрів, призначених для оцінювання ступеня локалізації електричної активності на картах розподілу густини струму (РГС), засвідчив перевагу параметрів, що грунтуються на відстані між найбільш інтенсивними векторами струму, порівняно з параметрами, сформованими на основі амплітуд векторів.

Список використаної літератури

1. M. Budnyk, I. Chaikovsky, V. Sosnytskyi et al. Metodical guides on chronic coronary artery disease diagnostics by method magnetocardiography // Glushkov Institute for Cybernetics, Kyiv Medical Group Ltd, Kyiv (Ukraine). – 2012. – 47 p.

2. Engelhardt, E., Elzenheimer, E., Hoffmann, J., Meledeth, C., Frey, N., & Schmidt, G. Non-Invasive Electroanatomical Mapping: A State-Space Approach for Myocardial Current Density Estimation. Bioengineering, - 2023, 10(12), 1432. doi:10.3390/bioengineering10121432

3. Sheltraw, D.J. Current Density Imaging through Acoustically Encoded Magnetometry: A Theoretical Exploration. – 2014.

4. Hosaka, S., & Cohen, D. Hosaka–Cohen transformation. Journal of Electrocardiology, - 1983, 16(4), 333–336.

5. Удовиченко Є. Є. Методи аналізу даних, отриманих з допомогою магнітокардіографії. Електроніка та зв'язок: науково-технічний журнал, - 2016, 21(3), 40–50. DOI:10.20535/2312-1807.2016.21.3.59838.

УДК 654.165 (043)

ІНФОЛОГІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ СТВОРЕННІ ЕЛЕКТРОННОГО ПОМІЧНИКА ЛІКАРЯ

Смолін Ю.О., Кононихін О.Д.
(uas8735@gmail.com, aleksey.kononykhyn@gmail.com)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Запропоновано створення електронного помічника лікаря загальної практики на основі застосування інфологічної системи, що дозволяє реалізувати багатоступеневу методику обстеження пацієнтів, використовуючи знання про ретроспективні періоди прояву захворювань і передові методи їх діагностування та лікування із залученням даних додаткових обстежень. За результатами структурної декомпозиції тексту формується XML-файл, який є таблицею ранжованих за значущістю використовуваних смислових одиниць (термінів або понять) та їх зв'язків один з одним, і що містить компактне відображення семантичної сутності тексту. Надалі отримані XML-файли описів пацієнтів (щодо стану здоров'я, анамнезу та результатів об'єктивного обстеження лікаря загальної практики) порівнюються з наявними XML-файлами антологій.

Постановка проблеми.

Загальна цифровізація даних у різних сферах діяльності суспільства не оминає і сферу охорони здоров'я. Виконання вимог регламентуючих документів Міністерства охорони здоров'я України щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров’я [1] забезпечує доступ до інформаційно-телекомунікаційної мережі Інтернет та створення умов для підвищення доступності та якості медичної допомоги нерозривно пов'язане з формуванням, зберіганням, обробкою та використанням цифрових даних у системах інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності медичних установ.

Особливу роль у наданні первинної медико-санітарної допомоги населенню виконують лікарі загальної практики (сімейні лікарі). Загальна практика є однією з форм організації первинної медико-санітарної допомоги. Лікар загальної практики (сімейний лікар) — це спеціаліст, широко орієнтований в основних лікарських спеціальностях, здатний надати багатопрофільну амбулаторну допомогу при найбільш поширених захворюваннях і невідкладних станах. Тобто, цей фахівець повинен добре володіти різними лікарськими спеціальностями (терапією, хірургією, неврологією, педіатрією та ін.). Це досить великий обсяг медичних знань, а час на прийняття остаточного рішення щодо встановлення діагнозу та надання медичної допомоги може бути обмежений.

У цій ситуації незамінним може виявитися електронний помічник лікаря загального профілю.

Мета і задачі роботи.

НТБ ОНТУ

Такий електронний помічник лікаря загального профілю повинен функціонувати на основі інфологічної обробки звернень пацієнтів та змісту можливих скарг хворих, класифікованих за групами окремих захворювань.

Подібний підхід частково пропонувався для організації електронного запису хворих на прийом до фахівця, але у випадку формування електронного помічника лікаря потрібно вирішити такі задачі:

- уточнення загальної методики інфологічної обробки текстових документів, пов'язане із встановленням попереднього та остаточного діагнозів;
- формування детальної багатоетапної технології інформаційної взаємодії лікаря загальної практики з інфологічною системою для встановлення попереднього діагнозу, а також діагностичних фахівців для узагальнення даних додаткових обстежень;
- можливість оцінювання результативності технології, що пропонується.

Основна частина.

У найбільш загальному вигляді реалізація інфологічного способу обробки звернень пацієнтів передбачає наявність інфологічної системи, орієнтованої на зберігання та спільну обробку тематичних антологій [2]. Ці антології формуються фахівцями у вигляді списків:

- можливих скарг;
- проявів перебігу захворювань;
- переліку описів пацієнта щодо свого стану здоров'я, доповнених даними об'єктивного огляду.

Процес інфологічної обробки антологій та вступних переліків скарг з даними об'єктивного огляду передбачає виконання структурної декомпозиції текстів та порівняння семантичних сутностей текстів з метою їх кластеризації.

За результатами структурної декомпозиції тексту формується XML-файл, який є таблицею ранжованих за значущістю використовуваних смислових одиниць (термінів або понять) та їх зв'язків один з одним, і що містить компактне відображення семантичної сутності тексту. Надалі отримані XML-файли описів пацієнтів (щодо стану здоров'я, анамнезу та результатів об'єктивного обстеження лікаря загальної практики) порівнюються з наявними XML-файлами антологій.

За результатами порівняння приймається рішення про віднесення конкретного опису пацієнта до однієї з наявних антологій.

Встановлення діагнозу та подальше обстеження

Таким чином, може бути автоматично сформована пропозиція щодо попереднього діагнозу, яка розглядається лікарем загальної практики та, за необхідності, уточнюється.

Віднесення описів пацієнтів на стан здоров'я (доповнене результатом об'єктивного огляду та анамнезом) до конкретної антології та, тим самим, встановлення попереднього діагнозу дозволяє в автоматичному режимі сформувати методику подальшого обстеження. Мета цього обстеження — об'єктивне підтвердження наявності захворювання на основі даних лабораторних та інших діагностичних досліджень. Очевидно, що така методика має бути заздалегідь сформована та міститися як доповнення до наявних антологій.

Направляючи пацієнта на лабораторні обстеження, лікар загальної практики залучає до уточнення попереднього діагнозу необхідних фахівців діагностичних кабінетів. Ці фахівці спеціалізуються на аналізі та узагальненні результатів додаткових обстежень, які у вигляді відповідних висновків доповнюють попередній текстовий опис стану організму пацієнта.

У такому описі вже міститимуться:

- описи скарг пацієнта;
- результати об'єктивного огляду лікаря загальної практики;
- анамнез;
- висновки діагностичних фахівців за результатами додаткових обстежень.

Зазначений опис лікарем загальної практики (або в інтерактивному режимі кожним фахівцем) переводиться в стандартну електронну карту пацієнта. Після заповнення ця карта автоматично повторно надходить на інфологічну обробку. За результатами цієї обробки автоматично буде сформований проєкт остаточного діагнозу для даного пацієнта.

Вивчивши запропонований проєкт, лікар загальної практики отримує можливість прийняти об'єктивне рішення щодо встановлення діагнозу, а також в автоматичному режимі сформувати необхідні документи для організації лікування хворого, а саме:

- лист непрацездатності;
- направлення на амбулаторне або стаціонарне лікування;
- рецепти на медичні препарати тощо.

Висновки.

1. Таким чином, показано принципову можливість застосування інфологічної систем, з уточненням загальної методики інфологічної обробки текстових документів, для формування електронного помічника лікаря загальної практики, що забезпечує багатоступеневу методику обстеження пацієнтів.

2. Більш детально сформульовані і конкретизовані окремі етапи багатоетапної технології інформаційної взаємодії лікаря загальної практики з інфологічною системою для встановлення попереднього діагнозу, а також діагностичних фахівців для узагальнення даних додаткових обстежень.

3. Показано, що результативність кожного етапу такої технології багато в чому залежить від коректності постановки експериментальних досліджень, спрямованих на встановлення кількісних значень критеріїв семантичної близькості текстових описів стану пацієнта та антологій, що характеризують ознаки прояву захворювань.

Список використаної літератури

[1] Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я. Наказ міністерство охорони здоров'я України № 681 від 19.10.2015.

[2] *Global strategy on digital health 2020-2025.* Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

УДК 004.056:616-073:342.7

ЗАХИСТ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ПАЦІЄНТІВ У ЗАКЛАДАХ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Ханенко О. І., Рибак В. Т., Мацькевич В.М.
(olenahanenko@gmail.com , ribakvika609@ukr.net, vmatskevych@ifnmu.edu.ua)
Івано-Франківський національний медичний університет (Україна)

У сучасній медицині цифровізація значно розширила використання фото- та відеоматеріалів у клінічній практиці, наукових дослідженнях і навчанні, що водночас підвищило ризики витоку конфіденційної інформації. Забезпечення захисту персональних та медичних даних пацієнтів є критично важливим для підтримання довіри до медичної системи та дотримання законодавства. У закладах охорони здоров'я використовуються електронні системи архівування, методи шифрування (AES-256), багатофакторна автентифікація та анонімізація для захисту даних. Спеціальні технології, зокрема стеганографія, дозволяють приховувати інформацію в цифрових зображеннях, що особливо актуально для рентгенології та телемедицини. Неналежний захист може призвести до витоку приватних відомостей, юридичної відповідальності та репутаційних втрат. Закон України «Про захист персональних даних» регламентує доступ до медичної інформації, обмежуючи його випадками загрози життю або рішенням суду. Конфіденційність зображень є невід'ємною складовою медичної етики, права пацієнтів та безпечної цифрової медицини.

Ключові слова: *конфіденційність, медичні дані, захист приватної інформації, медичне право, цифрова безпека, кібератаки.*

Постановка проблеми. У часи цифровізації медицини зросло застосування фото- та відеоматеріалів у лікуванні, наукових досліджень та освітньому процесі студентів-медиків. Водночас підвищується ризик витоку персональних даних і порушення права пацієнтів на

конфіденційність. Це може призвести до витоків приватної інформації, що за собою потягне юридичну відповідальність закладів охорони здоров'я, втрату довіри в пацієнтів та репутаційні втрати. Тому забезпечення захисту даних пацієнтів є ключовим завданням сучасної медичної практики.

Мета: проаналізувати розробки надійної системи забезпечення конфіденційності зображень на всіх етапах. Дослідити нормативно-правові засади захисту даних пацієнтів у медичних закладах, а також розробити рекомендації підвищення рівня захисту даних і збереження довіри між лікарем і пацієнтом.

Методи дослідження. Аналіз наукової літератури за ключовими слова в міжнародній базі PubMed та українських платформах.

Суть дослідження. Медичні працівники щодня працюють із великою кількість конфіденційної інформації, до якої належать: персональні, «чутливі», медичні дані та лікарська таємниця. Персональні дані — це інформація, що прямо ідентифікує або дає змогу ідентифікувати конкретну людину. «Чутливі»— це дані, оброблення яких становить особливий ризик для прав і свобод людини. До них належить: расове або етнічне походження, політичні або світоглядні переконання, кримінальні покарання, дані стосовно статевого життя. Медичні дані в закладах охорони здоров'я— це інформація про стан здоров'я пацієнтів у будь-якій формі (усна інформація, фізичні та електронні записи).

У закладах охорони здоров'я електронно зберігаються медичні зображення, результати аналізів, лікарські записи, а також інформація про призначені ліки та алергічні реакції. Одним із головних принципів роботи лікаря є «не нашкодити», що також передбачає обов'язок захищати вашу конфіденційність. Медичні заклади повинні гарантувати конфіденційність та безпеку вашої електронної медичної інформації. Якщо ви підозрюєте несанкціонований доступ до ваших даних, якнайшвидше зверніться до свого лікаря або відповідної медичної установи. Лікарі потребують доступу до вашої медичної інформації, щоб оперативно приймати обґрунтовані рішення щодо вашого лікування. Водночас ви маєте право контролювати, хто саме може переглядати ці дані або передавати їх іншим особам. Медичні заклади впроваджують та постійно вдосконалюють заходи безпеки для захисту вашої медичної інформації. Лікарі зобов'язані фіксувати, як саме використовуються ваші дані, інформувати вас про свою політику конфіденційності та повідомляти про будь-які випадки витоку інформації [1].

Для захисту конфіденційності рентген-зображень пацієнтів в лікарні використовують технічні та організаційні заходи: системи архівування зображень, які шифрують дані та контролюють доступ; принципи радіаційного захисту; політика доступу та правил обробки медичної інформації. Для шифрування даних використовують стеганографію, яка приховує інформацію в іншому цифровому вмісті. Цей метод застосовують для передавання або зберігання даних без підозр збоку хакерів, що перехоплюють інформацію. Використовується як доповнення до криптографії. Найбільш поширена стенографія зображень, яка може використовувати будь-які зображення, однак найчастіше— відтінки сірого. Тому цей метод актуальний для рентгенівських знімків. Звіти радіологів про знімок зберігаються і шифруються разом з ним у прихованому вигляді [2].

У сучасній медицині дуже важливе місце посідає віддалена радіологія. Ключовою загрозою у даній сфері є ризик несанкціонованого доступу до конфіденційних даних. Радіологічні зображення містять чутливу інформацію про стан здоров'я пацієнтів, що приваблює кіберзлочиців. Викрадення приватної інформації може призвести до шантажу, незаконного продажу або неправильної діагностики захворювання. Тому шифрування персональних даних у цьому випадку є необхідним. В Україні для захисту даних у віддаленій радіології використовують комплексну систему захисту інформації. Для збереження конфіденційності використовують сучасні методи шифрування, зокрема стандарт AES-256, що широко застосовується для захисту переданих зображень і звітів. Також важливою складовою є багатофакторна автентифікація користувачів, яка мінімізує ризик доступу сторонніх осіб. Окреме місце посідає анонімізація медичної інформації. Перед передачею зображень чи звітів персональні дані пацієнта видаляються або замінюються спеціальними індентифікаційними кодами [3].

В Україні діють законодавчі акти, що регулюють обіг медичної інформації, зокрема Закон України «Про захист персональних даних». Цей закон постановляє, що пацієнт має право на отримання та збереження медичної інформації про себе. Це включає доступ до медичної

документації, відомостей про лікаря, його кваліфікації, договори з лікарнею, дані про виконані послуги та якість наданої допомоги. Доступ до персональних даних пацієнта без його згоди можливе лише у трьох випадках: при загрозі його життю, неможливості отримати згоду або за рішенням суду [4].

Висновок: Забезпечення конфіденційності зображень пацієнтів у закладах охорони здоров'я є невід'ємною частиною дотримання прав людини, медичної етики та вимог законодавства щодо захисту персональних даних. Фотографії, рентгенівські знімки, результати томографії та інші види медичної візуалізації належать до чутливої інформації, розголошення якої може порушити приватність пацієнта й підірвати довіру до системи охорони здоров'я. Для захисту медичних зображень заклади охорони здоров'я мають впроваджувати внутрішні правила їх обробки, контролювати доступ, використовувати відповідні засоби безпеки та отримувати інформовану згоду пацієнта. Важливою є також відповідальність медичного персоналу, який зобов'язаний дотримуватись етичних норм і не розголошувати персональні дані.

Список використаної літератури

1. Radiological Society of North America (RSNA); American College of Radiology (ACR). Medical Information Privacy [Електронний ресурс] // RadiologyInfo.org. – 2025. – Режим доступу: http://www.radiologyinfo.org (дата звернення: 27.09.2025р.).

2. Jameel, E. A., Fadhel, S. A. Hiding health report in X-ray images to protect people privacy. TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control. 2022. Vol. 20, No. 3. P. 580–587. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v20i3.23298.

3. Ковшова, А. «Безпека та конфіденційність у віддаленій радіології» [Електронний ресурс] / Алла Ковшова. — 16.08.2024. — Режим доступу: https://radiolance.ua/bezpeka-ta-konfidentsijnist-u-viddalenij-radiologiyi/ (дата звернення: 27.09.2025р.).

4. Сенюта, І. «Захист персональних даних у сфері охорони здоров'я: Ірина Сенюта розповіла про дієві інструменти в роботі адвоката» [Електронний ресурс] / Ірина Сенюта. — 09.11.2022. — Режим доступу: https://advokatpost.com/zakhyst-personalnykh-danykh-u-sferi-okhorony-zdorov-ia-iryna-seniuta-rozpovila-pro-diievi-instrumenty-v-roboti-advokata/ (дата звернення: 27.09.2025р.).

УДК 004.9; 004.8

АНСАМБЛЬ ЛІНІЙНИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З АГРЕГУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА ПРИНЦИПОМ «ПЕРЕМОЖЕЦЬ ЗАБИРАЄ УСЕ»

Чесанов С. В. (serhii.chesanov.mknssh.2024@lpnu.ua),
Ізонін І. В., Гентош Л. І., Гаврилюк М.А.
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У роботі розроблено новий метод бінарної класифікації у випадку аналізу вибірок даних мало обсягу. В його основі покладено новий ансамбль однорідних лінійних методів машинного навчання з агрегуванням за принципом «переможець забирає усе». Експериментальним шляхом встановлено підвищення точності класифікації у порівнянні з базовими лінійними методами і зниження обчислювальної складності у порівнянні з базовими ансамблевими методами.

Ансамбль методів машинного навчання є одним із перспективних підходів для підвищення точності розв'язання задач класифікації. У більшості сучасних досліджень перевага надається нелінійним ансамблям, оскільки вони здатні моделювати складні залежності між ознаками та демонструють високу точність на різноманітних наборах даних. Водночас надмірна гнучкість нелінійних моделей може призводити до перенавчання, особливо у випадку малих вибірок даних. В той же час, моделі з меншою складністю, зокрема лінійні класифікатори, можуть забезпечувати кращу узагальнювальну здатність за обмеженої кількості навчальних прикладів [1]. Це робить лінійні ансамблі доцільною альтернативою у задачах бінарної класифікації на малих вибірках даних, попри їхню нижчу виразну силу порівняно з нелінійними методами.

У межах цієї роботи розроблено ансамбль однорідних незалежних лінійних методів, що працюють у межах декомпозиційної стратегії «один проти всіх», де кожен класифікатор навчається відповідати за розмежування певного класу проти решти. На відміну від традиційного усереднення оцінок, для агрегування результатів роботи цього ансамблю застосовано правило «переможець забирає все», за яким остаточний прогноз визначається моделлю з найбільшим рівнем впевненості.

В основі практичної реалізації ансамблю однорідних лінійних методів покладено регресори, що намагаються спрогнозувати бінарні мітки. Для цього всі ознаки спочатку нормалізуються по стовпцях, ділячи кожне значення на абсолютне максимальне значення відповідного стовпця вибірки. Далі виконується нормалізація по рядках: кожен вектор ознак об'єкта приводиться до одиничної довжини за L2-нормою або за методом [2], що передбачає повторне L2-нормування після додавання компоненти початкової норми.

Навчання ансамблю здійснюється окремо для кожного класу у рамках стратегії «один проти всіх». Регресор прогнозує значення 1 для цільового класу і 0 для всіх інших, а у самій роботі в якості базових регресорів використано GTM [3], Ridge та SVM з лінійним ядром. Кожен класифікатор отримує бінаризовані мітки, фіксуються мінімальні та максимальні значення вихідної оцінки на навчальній вибірці для подальшого масштабування. На етапі застосування кожен регресор формує числову оцінку нового об'єкта, після чого всі результати агрегуються за принципом «переможець забирає все». Остаточний клас визначається як той, чиє значення є максимальним, при цьому можливе попереднє масштабування у діапазоні [0,1] за нормованими межами, визначеними на етапі навчання.

Для оцінки моделі обрано набір медичних даних, задача якого полягає у визначенні летальності пацієнтів з політравмою для вибірки даних, яка містить 72 пацієнтів та 63 атрибути.

В табл. 1 вказано тестові та тренувальні значення метрик, що використовувались для оцінки точності методу.

Як видно з табл. 1, розроблений метод з використанням лінійного регресора Ridge під час аналізу досліджуваного набору даних виявився найточнішим.

Табл. 1. Результати

	GTM	SVM	Ridge
Train Accuracy	96.2 ± 2.1	93.7 ± 1.8	**97.2 ± 2.1**
Test Accuracy	88.7 ± 8.6	91.5 ± 7.0	**92.9 ± 6.4**
Train Precision	95.9 ± 2.1	93.4 ± 1.8	**96.9 ± 2.2**
Test Precision	89.0 ± 8.8	91.4 ± 7.0	**93.2 ± 6.1**
Train Recall	96.5 ± 2.0	94.3 ± 1.8	**97.5 ± 2.1**
Test Recall	88.8 ± 8.3	92.2 ± 6.9	**93.3 ± 6.1**
Train F1-Score	96.1 ± 2.1	93.6 ± 1.8	**97.2 ± 2.1**
Test F1-Score	88.5 ± 8.6	91.5 ± 7.1	**92.8 ± 6.5**
Train MCC	0.924 ± 0.04	0.876 ± 0.036	**0.944 ± 0.042**
Test MCC	0.777 ± 0.17	0.836 ± 0.139	**0.865 ± 0.122**
Train Cohen Kappa	0.922 ± 0.042	0.873 ± 0.036	**0.943 ± 0.043**
Test Cohen Kappa	0.771 ± 0.171	0.83 ± 0.14	**0.857 ± 0.128**

Також, для демонстрації ефективності розробленого ансамблю, виконано порівняння з базовими лінійними та ансамблевими методами класифікації (рис. 1.)

НТБОНТУ

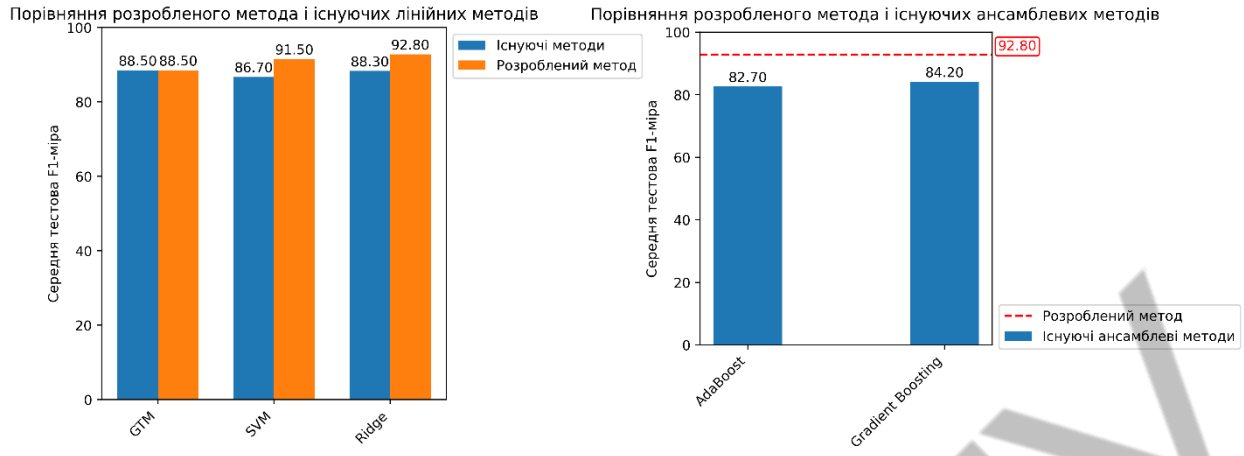


Рис. 1. Порівняння розробленого методу з існуючими базовими лінійними та ансамблевими методами

Як видно з отриманих результатів, розроблений ансамбль лінійних методів машинного навчання демонструє стабільне підвищення точності класифікації порівняно з окремими лінійними методами, що використовувалися як базові. Хоча й покращення для GTM не має, покращення середньої тестової F1-міри для SVM та Ridge становить 4.8% та 4.5% відповідно Водночас порівняння з класичними ансамблевими методами AdaBoost та Gradient Boosting показує, що розроблений метод перевершує їх на 10.1% та 8.6% відповідно, що підтверджує ефективність його використання на практиці.

Список використаної літератури

1. V. Vapnik and A. Chervonenkis, "On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities," *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, vol. 181, no. 4, pp. 781–783, 1968.
2. Izonin, R. Tkachenko, N. Shakhovska, and B. Ilchyshyn, "A Two-Step Data Normalization Approach for Improving Classification Accuracy in the Medical Diagnosis Domain," *Mathematics*, vol. 10, no. 11, p. 1942, Jun. 2022, doi: 10.3390/math10111942.
3. P. Vitynskyi, R. Tkachenko, I. Izonin, and H. Kutucu, "Hybridization of the SGTM Neural-Like Structure Through Inputs Polynomial Extension," in *Proc. 2018 IEEE Second Int. Conf. Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 386–391, doi: 10.1109/DSMP.2018.8478456.

УДК 004.9

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР У СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

Шевченко Д.Г. (dash37979@gmail.com),
Дзіміна А.А. (angela.dzimina@gmail.com)
Вінницький національний технічний університет (Україна)

Анотація: *у цій статті досліджено роль комп'ютерних ігор у сучасному суспільстві. Досліджено розвиток індустрії за останні роки і стрімке проникнення у всі сфери людського життя. Розглянуто використання комп'ютерних ігор у освіті, бізнесі, медицині, військовій справі та маркетингу.*

Ключові слова: *комп'ютерні ігри, освіта, гейміфікація, бізнес, військова підготовка, цифрова культура, маркетинг.*

Вступ

Комп'ютерні ігри виникли наприкінці XX століття і за ці роки значно вплинули на наше дозвілля, спілкування, культуру, економіку і навіть спосіб людського мислення. За останні десятиліття ця індустрія досягла пікового рівня розвитку і перетворилася на одну з наймасовіших форм цифрової культури, залучивши рекордну кількість користувачів. За даними проведених досліджень, індустрія комп'ютерних ігор уже вийшла на один рівень з кіно та музикою [1]. Згідно

НТБОНТУ

з аналітичним звітом Newzoo Global Games Market Report, складеним у 2024 році, понад 3,3 млрд людей у світі регулярно грають у відеоігри. Обсяг індустрії нині перевищує 180 млрд доларів США. Ці цифри вражають, але не менш визначним є те, що аналітичні компанії прогнозують до 2029 року зростання наведеної цифри майже вдвічі – до 307,19 млрд USD [2]. Отже, у найближчі роки ми спостерігатимемо навіть більший приплив користувачів до ігрової індустрії, ще більше проникнення цієї сфери у людське життя. Такі інновації і перспективи турбують сучасне суспільство, адже разом з усіма позитивними аспектами, які пропонуються, ігри часто мають негативний вплив на користувачів. Тому метою цієї роботи є розвінчання міфу про виключну шкоду і висвітлення важливості використання комп'ютерних ігор у всіх основних сферах життя людини.

Використання комп'ютерних ігор у різних сферах життя людини

Завдяки рекордно стрімкому розвитку цієї галузі та технологій комп'ютерні ігри перестали бути виключно розвагою. Сьогодні вони активно застосовуються у багатьох сферах життя: освіті, медицині, бізнесі, військовій справі, реабілітації та навіть у мистецтві. Моделювання ситуацій, взаємодія з віртуальним середовищем, система досягнень і зворотного зв'язку – це саме ті переваги комп'ютерних ігор, які дозволяють досягати найрізноманітніших навчальних, терапевтичних і дослідницьких цілей користувача.

Освіта та професійна підготовка

Освіта є тією галуззю, яка на даний момент найбільше інтегрувала сучасні гейміфікаційні технології. Освітні симулятори та ігрові платформи, наприклад, Minecraft Education Edition, Kahoot! чи Duolingo є дуже популярними, адже зазвичай не здаються академічними. Саме тому використання таких програм дає можливість з легкістю зацікавити учнів. Ігровий формат забезпечує вищий рівень залученості, розвиває логічне мислення, здатність приймати рішення і співпрацювати з колегами. Найбільш значущим є використання цифрових гейміфікованих тренажерів для відпрацювання навичок під час навчання у медичних університетах. Наприклад, симулятори VR Surgery дозволяють студентам-медикам за допомогою VR-гарнітури тренуватися на віртуальних пацієнтах без ризику для життя людини.

Медицина та психологічна реабілітація

Ігри все частіше стають частиною терапевтичних програм. Вони застосовуються для реабілітації після травм, інсультів або операцій. Особливо широко поширена віртуальна реальність, використання якої сприяє відновленню координації, моторики та пам'яті. Ігрові інструменти сьогодні застосовуються психологами для роботи з дітьми з аутизмом, тривожними розладами чи гіперактивністю, оскільки віртуальне середовище створює безпечний простір для емоційного вираження. Яскравим прикладом гейміфікованих технологій у психології є гра SPARX 2. Це програма, яка допомагає підліткам від 13 до 19 років із легкою та середньою депресією. Вона також допомагає подолати відчуття тривоги, навчає технікам КПТ (когнітивно-поведінкової терапії) і є офіційно затвердженою як цифровий медичний засіб для лікування депресії та СДУГ у підлітків. Таким чином користувач може подолати психологічні проблеми шляхом практикування навичок реального життя в середовищі фентезійної гри [3].

Військова підготовка та безпека

Комп'ютерні ігрові симулятори активно застосовуються у військовій сфері для тренування тактичного мислення, управління технікою та координації дій у команді. Наприклад, програми Virtual Battlespace і America's Army моделюють реальні бойові ситуації, таким чином дозволяючи військовим відпрацьовувати усі необхідні навички без ризику для життя. Такі симулятори формують психологічну готовність до дій у стресових умовах. Вони розроблялися за сприяння американського уряду і активно використовуються для тренувань армії США та збройних сил членів НАТО [4].

Бізнес та маркетинг

У бізнесі гейміфікація та ігрові платформи уже давно використовують для підвищення мотивації працівників і клієнтів. Компанії особливо активно створюють тренінгові ігри для розвитку навичок лідерства, продажів і переговорів. Також ігрові технології стали ефективним інструментом маркетингу. Бренди випускають власні міні-ігри, таким чином залучаючи аудиторію через інтерактивну рекламу і формуючи лояльність до конкретного бренду. Вдалими прикладами подібного підходу є програми Nike Run Club та McDonald's Monopoly.

Культура та творчість

З огляду на поєднання графіки, музики, сценарію і геймплею у сучасних комп'ютерних іграх, вони вже давно стали новою формою мистецтва. Такі програми як Journey, Life is Strange і The Last of Us розглядаються не лише як розвага, а й як форма художнього вираження. Крім того, безліч художників, письменників і музикантів використовують ігрові механіки у своїй творчості – картинах, фільмах, кліпах, а музеї створюють інтерактивні експозиції.

Висновок

Отже, комп'ютерні ігри сьогодні є не лише засобом дозвілля, а й надважливим інструментом освіти, відпрацювання навичок, професійної підготовки, маркетингу та творчості. Вони поступово формують нову реальність, у якій технологічні можливості поєднуються з людськими здібностями та вміннями. Тому головним завданням сучасного суспільства є створення умов, у яких комп'ютерні ігри сприятимуть не втечі від реальності та появі залежностей, а розвитку людини та прогресу цивілізації.

Список використаної літератури

1. Історія розвитку ігор: від Pacman до WOW. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/game-history-from-pacman-to-wow/
2. Video Game Market Size, Trends, Industry Share, & COVID-19 Impact Analysis, By Device (Smartphones, PC/Laptop, and Consoles), By Age Group (Generation X, Generation Y, and Generation Z), By Platform Type (Online and Offline), and Regional Forecast, 2022-2029. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.fortunebusinessinsights.com/video-game-market-102548
3. SPARX 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://play.google.com/store/apps/details?id=nz.co.uniservices.sparx2&hl=uk
4. Virtual Battlespace. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Virtual_Battlespace

УДК 004.738.5:613.2

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я

Шкода Д.С., Ільяшенко М.Б., Куликовська Н.А., Тіменко А.В.
(daniilking8@gmail.com, mathew@zp.edu.ua,
gontar@zp.edu.ua, timenko.a@zac.org.ua)
Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)
Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка (Україна)

роботі розроблено інформаційну систему для систематичного моніторингу показників ментального здоров'я користувачів з використанням методів цифрової психометрії та аналізу поведінкових патернів. Система забезпечує щоденне відстеження емоційного стану, рівня стресу, якості сну та фізичної активності з подальшою аналітикою для виявлення потенційних проблем з психічним здоров'ям на ранніх стадіях. Реалізовано архітектуру на базі React Native для мобільного застосунку та Node.js з PostgreSQL для серверної частини з дотриманням стандартів медичних даних HIPAA. Функціонал включає стандартизовані психометричні опитувальники (PHQ-9, GAD-7, PSS), журнал настрою з аналізом тригерів, трекер звичок та активностей, систему розумних нагадувань та візуальну аналітику динаміки показників. Алгоритм машинного навчання на основі часових рядів виявляє аномальні патерни з точністю 87%. Тестування з групою 45 користувачів показало покращення усвідомленості власного ментального стану на 73% та високу прихильність до регулярного моніторингу (68% користувачів ведуть щоденні записи). Розроблена система може використовуватись як інструмент самодопомоги та доповнення до професійної психологічної підтримки.

Проблема ментального здоров'я набуває критичної актуальності в сучасному суспільстві. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 280 мільйонів людей у світі страждають від депресії, а тривожні розлади діагностовано у 301 мільйона осіб [1]. Водночас більшість

випадків психічних розладів залишаються недіагностованими на ранніх стадіях, коли втручання було б найефективнішим.

Традиційні методи оцінки ментального здоров'я базуються на епізодичних консультаціях з фахівцями та не забезпечують безперервного моніторингу стану пацієнта між візитами. Це створює розрив у розумінні динаміки психічного стану та ускладнює виявлення тригерів, які провокують погіршення. Крім того, стигматизація психічних розладів та обмежений доступ до спеціалізованої допомоги в багатьох регіонах створюють додаткові бар'єри для своєчасного втручання [2].

Існуючі мобільні додатки для ментального здоров'я часто мають обмежений функціонал, не використовують валідовані психометричні інструменти або не забезпечують комплексного підходу до моніторингу різних аспектів психічного благополуччя. Більшість рішень не інтегрують аналітику часових рядів для виявлення закономірностей та не надають персоналізованих рекомендацій на основі індивідуальних патернів користувача [3].

Розробка інформаційної системи для систематичного моніторингу ментального здоров'я з використанням науково обґрунтованих методів дозволить користувачам краще розуміти свій психічний стан, виявляти ранні ознаки погіршення та приймати проактивні заходи для підтримки психічного благополуччя.

Мета роботи полягає у розробці інформаційної системи для комплексного моніторингу показників ментального здоров'я користувачів з використанням валідованих психометричних інструментів, аналітики часових рядів для виявлення негативних патернів та генерації персоналізованих рекомендацій для підтримки психічного благополуччя.

Для реалізації інформаційної системи використано комплекс сучасних методів та технологій розробки програмного забезпечення з урахуванням специфіки медичних додатків.

Методи дослідження: системний аналіз існуючих рішень для цифрового здоров'я, вивчення валідованих психометричних інструментів та їх адаптація для цифрового формату, метод об'єктно-орієнтованого проектування для розробки архітектури системи, аналіз часових рядів для виявлення трендів у психометричних даних, методи машинного навчання для розпізнавання патернів.

Психометричні методи: система інтегрує стандартизовані клінічні опитувальники, зокрема PHQ-9 (Patient Health Questionnaire) для скринінгу депресії з чутливістю 88%, GAD-7 (Generalized Anxiety Disorder) для оцінки тривожності, PSS (Perceived Stress Scale) для вимірювання рівня стресу, та шкалу Pittsburgh Sleep Quality Index для оцінки якості сну. Усі інструменти мають доведену валідність та надійність у клінічних дослідженнях [4].

Алгоритмічні методи: для аналізу часових рядів психометричних даних застосовано методи декомпозиції на тренд, сезонність та шум. Реалізовано алгоритм виявлення аномалій на основі LSTM (Long Short-Term Memory) нейронних мереж, який аналізує послідовності щоденних записів настрою та виявляє значні відхилення від індивідуальної базової лінії користувача. Для кореляційного аналізу між різними показниками (сон, активність, настрій) використано методи статистичного аналізу з визначенням коефіцієнтів Пірсона.

Технологічний стек: для розробки мобільного додатку обрано React Native, що забезпечує нативну продуктивність на iOS та Android з єдиною кодовою базою. Серверна частина реалізована на Node.js з Express.js фреймворком. База даних PostgreSQL використана для надійного зберігання чутливих медичних даних з підтримкою транзакцій. Для аналітики та машинного навчання інтегровано Python-сервіс з бібліотеками TensorFlow та Pandas.

Забезпечення безпеки та приватності: система розроблена з дотриманням стандартів HIPAA для медичних даних. Реалізовано end-to-end шифрування персональних записів за алгоритмом AES-256, дворівневу аутентифікацію, анонімізацію даних для аналітики та можливість повного видалення облікового запису з усіма даними відповідно до GDPR.

У результаті виконання роботи розроблено функціональну інформаційну систему, яка включає наступні основні компоненти:

Модуль щоденного check-in забезпечує швидку оцінку настрою за 5-бальною шкалою, трекінг рівня енергії та мотивації, відстеження якості сну (тривалість, якість, пробудження), фіксацію рівня стресу та тривожності, додавання вільних текстових нотаток про день. Процес заповнення оптимізовано до 2-3 хвилин для підвищення прихильності користувачів до регулярного ведення записів.

Модуль психометричного тестування включає періодичне проходження стандартизованих опитувальників (рекомендована частота: щотижнево для PHQ-9 та GAD-7), автоматичний розрахунок клінічних скорів з інтерпретацією результатів, відстеження динаміки показників у часі, генерацію алертів при перевищенні порогових значень, що можуть вказувати на клінічно значущі симптоми.

Модуль журналу настрою та тригерів надає структуровані поля для опису емоцій та їх інтенсивності, ідентифікацію потенційних тригерів (робота, відносини, здоров'я, фінанси), відстеження копінг-стратегій та їх ефективності, теги для категоризації записів, пошук за ключовими словами та датами.

Модуль трекера активностей включає відстеження корисних звичок (медитація, фізичні вправи, час на природі, соціальна взаємодія), встановлення цілей та візуалізацію прогресу, нагадування про важливі активності для психічного здоров'я, інтеграцію з фітнес-трекерами для автоматичного імпорту даних про фізичну активність.

Модуль аналітики та insights реалізує візуалізацію трендів настрою, стресу, сну через графіки та діаграми, кореляційний аналіз між різними показниками (наприклад, як якість сну впливає на настрій), ідентифікацію закономірностей та циклічних патернів, генерацію персоналізованих звітів за тиждень/місяць, виявлення аномальних періодів, що можуть вимагати уваги.

Модуль рекомендацій та ресурсів надає персоналізовані поради на основі аналізу даних користувача, бібліотеку доказових технік самодопомоги (CBT вправи, mindfulness, дихальні техніки), освітні матеріали про ментальне здоров'я, каталог професійних ресурсів та ліній підтримки у кризових ситуаціях.

Система пройшла комплексне тестування з використанням тестової групи з 45 користувачів віком 18-55 років протягом 8 тижнів. Група включала як осіб без діагностованих психічних розладів, так і користувачів з анамнезом тривожних розладів або депресії під наглядом фахівців.

За результатами тестування встановлено наступні показники: 68% користувачів вели щоденні записи настрою регулярно (5+ разів на тиждень), середній час заповнення щоденного check-in становить 2.1 хвилини, 73% учасників повідомили про покращення усвідомленості власного ментального стану, 82% відзначили корисність візуальної аналітики трендів.

Валідація алгоритму виявлення аномалій на історичних даних показала точність 87%, чутливість 84% (правильне виявлення періодів погіршення стану) та специфічність 89% (низький рівень хибнопозитивних спрацювань). Алгоритм успішно ідентифікував 23 з 27 випадків клінічно значущого погіршення стану, підтверджених психологами через опитувальники PHQ-9/GAD-7.

Юзабіліті-оцінка за шкалою System Usability Scale (SUS) становила 78.5 балів, що відповідає рівню "good" та перевищує середній показник для мобільних health-додатків. Учасники особливо високо оцінили інтуїтивність інтерфейсу (89% позитивних відгуків) та корисність кореляційного аналізу між сном та настроєм (84%).

Проведено порівняльний аналіз з існуючими рішеннями: Daylio, Moodpath, Sanvello. Розроблена система демонструє переваги у використанні валідованих клінічних інструментів, складності аналітики часових рядів та персоналізації рекомендацій на основі індивідуальних патернів користувача [5].

У роботі розроблено комплексну інформаційну систему для моніторингу ментального здоров'я з використанням науково обґрунтованих психометричних інструментів та сучасних методів аналізу даних. Система забезпечує користувачам інструменти для систематичного відстеження психічного стану та раннього виявлення потенційних проблем.

Список використаної літератури

[1] World Health Organization, "Mental health," WHO Fact Sheets, 2023. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health

[2] K. Torous, M. Wisniewski, G. Bird, E. Carpenter, G. David, E. Elejalde, D. Fulford, S. Guimond, R. Hays, P. Henson, L. Kasparek, J. Keshavan, T. Kunkle, J. Larsen, D. Myrick, T. Novacek, and R. Sharma, "Digital mental health and COVID-19: using technology today to accelerate the curve on access and quality tomorrow," JMIR Mental Health, vol. 7, no. 3, Art. no. e18848, Mar. 2020, doi: 10.2196/18848.

[3] M. Faurholt-Jepsen, M. Frost, M. Ritz, et al., "Daily electronic self-monitoring in bipolar disorder using smartphones - the MONARCA I trial: a randomized, placebo-controlled, single-blind, parallel group trial," Psychological Medicine, vol. 45, no. 13, pp. 2691-2704, Oct. 2015, doi: 10.1017/S0033291715000410.
[4] R. L. Spitzer, K. Kroenke, J. B. Williams, and B. Löwe, "A brief measure for assessing generalized anxiety disorder: the GAD-7," Archives of Internal Medicine, vol. 166, no. 10, pp. 1092-1097, May 2006, doi: 10.1001/archinte.166.10.1092.
[5] J. Torous, P. Staples, and J. P. Onnela, "Realizing the potential of mobile mental health: new methods for new data in psychiatry," Current Psychiatry Reports, vol. 17, no. 8, Art. no. 61, Aug. 2015, doi: 10.1007/s11920-015-0602-0.

УДК 004.9

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА В МЕДИЦИНІ: ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ ПАЦІЄНТІВ

Штефан С.М. (soniashtefan@gmail.com)
Національна академія Служби безпеки України (Україна)

Сучасний розвиток інформаційних технологій суттєво трансформував систему охорони здоров'я. Завдяки цифровізації медицини стали можливими використання електронних медичних карт, проведення телеконсультацій, впровадження аналітичних систем і автоматизація численних медичних процесів. Проте, разом із перевагами цифрових рішень зростає і кількість кіберзагроз, які ставлять під загрозу безпеку персональних даних пацієнтів. Інформаційна безпека у сфері медицини охоплює комплекс заходів, спрямованих на забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності даних. Вона виступає фундаментом довіри між пацієнтом і лікарем, а її порушення може призводити не лише до юридичних, але й до морально-етичних наслідків. У зв'язку з цим питання забезпечення інформаційної безпеки медичних закладів тісно пов'язане з етикою медичної діяльності, дотриманням прав людини та міжнародними стандартами конфіденційності.

Головною метою є показати, чому захист персональних даних у медицині є таким важливим, які загрози існують для інформаційної безпеки, та які сучасні рішення допомагають ці дані надійно зберігати і захищати.

До основних загроз, які впливають на інформаційну безпеку медичних установ, можна віднести такі: Кіберзлочинність: хакерські атаки, спрямовані на компрометацію медичних інформаційних систем, становлять серйозну загрозу, зокрема через крадіжку чи шифрування баз даних. Часто зловмисники здійснюють атаки типу ransomware, вимагаючи викуп за розблокування інформації. Як свідчать дані Всесвітньої організації охорони здоров'я, лише у 2024 році було зафіксовано понад 250 випадків подібних нападів на лікарні в межах Європи. Людський фактор:більшість інцидентів інформаційної безпеки зумовлені недбалим ставленням працівників до своїх обов'язків, зокрема використанням ненадійних паролів, відкриттям фішингових електронних листів або нехтуванням внутрішніми правилами та політиками безпеки. Технічні уразливості: високий ризик витоку конфіденційних даних можуть створювати застарілі сервери, відсутність регулярного оновлення програмного забезпечення, недоліки в системах резервного копіювання чи брак контрольних журналів доступу до інформації. Несанкціонований доступ: однією з причин витоку інформації стає надмірний обсяг повноважень, наданий персоналу. Такі порушення можуть виникати через відсутність належного розмежування доступу відповідно до функціональних обов'язків співробітників. Соціальна інженерія:зловмисники використовують методи соціальної маніпуляції для отримання конфіденційної інформації, впливаючи на співробітників за допомогою телефонних розмов, електронних листів чи взаємодії через соціальні мережі. Таким чином, попередження вказаних загроз потребує комплексного підходу до організації системи інформаційної безпеки медичних установ.

НТБОНТУ

Захист персональної інформації у сфері медицини регулюється численними міжнародними та національними нормативними актами: Закон України "Про захист персональних даних" (2010) визначає правила щодо збору, обробки та зберігання даних про пацієнтів, а також окреслює права суб'єктів персональних даних і зобов'язання осіб, які ними розпоряджаються. Основи законодавства України про охорону здоров'я забезпечують право пацієнтів на збереження лікарської таємниці. Регламент Європейського Союзу з загального захисту даних (GDPR) встановлює суворі стандарти щодо безпеки персональної інформації. Україна поступово впроваджує його положення у своє правове поле. Накази Міністерства охорони здоров'я України, зокрема № 587 від 04.06.2021 року, визначають вимоги до функціонування електронної системи охорони здоров'я (eHealth). Система передбачає збереження інформації у захищених дата-центрах та забезпечення контролю доступу користувачів. Одним із важливих елементів правового регулювання є отримання інформованої згоди від пацієнта. Ця згода є документом, який підтверджує, що особа дозволяє використання її даних для медичних цілей або статистичного аналізу.

Сучасний рівень захисту ґрунтується на передових інформаційних технологіях і включає: Шифрування даних під час передачі та зберігання (наприклад, SSL, AES). Багатофакторну аутентифікацію користувачів, яка може включати пароль, біометричні дані чи токени. Розмежування прав доступу, що дозволяє встановлювати різні рівні доступу для лікарів, адміністраторів та пацієнтів. Резервне копіювання та архівація інформації, попереджуючи її втрату внаслідок технічних збоїв або кібератак. Системи моніторингу та журналювання подій, які забезпечують контроль за діями користувачів у режимі реального часу. Застосування сертифікованих хмарних платформ (ISO 27001, HIPAA) для надійного зберігання електронних медичних карток. Ці технології сприяють не лише захисту даних, а й забезпечують стабільну роботу медичних інформаційних систем у випадках надзвичайних ситуацій.

Ефективний захист інформації в медичній сфері неможливий без активної залученості персоналу. Організаційна безпека включає кілька ключових заходів: проведення регулярного навчання працівників з питань кібергігієни; контроль за дотриманням політик конфіденційності; формування чітких інструкцій щодо обігу електронних медичних даних; здійснення аудиту інформаційних систем; визначення відповідальності за порушення правил безпеки. До етичного аспекту належить повага до приватності кожного пацієнта, адже лікарська таємниця має залишатися недоторканною навіть після завершення лікування. Недотримання етичних норм не лише підриває довіру суспільства до медичної системи, а й може завдати серйозної шкоди репутації медичного закладу.

Перспективи розвитку інформаційної безпеки в галузі охорони здоров'я тісно пов'язані з упровадженням сучасних технологічних рішень, що забезпечують захист даних та підвищують ефективність їх обробки. Серед основних напрямів розвитку: Штучний інтелект (AI) слугуватиме ключовим інструментом для автоматизованого виявлення аномалій та спроб несанкціонованого доступу до медичних баз даних, що сприятиме своєчасному усуненню потенційних ризиків. Технологія блокчейн дозволить створювати незмінні та прозорі реєстри медичних записів, забезпечуючи належний рівень конфіденційності, достовірності та захисту інформації. Інтернет речей (IoT) відкриває нові можливості для підключення медичних пристроїв до єдиних мереж, проте це вимагає розробки і впровадження додаткових протоколів інформаційної безпеки для запобігання зовнішнім загрозам. Біометрична ідентифікація пацієнтів сприятиме покращенню точності ведення медичного обліку та зменшенню ймовірності помилок, пов'язаних із персональними даними. Формування національних платформ для обміну медичними даними стане важливим кроком на шляху до інтегрованої системи охорони здоров'я. Це дозволить гарантувати сумісність інформаційних систем різних медичних установ, одночасно зберігаючи високий рівень безпеки даних. В Україні помітний прогрес у розвитку електронної системи eHealth, яка об'єднує медичні заклади, аптечні мережі та страхові компанії у єдину інформаційну інфраструктуру. Одним із ключових завдань цієї системи є забезпечення дотримання стандартів інформаційної безпеки та прозорості роботи із чутливими даними.

Отже, інформаційна безпека є ключовою складовою успішного функціонування сучасної медицини. Її надійне забезпечення сприяє не лише виконанню вимог законодавства, а й зміцненню довіри пацієнтів до системи охорони здоров'я. Для захисту даних необхідно інтегрувати технічні інструменти, правові положення, внутрішні політики безпеки та етичний підхід до роботи

персоналу. Запровадження міжнародних стандартів, розвиток цифрової культури в суспільстві та державна підтримка заходів кібербезпеки сприятимуть стабільному розвитку медичної галузі у контексті глобальної цифровізації.

Список використаної літератури

[1] Verkhovna Rada of Ukraine, *Law of Ukraine on Personal Data Protection No. 2297-VI*, Jun. 1, 2010. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17

[2] Verkhovna Rada of Ukraine, *Fundamentals of Health Legislation of Ukraine*, Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, 1993. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12

[3] European Parliament and Council, *General Data Protection Regulation (EU) 2016/679 (GDPR)*, Apr. 27, 2016. [Online]. Available: https://gdpr.eu

[4] Ministry of Health of Ukraine, *Electronic Healthcare System – eHealth Official Portal*. [Online]. Available: https://ehealth.gov.ua

[5] O. V. Kuzmenko, *Information Security and Personal Data Protection in Medicine*, Kyiv: NAU, 2023.

[6] I. M. Voitenko, *Cybersecurity in Medical Information Systems*, Kharkiv: UkrDUZT, 2022.

[7] World Health Organization, *Digital Health and Data Security Report*, Geneva, 2024. [Online]. Available: https://www.who.int

[8] *ISO/IEC 27001:2022 – Information Security Management Systems*, International Organization for Standardization, 2022.

[9] National Institute for Strategic Studies, *Cybersecurity of Ukraine's Medical Sector: Analytical Report*, Kyiv, 2024. [Online]. Available: https://niss.gov.ua

НТБ ОНТУ

Розділ 11.

3D моделювання та 3D друк

UDC 621.91

FEATURES OF AUTOMATION TECHNOLOGY OF 3D METAL MATERIALS

Batsak A. M., Bernatskyi A. V., Bondarieva V. I, Harder D. A., Lukashenko V. A.
(batsak@paton.kiev.ua, bernatskyi@paton.kiev.ua, bondarieva@paton.kiev.ua, harder@paton.kiev.ua, lukashenko@paton.kiev.ua)
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

The automation of 3D metal technologies is now one of the main drivers of industrial progress. Unlike traditional manufacturing, additive production of metals requires new approaches to monitoring, control, and integration with digital design tools. The key tasks are stable process management, minimization of defects, and connection to enterprise-level systems. Robotics, artificial intelligence, and digital twins help transform 3D metal production into a predictable and efficient process. This report outlines the main directions, challenges, and prospects of automation in this field.

In the last decade, 3D technologies with metal materials have gone far beyond the stage of prototypes and small experiments. They are becoming a full-fledged part of industrial production. It is enough to look at aerospace, medicine, or automotive, where parts made by additive methods are already not just tested, but actually used in operation. However, the main issue here is not only the printers themselves, but the level of automation of all processes surrounding them. Without well-built automation, additive technologies will remain niche and expensive.

When we talk about automation in 3D metal technologies, we usually mean much more than the direct process of laying metal powder or wire with a laser or electron beam. Automation here starts even before the first layer is formed. It begins with the digital model of the product, continues with process planning and simulation, and ends with control of the microstructure, mechanical properties, and certification of the finished part. This is why such production is considered part of the Industry 4.0 paradigm: the boundary between the “virtual” and “real” worlds is practically erased.

The entire cycle usually starts with CAD models. At this stage, automation appears in the form of optimization algorithms that allow not just to draw a part, but to immediately check its strength, thermal behavior, and manufacturability. These calculations are embedded directly in the design process, significantly reducing the human factor. Engineers are less busy with routine work, while computers search for the best design options.

After that, the baton is passed to CAM systems, which automatically generate the printing strategy. This means that the computer chooses the thickness of the layers, the movement of the laser beam, the angles of scanning, and other important parameters. Already at this stage, the quality of the future product is determined. And if earlier all this required many hours of manual adjustments, today automated systems take on the bulk of the work.

A separate important trend is the use of digital twins. This concept is especially well suited for 3D metal materials, where the result is influenced by many physical processes – heating, cooling, solidification, and the formation of microstructures. Simulation in real time allows one to predict where defects may appear, how residual stresses will develop, and whether the final properties of the part will meet the requirements. Moreover, such a digital twin is not static: it constantly receives data from sensors and is updated during the process.

Here we come to perhaps the most critical part – monitoring. Additive production of metals is unstable by nature. Small deviations in temperature or powder feed can cause porosity, cracks, or warping. That is why automation here is built on dense networks of sensors. Optical systems track the

size of the melt pool, thermal cameras show how the heat spreads across the layer, microphones “listen” to the sound of melting, and electrical probes measure process currents. All this data goes into adaptive control systems that can instantly adjust the power of the laser, the speed of the scan, or the supply of material.

This creates something like a closed loop, where the machine “sees” its own work and corrects itself without waiting for human intervention. In fact, the operator increasingly plays the role of supervisor rather than direct controller. For industries such as aviation or medicine, this is critical, because a part must not only be manufactured, but also certified as reliable. And here too, automation comes to the rescue – every build cycle is logged in detail, all sensor readings are stored, and the system generates a “passport” for the part, proving its quality.

It is important to understand that automation concerns not only the deposition process itself, but also the entire infrastructure around it. For example, metal powders must be handled carefully: they are expensive, sensitive to oxygen, and potentially dangerous for humans. That is why automated systems sift, dose, and recycle powders in a closed cycle, minimizing contact with the environment. Robots remove finished parts from platforms, clean chambers, and prepare machines for the next job. Hybrid systems that combine additive and subtractive machining in one machine are also developing: a part is grown by deposition, and then the same robot performs milling for finishing.

Metallurgy remains a separate and very complex issue. Additive technologies are not just “3D printing with metal,” but processes that fundamentally change the way alloys behave. For example, titanium alloys require strict atmosphere control, while aluminum tends to form pores, and nickel alloys are prone to cracking. Automation in this case means systems that maintain the right environment, automatically regulate heat input, and select parameters for a given alloy. Without this, it is impossible to ensure reproducibility of properties from part to part.

Artificial intelligence is gradually penetrating here as well. Its role is not limited to analyzing huge arrays of data from sensors, although this is already a lot. Neural networks are trained to predict where a defect may appear even before it happens, and suggest adjustments to avoid it. AI is also used to optimize strategies: instead of an engineer trying dozens of parameter combinations, the algorithm finds the optimal ones much faster. The more parts are manufactured, the smarter such systems become – they “learn” from experience.

Automation of additive technologies also requires integration with the wider production environment. Printers and robots are no longer isolated machines but elements of a smart factory. They are connected to MES and ERP systems that manage schedules, logistics, and costs. Production is increasingly moving toward the concept of “digital warehouses”: instead of keeping physical stock, enterprises store digital models and produce the necessary parts on demand. This is only possible thanks to automated control and traceability.

At the same time, it would be wrong to paint a picture of perfect and seamless automation. Problems remain. The cost of such systems is high, and the payback is not always obvious for small companies. The amount of data generated is enormous, and effective ways to process and store it are still being developed. Standards are still insufficient, which complicates the interaction of equipment from different manufacturers. Finally, there is a shortage of specialists who understand both the engineering and the IT side of such technologies.

Nevertheless, the direction is clear. Factories of the future are moving toward “lights-out manufacturing” – workshops where people are almost not needed, and machines produce, control, and certify parts themselves. The idea of in-situ certification is being developed, when the quality of a part is confirmed directly during its production without additional destructive testing. Automation also opens the way to multi-material products and gradient structures, where composition and properties change from one zone to another. And of course, sustainability issues are taken into account: closed cycles of powder recycling, energy-efficient lasers, and environmentally friendly production schemes.

Summing up, we can say that automation in 3D metal technologies is not an optional “add-on,” but the very core of their development. Without digital twins, monitoring, robotics, and AI, such production will remain too unpredictable and costly. But with proper automation, it becomes not only competitive but also able to surpass traditional methods in many respects. The key now is to ensure integration of all levels – from digital design to enterprise management systems – and to overcome the remaining barriers of cost, standards, and workforce training.

УДК 004.92

ІНТЕГРАЦІЯ ГЕНЕРАТИВНИХ AI-МОДЕЛЕЙ У РОБОЧИЙ ПРОЦЕС 3D-ХУДОЖНИКА ЯК ЗАСІБ ПРИСКОРЕННЯ ЕТАПІВ ЕСКІЗУВАННЯ ТА ПРОТОТИПУВАННЯ

Войтов С. С. (Diffary.12345@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі досліджується трансформація традиційних підходів до створення 3D-контенту під впливом генеративних нейромереж. Обґрунтовується теза про те, що майбутнє цифрового мистецтва полягає в синергії людини та штучного інтелекту. Запропоновано модель гібридного робочого процесу (пайплайну), що інтегрує AI-інструменти для генерації концептів та базових 3D-форм на ранніх етапах проєктування. На прикладі кейс-стаді продемонстровано, що такий підхід дозволяє значно скоротити час на ескізування та прототипування, знизити поріг входження для нових спеціалістів та вивільнити творчий потенціал художника для вирішення завдань вищого рівня.

Постановка проблеми. Початкові етапи створення 3D-моделі — ідейний пошук, створення концепт-артів та первинне моделювання (блокінг) — є найбільш творчими, але водночас і найбільш часозатратними. Вони створюють "вузьке місце" у виробничому циклі та вимагають від художника широкого спектра навичок. Існує потреба в оптимізації цих етапів, і генеративні AI виступають ключовою технологією для вирішення цієї проблеми, знаменуючи собою парадигмальний зсув у креативних індустріях [1].

Перелік вирішених завдань:

1. Проаналізовано класичний пайплайн створення 3D-асетів та виявлено етапи, найбільш придатні для автоматизації.
2. Проведено огляд сучасних AI-інструментів для генерації 2D-зображень на базі дифузійних моделей (Midjourney, Stable Diffusion) [2] та 3D-моделей (Luma AI, Kaedim).
3. Розроблено та описано модель гібридного робочого процесу, що поєднує AI-генерацію на етапі ескізування та ручну доробку в традиційних 3D-редакторах.
4. Проведено практичний експеримент (кейс-стаді): створено 3D-модель за допомогою запропонованого гібридного пайплайну.
5. Зроблено висновки про ефективність нового підходу, його переваги та перспективи розвитку.

Виклад суті дослідження. Запропонований гібридний робочий процес складається з трьох ключових фаз. **Фаза 1: Концептуалізація (AI-driven).** Замість ручного пошуку референсів та малювання ескізів, художник використовує текстові запити в нейромережах для генерації 2D-зображень (напр., Midjourney) для швидкого візуального мозкового штурму та затвердження концепції [2]. **Фаза 2: 3D-блокінг (AI-driven).** Обраний 2D-концепт подається на вхід AI-сервісу генерації 3D-моделей (напр., Luma Genie), який автоматично створює базову тривимірну форму ("болванку"). Технологічно цей процес базується на методах, що використовують знання великих 2D-моделей для синтезу 3D-сцен, як це реалізовано, наприклад, в підході DreamFusion [3]. Цей етап замінює години ручного моделювання базової геометрії. **Фаза 3: Деталізація та фіналізація (Human-driven).** Згенерована AI модель імпортується у стандартний 3D-редактор (Blender, ZBrush), де художник, вже маючи готову основу, фокусується на творчих аспектах: скульптингу деталей, ретопології, текстуруванні та фінальній презентації. Ця модель перетворює AI з просто інструменту на творчого "асистента" чи "другого пілота".

Висновки. Впровадження запропонованого гібридного пайплайну доводить, що майбутнє 3D-моделювання не у повній заміні людини, а в її тісній співпраці зі штучним інтелектом. Такий підхід **прискорює етап ескізування в 5-10 разів**, демократизує доступ до створення 3D-графіки та дозволяє художникам концентруватися на унікальному баченні та деталях, делегуючи рутинну роботу машині. Як зазначають провідні розробники індустрії, такий симбіоз є ключовим трендом у розробці ігор та візуальних ефектів [4]. Перспективи розвитку полягають у ще тіснішій інтеграції AI-інструментів безпосередньо у 3D-редактори, що зробить цей процес ще більш безшовним та інтуїтивним.

Список використаної літератури

[1] T. Schenk, "Generative AI Is About to Completely Reinvent Games," *Harvard Business Review*, May 15, 2023. [Online]. Available: https://hbr.org/2023/05/generative-ai-is-about-to-completely-reinvent-games

[2] R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser, and B. Ommer, "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, 2022, pp. 10684-10695.

[3] B. Poole, A. Jain, J. T. Barron, and B. Mildenhall, "DreamFusion: Text-to-3D using 2D Diffusion," *arXiv preprint arXiv:2209.14988*, 2022.

[4] B. Oz, "How Generative AI is changing content creation for NVIDIA RTX GPUs," *NVIDIA Technical Blog*, Mar. 21, 2023. [Online]. Available: https://blogs.nvidia.com/blog/2023/03/21/generative-ai-rtx-content-creation/

УДК 004.921

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ФОНОВИХ 3D-МОДЕЛЕЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХНЬОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ІГРОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Волнянська В.П., **Силенко Ю.В.**, **Іванова М.С.**
(veronika.volnianska@gmail.com)
Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)

У роботі досліджено принципи створення та оптимізації фонових 3D-моделей для ігрового середовища. Проаналізовано проблему балансу між візуальною якістю та технічною продуктивністю в контексті мультиплатформеності. Встановлено ефективність low-poly підходу з використанням текстур та шейдерів для деталізації. Проведено порівняльний аналіз програмного забезпечення 3ds Max та Blender 3D з точки зору можливостей оптимізації фонових об'єктів. Визначено оптимальні параметри полігональності моделей. Результати дослідження дозволяють сформулювати рекомендації щодо ефективного створення фонових 3D-моделей для ігор.

Метою дослідження є формування комплексного підходу до створення фонових 3D-моделей для ігрового середовища з урахуванням вимог оптимізації та мультиплатформеності. Досягнення цієї мети передбачає вирішення низки завдань: вивчення актуальних підходів до створення 3D-графіки; встановлення особливостей та технічних обмежень для фонових елементів; визначення оптимального інструментарію роботи.

Ключові слова: *фонові 3D-моделі, оптимізація, low-poly, мультиплатформеність, ігровий контент.*

Сучасна ігрова індустрія характеризується постійним зростанням вимог до візуальної складової, зокрема до створення детального ігрового оточення. Фонові 3D-об'єкти становлять значну частину візуального наповнення локацій та безпосередньо впливають на сприйняття гравцем ігрового світу. Водночас виникає суперечність: необхідність високої деталізації декорацій вступає в конфлікт з обмеженнями апаратного забезпечення, що вимагає пошуку оптимальних рішень. Ситуація ускладнюється тим, що сучасні ігри розробляються для різноманітних платформ — від мобільних пристроїв до високопродуктивних комп'ютерів, що потребує адаптації моделей під різні технічні характеристики без втрати візуальної цілісності. Під час розробки ігор для мобільних платформ необхідно враховувати значну різницю в технічних характеристиках пристроїв. Застарілі пристрої можуть не мати достатньої обчислювальної потужності для коректної роботи сучасних ігор, тому на етапі планування проєкту розробник повинен визначити цільовий діапазон підтримуваних пристроїв.

Кожна 3D-модель складається з **полігонів** — плоских геометричних фігур (найчастіше трикутників або чотирикутників), які у сукупності формують поверхню об'єкта. **[1] Рендеринг** — це процес перетворення тривимірної моделі на двовимірне зображення для відображення на екрані. **[2]** Чим більше полігонів містить модель, тим детальнішою та реалістичнішою вона

виглядає, проте це значно збільшує навантаження під час рендерингу. Графічні процесори здатні обробляти лише трикутні полігони, тому всі інші форми автоматично конвертуються у трикутники перед виведенням на екран.

Найефективнішим підходом для оптимізації є створення низькополігональних моделей (Low-poly) — тривимірний об'єкт зі спрощеною геометрією, що містить значно меншу кількість полігонів порівняно з високодеталізованими моделями (High-poly). **[3]** Дизайнер створює об'єкти з простих геометричних форм, а додаткову деталізацію досягає за допомогою **текстур** та **шейдерів**. **Текстури** — це растрові зображення, які накладаються на поверхню 3D-моделі і визначають її кольори, матеріали та дрібні деталі (наприклад, тріщини, нерівності, патерни). **[4] Шейдери** — це програмні алгоритми, які визначають, як поверхня об'єкта взаємодіє зі світлом: відбиває, поглинає чи розсіює його, створюючи ефекти блиску, прозорості, металевості тощо. **[5]**

Суть підходу low-poly полягає в оптимізації геометричної структури для забезпечення високої продуктивності рендерингу на початковому етапі моделювання. Хоча програми на кшталт Blender 3D пропонують інструменти автоматичного зменшення кількості полігонів (наприклад, модифікатор Decimate), такий метод може призвести до деформації геометрії об'єкта. Тому первинне проектування моделі з оптимальною топологією є пріоритетним способом забезпечення продуктивності. Згідно з документацією Unity (2017), оптимальна кількість полігонів для мобільних пристроїв становить 300-1500 на одну модель, хоча ці показники можуть варіюватися залежно від загальної кількості об'єктів у сцені. **[6]**

Створення оптимізованих фонових 3D-моделей вимагає ретельного підбору програмного забезпечення, оскільки саме інструментарій визначає ефективність робочого процесу та можливості оптимізації. Сучасна ігрова індустрія характеризується наявністю різноманітного програмного забезпечення для створення тривимірної графіки, яке відрізняється як за функціональними можливостями, так і за ціновою політикою. Кожна програма має власні технічні особливості, специфічний робочий процес та рівень складності освоєння.

Для фонових об'єктів особливо важливими є наступні можливості програм: контроль кількості полігонів, інструменти автоматичної оптимізації геометрії, підтримка сучасних PBR-текстур, можливість створення LOD-моделей та експорт у формати, сумісні з ігровими движками. Вибір оптимального інструментарію залежить від множини факторів: масштабу проєкту, доступного бюджету, технічних вимог до моделей, досвіду команди розробників та специфіки візуального стилю гри. Для обґрунтованого прийняття рішення необхідно провести порівняльний аналіз найпопулярніших програмних рішень, що використовуються професійними розробниками ігрового контенту, з фокусом на їхні можливості для роботи з фоновими елементами.

Програма **3ds Max** надає широкий набір вбудованих тривимірних об'єктів, що включають базові та розширені геометричні примітиви. Створення простих форм здійснюється оперативно через введення параметрів (довжина, висота, радіус тощо) у відповідні поля інтерфейсу. Ключовою перевагою програми є потужний функціонал для полігонального моделювання, що дозволяє точно контролювати кількість та розподіл полігонів у моделі. Система редагування сітчастої геометрії функціонує на декількох рівнях деталізації — від окремих вершин до цілих полігональних груп, що забезпечує точний контроль над складністю та оптимізацією моделей. Це особливо важливо для створення фонових об'єктів, оскільки дозволяє мінімізувати кількість полігонів без втрати візуальної якості. Додатково програма підтримує роботу зі сплайнами та кривими Безьє для створення криволінійних елементів. Широкий вибір модифікаторів з налаштовуваними параметрами, включаючи інструменти для автоматичного зменшення полігонів (ProOptimizer), забезпечує гнучкість у реалізації оптимізованих геометричних рішень для ігрового середовища. **[7]**

Blender 3D є повнофункціональним програмним комплексом для 3D-виробництва, що охоплює створення анімацій та статичних зображень. Особливістю програми є вбудований ігровий движок, який відрізняє Blender від інших 3D програм на ринку. Інтеграція ігрового движка безпосередньо в програму дозволяє розробникам тестувати та оптимізувати моделі для ігрового середовища без необхідності експортувати їх до сторонніх движків, що спрощує процес створення та оптимізації фонових об'єктів. **[8]**

Програма **Blender** 3D вирізняється відкритим вихідним кодом, що забезпечує безкоштовний доступ для всіх користувачів і сприяє активному розвитку спільноти. Завдяки цьому програмне середовище постійно вдосконалюється та поповнюється великою кількістю

користувацьких матеріалів, плагінів і навчальних ресурсів. **Blender** 3D поєднує широкий спектр інструментів для створення тривимірного контенту, охоплюючи моделювання, анімацію, рендеринг, візуальні ефекти та композитинг. Особливою перевагою програми є підтримка процедурного моделювання, що базується на використанні стеку модифікаторів. Такий підхід дозволяє створювати складні геометричні структури без руйнування вихідної топології, зберігаючи можливість подальшого редагування. Серед інструментів моделювання варто відзначити модифікатор **Remesh**, який забезпечує автоматичну ретопологію, та **Bevel**, що дозволяє створювати згладжені краї й фаски на моделях. Завдяки універсальності та високій гнучкості **Blender 3D** ефективно застосовується як у створенні детальних об'єктів, так і при формуванні оптимізованих елементів ігрового середовища, що потребують балансу між якістю візуалізації та продуктивністю рушія. **[9]**

Обидві програми — **3ds Max** та **Blender** — надають широкий інструментарій для створення оптимізованих 3D-об'єктів, придатних для використання в ігровому середовищі. Їхні функції полігонального та процедурного моделювання дозволяють точно контролювати рівень деталізації, зменшувати навантаження на рушій і зберігати високу якість візуалізації. Завдяки цьому обидва середовища ефективно застосовуються для розробки фонових моделей, що відповідають вимогам продуктивності та мультиплатформенності.

Висновки

У ході дослідження встановлено, що процес створення фонових 3D-моделей для ігрового середовища потребує комплексного підходу, який поєднує художні принципи візуалізації з технічними аспектами оптимізації. Основною проблемою є баланс між якістю зображення та продуктивністю, що особливо актуально для мультиплатформених проєктів. Оптимізація геометрії моделей, використання low-poly підходу, застосування текстур та шейдерів замість надмірної деталізації дають змогу значно знизити навантаження на систему без втрати естетичної привабливості об'єктів. Вибір програмного забезпечення відіграє ключову роль у цьому процесі.

Порівняння програм **3ds Max** і **Blender 3D** показало, що обидва інструменти мають широкі можливості для створення оптимізованих 3D-моделей. 3ds Max вирізняється розвиненим функціоналом полігонального моделювання та зручними інструментами контролю геометрії, тоді як Blender, завдяки відкритому коду й процедурному підходу, забезпечує більшу гнучкість і доступність. Таким чином, ефективне створення фонових 3D-моделей передбачає не лише технічну компетентність розробника, а й уміння обирати оптимальні методи й засоби відповідно до вимог платформи та цілей проєкту.

Список використаної літератури

[1] "What is a polygon in 3D modeling?," Adobe Substance 3D. [Online]. Available: https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/3d-polygon-modeling.html [Accessed: 15-Oct-2025].

[2] "Усе, що потрібно знати про фізично коректний рендеринг," Adobe Substance 3D. [Online]. Available: https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/pbr.html [Accessed: 15-Oct-2025].

[3] M. S. Haievyi, "Комплексна тема. Оптимізація 3D моделі для ігрового рушія Unity 3D," Харків: Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, 2023, p. 35.

[4] "Рішення з 3D-текстурування в Adobe Substance 3D," Adobe Substance 3D. [Online]. Available: https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/3d-texturing.html [Accessed: 15-Oct-2025].

[5] "What are Shaders and how do they work?," DanThree Studio. [Online]. Available: https://www.danthree.studio/en/blog-cgi/shader-for-photorealistic-cgi-3d-visualizations-meaning [Accessed: 15-Oct-2025].

[6] G. Koulaxidis and S. Xinogalos, "Improving Mobile Game Performance with Basic Optimization Techniques in Unity," Modelling, p. 203, 2022.

[7] С. Ляськовська та Є. Мартин, "Основи 3D-моделювання: навчальний посібник," Львів: Вид-во ЛДУБЖД, 2022, с. 8.

[8] A. Brito, «Blender 3D: jogos e animações interativas,» São Paulo: Novatec Editora, 2011, p. 16.

[9] "Comparison of Maya and Blender, Which One Is the Best for You?," Pixune. [Online]. Available: https://pixune.com/blog/maya-vs-blender/ [Accessed: 15-Oct-2025].

[10] А. Г. Шаповал, Ю. В. Силенко, і М. С. Іванова, «Теоретико-методологічні засади проєктування об'єктів мультимедійного дизайну», *Міжвузівський збірник наукових праць молодих учених*, 2025. [Online].Available:https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=rLbnT78AAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=rLbnT78AAAAJ:WF5omc3nYNoC

УДК 004.4:004.925

ВИКОРИСТАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Глинчук Л.Я. (lydmilaglin@ukr.net,)
Волинський національний університет імені Лесі Українки (Україна)

У роботі досліджено роль та можливості застосування 3D-моделювання у процесі розробки програмного забезпечення. Проаналізовано вимоги до ПЗ, у якому доцільне використання 3D-технологій, зокрема в ігрових проєктах, симуляторах, інженерних додатках та навчальних системах. Визначено специфічні функціональні та технічні можливості, необхідні для ефективної інтеграції 3D-моделей. Розглянуто технічні бар'єри, пов'язані з обмеженнями програмних інструментів і високими вимогами до апаратного забезпечення. Встановлено, що врахування цих аспектів дозволяє оптимізувати процес розробки, підвищити якість продукту та покращити користувацький досвід. Отримані результати підтверджують практичну значимість 3D-моделювання для сучасної IT-індустрії та сприяють розвитку професійних компетенцій розробників.

Сучасна розробка програмного забезпечення дедалі частіше потребує застосування тривимірної візуалізації для створення інтерактивних, наочних та реалістичних продуктів. 3D-моделювання знаходить широке застосування в ігровій індустрії, навчальних симуляціях, інженерних додатках та візуалізації даних. Зважаючи на стрімкий розвиток IT-технологій і зростаючі вимоги до користувацького досвіду та функціональності програмних продуктів, дослідження ролі та можливостей використання 3D-моделювання в процесі розробки ПЗ є надзвичайно актуальним. Воно дозволяє підвищити якість продукту, сприяє розвитку професійних компетенцій фахівців та формує нові підходи до інтеграції сучасних технологій у навчальний і робочий процес. [1]

Мета – дослідити роль і можливості застосування 3D-моделювання у процесі розробки програмного забезпечення.

Відповідно до мети поставлені наступні завдання дослідження:

- Проаналізувати вимоги до розробки програмного забезпечення, у якому доцільне застосування 3D-моделювання, зокрема в ігрових проектах, симуляторах, інженерних додатках та навчальних системах. Це дозволить визначити, які функціональні й технічні можливості необхідно враховувати при інтеграції 3D-технологій.
- Виявити технічні бар'єри інтеграції 3D-моделей у процес розробки ПЗ. Аналіз включатиме обмеження програмних інструментів, вимоги до апаратного забезпечення.

Отже, аналіз вимог до розробки програмного забезпечення, у якому доцільне застосування 3D-моделювання, показує, що для різних типів проєктів ці вимоги значно відрізняються. Для ігрових проектів ключовими є висока продуктивність рендерингу, реалістична графіка, плавність анімації та інтерактивність користувацького досвіду. У симуляторах головну роль відіграє точність фізичних моделей і коректність відображення поведінки об'єктів у тривимірному середовищі. Інженерні додатки потребують високої деталізації геометрії, підтримки стандартів обміну CAD/3D-файлами та точності обчислень для проектування і аналізу. У навчальних системах важливими є наочність, простота керування моделями та інтерактивність для підвищення ефективності засвоєння матеріалу.

При інтеграції 3D-моделювання у різні типи програмного забезпечення необхідно враховувати специфічні функціональні та технічні аспекти. Тому опишемо для кожного типу ПЗ. І

так, для ігрових проектів важливо реалістична графіка, плавність анімації, інтерактивність та динамічна взаємодія користувача з об'єктами, підтримка складних сценаріїв та ігрової логіки (функціональні можливості), оптимізація продуктивності для реального часу, підтримка популярних графічних движків (Unity, Unreal Engine), сумісність із різними платформами та форматами 3D-моделей (технічні можливості). Для симуляторів – точне відтворення фізичних процесів, поведінки об'єктів і середовища, можливість масштабування сценаріїв для тренувальних задач (функціональні можливості), висока точність обчислень, підтримка складних фізичних моделей, інтеграція з системами контролю і збору даних (технічні можливості). Інженерні додатки вимагають деталізацію геометрії, точність проектування, можливість редагування і модифікації об'єктів, інтеграція з CAD-системами (функціональні можливості), підтримку стандартів обміну файлами (STEP, IGES, STL), сумісність із професійними інженерними платформами, ефективну робота з великими об'ємами даних (технічні можливості). І, нарешті, навчальні системи зосереджені на наочності та зрозумілості моделей, простоті керування, інтерактивності для підвищення ефективності навчання (функціональні можливості) та мають необхідність у підтримці мультимедійних інтеграцій, легкості у налаштуванні і розгортанні на різних пристроях, сумісності із навчальними платформами (технічні можливості).

Опишемо технічні бар'єри інтеграції 3D-моделей у процес розробки ПЗ залежно від типу застосування та інструментів. Ігрові проєкти (наприклад, використання такого ПЗ як Unity, Unreal Engine, Godot): обмежена підтримка складних анімацій та моделей, необхідність використання плагінів для імпорту нестандартних форматів 3D (FBX, OBJ); високі вимоги до графічних карт, процесорів і оперативної пам'яті для рендерингу у реальному часі, особливо при великій кількості об'єктів на сцені. Симулятори (використання V-REP/CoppeliaSim, Gazebo, Simulink 3D Animation): обмеження у точності фізичного моделювання та інтеграції складних сценаріїв, також не всі движки підтримують високоточні алгоритми симуляції; необхідність потужних процесорів для обробки фізичних розрахунків і великої кількості даних у реальному часі. Інженерні додатки (наприклад, якщо використовуємо, Autodesk AutoCAD, SolidWorks, Blender для CAD-моделей): тут обмежена сумісність із різними CAD-форматами (STEP, IGES, STL), труднощі з імпортом/експортом моделей між платформами; високі вимоги до продуктивності при роботі з великими та деталізованими моделями, потреба у стабільному обчислювальному середовищі для точності розрахунків. Ну і для навчальних систем (якщо, до прикладу, застосувати Tinkercad, SketchUp, Blender для освітніх проєктів): обмежена інтерактивність та мультимедійні функції у порівнянні з професійними движками, складність інтеграції з LMS (Learning Management Systems); обмежена продуктивність студентських пристроїв (ноутбуки, планшети), що може призводити до затримок рендерингу та зниження якості навчального досвіду. [3]

Дослідження показало, що 3D-моделювання є важливим інструментом у сучасній розробці програмного забезпечення, забезпечуючи інтерактивність, наочність і високу якість продукту. Для різних типів ПЗ – ігрових проєктів, симуляторів, інженерних додатків та навчальних систем – визначені специфічні функціональні та технічні вимоги, а також характерні бар'єри: від продуктивності апаратного забезпечення до обмежень програмних інструментів і сумісності форматів моделей. Урахування цих аспектів дозволяє ефективно інтегрувати 3D-технології, оптимізувати процес розробки та підвищити професійні компетенції розробників. Таким чином, 3D-моделювання не лише покращує користувацький досвід, але й сприяє розвитку інноваційних підходів у програмній інженерії.

Список використаної літератури

[1]. Барановська І. Г. Впровадження технологій 3D-моделювання в різних галузях. OpenEdu. 2024. URL: https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/528

[2]. Шевченко, М. І., & Петренко, О. Ю. (2023). Використання 3D-моделювання в сучасному програмному забезпеченні: аналітичний огляд. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 1(1), 12–25. URL: https://doi.org/10.1234/itci.2023.01.01

[3]. Романчук О. О., Лавренюк І. О. Аналіз програмного забезпечення для вивчення 3D-моделювання. Запорізький національний університет. 2024. URL: https://eprints.zu.edu.ua/40029/1/Романюк%20Лавренюк.pdf

УДК 004.94

3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ У НАУЦІ ТА МИСТЕЦТВІ

Гончарук Д.О.(d.honcharuk@student.karazin.ua)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна(Україна)

У тезах розглядається сутність 3D-візуалізації, напрями її застосування у науковій сфері та мистецтві, актуальність розвитку цього напряму для сучасного суспільства. Окреслено основні завдання досліджень, труднощі та перспективи впровадження технологій тривимірного моделювання в освітній, культурний та науковий простір.

У сучасному світі візуалізаційні технології стали одним із ключових інструментів наукового пізнання та художнього самовираження. 3D-візуалізація базується на методах комп'ютерної графіки, математичного моделювання та програмування, що дозволяє створювати реалістичні тривимірні моделі об'єктів і середовищ. Основною проблемою, яка зумовлює актуальність теми, є складність передачі та інтерпретації великого обсягу інформації у традиційних форматах, тоді як тривимірне зображення робить ці дані наочними, зрозумілими й інтерактивними [1].

У науці 3D-візуалізація виконує кілька важливих функцій. По-перше, вона є інструментом аналізу та моделювання процесів, які складно або неможливо дослідити експериментально. Так, у біології створюються тривимірні реконструкції клітин і органів, що допомагають у вивченні їхньої структури та функцій; у медицині застосовується 3D-томографія та візуалізація даних МРТ для діагностики та планування хірургічних втручань [2]. В астрономії тривимірні моделі дозволяють відтворювати рух космічних тіл, досліджувати структуру галактик і навіть симулювати еволюцію Всесвіту. По-друге, вона є ефективним засобом презентації результатів досліджень: складні обчислювальні дані в зручній для сприйняття формі можна демонструвати на конференціях, у навчальному процесі чи для популяризації науки [3].

У мистецтві 3D-візуалізація відкрила нову епоху цифрової творчості. Вона використовується у кіноіндустрії, створенні візуальних ефектів та анімацій, у комп'ютерних іграх, а також у сфері сучасного мистецтва. Художники застосовують 3D-моделювання для створення віртуальних інсталяцій, цифрових скульптур та інтерактивних виставок, що дозволяють глядачеві взаємодіяти з мистецьким об'єктом. Синтез мистецтва й науки формує міждисциплінарний простір, де візуалізація стає засобом інтерпретації складних наукових ідей у художній формі [4].

Завдання, які вирішує дослідження у цій галузі, полягають у вдосконаленні методів відтворення високоякісних 3D-моделей, оптимізації програмного забезпечення для їх створення та забезпеченні більшої інтерактивності у взаємодії з ними. Окремим викликом є потреба у потужних обчислювальних ресурсах, які забезпечують швидке рендерування та роботу з великими даними. Не менш важливим є питання доступності: професійні програми та обладнання залишаються дорогими, що обмежує широке використання в освітньому та культурному середовищі [5].

Попри ці труднощі, перспективи розвитку 3D-візуалізації залишаються надзвичайно широкими. Сучасні тренди вказують на інтеграцію з технологіями віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR), що дозволяє створювати повноцінні віртуальні середовища для навчання, досліджень та мистецьких експериментів. У майбутньому 3D-візуалізація стане не лише інструментом науки й мистецтва, а й важливим елементом освітнього процесу, економіки та культурного розвитку. Висновок можна сформулювати так: тривимірна візуалізація сьогодні є ключовим засобом пізнання й творчості, а її ефективне використання визначатиме конкурентоспроможність наукових і мистецьких спільнот.

Список використаної літератури

[1] "3D Visualization in Science and Engineering," ResearchGate, 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/341140318_3D_VISUALIZATION_TECHNOLOGY [Accessed: September 25, 2025].
[2] J. Montagnat, H. Delingette, and N. Ayache, "A review of deformable surfaces: topology, geometry and deformation," Image and Vision Computing, vol. 19, no. 14, pp. 1023–1040, 2001.
[3] L. Rosenblum, "Scientific Visualization: Advances and Challenges," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 20, no. 1, pp. 20–25, 2000.
[4] M. Candy, Art, Science & Technology: Collaborative Practices. Cambridge, MA: MIT Press, 2019.

[5] “What is 3D Visualization,” Chaos Online, 2025. [Online]. Available: https://blog.chaos.com/what-is-3d-visualization-main-benefits-and-use-cases [Accessed: September 27, 2025].

УДК 681.5:004.4

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗА ПРОЦЕСОМ 3D-ДРУКУ

Ковальчук Д.М. (kovalchuk.d.n@ukr.net)
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

У роботі представлено мобільний застосунок для дистанційного контролю за процесом 3D-друку з використанням хмарної платформи ThingSpeak. Система збирає дані з 3D-принтера через мікроконтролер, передає їх у хмару та відображає у мобільному інтерфейсі в реальному часі. Користувач може відстежувати температуру екструдера, платформи, швидкість друку та дистанційно керувати процесом. Розроблене рішення підвищує ефективність, безпечність і зручність 3D-друку, забезпечує своєчасне реагування на відхилення параметрів і може бути інтегроване в IoT-системи розумного виробництва.

У сучасному світі технологія тривимірного друку посідає провідне місце серед інноваційних засобів виробництва, дозволяючи створювати складні об’єкти з високою точністю та мінімальними витратами матеріалів. Однак процес 3D-друку потребує постійного контролю за температурними режимами, рухом екструдера, подачею матеріалу, а також за загальним станом пристрою. Тривале перебування біля принтера є незручним, тому актуальним завданням постає створення системи дистанційного моніторингу та керування процесом друку за допомогою мобільного застосунку. Для вирішення цієї проблеми розроблено прототип мобільного застосунку для дистанційного контролю параметрів 3D-друку, що базується на використанні мікроконтролерів та хмарного сервісу ThingSpeak, який забезпечує збір, обробку та візуалізацію даних у реальному часі.

Основна ідея полягає у створенні інтегрованої системи, де сенсорні дані з 3D-принтера (температура нагрівального елемента, температура платформи, швидкість подачі філаменту, стан двигунів тощо) передаються на мікроконтролер, який за допомогою модуля Wi-Fi надсилає їх до хмарної платформи ThingSpeak. Цей сервіс виконує функцію сховища та аналітичного середовища, де дані обробляються і відображаються у вигляді графіків та показників у режимі реального часу. Мобільний застосунок, розроблений для операційної системи Android, під’єднується до ThingSpeak через API-інтерфейс, отримує поточні параметри з принтера та візуалізує їх для користувача у зручній формі. Таким чином, користувач може контролювати процес друку з будь-якої точки світу, маючи лише доступ до Інтернету.

Метою роботи є створення мобільного застосунку для дистанційного моніторингу та керування 3D-друком, який забезпечить підвищення ефективності роботи принтера, скорочення часу простоїв, своєчасне реагування на відхилення параметрів і запобігання браку у готових виробах. Об’єктом дослідження є процес дистанційного моніторингу та керування параметрами 3D-друку з використанням мікроконтролерних систем і хмарних технологій. Предметом дослідження є програмно-технічні засоби збору, передавання і візуалізації даних 3D-принтера у мобільному застосунку в режимі реального часу.

У процесі розробки було створено структурну схему системи, до складу якої входять: 3D-принтер із сенсорними модулями, плата Arduino Mega 2560, модуль бездротового зв’язку, хмарна платформа ThingSpeak, а також мобільний клієнт. Програмна частина мікроконтролера реалізована мовою C++, забезпечує збір даних із датчиків, їх попередню обробку, фільтрацію шумів та відправлення на сервер через MQTT. У хмарному середовищі дані зберігаються у каналах ThingSpeak, де кожен канал відповідає окремому параметру (температура сопла, температура платформи, швидкість подачі тощо).

Мобільний застосунок реалізує два основні режими роботи – моніторинг та керування. У режимі моніторингу користувач бачить динаміку зміни параметрів, може оцінити стабільність

роботи системи, переглядати попередні сеанси друку та отримувати повідомлення у випадку перевищення критичних порогів. У режимі керування застосунок дозволяє дистанційно призупинити або відновити процес друку, скоригувати швидкість друку, температуру екструдера, а також змінювати налаштування матеріалу чи вибирати профілі друку.

Для візуалізації даних у мобільному застосунку використовується бібліотека графічного інтерфейсу, що забезпечує побудову лінійних графіків, гістограм та індикаторів у реальному часі. Окрім цього, реалізовано функцію сповіщення користувача через push-повідомлення при виникненні аварійних ситуацій, таких як перегрів екструдера, відсутність подачі філаменту або збій у роботі двигуна подачі.

Розроблена система має низку переваг. Вона є універсальною, оскільки може бути адаптована для будь-якої моделі 3D-принтера, що підтримує підключення до мікроконтролера. Вона економічна, оскільки використовує відкриті платформи (ThingSpeak, Arduino IDE) та недорогі апаратні компоненти. Крім того, система є масштабованою – до неї можна підключати додаткові датчики або інтегрувати інші сервіси, наприклад, Google Cloud, Firebase чи Telegram-боти для розширення функціоналу.

Впровадження мобільного застосунку для дистанційного контролю за процесом 3D-друку дозволяє суттєво підвищити надійність і безпечність виробничого процесу, а також забезпечує зручність користувача, який може керувати принтером із будь-якого місця. Така система є ефективним кроком у напрямку розвитку концепції Інтернету речей та цифрової фабрики майбутнього, де всі пристрої взаємодіють у єдиному інформаційному середовищі.

Таким чином, розроблений мобільний застосунок у поєднанні з хмарною платформою ThingSpeak створює ефективну, доступну та надійну систему дистанційного контролю за процесом 3D-друку, що забезпечує новий рівень автоматизації та зручності в управлінні адитивними технологіями.

Список використаної літератури

[1] А. П. Бондарчук, І. А. Олейніков, Т. О. Бажан, “Застосування методів машинного навчання до управління 3D принтером,” Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, № 1(82). С. 4–15. 2024. https://doi.org/10.31673/2412-4338.2024.010415

[2] O. B. Zgalat-Lozynskyy, “Materials and Techniques for 3D Printing in Ukraine (Overview),” Powder Metallurgy and Metal Ceramics, vol. 61, pp. 398–413, 2022. https://doi.org/10.1007/s11106-023-00327-y

[3] Н. В. Ічанська, С. І. Улько, «Основні аспекти створення мобільних додатків та вибір інструментів їх розробки,» Системи управління, навігації та зв’язку / Інформаційні технології, том 1, № 59. С. 74–78. 2020. https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.074

УДК 004.94:37

3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Кравченко А. О. (anna.kravchenko28001@gmail.com)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

У роботі розглянуто можливості використання технологій тривимірної візуалізації у сучасному навчальному процесі. Проаналізовано приклади застосування 3D-графіки та VR/AR у різних освітніх галузях, зокрема у медицині, архітектурі, історії та природничих науках. Визначено основні переваги впровадження 3D-візуалізації, серед яких – підвищення наочності матеріалу, розвиток просторового мислення та формування більшої мотивації до навчання. Зазначено також ключові труднощі: вартість обладнання, потреба у кваліфікованій підготовці викладачів та доступність технологій для навчальних закладів. Практична цінність роботи полягає у визначенні перспектив розвитку 3D-візуалізації як інноваційного інструменту, здатного зробити освіту більш ефективною та інтерактивною.

Постановка проблеми. Сучасні освітні системи активно впроваджують цифрові технології, які дозволяють урізноманітнити навчальний процес та зробити його більш ефективним. Одним із перспективних напрямів розвитку є використання 3D-візуалізації, яка надає можливість моделювати складні процеси та об'єкти у наочній і доступній формі. Такі технології можуть забезпечити інтерактивність, сприяти розвитку просторового мислення та формуванню практичних навичок [1-4].

Однак, попри значний потенціал, застосування 3D-візуалізації у навчанні стикається з низкою проблем. Серед них: висока вартість обладнання, відсутність уніфікованих методик впровадження, нерівний доступ навчальних закладів до сучасних ресурсів, а також необхідність спеціальної підготовки викладачів [5]. Додатковою перешкодою є недостатня кількість досліджень, що систематизують досвід використання таких технологій у різних освітніх дисциплінах [6].

Наукові джерела акцентують увагу на потребі вдосконалення освітніх методик за допомогою VR та AR, проте комплексного підходу до оцінки ефективності та доступності цих рішень поки бракує. Це знижує темпи їхнього широкого впровадження у навчальні програми [6-7].

Отже, проблема полягає у пошуку шляхів оптимального використання 3D-візуалізації в освіті, які б поєднували доступність, економічну доцільність і педагогічну цінність, а також у створенні моделей інтеграції цієї технології у різні освітні середовища.

Перелік вирішених завдань. У ході дослідження було здійснено аналіз сучасних напрямів застосування 3D-візуалізації в освітньому процесі, зокрема у таких галузях, як медицина, архітектура, природничі науки та історія. Розглянуто приклади інтеграції VR та AR технологій у навчання, що дало змогу визначити їхні ключові переваги та практичну цінність для студентів і викладачів [3-5]. Також було вивчено наукові праці та досвід освітніх установ щодо використання тривимірних моделей у навчальному середовищі, що дозволило систематизувати основні підходи та методики [1-2].

Окрему увагу приділено проблемним аспектам упровадження 3D-візуалізації, серед яких – висока вартість обладнання, потреба у спеціальній підготовці педагогів та обмеженість доступу до сучасних ресурсів. На основі проведеного аналізу сформульовано рекомендації щодо оптимального використання 3D-технологій у навчальних програмах, які поєднують наочність, інтерактивність та доступність [8].

Суть дослідження. Дослідження спрямоване на вивчення можливостей застосування технологій тривимірної візуалізації у навчальному процесі з метою підвищення ефективності засвоєння знань та розвитку просторового мислення студентів [3-4]. Основна увага була зосереджена на аналізі сучасних підходів до використання 3D-моделей, віртуальної та доповненої реальності у різних галузях освіти. У ході роботи було розглянуто приклади інтеграції 3D-візуалізації у медичну підготовку, архітектурне проєктування, вивчення природничих наук і гуманітарних дисциплін, що дало можливість окреслити переваги та проблеми впровадження таких технологій [2], [5], [7].

Проведений аналіз показав, що використання тривимірних моделей сприяє підвищенню наочності навчального матеріалу, формуванню мотивації до навчання, а також розвитку практичних навичок через інтерактивну взаємодію з об'єктами. Окремо було розглянуто виклики, пов'язані з інтеграцією технологій у навчальні програми: фінансові витрати на обладнання, потреба у спеціальній підготовці викладачів та обмежений доступ до сучасних технічних засобів у закладах освіти [4], [6].

На основі отриманих результатів було сформульовано рекомендації щодо використання 3D-візуалізації в освіті, які передбачають поєднання традиційних методів викладання з інноваційними цифровими інструментами. Це дозволяє розглядати 3D-технології не лише як допоміжний засіб, а й як повноцінний елемент освітнього середовища, здатний зробити процес навчання більш інтерактивним, практичним і доступним [1], [8].

Підсумовуючи, можна зазначити, що суть дослідження полягає у визначенні ролі та перспектив 3D-візуалізації як інноваційного інструменту освіти, який забезпечує інтеграцію новітніх інформаційних технологій у підготовку фахівців різних галузей.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було проаналізовано можливості використання технологій тривимірної візуалізації у навчальному процесі. Виявлено, що 3D-моделі, VR та AR сприяють підвищенню наочності матеріалу, розвитку просторового мислення та

формуванню практичних навичок студентів. Окремо було визначено основні проблеми впровадження цих технологій, серед яких – висока вартість обладнання, необхідність підготовки педагогів та обмежений доступ до сучасних ресурсів у частині навчальних закладів.

На основі аналізу зроблено висновок, що 3D-візуалізація є перспективним інструментом модернізації освіти, який поєднує інноваційність, інтерактивність та практичну цінність. Використання таких технологій здатне підвищити якість підготовки фахівців і зробити освітній процес більш ефективним та цікавим.

Список використаної літератури

11. “3D-засоби наочного навчання для школи: mozaWeb і Lifeliqe.” [Електронний ресурс]. Доступно: https://b-pro.com.ua/statti/3d-zasobi-naochnogo-navchannya-oglyad-osvitnih-onlajn-platform-mozaweb-i-lifeliqe. [Дата звернення: 16.10.2025].

12. “3D-революція з доповненою реальністю,” AR Book. [Електронний ресурс]. Доступно: https://arbook.info/3d-revolyucziya-z-dopovnenoyu-realnistyu/. [Дата звернення: 16.10.2025].

13. I. Bui, "Role of Three-Dimensional Visualization Modalities in Medical Education," Advances in Medical Education and Practice, vol. 12, pp. 1209–1221, 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8691210/. [Дата звернення: 16.10.2025].

14. J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, "A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda," Computers & Education, vol. 147, p. 103778, 2020.

15. M. Slater and M. V. Sanchez-Vives, "Enhancing our lives with immersive virtual reality," Frontiers in Robotics and AI, vol. 3, p. 74, 2016.

16. M. Billinghurst, A. Clark, and G. Lee, "A Survey of Augmented Reality," Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, vol. 8, no. 2–3, pp. 73–272, 2015.

17. R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.

18. Blender Foundation, "Blender – Free and Open Source 3D Creation Suite." [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.blender.org/. [Дата звернення: 16.10.2025].

УДК 004.92

АВТОМАТИЗОВАНЕ НАЛАШТУВАННЯ 3-POINT LIGHT У BLENDER 3D ЯК ЕТАП ДОСЛІДЖЕННЯ ОСВІТЛЕННЯ В 3D СЦЕНАХ

Лисковецький В.В., Болтач С.В., Ломовцев П.Б.
(vlad.liskovetskiy@gmail.com, boltach.svetlana@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

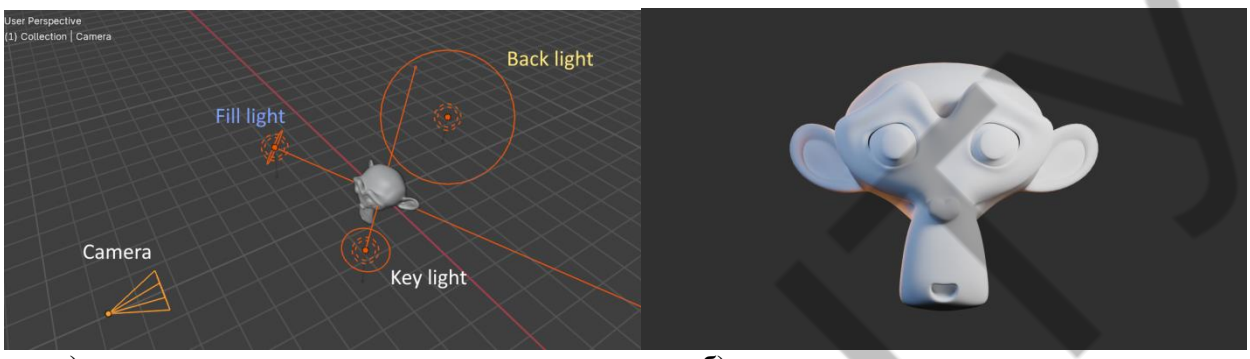
У тезах розглянуто методи організації освітлення у 3D сценах з акцентом на схему трьох точок освітлення (3-point light) у середовищі Blender3D. З метою оптимізації процесу підготовки сцен для тестових рендерів було розроблено аддон, який автоматизовано створює та налаштовує три джерела світла відповідно до вибраного на сцені об’єкта. Реалізація здійснена засобами Python API, що забезпечує інтеграцію інструменту безпосередньо у робоче середовище Blender.

Візуальна якість 3D-сцен значною мірою залежить від налаштування освітлення – навіть досконала модель чи текстура не матимуть виразності без якісної світлотіні. У 3D-графіці використовується багато методів освітлення: це можуть бути освітлення із заданим направленням (directional light, point light, area light), глобальне освітлення для покриття світлом усієї сцени (наприклад кімнати), ambient освітлення для м’яких тіней, тощо [1].

Під час створення анімацій логотипів найчастіше використовується гібридна система освітлення з кількох джерел, де кожне світло взаємодіє або з окремими об’єктами сцени, або освітлює композицію в цілому. Втім, для більш глибокого дослідження принципів побудови освітлення у 3D-просторі було прийнято рішення розробити програмне розширення (аддон) для

Blender3D, де у якості окремого методу автоматизовано налаштовуватиметься освітлення за принципом трьох точок.

Одним із класичних підходів у візуалізації є саме три точкове освітлення [2] – схема, що використовує ключове світло (Key Light), яке формує основний характер сцени, світло, що заповнює сцену (Fill Light) для пом'якшення контрасту тіней та заднє світло (Back/Rim Light), яке підкреслює контури об'єкта. На етапах створення тестових рендерів, коли необхідно оцінити взаємодію змодельованого об'єкта зі світлом, цей метод є ефективним і зручним для попередньої візуалізації. Розроблений аддон допоможе автоматизовано створити тестове освітлення об'єкту за короткий час.



а) б)

Рисунок 1.1 – Схема побудови методу трьох джерел світла для рендеру об'єкта у 3D просторі:
а) – об'єкти у робочому просторі 3D-виду, б) – рендер сцени на рушії Cycles

На рисунку 1.1 продемонстровано базову схему 3-point освітлення у середовищі Blender3D, де розташовано ключове, що заповнює та заднє джерела світла відносно об'єкта візуалізації (стандартна модель Suzanne) та камери спостереження. Безпосередньо в панелі аддону можна однією кнопкою додати схему з трьох джерел світла. Додаткові налаштування дадуть змогу редагувати відстань до цільового об'єкта, обертати світильники довкола моделі, направити джерела у потрібному напрямку, змінити їм силу світла, колір, формфактор (для Key та Fill light) та радіус розповсюдження світла (для Back light).

Більшість із цих параметрів у стандартному середовищі Blender розміщено у вкладці Object Data Properties при виборі конкретного джерела світла. Однак у межах даної розробки вони були перенесені до єдиної панелі аддону, що забезпечує цілісне керування схемою освітлення без необхідності пошуку потрібного світильника у панелі Outliner або у просторі 3D-виду (наприклад, коли на сцені є багато інших джерел світла та допоміжних об'єктів).

Розібравши функціонал розробленого програмного розширення, можна більш детально дослідити його принцип роботи за діаграмою активності (рис 1.2).

На діаграмі активності показано послідовність взаємодії користувача з розробленим аддоном. Процес починається з ініціації створення схеми освітлення, після чого програма автоматизовано генерує три джерела світла із заданими параметрами. Подальші налаштування у панелі аддону (зміна відстані, кольору або потужності світла) оновлюються у реальному часі, і Blender дає змогу побачити результат створеного освітлення у режимі Render Preview.

Розроблення даного розширення здійснювалося з використанням вбудованого в Blender3D середовища Python API [3], який надає можливість створювати власні інструменти та автоматизувати процеси безпосередньо всередині програми.

Основною бібліотекою є "bpy" – це інтерфейс програмування, який надає повний доступ до об'єктів сцени, матеріалів, джерел світла, камер, а також до системи користувацьких інтерфейсів. Саме через bpy.data, bpy.context та bpy.types відбувається створення нових об'єктів, керування їхніми властивостями, реєстрація власних операторів, інтеграція власних панелей інтерфейсу.

Для інтеграції аддону в інтерфейс Blender3D використовуються стандартні класи bpy.types.Panel та bpy.types.Operator, які відповідають за відображення елементів керування в користувацькому інтерфейсі Blender та виконання певних дій користувача. Реєстрація цих класів здійснюється через функції bpy.utils.register_class() та bpy.utils.unregister_class(), що забезпечує коректне підключення і відключення аддону в системі. Завдяки цьому створене розширення

з’являється у спеціальній бічній панелі вікна 3D виду, де користувач може виконувати всі необхідні налаштування освітлення.

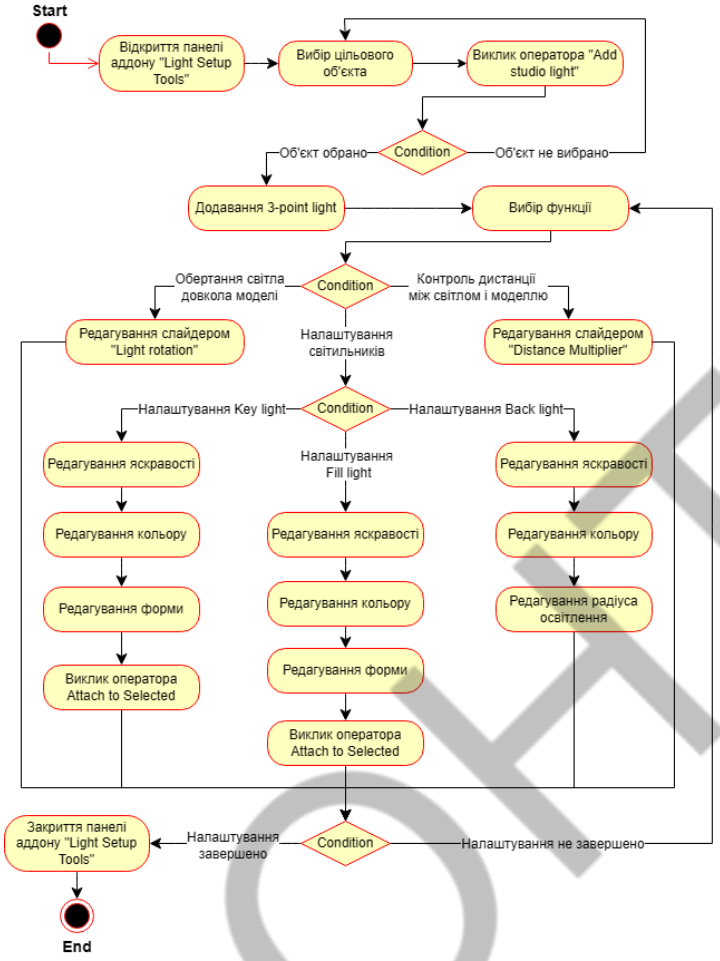


Рисунок 1.2 – Діаграма активності взаємодії користувача з аддоном

Допоміжний модуль mathutils [4] застосовується для роботи з векторами, матрицями та геометричними обчисленнями. У даному випадку він використовується для визначення позицій світильників у просторі та обчислення їхніх напрямків відносно цільового об’єкта. Зокрема, клас Matrix дозволяє виконувати обертання та трансформації координат світильників, забезпечуючи коректне розташування елементів схеми освітлення під заданими кутами. Крім того, у коді використовуються базові методи модуля math для обчислення кутів повороту та нормалізації відстаней між об’єктами. Структура аддону побудована за модульним принципом де основні дії винесено у функції з чітко визначеними завданнями.

Завдяки поєднанню цих бібліотек і класів реалізується компактна, але функціональна система автоматизованого створення схеми освітлення з інтерактивним інтерфейсом налаштування. Запропоноване розширення отримало назву “Light Setup Tools”. Воно поєднує простоту використання з гнучкістю налаштувань, що робить його зручним інструментом для тестової візуалізації моделей у Blender3D. Така автоматизація освітлення забезпечує стабільність результатів і прискорює створення тестових рендерів без потреби у довшому ручному налаштуванні сцени.

Список використаної літератури

[1] Professional3dservices.com: [Website]. URL: https://professional3dservices.com/blog/3d-lighting-techniques-used-in-rendering-process.html (viewed on: 15.10.2025).
[2] Www.3drender.com: [Website]. URL: https://www.3drender.com/light/3point.html (viewed on: 16.10.2025).
[3] Docs.blender.org: [Website]. URL: https://docs.blender.org/api/current/index.html (viewed on: 17.10.2025).
[4] Docs.blender.org: [Website]. URL: https://docs.blender.org/api/current/mathutils.html (viewed on: 17.10.2025).

УДК 004.9

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОФІЛІВ ДЕТАЛЕЙ ДЕКОРУ

Ломовцев П.Б., Болтач С.В. (lomovtsevp@gmail.com, boltach.svetlana@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

В компаніях, що займаються проєктуванням та виготовленням архітектурного та інтер'єрного декору, часто виникають певні задачі, що пов'язані з підготовкою до виробництва різноманітних моделей виробів з різними типами покриття або різними засобами нанесення покриття на заготовку.

Зразки виробів та форми для їх лиття можуть бути виготовлені вручну або на обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК) або англ. Computer Numerical Control (CNC): фрезері, пінорізі, лазерної різки тощо [1]. Деталі декору виготовляються з різних матеріалів: гіпс, бетон, акрилова суміш, пінопласт та інші, але найбільш часто використовують вироби з пінопласту. На деталі з пінопласту, як правило, наноситься спеціальне покриття, яке може бути як декоративним (надання кольору, різних оптичних ефектів) для інтер'єру так і захисним для екстер'єру (захист від атмосферного впливу та ультрафіолету, для гідроізоляції, надання міцності) або не наноситись взагалі. Тоді при проєктуванні деталей, шаблонів та форм необхідно враховувати допуски виготовлення на певному обладнанні, на товщину покриття та способу його нанесення.

Якщо розглядати найбільш поширену категорію у асортименті продукції – деталі з екструдованих профілів (карнизи, підвіконня, наличники, різні молдинги), то необхідно виготовити заготовку за необхідним профілем та, у випадку нанесення покриття, шаблон для протягування заготовки, наприклад, для протяжної бункерної системи нанесення покриття [2]. Такі архітектурні елементи як кронштейни, русти, пілястри, колони тощо, також можна виготовляти з профілів, але в цілому технологія виготовлення більш складна та часто включає більшу кількість операцій в залежності від складності виробу.

Для деталей, що не мають покриття або виготовляються як зразок, необхідно врахувати товщину «на проріз». Наприклад, для пінорізу товщина пропалу може бути 2 мм, тобто по 1 мм з кожної сторони від розігрітої струни в залежності від температури розпалу. Тоді опитним шляхом можна підібрати, що до профілю деталі за кресленням треба додати еквідистантний відступ на 1 мм зовні контуру. Так само для фрезера відступ буде складати радіус фрези.

Для виготовлення деталей з покриттям повинен враховуватись одночасно припуск для нанесення покриття певної товщини та товщину «на проріз», як вже було розглянуто: еквідистантна лінія профілю повинна бути на відстані товщини покриття з відніманням товщини «на проріз» від профілю за кресленням і буде, зазвичай, знаходитись всередині контуру. Але є й певні особливості. В залежності від способу нанесення покриття, не всі поверхі покриваються шаром покриття. Наприклад, у протяжній бункерній системі у заготовки не покривається базова поверхня, на якій вона лежить на столі (як правило це плоска поверхня, що слугує для монтажу на об'єкті – стіна, стеля тощо). Для такої поверхні потрібно створювати еквідистанту з врахуванням тільки товщини «на проріз». Таким чином, контур профілю для виготовлення заготовки буде відрізнятися від контуру за кресленням.

Шаблони профілів деталей проєктуються у CAD-системі за кресленням або 3D моделлю деталі з врахуванням особливостей профілю та виготовляються на CNC-обладнанні. До особливостей профілю можна віднести: габаритні розміри профілю, співвідношення ширини та висоти, асимметричне розташування відносно середньої лінії шаблону, що приводить до нерівномірного нанесення покриття, наявність дуже тонких місць профілю, що може призвести до зламу заготовки, наявність гострих та оборотних кутів. При підготовці керуючої програми для CNC-обладнання у CAM-системі зазвичай вже враховуються всі допуски на виготовлення певним інструментом.

Такий підхід дозволяє врахувати особливості профілів деталей, способу нанесення на них покриття та технології виготовлення, що значно прискорює процес автоматизованого проєктування та виготовлення декоративних елементів.

Список використаної літератури

[1] Ломовцев П. Б. Використання програмного забезпечення виготовлення деталей на CNC-обладнанні / П. Б. Ломовцев, О. С. Бойцова, С. В. Болтач // Зб. тез доп. 80-ї наук. конф. викл. акад.,

Одеса, 7–8 трав. 2020 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; під заг. ред. Б. В. Єгорова. – Одеса : ОНАХТ, 2020. – С. 240.

[2] Ломовцев П. Б. Проєктування шаблонів профілів для протяжної бункерної системи нанесення покриття на деталі архітектурного декору / Ломовцев П. Б., Скарлата С. В. // Збірник тез доповідей 85 наукової конференції викладачів університету, Одеса, 22–25 квіт. 2025 р. / Одес. нац. технол. ун-т; під заг. ред. Б.В. Єгорова. – Одеса: ОНТУ, 2025. – С. 213–214.

УДК 004.3

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ

Романюк [1]О.Н. Майданюк В.П., Стахов О. Я., Бойко[2] О.П. (rom8591@gmail.com)

[1] Вінницький національний технічний університет, [2] Комунальний заклад «Вінницький ліцей №7 ім.Олександра Сухомовського»

Наведено аналіз сучасних тенденцій розвитку тривимірного моделювання та адитивного виробництва. Розглянуто методи формування об'ємних моделей: параметричний, генеративний, топологічний, імпліцитний та реконструкцію за даними сканування. Висвітлено основні технологічні підходи до тривимірного друку полімерів, металів і композитів.

Тривимірне моделювання є невід'ємною частиною цифрового виробництва, оскільки забезпечує перехід від концептуального проєктування до фізичного виробу без втрати точності. Розвиток адитивних технологій супроводжується появою нових математичних моделей геометрії, удосконаленням алгоритмів побудови поверхонь і інтеграцією штучного інтелекту у процеси оптимізації [1]. Сучасне моделювання охоплює не лише геометрію, а й фізичні властивості матеріалів, умови охолодження, теплопередачі та напружень. Параметричне моделювання залишається основою інженерного проєктування. Воно базується на суворих геометричних співвідношеннях, що дозволяє забезпечити точність виготовлення деталей для машинобудування, авіації чи приладобудування. Проте для адитивного виробництва цей метод часто є недостатнім, оскільки не враховує обмеження, пов'язані з орієнтацією шару, мінімальною товщиною елемента чи температурними деформаціями [2].

Для подолання цих обмежень розвивається проєктування з урахуванням технологічних можливостей друку. Генеративний метод дає змогу автоматично створювати форми, що відповідають заданим критеріям: міцності, маси, вартості, охолодження чи енергоспоживання. Програмні комплекси на основі штучного інтелекту будують велику кількість варіантів конструкцій і вибирають найоптимальнішу за обраними показниками [3]. Наприклад, проведені дослідження доводять, що застосування генеративного проєктування скорочує масу деталей на 30–50 % без втрати механічної стійкості [4].

Топологічна оптимізація є окремим випадком генеративного підходу, де основним завданням є пошук мінімальної кількості матеріалу при збереженні міцності. Метод широко використовується для деталей літаків, автомобілів, медичних імплантів. Його ефективність підвищується при поєднанні з алгоритмами навчання, які прогнозують напруження в матеріалі та забезпечують рівномірність розподілу навантажень [5].

Імпліцитне моделювання базується на описі форми через математичні рівняння та поля відстаней. Цей підхід дозволяє створювати решітчасті або пористі структури з контрольованою щільністю та пружністю. Його активно застосовують у біомедичних дослідженнях для виготовлення пористих ендопротезів, які сприяють зрощенню тканин і зменшують вагу виробу [6]. Дослідження показують, що імпліцитні структури з топологічною оптимізацією підвищують міцність при стисканні на 20–25 % у порівнянні зі звичайними сітчастими формами [7].

Тривимірне сканування, фотограмметрія та оптична реконструкція дозволяють створювати точні цифрові копії реальних об'єктів. Поєднання цих методів із системами штучного зору створює основу для зворотного інжинірингу — процесу, коли зразок виробу оцифровується, оптимізується й відтворюється за допомогою друку [8]. Такі технології є особливо актуальними у реставрації та медицині, де потрібна точність відтворення анатомічних структур.

У сфері тривимірного друку полімерні технології залишаються найпоширенішими. Метод послідовного накладання розплавленого пластику є найдоступнішим, проте обмеженим у точності. Перевагою фотополімерних технологій є висока роздільна здатність та гладкість поверхні. Порошкові методи забезпечують ізотропні властивості та дозволяють виготовляти деталі без підтримувальних елементів, але потребують складного контролю температури та гранулометрії порошку [9].

Металевий друк, зокрема лазерне та електронно-променеве плавлення, сьогодні використовується для виготовлення турбін, медичних імплантів і форм для лиття. Наукові публікації IEEE з 2024 року засвідчують, що стабільність якості таких виробів значною мірою залежить від систем моніторингу, які аналізують температуру та форму розплаву в реальному часі [10]. Використання сенсорів і тепловізійних камер дозволяє автоматично коригувати потужність випромінювання та швидкість подачі порошку.

Адитивне виробництво поступово виходить на рівень стандартизованого промислового процесу. Міжнародні стандарти ISO 52900, ISO 52910 та ASTM F42 регламентують терміни, вимоги до матеріалів, методи випробувань і сертифікацію продукції. Застосування цифрових паспортів виробів забезпечує простежуваність від етапу моделювання до готової деталі [11].

Особливий інтерес викликає тривимірний друк у будівництві. Дослідження в журналі IEEE Transactions on Engineering Management (2025) описують успішні приклади друку бетонних конструкцій завдяки роботизованим системам і сумішам з контрольованою реологією. Це відкриває перспективу швидкого спорудження житла та об’єктів інфраструктури при мінімальних витратах праці [12].

У біомедичній галузі тривимірний друк став важливою технологією персоналізованої медицини. Біосумісні гелі та полімери дозволяють створювати анатомічні моделі органів для планування операцій, а також штучні тканини. Дослідження IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology (2025) описують успішне відтворення хрящової тканини із застосуванням клітинних структур, надрукованих шарами гідрогелю [13].

Порівняння методів показує, що параметричне моделювання є найточнішим, але обмежує творчість; генеративне — найефективніше за масою, але потребує великої обчислювальної потужності; топологічна оптимізація дає найбільшу економію матеріалу, однак часто потребує післяобробки; імпліцитне — найгнучкіше, проте вимагає високої роздільної здатності принтера. З точки зору друку екструзійний метод дешевий, фотополімерний — високоточний, порошкове плавлення — універсальне, а наплавлення — придатне для ремонту великих об’єктів [14].

Подальший розвиток галузі визначається впровадженням цифрових двійників — віртуальних моделей, які повторюють поведінку реального процесу друку. Це дозволяє прогнозувати дефекти та автоматично коригувати параметри в режимі реального часу. Поєднання сенсорних даних, систем керування і штучного інтелекту формує концепцію «розумного виробництва» , яка є основою промисловості майбутнього [15].

У найближчі роки очікується інтеграція технологій тривимірного моделювання та друку в освіту, малі підприємства, архітектуру, ремонтні служби. Важливим напрямом стане використання екологічних композитів на основі природних волокон, що зменшить вуглецевий слід і зробить виробництво сталим. Розвиток адитивних технологій у поєднанні з цифровими двійниками та автоматичним контролем якості створює передумови для повної трансформації інженерної діяльності [1], [16].

Список використаної літератури

[1] A. Gebhardt and J. Kessler, *3D Printing: Understanding Additive Manufacturing*, IEEE Press, 2023.

[2] H. Zhang et al., “Digital Twin-Driven Design for Additive Manufacturing,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 20, no. 2, pp. 1357–1369, Feb. 2024.

[3] X. Wu, Y. Yang, “Optimization-Based Generative Design for Lightweight Structures,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 45789–45801, 2024.

[4] S. Li et al., “AI-Assisted Topology Optimization for Additive Manufacturing,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 3851–3865, Oct. 2024.

[5] M. Sharma et al., “Machine Learning Enhanced Generative Design for Engineering Components,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 8755–8771, 2025.

[6] J. Chen, “Implicit Modeling of Lattice Structures for Biomedical Implants,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 72, no. 3, pp. 619–630, Mar. 2024.
[7] L. Zhao et al., “Additive Manufacturing of Lattice Structures with Controlled Porosity,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 55214–55228, 2024.
[8] R. Singh et al., “3D Scanning and Reverse Engineering Integration for Additive Manufacturing,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 22441–22455, 2025.
[9] K. Lee et al., “Process Control in Laser Powder Bed Fusion: A Review,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 71, no. 7, pp. 6420–6433, July 2024.
[10] Y. Wang et al., “Real-Time Monitoring of Melt Pool Dynamics in Metal Additive Manufacturing,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 412–423, Jan. 2024.
[11] ISO/ASTM 52900:2021, *Additive Manufacturing – Fundamentals and Vocabulary*.
[12] T. Choi et al., “Automation and Sustainability in Construction 3D Printing,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 72, no. 1, pp. 175–187, 2025.
[13] L. Wu et al., “3D Bioprinting of Cartilage Tissue Using Gel-Based Scaffolds,” *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, vol. 6, pp. 112–122, 2025.
[14] C. Huang et al., “Comparative Study of Additive Manufacturing Methods for Polymer Composites,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 45591–45608, 2025.
[15] R. Liu et al., “Smart Manufacturing Frameworks for Additive Production Systems,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 8, pp. 9213–9225, Aug. 2023.
[16] P. Li et al., “Eco-Friendly Materials and Sustainable 3D Printing,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 55777–55790, 2025.

УДК 004.92

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ. 3D-ДРУК НАВЧАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ 155-ММ БОЄПРИПАСІВ

Снітков К.І., Поліщук А.М, Семів Г.О.
(canstantin@gmail.com, a.polishchuk2014@gmail.com, galinasemiv1985@gmail.com)
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (Україна)

У тезах розглядаються застосування адитивних технологій для виготовлення навчальних моделей 155-мм снарядів як відповідь на дефіцит спеціалізованих макетів у ВВНЗ. Показано переваги 3D-друку для візуалізації будови боєприпасів, створення розрізних зразків та їх інтеграції у навчальний процес без ризику для безпеки. Наведено оцінку впливу таких моделей на якість засвоєння теоретичного та практичного матеріалу навчаємих, а також обґрунтовано їх економічну та методичну доцільність. Подано рекомендації щодо впровадження системного підходу до інтеграції адитивних технологій у програми підготовки фахівців за даним напрямком.

Снаряди калібром 155 мм є стандартом у багатьох сучасних артилерійських системах, таких як M777, PzH 2000, CAESAR, Krab, 2C22 тощо. Знання конструкції цих боєприпасів дозволяє навчаємим краще розуміти їхню функціональність, принцип дії та особливості використання в бойових умовах. Розуміння будови боєприпасів сприяє підвищенню рівня безпеки під час їх обслуговування, транспортування, заряджання та підготовки до стрільби. З огляду на актуальні виклики сучасного бою, розуміння будови та принципів роботи снарядів є критично важливим для підготовки фахівців артилерійського профілю.

На сьогоднішній день існує важлива проблема у сфері підготовки військових фахівців, пов’язана з відсутністю навчальних боєприпасів калібру 155 мм. Це обумовлено тим, що країни-партнери, які активно підтримують Україну в умовах збройного конфлікту, зосереджують свою допомогу виключно на постачанні бойових боєприпасів для забезпечення обороноздатності та відсічі ворога.

Також українські виробничі потужності також максимально орієнтовані на виготовлення бойових боєприпасів, що є критично необхідним у поточній ситуації. Це створює дефіцит навчальних боєприпасів, які є надзвичайно важливими для підготовки особового складу, зокрема курсантів ВВНЗ та центрів підготовки.

Часткове вирішення проблеми нестачі навчальних боєприпасів може здійснюватися шляхом перефарбування та нанесення маркування на снаряди калібру 152 мм, але це має низку суттєвих обмежень і недоліків.

Таким чином, враховуючи вище вказані потреби, пропонується використання навчальних снарядів, виготовлених за допомогою 3D-друку (рис. 1). Цей підхід має низку переваг, які роблять його перспективним рішенням для вирішення проблеми нестачі навчальних снарядів калібру 155-мм.

Рис. 1 - Навчальні снаряди калібру 155-мм виготовлені за допомогою 3D-друку

Переваги використання 3D-друку є: швидкість виготовлення – 3D-друк дозволяє оперативно створювати навчальні боєприпаси у необхідній кількості, що особливо важливо за умов високого попиту на бойові снаряди.

Точне відтворення конструкції – завдяки 3D-друку можливо точно відтворити всі елементи снарядів калібру 155 мм, включаючи їхні лінійні розміри, форму ведучого пояска, корпусу та навіть елементи підривника.

Зниження витрат – виготовлення навчальних боєприпасів із пластикових або композитних матеріалів за допомогою 3D-друку є значно дешевшим, ніж використання металу та інших дорогих матеріалів, необхідних для виготовлення навчальних снарядів.

Безпека – навчальні боєприпаси, виготовлені з неметалевих матеріалів, не містять вибухових речовин, що забезпечує безпечне використання під час навчального процесу.

Можливість моделювання різних типів боєприпасів – враховуючи той факт, що під час бойових дій використовується десятки найменувань 155-мм снарядів, технологія 3D-друку дозволяє створювати навчальні аналоги різних типів снарядів (осколково-фугасних, касетних, високоточних, освітлювальних тощо), що підвищує рівень підготовки.

Слід також зазначити, що разом із рядом переваг використання снарядів калібром 155-мм виготовлені за допомогою 3D-друку виникають також ряд потенційних обмежень, а саме: міцність матеріалі – пластикові або композитні матеріали, які використовуються для 3D-друку, не здатні повністю відтворити фізичні характеристики металевих боєприпасів, наприклад, вагу чи міцність, що в свою чергу може обмежити можливість моделювання певних дій.

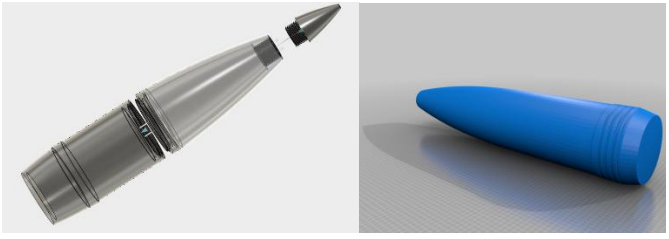


Рис. 2 - 3D-моделі боєприпасів

НТБОНТУ

Використання 3D-друку для створення навчальних боєприпасів є інноваційним підходом, який дозволить підвищити якість підготовки навчаємих за відповідним фахом, забезпечуючи їх сучасними навчальними засобами при мінімальних витратах.

Для виготовлення навчальних снарядів за допомогою 3D-друку необхідно:

Розробка 3D-моделей боєприпасів у спеціалізованих програмах (наприклад, AutoCAD [1], SolidWorks [2], Fusion 360 [3]). Моделі мають відповідати реальним боєприпасам за формою та розмірами (рис. 2.).

Вибір пристрою (3D-принтера) залежить від типу матеріалу та необхідної точності друку. Рекомендуються FDM або SLA-принтери. Процес виготовлення навчальних снарядів за допомогою 3D-принтера здійснюється шляхом друку по невеликих частинах (рис. 3), що є дійсно практичним і не потребує використання спеціалізованого обладнання. Такий підхід дозволяє використовувати звичайні настільні 3D-принтери, водночас забезпечуючи якість і функціональність. Пластикові матеріали PETG або ABS для корпусів. А також лако-фарбові матеріали для фарбування навчальних 155-мм снарядів та нанесення маркування.

Рис. 3 - Друк снаряду по невеликих частинах за допомогою 3D-принтера

Процес фарбування (рис. 4) навчальних боєприпасів також потребує виготовлення лекал для нанесення маркування, щоб забезпечити точність і уніфікованість написів та символів.

Аналізуючи проведену роботу, можна зробити висновок, що використання адитивних технології у військовій освіті, а саме 3d-друк навчальних моделей 155-мм боєприпасів (рис. 5), дозволяє:

Забезпечити наочність навчання – моделі відтворюють точну зовнішню форму та основні конструктивні елементи снарядів, що дає змогу військовослужбовцям детально ознайомитися з їх будовою. Це сприяє розумінню особливостей поводження із снарядами в реальних умовах.

Підвищити безпеку – використання повно розмірних, але інертних моделей виключає ризики, пов’язані з навчанням на бойових боєприпасах. Навчання проводиться без необхідності додаткових заходів безпеки.

Рис. 4 - Нанесення лекал на навчальний снаряд.

Знизити витрати – виготовлення моделей на 3D-принтері значно дешевше, ніж створення навчальних снарядів із металу, оскільки не потребує дорогих матеріалів чи складних виробничих

процесів. Причому матеріали для виготовлення навчального можна придбати в промислових магазинах. Тривале використання моделей забезпечує економію ресурсів і логістичних витрат.

Оптимізувати навчальний процес – особовий склад отримує можливість багаторазово тренуватися з імітованими боєприпасами, що прискорює засвоєння матеріалу.

Підвищити ефективність підготовки – знання, отримані під час роботи з реалістичними, але безпечними моделями, переносяться на практику з бойовими боєприпасами. Це скорочує час адаптації особового складу до реальних умов.

В цілому такий підхід забезпечує високу якість підготовки, безпеку та економічну доцільність.

Рис. 5 - 155-мм снарядів виготовлених за допомогою 3Д друку

Список використаної літератури

[1] *S. H. Düzgören, Autodesk AutoCAD 2022 AutoLISP Developer's Guide, Serdar Hakan Academy, 2021.*

[2] *D. Planchard, Engineering Design with SOLIDWORKS 2020, SDC Publications, 2019.*

[3] L. S. Cline, *Fusion 360 for Makers: Design Your Own Digital Models for 3D Printing and CNC Fabrication*, Make Community, LLC, 2021.

УДК 004.94:615

МОДЕЛЮВАННЯ ТА 3Д-ДРУК ПРОТЕЗІВ

Солощук О.О. (solosuksana@gmail.com)
ВСП «Фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій Одеського національного технічного університету»

У статті розглянуто технологію 3Д-друку та моделювання протезів. Здійснено дослідження ефективності та прикладів успішного застосування. Описано перспективи подальшого застосування та підведено підсумки до всієї теми

З розвитком технологій людство досягло багатьох неймовірних можливостей, які раніше вважались би або неможливими, або чаклунством. Так само відбулось і з 3Д-друком та моделюванням. Хто б міг уявити що технологія, яка дозволяє робити ксерокопію та друкувати книги еволюціонує у щось, що може відтворити навіть цілий міст. Саме так, 3Д-принтери і на це здатні. Хоча, для звичайного користувача вони, напевне більш відомі як пристрої для створення якихось фігурок та моделей. Але їх потенціал набагато більше і сьогодні я хочу поговорити саме про одну галузь де вони можуть бути неймовірно корисними.

Тож щоб не відставати від прогресу розробляються різноманітні методи та практики. **[1]**

Протезування ще ніколи не було настільки ефективним, як після винайдення цієї технології. Якщо раніше протези були, в більшості своїй, примітивні за функціоналом та в основному всі

стандартні, то у наш час все досконально змінилось. Зараз завдяки можливості сканування та моделювання протезу можно його ідеально підігнати під розміри окремої людини і заодно зробити їх більш рухливими та гнучкими. Матеріал також доволі різноманітний: раніше це були в основному дерево та залізо, то зараз це матеріали які складаються з різноманітних пластиків, смол та композитних матеріалів. Також, наявні матеріали дозволяють досягти великої зовнішньої схожості з втраченою кінцівкою, що на додачу з розвитком технології, яка може передавати відчуття дотику завдяки передачі сигналу і чутливому матеріалу дозволить нам взагалі забути про втрату кінцівок. І окрім всього цього в останні роки значно розвинулась пластична та реконструктивна хірургії. У статті «Sculpting the future: A narrative review of 3D printing in plastic surgery and prosthetic devices» говорилось про стереолітографію. Це технологія, що використовується у 3Д-друку, для ствоерння моделей, прототипів і зразків шар за шаром шляхом затвердіння полімеру під дією УФ променю. Вона використувалась для створення окремех акрилових імплантів для 30 пацієнтів. Хірурги заявляли про скорочення часу операції на 41% порівняно з відкритим холодним формуванням. Пацієнти були дуже задоволені результатами**.[2, 3]**

Якщо говорити про конкретні приклади застосування, то ось декілька з них описано далі.

У статті «Using a 3D-Printed Prosthetic to Improve Participation in a Young Gymnast» розповідається про використання протезів для дітей з недостатком верхніх кінцівок. Дефіцит верхніх кінцівок — це фізичний стан, який виникає, коли частина верхньої кінцівки дитини не формується повністю в утробі матері (вроджений) або коли захворювання чи травма вимагають ампутації. І хоч це не така розповсюджена проблема (на 10000 дітей приходиться всього 4), вона значно погіршує і обмежує подальше життя людини. У цій історії була саме така дівчинка, яка хотіла займатись гімнастикою і мала у ній непогані починання, однак хвороба не давала їй перспектив для подальшої участі. Так би все і могло закінчитись яякби не допомога. Для друку був використаний сайт ораганізації e-NABLE, де є велика кількість фалйів для 3Д-друку. Після того як все було підігнано під дитину, вони розробили його і почали пілотне тестування. Вона відвідувала заняття у ньому та робила звичайні речі. По типу підняття пляшки з водою, відкриваня дверей, тощо.Дитина змогла збільшити час висіння на низькій і високій перекладині до 28 секунд за допомогою протеза руки. За допомогою протеза руки вона змогла успішно виконати вправу «підтягування на підборідді», що дозволило їй пройти курс «початкового» рівня. Вона також змогла виконати «перетягування», але для цього їй знадобилася допомога тренерів, що завадило їй пройти курс «початківців-просунутих». Дитина також відповіла на 5-бальну анкету Лікерта, запропоновану дослідниками, зазначивши помітне поліпшення своєї участі, впевненості та задоволеності під час використання протезної руки. Участь збільшилася з (2) поганої участі без протеза до (4) хорошої участі з протезом. Впевненість зросла з (2) трохи впевнена без протеза до (4) в основному впевнена з протезом. Задоволеність гімнастикою зросла з (2) трохи задоволена без протеза до (4). **[4]**

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку 3D-друку для роботизованих протезів є інновації в області матеріалів. Дослідники вивчають нові типи полімерів та сполук, що мають поліпшені властивості, такі як підвищена міцність, гнучкість та біосумісність. Розумні матеріали, що реагують на зовнішні подразники, такі як температура та вологість, можуть дозволити створювати протези, які автоматично пристосовуються до змінних умов навколишнього середовища або користувача. Крім того, технології 3D-друку розвиваються в напрямку більш швидких і точних методів. Багатоматеріальний 3D-друк і 4D-друк, при якому матеріали змінюють форму у відповідь на подразники, починають впливати на дизайн роботизованих протезів. Ці досягнення можуть дозволити виготовляти протези, які динамічно адаптуються до потреб користувача та умов навколишнього середовища, тим самим покращуючи функціональність і довговічність. Окрім цього вбачається використання штучного інтелекту, що дозволить значно краще передавати сигнали та реагувати на них. Доповнена реальність (AR) і віртуальна реальність (VR) також починають відігравати роль у дизайні протезів та реабілітації. Ці технології можуть бути використані для моделювання використання протеза у віртуальному середовищі, що дозволяє користувачам тренуватися та адаптуватися до свого пристрою до того, як фізично його отримати. Такий підхід може поліпшити результати реабілітації та сприяти швидшій і ефективнішій адаптації.**[5]**

Тож, у заключенні можемо сказати, що технологія 3Д-друку у протезуванні буде розвиватись й надалі, та з великим шансом призведе до революційних відкритів та значно зможе полегшити

проведення операцій та реабілітацію після них. Однак є певні причини за якими цей процес може йти повільно, а саме економічні, технічні й етичні. В той час як у цій технології використовується бехліч матеріалів, все ж підібрати правильний під конкретну задачу буває доволі проблематично. Більше того, ці матеріали не завжди з дешевих й ціна виробу може різнитись від способу та місця приготування. Щодо питань етики, то тут можно сказати про затримки розвитку нових методів та перевірку їх ефективності, оскільки досліди на людях не є допустимими. Однак, це хоч і притормозить, але не завадить розробці та подальшому застосуванні нових виробів, особливо завдяки 3Д-моделюванню. Тож, хто знає, можливо у майбутньому ми побачимо кіборгів, яких показують у кіно та відеоіграх?**[6]**

Список використаної літератури

[1] A. H. Brown, L. M. Green, and J. P. Smith, “The Current State of 3D-Printed Prostheses Clinical Outcomes: A Systematic Review,” *Bioengineering*, vol. 16, no. 10, p. 370, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2079-4983/16/10/370

[2] S. Patel and M. R. Chen, “Sculpting the future: A narrative review of 3D printing in plastic surgery and prosthetic devices,” *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open*, vol. 13, no. 4, 2024. [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11194296/

[3] M. A. Buj-Corral, J. L. Buj-Corral, and M. P. Teixidor, “The Possibilities of Personalized 3D Printed Implants—A Case Series Study,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 2, p. 289, 2023. [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9959288/

[4] A. S. Martin and E. J. Williams, “Using a 3D-Printed Prosthetic to Improve Participation in a Young Gymnast,” *Pediatric Physical Therapy*, vol. 33, no. 1, pp. 18–22, 2021. [Online]. Available: https://journals.lww.com/pedpt/fulltext/2021/01000/using_a_3d_printed_prosthetic_to_improve.18.aspx

[5] C. Li, Y. Zhang, and H. Wang, “Review of Robotic Prostheses Manufactured with 3D Printing: Advances, Challenges, and Future Perspectives,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 3, p. 1350, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1350

[6] D. Zhou, T. Yu, and K. Chen, “Functional engineering strategies of 3D printed implants for hard tissue replacement,” *Bioact. Mater.*, vol. 25, pp. 100–115, 2023. [Online]. Available: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36683758/

УДК: 544.7: 621.902

ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ РОЗРОБКИ БІОМІМЕТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Тупкало О. А. (burstmyspleen@gmail.com**)**

Український державний університет науки і технологій (Україна)

У статті висвітлено сучасні підходи до створення біоміметичних поверхонь — інженерних структур, що відтворюють природні мікро- та макроорганізаційні особливості для досягнення таких властивостей, як супергідрофобність, контроль змочуваності та спрямований рух рідини. Показано, що застосування технології 3D-друку суттєво спрощує та прискорює процес їх проєктування й виготовлення, забезпечуючи можливість швидкого переходу від комп’ютерного моделювання до виготовлення експериментальних зразків..

Біоміметичні поверхні — це інженерні рішення, що відтворюють природні структури з метою отримання специфічних властивостей, зокрема таких як супергідрофобність, контроль змочуваності, керований рух рідини та навіть здатність до самовідновлення. Завдяки цим характеристикам вони можуть ефективно збирати атмосферну вологу, транспортувати краплі у заданому напрямку, оптимізувати процеси конденсації та підвищувати енергоефективність технологій водозабезпечення. Попри значний потенціал таких поверхонь, традиційні методи їх створення залишаються складними, дорогими, трудомісткими та обмеженими у масштабуванні. Саме тому технологія 3D-друку сьогодні стає ключовим інструментом у біоміметичному проєктуванні, радикально змінюючи підходи до досліджень, експериментів і розробки функціональних структур.

Завдяки цифровому моделюванню та адитивному виробництву з'являється можливість оперативно створювати складні мікро- та макроструктури з високим рівнем точності, які раніше було важко або неможливо реалізувати іншими методами. Це дозволяє не лише виготовляти серії експериментальних зразків, а й швидко змінювати їхню геометрію, тестувати функціональні характеристики та адаптувати конструкцію під конкретні умови експлуатації. У результаті скорочується час між формулюванням наукової гіпотези та отриманням практичних результатів, що робить процес розробки значно динамічнішим і продуктивнішим.

Центральним елементом такого підходу є метод варіювання висоти шару під час друку (Layer Height Manipulation, LHM). Він дозволяє створювати контрольовані градієнти змочуваності без додаткових хімічних обробок, що не лише спрощує технологію, а й забезпечує високий рівень точності у керуванні рухом крапель на поверхні. Поєднання гідрофільних і супергідрофобних зон дає змогу суттєво підвищити ефективність збору води з туману та атмосферної вологи. Крім того, застосування 3D-друку дозволяє реалізувати такі ієрархічні структури без використання багатоступеневих процесів, як-от лиття чи лазерна обробка, що значно здешевлює та прискорює виробництво.

Розробка біоміметичних поверхонь починається з аналізу природних прикладів — листя лотоса, крил жуків, поверхонь кактусів та інших біологічних об'єктів, які в еволюційному процесі набули здатності ефективно збирати та спрямовувати воду. Ці зразки слугують основою для створення цифрових CAD-моделей із заданими градієнтами змочуваності та мікрорельєфами. Подальше виготовлення полімерних матриць здійснюється методом матеріал-екструзійного 3D-друку (FDM) з використанням біорозкладних полімерів, таких як полілактидна кислота (PLA). У процесі друку формуються чергування гідрофільних і гідрофобних зон, що визначають напрямок руху крапель і сприяють ефективному збору води.

Отримані 3D-друковані матриці можуть використовуватись як форми для створення копій з еластомерів, зокрема полідиметилсилоксану (PDMS), який вирізняється високою хімічною інертністю, механічною стабільністю та довговічністю. Такий підхід дає можливість переходити від лабораторних експериментів до виготовлення повноцінних прототипів пристроїв для автономного збору води.

Таким чином, 3D-друк не лише істотно спрощує виробництво біоміметичних поверхонь, а й прискорює весь життєвий цикл розробки — від концепції та комп'ютерного моделювання до створення готового пристрою. Його гнучкість, точність, екологічність та відносна дешевизна відкривають нові можливості для матеріалознавства, екологічної інженерії та сталого розвитку, роблячи технологію перспективною.

Список використаних джерел

[1] Han S, Sung J, So H. Simple fabrication of water harvesting surfaces using threedimensional printing technology. Int. J. Precis. Eng. Manuf. - Green Technol. 2021; 8:1449–59. https://doi.org/10.1007/s40684-020-00263-x

[2] Choi, Y., Baek, K. & So, H. 3D-printing-assisted fabrication of hierarchically structured biomimetic surfaces with dual-wettability for water harvesting. Sci Rep 13, 10691 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-37461-x

[3] Xi J, Jiang L. Biomimic superhydrophobic surface with high adhesive forces. Ind Eng Chem Res 2008;47:6354–7. https://doi.org/10.1021/ie071603n

[4] Jaebum Sung, Yeongu Choi, Hongyun So, Fabrication of functional surfaces using layer height method in material extrusion type 3D printing, Journal of Materials Research and Technology, Volume 33, 2024 https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.09.050

[5] Kingman J, Dymond MK. Fused filament fabrication and water contact angle anisotropy: the effect of layer height and raster width on the wettability of 3D printed polylactic acid parts. Chem. Data Collect. 2022;40:100884. https://doi.org/10.1016/j.cdc.2022.100884

НТБОНТУ

УДК 004.8:004.92

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Турянський К. О., Селіванова А.В.
(Turianskyi@proton.me, alikasalvano@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У роботі розглянуто процес проектування холодильних установок як складних технічних систем. Проаналізовано сучасні системи автоматизованого проєктування (САПР) та програмне забезпечення, що забезпечує 2D- і 3D-моделювання, інженерні розрахунки та автоматизацію виробництва. Особливу увагу приділено використанню технологій штучного інтелекту для оптимізації навантажень, генеративного дизайну, прогнозованого обслуговування та підвищення енергоефективності. Зазначено, що інтеграція ШІ у САПР сприяє точності розрахунків, надійності обладнання й удосконаленню проєктного процесу.

Проектування технічного об'єкта — створення, перетворення й подання в прийнятій формі образа цього ще не існуючого об'єкта. Образ об'єкта або його складових частин може створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися відповідно до деяких алгоритмів у процесі взаємодії людини й ЕОМ. У кожному разі інженерне проектування починається при наявності вираженої потреби суспільства в деяких технічних об'єктах, якими можуть бути об'єкти будівництва, промислові, технічні та інші об'єкти [1].

До складних об'єктів підвищеної небезпеки відносяться зокрема холодильні установки. Вони відрізняються за типом та конфігурацією. Зазвичай моделі та технології управління та підтримки прийняття рішень для холодильних установок створюються для конкретного виду установки і не можуть бути використані для установок іншого типу чи конфігурації. Складність процесів, що протікають у холодильних установках обумовлює наявність великої кількості варіантів різноманітних моделей та відсутність загальної моделі та універсальної технології, що підтверджує необхідність проведення досліджень в цьому напрямку [2].

Метою дослідження є комплексний аналіз автоматизованих систем проєктування холодильних установок як складних об'єктів.

Система автоматизованого проєктування (САПР) є незамінним інструментом, який допомагає проєктувальникам ефективно вирішувати складні задачі проектування, аналізу та моделювання, забезпечуючи при цьому точність та швидкість виконання [3]. САПР загального призначення — це програмні комплекси, призначені для широкого спектра завдань із проєктування, моделювання та створення технічної документації в різних галузях. На відміну від вузькоспеціалізованих САПР, які заточені під конкретну сферу (наприклад, електроніку чи архітектуру), універсальні системи можуть використовуватися як інженерами-конструкторами, так і дизайнерами та архітекторами. Наведемо їх ключові можливості:

- 2D і 3D проєктування: створення двовимірних креслень, схем, а також повноцінних тривимірних моделей об'єктів.
- параметричне моделювання: зміна розмірів або інших параметрів моделі з автоматичним перерахунком і оновленням пов'язаних елементів.
- інженерні розрахунки: вбудовані інструменти для перевірки міцності матеріалів, аналізу стійкості конструкцій та інших розрахунків.
- створення документації: автоматичне генерування специфікацій, креслень та іншої технічної документації за встановленими стандартами.
- візуалізація: створення фотореалістичних візуалізацій і рендерингів для оцінки зовнішнього вигляду проєкту.
- підготовка до виробництва: інтеграція з системами автоматизованого виробництва (CAM) для створення програм для верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК).

В результаті аналізу виявлено що для проєктування холодильних установок застосовується комбінація програмного забезпечення, що охоплює різні етапи: від інженерних розрахунків і підбору обладнання до створення 2D-креслень і 3D-моделей. Їх можна умовно поділити на 4 категорії:

2. Програмне забезпечення для інженерних розрахунків та підбору компонентів. На першому етапі проєктування використовуються спеціалізовані програми та калькулятори для визначення основних параметрів і підбору обладнання.

1.4. Програми підбору виробників: багато виробників холодильного обладнання, наприклад Danfoss, Bock та Systemair, пропонують власне програмне забезпечення для розрахунку потужності, підбору компресорів, вентиляторів та інших компонентів.

1.5. Калькулятори теплового балансу: спеціалізовані інструменти, які допомагають розрахувати теплове навантаження на холодильну установку з урахуванням теплопритоків від продуктів, освітлення, обладнання та зовнішнього середовища.

1.6. Системи для розрахунку холодопродуктивності: програми, що використовуються для розрахунку необхідної холодопродуктивності для різних типів камер, зокрема шокової заморозки.

3. Загальнопризначені САПР для 2D- і 3D-моделювання.Для безпосереднього створення креслень, схем і моделювання загальної конструкції холодильної установки використовуються універсальні САПР.

4.4. AutoCAD (Autodesk)**:** застосовується для створення точних 2D-креслень, схем холодопостачання, а також для проєктування систем вентиляції та кондиціювання (HVAC). Деякі виробники пропонують готові файли-шаблони AutoCAD для своїх компонентів.

4.5. **КОМПАС-3D (АСКОН):** використовується для тривимірного проєктування і створення складальних креслень холодильних установок, а також для оформлення проєктної документації.

4.6. SolidWorks (Dassault Systèmes): популярна система для параметричного 3D-моделювання, яка допомагає конструкторам детально опрацювати механічні частини холодильних установок.

4.7. Autodesk Inventor: може використовуватися для комплексного проєктування механічних систем, зокрема холодильних. Додатки, як-от MechaniCS, допомагають в оформленні креслень за стандартами.

5. Спеціалізовані рішення. Крім універсальних САПР, існують більш вузькоспрямовані рішення для конкретних галузей.

5.1. **Smap3D Plant Design:** спеціалізоване рішення для проєктування систем трубопроводів, що може застосовуватися для холодильної техніки. Воно враховує галузеві стандарти та символи для P&ID-схем.

5.2. **Спеціалізовані додатки та бібліотеки:** Деякі програми мають розширення або бібліотеки стандартних елементів для холодильної техніки, що спрощує проєктування.

6.Системи для автоматизації та моніторингу. Важливою частиною проєктування сучасних установок є автоматизація.

6.1. **Програмне забезпечення для АСУ ТП:** Використовується для розробки автоматизованих систем управління технологічними процесами, які контролюють роботу холодильних установок.

6.2. **Системи моніторингу:** програмні рішення, як-от RalControl, дозволяють віддалено відстежувати та управляти параметрами обладнання.

Системи з використанням штучного інтелекту (ШІ) можуть суттєво покращити процес проєктування холодильних установок, роблячи його більш точним, ефективним та енергоощадним. ШІ дозволяє аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати потреби та оптимізувати роботу системи на всіх етапах. Виявлено 5 ключових напрямів використання ШІ у проєктуванні холодильних установок:

1. Оптимізація та аналіз навантаження.

1.1. Точний розрахунок теплових навантажень: Замість стандартних статичних розрахунків, ШІ може використовувати моделі машинного навчання, щоб аналізувати історичні дані, погодні умови, зайнятість приміщень та інші фактори для динамічного та точнішого прогнозування теплового навантаження. Це дозволяє уникнути надлишкового або недостатнього охолодження.

1.2. Динамічне прогнозування потреби: ШІ може прогнозувати потреби в охолодженні на основі аналізу поведінки користувачів та зовнішніх умов, наприклад, завдяки інтеграції з прогнозами погоди. Це дозволяє системі завчасно готуватися до пікових навантажень.

2. Генеративний дизайн та симуляція.

НТБОНТУ

2.1. Створення оптимальних конфігурацій: Генеративний ШІ може створити безліч варіантів проєктів, оптимізованих під конкретні потреби, враховуючи вимоги до ефективності, енергоспоживання та відповідності нормам, як-от ASHRAE.

2.2. Цифрові двійники: ШІ може створювати цифрові двійники холодильних установок — віртуальні моделі, що імітують роботу реальної системи. Це дозволяє симулювати різні сценарії, тестувати зміни та оцінювати вплив різних факторів на ефективність до початку виробництва.

3. Контроль та управління.

3.1. Інтелектуальні системи управління: ШІ може розробити ефективніші алгоритми керування системою, ніж традиційні регулятори. Це дозволяє оптимізувати роботу вентиляторів, компресорів та інших компонентів для максимального комфорту при мінімальному споживанні енергії.

3.2. Автоматизація зонного контролю: У великих приміщеннях або будівлях ШІ може автоматично регулювати температуру та повітряні потоки в різних зонах залежно від їхнього використання, що значно підвищує енергоефективність.

4. Прогнозоване технічне обслуговування.

4.1. Виявлення аномалій та прогнозування несправностей: Моделі машинного навчання можуть аналізувати дані з датчиків про вібрацію, енергоспоживання та температуру, щоб виявляти аномалії. Це дозволяє прогнозувати збої в роботі обладнання заздалегідь і запобігати дорогому ремонту.

4.2. Оптимізація графіків обслуговування: На основі прогнозованих даних ШІ може автоматично формувати оптимальні графіки технічного обслуговування, що допомагає подовжити термін служби обладнання.

5. Інтеграція з відновлюваною енергією. Адаптація до джерел енергії: ШІ може синхронізувати роботу холодильних установок з доступністю відновлюваних джерел енергії, щоб максимально використовувати їх, зменшуючи залежність від викопного палива та викиди вуглецю.

Приклади інструментів та платформ, що використовують штучний інтелект і можуть бути застосовані при проєктуванні холодильних установок:

1. Edraw.AI: Пропонує онлайн-інструменти для проєктування систем опалення вентиляції кондиціонування (ОВК) з використанням ШІ, що допомагає оптимізувати компоненти для будівель.

2. BrainBox AI: Застосовує ШІ для автоматизації будівель, що призводить до значного зниження енергоспоживання систем ОВК.

3. Деякі розширення для САПР: Розробники пропонують плагіни з ШІ-можливостями для відомих САПР, таких як Revit, які допомагають проєктувати системи ОВК.

Список використаної літератури

[1] О. М. Переяславський and О. Моторна, Системи автоматизованого проектування.. Вінниця: ВНАУ, 2020. Accessed: Sep. 02, 2025. [Online]. Available: https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/26045.pdf

[2] A. Selivanova, T. Mazurok, and A. Selivanov, “Development of the Information Technology for Decision Making Support When Managing Refrigeration Units”, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 4, no. 2 pp. 60–71, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169812.

[3] О. Романюк, М. Д. Захарчук, Є. К. Завальнюк, and Т. Трояповська, “Аналіз систем автоматизованого проектування для студентів”, Global Society in Formation of New Security System and World Order: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Internet Conference, July 27-28, 2023, Дніпро, pp. 337–340, 2023. Accessed: Sep. 03, 2025. [Online]. Available: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/37691/Conference%20Proceedings%20July%2027-28%2C%202023%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ 3D-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ КОНЦЕПТІВ ПРИВАТНОГО ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

Шинкар О.В. (scorptrow@gmail.com)
Одеський національний технологічний університет (Україна)

У тезах досліджується застосування передових 3D-технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність, 3D-моделювання та візуалізація, для ефективної демонстрації архітектурних концептів у сфері приватного житлового будівництва. Аналізуються переваги цих технологій для замовників, архітекторів та забудовників, включаючи покращення взаєморозуміння, зменшення кількості змін проекту та прискорення процесу прийняття рішень. Розглядаються сучасні програмні та апаратні засоби, що використовуються для створення і представлення 3D-контенту, а також перспективи подальшого розвитку цієї галузі.

Сучасний ринок приватного житлового будівництва характеризується зростаючими вимогами до індивідуалізації та естетики проектів. Традиційні методи представлення архітектурних концептів, такі як двовимірні креслення та статичні візуалізації, часто не дозволяють замовнику повною мірою уявити майбутній проект. Це призводить до непорозумінь, регулярних коригувань проекту та затримки термінів реалізації. Впровадження сучасних 3D-технологій відкриває нові можливості для подолання цих викликів, надаючи більш іммерсивний та інтерактивний досвід демонстрації архітектурних рішень.

Переваги 3D-технологій у демонстрації концептів приватного житлового будівництва, серед яких:

– *Покращене взаєморозуміння:* 3D-моделі дозволяють замовникам "прогулятися" віртуальним будинком, оцінити просторові рішення, розташування меблів, освітлення та матеріали ще до початку будівництва.

– *Зменшення кількості змін та помилок:* Ідентифікація потенційних проблем та недоліків на етапі 3D-візуалізації дозволяє внести корективи до початку будівельних робіт, що значно економить час і кошти.

– *Прискорення процесу прийняття рішень:* Завдяки наочності та інтерактивності, 3D-презентації спрощують та прискорюють процес узгодження проекту між замовником, архітектором та забудовником.

– *Ефективний маркетинг та продажі:* Для забудовників 3D-візуалізації є потужним інструментом для приваблення клієнтів, дозволяючи презентувати об'єкт нерухомості ще на стадії розробки.

– *Дослідження та експериментування:* Архітектори можуть швидко створювати та тестувати різні варіанти дизайну, матеріалів та планувань, що сприяє інноваційним рішенням.

Застосування конкретних 3D-технологій, наприклад:

– *3D-моделювання та рендеринг: Базовий етап, що включає створення деталізованих моделей будинку та його оточення, а також реалістичну візуалізацію з урахуванням освітлення, текстур та матеріалів. Використовуються програми, такі як Autodesk Revit, ArchiCAD, SketchUp, 3ds Max, Lumion, V-Ray, Corona Renderer.*

– *Віртуальна реальність: Забезпечує повне занурення користувача у віртуальний простір. Замовник може досліджувати інтер'єр та екстер'єр будинку за допомогою VR-гарнітур, отримуючи відчуття присутності.*

– *Доповнена реальність: Дозволяє накладати віртуальні 3D-моделі на реальне середовище за допомогою смартфонів, планшетів або AR-окулярів.*

– *Інтерактивні 3D-презентації: Веб-орієнтовані або десктопні рішення, що дозволяють користувачеві самостійно навігувати по 3D-моделі, змінювати варіанти оздоблення, меблів, освітлення в режимі реального часу.*

Виклики та перспективи, такі як:

– *Вартість та доступність: Висока вартість розробки якісного 3D-контенту та необхідність використання потужного обладнання.*

– *Навчання та кваліфікація: Потреба у висококваліфікованих спеціалістах для створення та підтримки 3D-моделей.*

– *Сумісність форматів: Проблеми сумісності між різними програмними пакетами.*

– *Перспективи: Подальший розвиток хмарних обчислень для 3D-візуалізації, інтеграція 3D-технологій з будівельними інформаційними моделями.*

Сучасні 3D-технології є потужним інструментом для революціонізації процесу демонстрації концептів приватного житлового будівництва. Вони забезпечують безпрецедентний рівень візуалізації та інтерактивності, сприяючи покращенню взаєморозуміння між усіма учасниками проекту, мінімізації помилок та прискоренню реалізації. Подальше вдосконалення апаратних та програмних засобів, а також інтеграція 3D-технологій у загальну екосистему будівництва, відкривають широкі перспективи для їх більш широкого впровадження та підвищення ефективності галузі.

Список використаної літератури

[1]S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry," Leadership and Management in Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 241-252, 2011.

[2]M. Billinghurst, A. Clark, and G. Lee, "A Survey of Augmented Reality," Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction, vol. 8, no. 2–3, pp. 73-272, 2015.

[3]J. Choi, K. Jung, and C. Kim, "Immersive Virtual Reality for Architectural Design Review: Exploring User Experience and Design Communication," Automation in Construction, vol. 90, pp. 196-210, 2018.

УДК 664.022.3

3D-ДРУК У ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ

Янюк О.В., Куцак Ю.С. (anukolga4@gmail.com)

ВСП «Хмельницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету» (Україна)

3D-друкована їжа - це їжа, приготованаза допомогою автоматизованого процесу поєднання харчових продуктів. Наприклад, у країнах Європи ви могли бачити автомати з піцою або йогуртом. Машина бере заготовлене тісто, поливає його томатним соусом, додає шматки інших інгредієнтів і посипає зверху сиром, а потім запікає в духовці. Цей процес можна назвати примітивним харчовим 3D-друком.

Технологія 3D-друку революціонізує галузь ресторанного бізнесу у кількох ключових напрямках(табл.1.).

Таблиця 1. Технологія 3D-друку

Напрямок застосування	Опис	**Приклади**
Естетика та Декор	Створення складних, хитромудрих фігур, які неможливо зробити вручну. Це «вау-ефект» для клієнтів.	Шоколадні конструкції, геометричні візерунки із соусів чи пюре, їстівні філігранні прикраси.
Спеціалізоване харчування	Друк їжі зі зміненою текстурою для людей з обмеженнями в харчуванні (наприклад, пацієнти з дисфагією).	Пюреподібна їжа, надрукована у формі оригінальних продуктів (курка у формі курки, овочі у формі овочів).
Рослинні та Альтернативні Продукти	Друк м'ясних альтернатив (з рослинних білків) із імітацією текстури справжнього м'яса.	3D-друковані стейки з рослинного м'яса або філе риби.
Персоналізація	Створення макаронних виробів, цукерок або печива з унікальним дизайном на замовлення клієнта.	Логотип компанії на тістечку під час кейтерингу, ім'я іменинника на шоколаді.

Джерело розроблено автором:

Заклади ресторанного бізнесу також використовують 3D-друк для неїстівних цілей, зокрема:

- декор інтер'єру(друк кастомізованих світильників, ваз, унікальних елементів декору, що підкреслюють концепцію закладу)

- кухонне приладдя(швидке створення або заміна зламаних пластикових деталей обладнання, унікальних підставок, органайзерів для столових приладів);

- прототипування(створення фізичних прототипів нової форми посуду або елементів сервірування перед запуском масового виробництва);

- архітектура(деякі компанії (як Starbucks у тестових проєктах) вже експериментують із 3D-друком цілих будівель або їх частин для швидшого та дешевшого будівництва нових кав'ярень.

3D-друк їжі - це революційна технологія, яка дозволяє створювати їстівні об’єкти та страви шар за шаром, подібно до традиційного 3D-друку. Замість чорнила чи пластику 3D-принтери для харчових продуктів використовують їстівні матеріали, такі як тісто, шоколад або навіть м’ясна паста.

Процес передбачає створення цифрової моделі харчового продукту, а потім використання 3D-принтера для нанесення їстівного матеріалу шар за шаром, створюючи складні та індивідуальні харчові продукти.

Проаналізуємо стартапи в авангарді інновацій у сфері 3D-друку їжі.

1. Природні машини.

Natural Machines, компанія, що стоїть за Фудіні 3D харчовий принтер має на меті зробити свіжу домашню їжу доступною та зручною. Фудіні дозволяє користувачам готувати широкий асортимент страв, від піци до пасти, використовуючи свіжі інгредієнти та індивідуальні рецепти (рис.1).

Рисунок 1 - Фудіні 3D харчовий принтер[3]

2. BeeHex.

BeeHex спеціалізується на 3D-друці піци. Їхня технологія дозволяє створювати піцу з точним розміщенням інгредієнтів, що дозволяє персоналізувати та зменшувати харчові відходи. Цей стартап шукає партнерства з мережами піцерій і ресторанами (рис.2).

Рисунок 2 - BeeHex для 3D-друку піци[3]

3. Перевизначити м’ясо.

Redefine Meat революціонізує м’ясну промисловість за допомогою 3D-друкованих альтернатив рослинного м’яса. Їхня місія полягає у створенні сталого, ароматний, а також багаті поживними речовинами замінники м’яса за допомогою технології 3D-друку (рис.3).

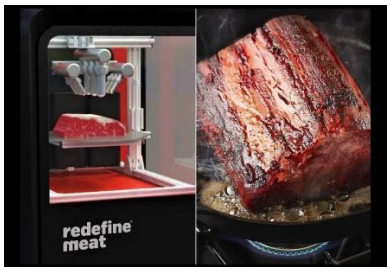


Рисунок 3 - 3D для рослинного м’яса[3]

4. Бокузіні.

Бокузіні спеціалізується на 3D-друці десертів і кондитерських виробів. Їхній принтер дозволяє кондитерам і домашнім пекарям створювати складні та художні солодощі, розсуваючи межі дизайну десертів (рис.4).

Рисунок 4 - 3D для десертів і кондитерських виробів[3]

5. Nūfood.

NuFood - це технологія 3D-друку харчових продуктів, яка використовує спеціальну техніку друку для виробництва індивідуальних і здорових харчових продуктів. Цей винахід заснований на запатентованому методі, який використовує екструзію під високим тиском для виготовлення складних форм із різних харчових інгредієнтів.

Система NuFood складається з 3D-принтера, частини програмного забезпечення та місця для завантаження харчових інгредієнтів. Цифрова модель дизайну створюється програмним забезпеченням, яке можна роздрукувати (рис.5).

Рисунок 5. 3D для індивідуальних і здорових харчових продуктів[3]

6. 3D Десерти графіка.

Французька компанія 3Desserts Graphiques продає 3D-принтери для виготовлення шоколаду. Підприємство розробляє, виробляє та продає харчові 3D-принтери з сертифікатом CE.

Принтер 3Desserts Graphiques L'Impressionnante - цифровий кондитерський мішок для прикраси десертів або скульптур. Принтер належить до нового класу 3D-принтерів, які використовують унікальну роботизовану технологію, розроблену Stäubli.

НТБОНТУ

Рисунок 6 - 3D для для виготовлення шоколаду[3]

Підсумовуючи, стартапи, що зосереджені на 3D-друку харчових продуктів, демонструють значний потенціал для трансформації харчової промисловості. Їхні інновації охоплюють критично важливі сфери, включаючи персоналізацію харчування, підвищення ефективності виробництва та забезпечення кулінарної гнучкості. Подальший розвиток та комерціалізація цієї технології обіцяють її широке впровадження, що зробить 3D-друковану їжу інтегрованою складовою майбутньої продовольчої системи.

Список використаної літератури

[1] "3D-друкована їжа: як це працює." [Онлайн]. Доступно: https://www.techfood.ua/3d-food-printing. [Дата доступу: 10 жов. 2025].

[2] Bit.ua. [Онлайн]. Доступно: https://bit.ua/2022/01/yak-drukuyut-yizhu-za-dopomogoyu-3d-prynteru/ [Дата доступу: 20 жов. 2025].

[3] TT Consultants. [Онлайн]. Доступно: https://uk.ttconsultants.com/from-pixels-to-palates-a-delectable-revolution-led-by-3d-food-printing-startups/ [Дата доступу: 20 жов. 2025].

НТБ ОНТУ

XVIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І АВТОМАТИЗАЦІЯ – 2025»

30-31 ЖОВТНЯ 2025 р
м.Одеса

XVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

«INFORMATION TECHNOLOGIES AND AUTOMATION– 2025»

October 30-31, 2025
Odesa

Збірник включає доповіді учасників конференції. Тези доповідей публікуються у вигляді, в якому вони були подані авторами.

Відповідальність за зміст і форму подачі матеріалу несуть автори статей.

The collection includes reports of conference participants. Abstracts are published in the form in which they were submitted by the authors.

The authors of the articles are responsible for the content and form of submission of the material.

Редакційна колегія: Котлик С.В., Корнієнко Ю.К., Ломовцев П.Б., Соколова О.П.

Комп'ютерний набір і верстка: Соколова О.П.

Відповідальний за випуск: Котлик С.В.

©Одеський національний технологічний університет, 2025
© Odessa national university of technology, 2025

НТБ ОНТУ