

Ministry of Education and Science of Ukraine
**ODESSA NATIONAL ACADEMY OF
FOOD TECHNOLOGIES**

International Competition of
Student Scientific Works

BLACK SEA SCIENCE 2018

PROCEEDINGS



April, 4, 2018
ODESSA, ONAFT 2018

Ministry of Education and Science of Ukraine
Odessa National Academy of Food Technologies

International Competition of Student Scientific Works

BLACK SEA SCIENCE 2018

Proceedings

April 4, 2018

Odessa, ONAFT 2018

Міністерство освіти і науки України
Одеська національна академія харчових технологій

Міжнародний конкурс студентських наукових робіт

BLACK SEA SCIENCE 2018

Матеріали

4 квітня 2018 року

Одеса, ОНАХТ 2018

UDC 001(262.5):378.4.091.27(08)
BBC 421D221
B64

Editorial board:

Prof. B. Yegorov, D.Sc., Rector of the Odessa National Academy of Food Technologies, Editor-in-chief

Prof. M. Mardar, D.Sc., Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and International Relations, Editor-in-chief

Dr. I. Solonytska, Ph.D., Assoc. Professor, Director of the M. V. Lomonosov Technological Institute of Food Industry, Head of the jury of «Food Science and Technology»

Dr. O. Kalaman, Ph.D., Assoc. Professor, Director of the G. E. Weinstein Institute of Applied Economics and Management, Head of the jury of «Economics and Administration»

Prof. V. Volkov, D.Sc., Head of the Department of Applied Mathematics and Programming, Head of the jury of «Automation»

Prof. S. Artemenko, D.Sc., Head of the Department of Computer Engineering, Head of the jury of «IT Technologies and Cybersecurity»

Prof. B. Kosoy, D.Sc., Director of the V. S. Martynovsky Institute of Refrigeration, Cryotechnology and Ecoenergetics, Head of the jury of «Renewable Energy Sources and Environmental Protection»

Prof. L. Morozyuk, D.Sc., Professor of the Department of Cryogenic Engineering, Head of the jury of «Refrigerating Machines and Equipment»

Dr. V. Kozhevnikova, Ph.D., Assistant Professor of the Department of Hotel and Catering Business, ONAFT, Technical Editor

Black Sea Science 2018: Proceedings of the International Competition of Student Scientific Works, April 4, 2018, Odessa / Odessa National Academy of Food Technologies; B. Yegorov, M. Mardar (editors-in-chief.) [*et al.*]. – Odessa: ONAFT, 2018. – 827 p.

Proceedings of International Competition of Student Scientific Works «Black Sea Science 2018» contain the works of winners of the competition.

The author of the work is responsible for the accuracy of the information.

ISBN 978-966-289-181-2

Odessa National Academy of Food Technologies

УДК 001(262.5):378.4.091.27(08)
ББК 421D221
В64

Редакційна колегія:

Єгоров Б.В. – д.т.н., професор, ректор Одеської національної академії харчових технологій, відповідальний редактор

Мардар М.Р. – д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків, відповідальний редактор

Солоницька І.В. – к.т.н., доцент, директор технологічного інституту харчової промисловості ім. М.В. Ломоносова, голова журі напрямку «Харчова наука і технологія»

Каламан О.Б. – к.е.н., доцент, директор інституту прикладної економіки та менеджменту ім. Г.Е. Вейнштейна, голова журі напрямку «Економіка і управління»

Волков В.Е. – д.т.н., професор, зав. кафедри прикладної математики і програмування, голова журі напрямку «Автоматизація»

Артеменко С.В. – д.т.н., професор, зав. кафедри комп'ютерної інженерії, голова журі напрямку «ІТ технології та кібербезпека»

Косой Б.В. – д.т.н., професор, директор інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, голова журі напрямку «Відновлювані джерела енергії та охорона навколишнього середовища»

Морозюк Л.І. – д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки, голова журі напрямку «Холодильні машини і установки»

Кожевнікова В.О. – к.т.н., асистент кафедри готельно-ресторанного бізнесу, технічний редактор

Black Sea Science 2018: Матеріали Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт, 4 квітня 2018 р., Одеса / Одеська національна академія харчових технологій; Б. В. Єгоров, М. Р. Мардар (відп. ред.) [та ін.]. – Одеса: ОНАХТ, 2018. – 827 с.

Збірник включає матеріали робіт переможців Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт «Black Sea Science 2018».

За достовірність інформації відповідає автор публікації.

Organizing committee:

Prof. Bogdan Yegorov, D.Sc., Rector of Odessa National Academy of Food Technologies, Head of the Committee

Prof. Maryna Mardar, D.Sc., Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and International Relations of Odessa National Academy of Food Technologies, Deputy Head of the Committee

Prof. Stefan Dragoev, D.Sc., Vice-Rector on Research and Business Partnerships of University of Food Technologies (Bulgaria)

Prof. Baurzhan Nurakhmetov, D.Sc., First Vice-Rector of Almaty Technological University (Kazakhstan)

Prof. Andrzej Kowalski, Dr. habil., Director of Institute of Agricultural and Food Economics (Poland)

Dr. Olivera Djuragic, Ph.D., Director of Scientific Institute of Food Technology of University of Novi Sad (Serbia)

Prof. Mircea Bernic, Dr. habil., Vice-Rector on Research and Doctorate of Technical University of Moldova (Moldova)

Prof. Jacek Wrobel, Dr. habil., Rector of West Pomeranian University of Technology (Poland)

Prof. Michael Zinigrad, D.Sc., Rector of Ariel University (Israel)

Dr. Mei Lehe, PhD, Vice-President of Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University (China)

Prof. Plamen Kangalov, Ph.D., Vice-Rector on Education of “Angel Kanchev” University of Ruse (Bulgaria)

Dr. Alexander Sychev, Ph.D., Assoc. Professor of Sukhoi State Technical University of Gomel (Belarus)

Dr. Hanna Lilishentseva, Ph.D., Assoc. Professor, Head of the Department of Merchandise of Foodstuff of Belarus State Economic University (Belarus)

Prof. Heinz Leuenberger, Ph.D., University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (Switzerland)

Організаційний комітет:

Сторов Богдан Вікторович – д.т.н., професор, ректор – Одеська національна академія харчових технологій – голова оргкомітету

Мардар Марина Ромиківна – д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків – Одеська національна академія харчових технологій – заступник голови оргкомітету

Драгоєв Стефан Георгієв – д.т.н., професор, проректор з наукової роботи і бізнес партнерства – Університет харчових технологій (Болгарія)

Нурахметов Бауржан Кумаргалієвич – д.т.н., професор, перший проректор – Алматинський технологічний університет (Казахстан)

Ковальські Анджей – доктор-хабілітат, професор, директор інституту економіки сільськогосподарської та харчової промисловості – Інститут сільськогосподарської та продовольчої економіки (Польща)

Дюрагіц Олівера – доктор, директор інституту харчових технологій – Університет в м. Нові Сад (Сербія)

Бернік Мірча – доктор-хабілітат, професор, проректор з наукової роботи та докторантури – Технічний університет Молдови (Молдова)

Вробель Яцек – доктор-хабілітат, професор, ректор – Західнопоморський технологічний університет (Польща)

Зініград Михайл – доктор наук, професор, ректор – Аріельський університет (Ізраїль)

Лехе Мей – доктор, віце-президент – Технологічний інститут Нінбо Чжэцзянського університету (Китай)

Кангалов Пламен – професор, доктор, проректор з навчальної роботи – Русенський університет «Ангел Канчев» (Болгарія)

Сичев Олександр Васильович – к.т.н, доцент, проректор з навчальної роботи – Гомельський державний технічний університет ім. П. Й. Сухого (Білорусь)

Лілішенцева Анна Миколаївна – к.т.н, доцент, зав. кафедрою товарознавства продовольчих товарів – Білоруський державний економічний університет (Білорусь)

Леунбергер Хайнц – доктор, професор – Університет прикладних наук і мистецтв Північно-західної Швейцарії (Швейцарія)

**ESTIMATION OF CRITICAL SPEED AND STABILITY
OF MOTION IN THE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS
OF RAIL TRANSPORT**

Author – Kharchenko A.
Supervisor – Zakovorotnyi O.
*National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"*

Topical problems of optimal high-speed trains control are stability estimation and speed regulation in onboard automated control systems. Obtaining optimal control laws is impossible because of a large number of stimulating factors, some of which are unevennesses in the profiles of wheels and rails. The created subsystems of information processing use simplified models of optimal speeds calculation, therefore the main task in this work is the development of components of an onboard automated diesel train control system for assessing the stability and critical speeds of motion on uneven sections of the railway track.

In the work the structure of the automated train control system is developed. The analysis of modern control systems in Ukraine and in the world is carried out. Using Carter's theory, nonlinear systems research methods and MATLAB, functional modules of oscillation detection were created at different modes of train control. Using fuzzy logic and category theory, a model of a fuzzy critical speed controller was created.

**ОЦІНКА КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ РУХУ
В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ
ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

Автор – Харченко А.О.
Керівник – Заковоротний О.Ю.
*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»*

Вступ

Українські дизель-поїзди серії ДЕЛ-02 обладнані бортовою комп'ютерною інформаційно-вимірювальною системою, яка надає можливості впровадження на її основі перших вітчизняних автоматизованих систем керування (АСК) та систем підтримки прийняття рішень машиністом (СППРМ). Впровадження даних систем дозволяє виконувати оцінку стійкості руху з метою підвищення та контролю швидкості на нерівних ділянках шляху.

На сьогоднішній день, в більшості систем управління високошвидкісним залізничним складом не реалізована можливість контролю за стійкістю та критичною швидкістю, особливо під час руху на нерівних ділянках шляху. Контактні моделі, у більшості випадків, використовуються для покращення технічних параметрів. Тому перед нами постає задача розробки структури автоматизованої системи керування, підсистем виявлення бокових коливань та контролю швидкості. Для створення подібних систем, доцільним є розробка узагальнених математичних моделей, що описують об'єкт керування як систему з ширшим спектром динамічних процесів та дозволяють синтезувати закони керування, які враховують основні види коливань вагонів, стійкість, сили, що виникають при їх взаємодії та фізичні характеристики зони контакту.

Тому, розробка бортової системи підтримки прийняття рішень для виявлення коливань вагонів рухомого складу створює теоретичну передумову синтезу автоматичних систем керування високошвидкісним рухомим складом і дозволяє оцінити стійкість руху на нерівних ділянках шляху, є актуальною науково-прикладною задачею, яка потребує подальшого дослідження.

Застосування та впровадження даних систем дозволить підвищити безпеку перевезення пасажирів високошвидкісними поїздами, підтримувати стійкість руху при русі на нерівних ділянках шляху, визначати критичну швидкість на окремих ділянках, виконувати її контроль та раціонально використовувати наявні паливно-енергетичні ресурси Укрзалізниці.

1. Сучасні автоматизовані системи керування тяговим рухомим складом

1.1. Аналіз сучасних систем керування тяговим рухомим складом в Україні та світі

У сучасних автоматизованих системах управління (АСУ) складними технічними об'єктами, управління процесами може відбуватися автоматично, без участі особи, яка приймає рішення. В таких системах є висока ймовірність виникнення певних проблемних ситуацій. При цьому проблемною ситуацією є ситуація, яка виникає в процесі управління, при впливі випадкових збуджуючих. Як правило, вихід з такої ситуації неможливий без особи без участі особи, що приймає рішення. При цьому радником особи, яка приймає рішення є система підтримки прийняття рішень [1].

При удосконаленні уже існуючих або синтезі нових систем керування необхідно враховувати складність об'єкта керування яким є тяговий рухомий склад залізничного транспорту, різноманітність умов його експлуатації та існуючі обмеження, які накладаються на роботу тягового обладнання.

В основу структури автоматизованої системи управління (АСУ) залізничним рухомим складом входять апаратно-програмні комплекси (АПК). Даний комплекс складається із центрального блоку управління, який необхідний для збору, обробки та аналізу інформації від дискретних, аналогових та частотних датчиків та видачі керуючих сигналів. Застосування АПК дозволяє виконувати аналіз стійкості, критичної швидкості, технічних показників рухомого складу під час руху на нерівностях [2]. Однак у сучасних АПК додаткові можливості, пов'язані з підвищення безпеки руху за рахунок визначення та реалізації оптимальних законів керування рухомим складом в даному апаратно-програмному комплексі не реалізовані.

У роботах [3,4] розглядаються приклади застосування на залізничних дорогах в Германії та США бортових комп'ютерних систем, які дозволяють виконувати контроль швидкості. В системі моделюються багаточисленні варіанти руху поїзда на окремих ділянках руху, для яких приймаються різноманітні режими ведення поїзда та прогноуються значення швидкості. Однак розглянуті підходи багатократних виконуваних розрахунків та їх математичної оцінки не є найкращими при побудові систем оптимального керування. Це пов'язано в першу чергу з невисокою точністю результатів, які отримуються за допомогою методів випадкового пошуку та багатоваріантних розрахунків.

Також в роботі [5] розглядається модель визначення експлуатаційних характеристик виходячи з технічних параметрів, які можемо використувати в базі знань АСУ.

Таким чином, при розробці бортової комп'ютерної системи управління та підтримки прийняття рішень необхідно, з однієї сторони, визначення оптимальних законів управління рухом тягового складу, що враховують особливості профілю шляху, а з іншої сторони, реалізація можливості перерахунку параметрів руху рухомого складу в реальному часі.

1.2 Мета та задачі при розробці системи керування дизель-поїздом

Метою роботи є розробка компонентів для автоматизованої бортової системи управління дизель-поїздом ДЕЛ-02, яка на основі узагальненої математичної моделі руху тягового складу, моделей контакту в системі «колесо-рейка» Ф. Картера, нечіткої логіки та теорії стійкості, дозволяє визначати оптимальні закони управління та значення критичної швидкості. Об'єктом дослідження в даній роботі є процеси управління рухомим складом, предметом дослідження є система керування дизель-поїздом.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

1. Аналіз існуючих автоматизованих бортових систем управління та СППРМ, що застосовуються на залізничному транспорті, моделей контакту між колесом та рейкою, а також методів теорії стійкості та теорії оптимального керування;

2. Розробка математичної моделі профілю шляху на основі «негерцівської» моделі контакту, яка дозволяє враховувати нерівності колеса та рейки;

3. Розробка функціонального модуля автоматизованої системи керування для виявлення бокових коливань колісної пари при русі на нерівних ділянках шляху, з визначенням нормальних та тангенціальних сил.

4. Дослідження розв'язків характеристичного рівняння та стійкості руху дизель-поїзда на нерівних ділянках шляху з визначенням критичної швидкості;

5. Розробка математичної моделі нечіткого регулювання швидкості на основі теорії стійкості Ляпунова та теорії категорій.

1.3. Структура автоматизованої системи керування для контролю швидкості руху на нерівностях

Виходячи із задач, що поставлені перед нами, ми можемо розробити структуру АСУ, яка включатиме інформаційно-вимірювальні системи, підсистему виявлення бокових коливань, підсистему профілю шляху та системи обробки та аналізу даних. Загальна структура наведена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Структура автоматизованої системи управління

2. Дослідження стійкості та критичної швидкості у нелінійних системах

2.1. Використання теорії стійкості Ляпунова

Одним з методів дослідження нелінійних систем є застосування теорії стійкості Ляпунова [6,7]. В нашому випадку, використаємо нелінійну модель Ф. Картера, яка описує відхилення та впливання колісної пари [8]:

$$\begin{cases} m_{кп} \ddot{y} + 2k \left(\frac{1}{v} \dot{y} + \varphi_z \right) + 2J_y y = 0 \\ I_{кп}^z \ddot{\varphi}_z + 2kS \left(\frac{S}{v} \dot{\varphi}_z - \frac{i}{r} \dot{y} \right) + 2J_x S^2 \varphi_z = 0 \end{cases}$$

де $m_{кп}$ – маса колісної пари, k – коефіцієнт ковзання, v – швидкість руху, J_x , J_y – жорсткості повздовжніх та поперечних зв'язків, i

– конусність колеса, r – радіус колеса, I_{kn}^z – момент інерції колісної пари, $2S$ – ширина колії, y – боковий віднос, φ_z – виліяння.

Розв'яжемо систему рівнянь виліянь та відносу з використанням функції Ляпунова:

$$\begin{aligned}y &= D_1 e^{pt}; \\ \varphi_z &= D_2 e^{pt}.\end{aligned}$$

Розкриваючи визначник, отримаємо характеристичне рівняння:

$$\begin{aligned}m_{kn} I_{kn}^z p^4 + 2 \frac{k}{v} (S^2 m_{kn}^2 + I_{kn}^z) p^3 + 2 \left(2 \frac{k^2 S^2}{v^2} + m_{kn} J_x S^2 + I_{kn}^z J_y \right) p^2 + \\ + 4 \frac{k S^2}{v} (J_x + J_y) p + 4 J_x J_y S^2 + 4 k^2 S \frac{i}{r} = 0\end{aligned}$$

В результаті перетворень системи диференціальних рівнянь Картера, ми отримали характеристичне рівняння руху – поліном 4-ої степені, дослідження якого виконаємо в наступному пункті даного розділу.

2.2. Дослідження розв'язків характеристичного рівняння руху

Виконаємо дослідження розв'язків характеристичного рівняння руху. Зведемо модель Картера до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d^2 y}{dt^2} = a_{11} \frac{dy}{dt} + a_{12} y + a_{13} x \\ \frac{d^2 x}{dt^2} = a_{21} \frac{dx}{dt} + a_{22} x + a_{23} y \end{cases}$$

Тоді характеристичне рівняння руху матиме вигляд:

$$p^4 + (a_{11} + a_{21}) p^3 + (a_{11} a_{21} + a_{12} + a_{22}) p^2 + (a_{11} a_{22} + a_{21} a_{12}) p + c.$$

Технічні параметри дизель-поїзда, що використовувалися в якості коефіцієнтів наведені в п. 3.1. При розв'язанні полінома отримаємо 4 корені (2 реальні, 2 комплексні). Розв'язки з кроком в 5 м/с наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність коренів характеристичного рівняння від швидкості

Швидкість, м/с	p1	p2	p3	p4	Re _{max}
5	-1646.11	-617.94	-0.066-1.86i	-0.066+1.86i	-0.066
10	-822.99	-308.88	-0.109-3.72i	-0.109+3.72i	-0.109
15	-548.57	-205.94	-0.106-5.58i	-0.106+5.58i	-0.106
20	-411.31	-154.67	-0.034-7.45i	-0.034+7.45i	-0.034
25	-328.89	-124.21	0.130-9.29i	0.130+9.29i	0.130
30	-273.86	-104.31	0.401-11.1i	0.401+11i	0.401
35	-234.46	-90.57	0.791-12.9i	0.791+12.9i	0.791

Виходячи з табл. 2.1 значення критичної швидкості, для вказаних нами параметрів знаходиться у проміжку від 20-25 м/с. Після уточнюючих розрахунків критична швидкість становить 23 м/с.

Перевіримо характер зміни максимальної дійсної частини розв'язків. Побудований графік наведений на рис. 2.2.

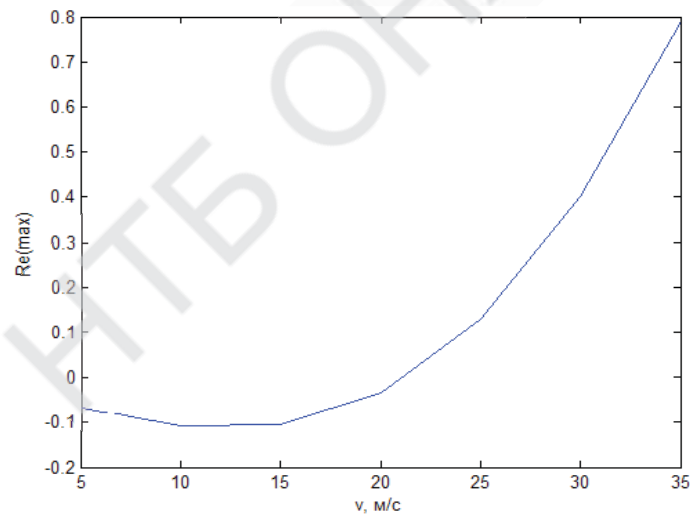


Рис. 2.2. Значення максимальної дійсної частини розв'язку

Як бачимо, характер зміни максимальної дійсної частини відповідає характеру, отриманому згідно теорії стійкості Ляпунова.

2.3. Визначення нечітких коефіцієнтів у характеристичних рівняннях за допомогою теорії категорій

В результаті виконання експериментальних досліджень ми отримали результати, що відповідають реальним параметрам руху рухомого складу на нерівних ділянках шляху, зокрема швидкості та бокового відхилення колісної пари. Основною проблемою при використанні даних в АСУ є час їх обробки та реєстрації. Дана задача може бути розв'язана за допомогою нечіткої логіки, що дозволить зменшити кількість обчислень в підсистемі обробки даних [9]. Зв'язки звичайних та нечітких множин, які використовуються в процесі моделювання опишемо за допомогою теорії категорій.

Розглянемо значення параметра бокового відхилення колісної пари (y). В залежності від частоти зміни, та певним характеристикам зміни від $-0,006$ до $+0,006$ (м) побудуємо категорію множин $Set(y)$.

Об'єктами даної категорії є множини $F(y,t)$, а морфізми між множинами $F_1(y,t)$ в $F_2(y,t)$ – всі функції $f : F_1(y,t) \rightarrow F_2(y,t)$.

Побудуємо категорію нечітких множин $FuzzyS$, елементами якої є множини, що складаються з елементів $x \in y \in F(y,t)$ та відповідних функцій належності $\mu_A(x)$. Морфізми між множинами зобразимо як:

$$f : Mor(FuzzyS(A)) \rightarrow Mor(FuzzyS(B)),$$

при цьому виконуються всі функції між нечіткими множинами: об'єднання, перетин, сума, добуток, інверсія.

Нехай нечітка множина $FuzzyS(A)$ складається з універсальної множини $x \in y \in F(y,t)$ та $M = \{0,1\}$, де M – множина функцій належності. У даному випадку нечітка множина стає чіткою. Розробимо функтори для об'єктів даних категорій:

$$\begin{aligned} F_{OB} &: Ob(Set(y)) \rightarrow Ob(FuzzyS), \\ F_{MOR} &: Mor(Set(y)) \rightarrow Mor(FuzzyS), \\ F_{\{0,1\}} &: Mor(F(y) \in Set(y)) \times M\{0,1\} \rightarrow Mor(FuzzyS), \\ F_{\{0,1\}} &: Mor(F(t) \in Set(y)) \times M\{0,1\} \rightarrow Mor(FuzzyS), \end{aligned}$$

Використання даних перетворень дозволяє зменшити кількість обчислень на множині звичайних множин. Розглянемо наступний приклад.

Нехай задана нечітка множина $Z = 0/x_1 + 0,3/x_2 + 1/x_3$, де $x_n = [-0,006; 0,006]$, при цьому $0/x_n$ – абсолютно стійкий рух, підтри-

мання та набір швидкості., якщо $1/x_n$ – рух не є стійким, зменшення швидкості.

$$F : Ob(FuzzyS), |x_n| \in \max \rightarrow Ob(Set(y))$$

Таким чином при боковому відхиленні що дорівнює 0 або 0,006 (м) ми отримуємо звичайні множини. Значення -0,005;0,005 входять в нечітку множину з однакою функцією належності – 0,84. Кількість значень для перевірки з 13 $Set(y)$ зменшилась до 5 в категорії $FuzzyS$.

2.4. Модель нечіткого регулювання швидкості

Методи та моделі нечіткого регулювання на сьогоднішній день стрімко розвиваються. Не виключення і автоматизовані бортові системи управління високошвидкісними поїздами. У роботі [9] розглядаються основні особливості при розробці нечітких регуляторів.

Введемо поняття стійкості як лінгвістичну змінну, отримаємо кортеж:

$$K = \langle \beta, T, X, G, M \rangle,$$

де β – назва лінгвістичної змінної, T - множина значень лінгвістичної змінної, X - універсальна множина значень, G – синтаксична процедура, яка оперує зі значення лінгвістичної змінної та здатна генерувати нові, M - семантична процедура перетворення в нечітку змінну.

В нашому випадку $X = [0;1]$, значення стійкості відповідати 5 рівнів (дуже низька, низька, середня, велика, дуже велика). База правил формується як декартовий добуток функцій швидкості та бокового відхилення колісної пари:

$$M = Rules(V) \times Rules(y).$$

Функцію належності для зміни швидкості для кожної системи з урахування критичної швидкості необхідно обирати індивідуальному. В нашому випадку отримаємо:

$$V = f(t, y) \cdot gauss2mf,$$

де $f(t, y)$ – функція профілю шляху (вхідний керуючий сигнал), $gauss2mf$ – функція належності, яка визначається наступним чином:

$$\mu(x) = \begin{cases} \exp(p_V - c_1)^2 / (-2a_1)^2, & p_V < c_1 \\ 1, & c_1 \leq p_V \leq c_2 \\ \exp(p_V - c_2)^2 / (-2a_2)^2, & p_V > c_2 \end{cases}$$

Для підвищення швидкості роботи в системах автоматизованого керування використовують α -рівні функції належності нечіткої величини. В нашому випадку швидкості. Розглянемо характеристичне рівняння руху та знайдемо мінімальне та максимальне значення його коефіцієнтів для використання відповідних рівнів:

$$\begin{aligned} \tilde{f}(p) &= p^4 + k_1[1;130]p^3 + k_2[1;130]p^2 + k_3[0.001;0.008][1;130]p + k_4, \\ f_R(0; p) &= p^4 + k_1p^3 + k_2p^2 + 0.001k_3p + k_4 \\ f_L(0; p) &= p^4 + 130k_1p^3 + 130k_2p^2 + 1.04k_3p + k_4 \end{aligned}$$

α -рівні дозволяють зменшити кількість обчислень, в нашому випадку проводити перевірку стійкості та критичної швидкості лише за його певним значенням. Результати розрахунків наведені в табл. 2.2. для швидкостей, м/с (0-15; 16-23; 23-31). Даний розподіл отримали за допомогою теорії стійкості Ляпунова, де 15 м/с – абсолютна стійкість, 23 м/с – критична швидкість, 31 м/с – критична швидкість.

Таблиця 2.2 – Значення α -рівней в наступні моменти часу

	V_1	y_1	V_2	y_2	V_3	y_3
$\alpha(t)$	0.8	0.9	0.5	0.6	0	0.2
$\alpha(t+1)$	0.7	0.9	0.3	0.7	0.1	0.2

3. Розробка моделі в пакеті прикладних програм математичного моделювання

3.1 Основні відомості та технічні параметри об'єкта управління

Matlab – це високопродуктивна мова для технічних розрахунків. Даний пакет прикладних програм математичного моделювання містить у собі обчислення, візуалізацію й програмування у зручному середовищі, де завдання та розв'язки виражаються у формі, близької до математичної. В Matlab важлива роль приділяється спеціалізованим групам програм, що називаються Toolboxes – всебічна колекція функцій Matlab (М-файлів), які дозволяють вирішувати різні спеціалізовані класи завдань. Toolboxes застосовують для обробки сигналів,

систем контролю, нейронних мереж, моделювання та інших задач. При моделюванні використовувався Simulink Toolbox, який надає зручний інтерфейс користувача для побудови моделі і проведення моделювання.

Технічні характеристики, що використовувалися при розробці моделі наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики дизель-поїзда ДЕЛ-02

Параметр	Величина
Маса поїзда	173 т
Конструкційна швидкість	130 км/год
Мінімальний радіус проходження кривих	125 м
Ширина колії	1520 мм
Діаметр коліс	950 мм
Коефіцієнт кріпу	10700 кН
Маса колісної пари	2,8 т
Конусність колеса	0.05
Жорсткість поперечних зв'язків	80 кН/м
Жорсткість повздовжних зв'язків	220 кН/м

3.2. Функціональні моделі підсистеми керування для виявлення бокових коливань на нерівностях

Моделі для підсистеми оцінки стійкості руху та критичних швидкостей рухомого складу, на прикладі дизель-поїзда ДЕЛ-02, створено в пакеті моделювання Matlab (Simulink Toolbox). В результаті моделювання отримуємо значення бокового відхилення та виляння колісної пари відносно осі шляху, які характеризують стійкість руху. За даними графіками, підсистема аналізу та обробки інформації АСУ визначає критичну швидкість для підтримки стійкості та безпеки руху. Отримані значення бокового відхилення та виляння колісної пари відповідають реальним характеристикам сучасних дизель-поїздів, що свідчить про адекватність розробленої моделі та дає право моделювати різні стратегії ведення поїзда і використовувати графіки залежностей, отримані в результаті цього, для аналізу ефективності цих стратегій.

На рис. 3.1 наведена функціональна схема моделі оцінки стійкості рухомого складу для прямолінійного рівномірного руху на рівній ділянці шляху.

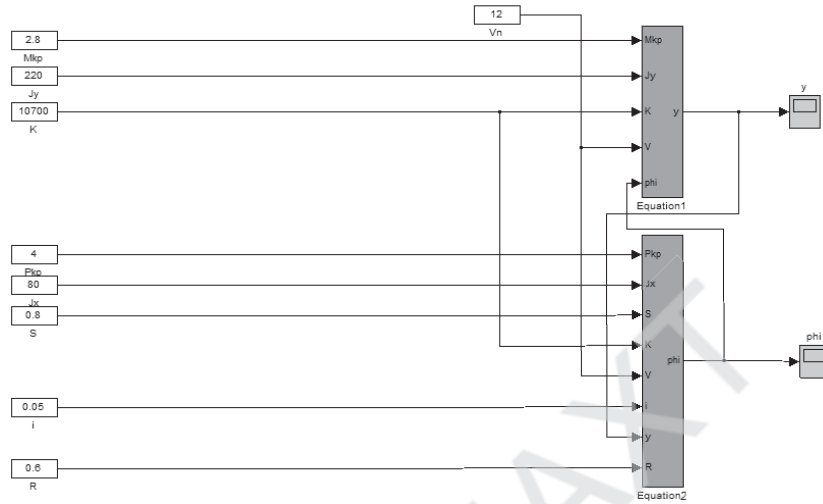


Рис. 3.1. Схема моделі оцінки коливань при рівномірному русі

Згідно розширеної системи диференційних рівнянь Картера, дана модель складається з 2 частин, що визначають бокове відхилення та впливання колісної пари. Функціональні схеми модулів бокового відхилення та впливання наведені на рис. 3.2 та рис. 3.3 відповідно.

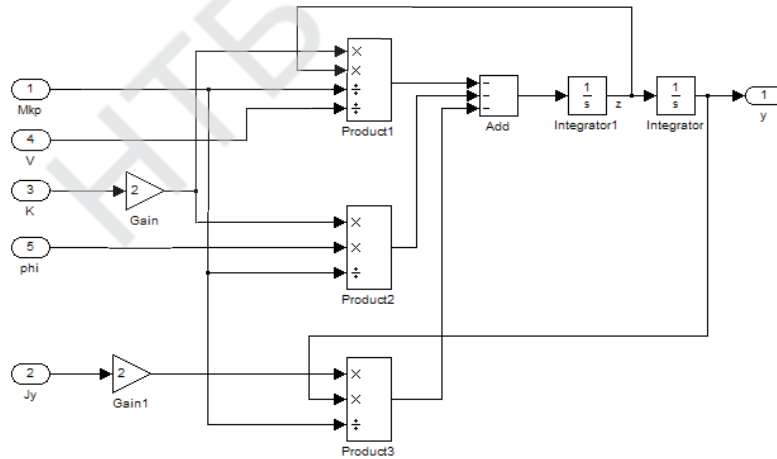


Рис. 3.2. Модуль рівняння бокового відхилення

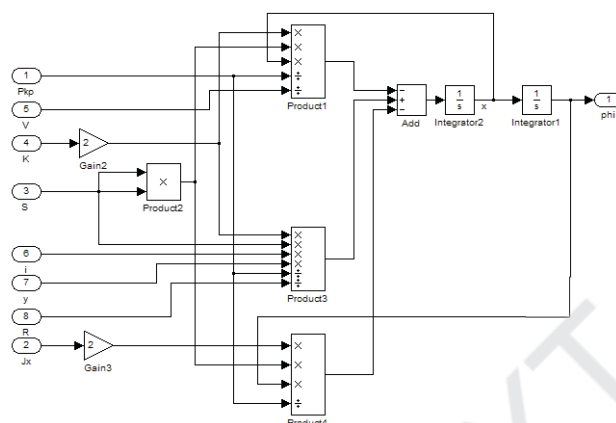


Рис. 3.3. Модуль рівняння впливання

На рис. 3.4 наведена функціональна схема моделі, що дозволяє виконати оцінку стійкості руху, за вибраними стратегіями (розгін, підтримання швидкості, гальмування) та заданими нерівностями на шляху.

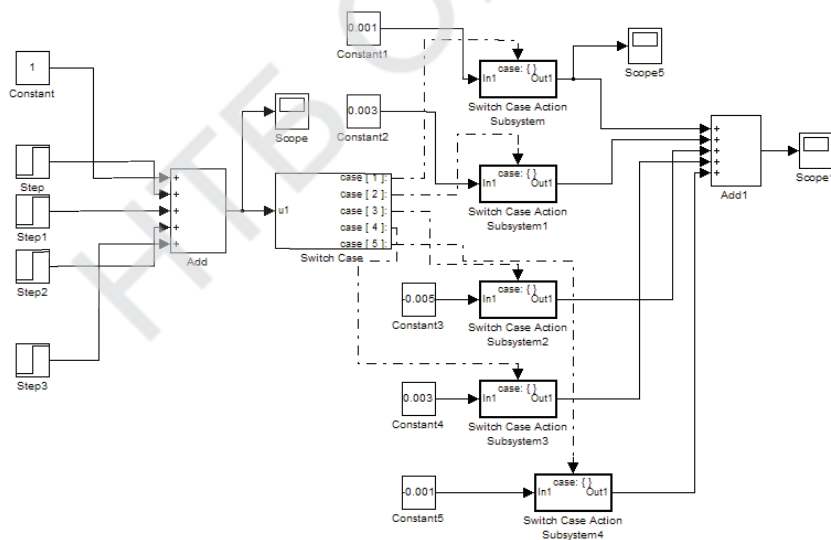


Рис. 3.4. Функціональна схема моделі виявлення бокових коливань руху за обраними стратегіями

Switch Case Action Subsystem дозволяє обирати необхідну стратегію руху дизель-поїзда (рівномірний, розгін, гальмування). Вхідний керуючий сигнал формується за допомогою суми ступінчастих сигналів, що визначають умови наявності нерівностей (рис. 3.5).

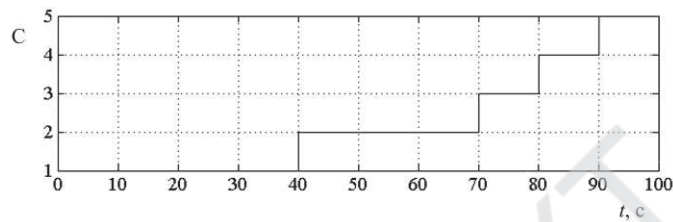


Рис. 3.5. Приклад вхідного керуючого сигналу

3.3. Результати виявлення бокових коливань рухомого складу та оцінки критичної швидкості

Для проведення експериментальних досліджень бокових коливань змінюємо швидкість, час та характер руху (рівномірний, прискорення, гальмування) дизель-поїзда та значення бокового відхилення колісної пари. На рис. 3.6 наведено графік залежності швидкості від часу в режимі розгону, а на рис. 3.7 графік бокового відхилення за перші 100 секунд.

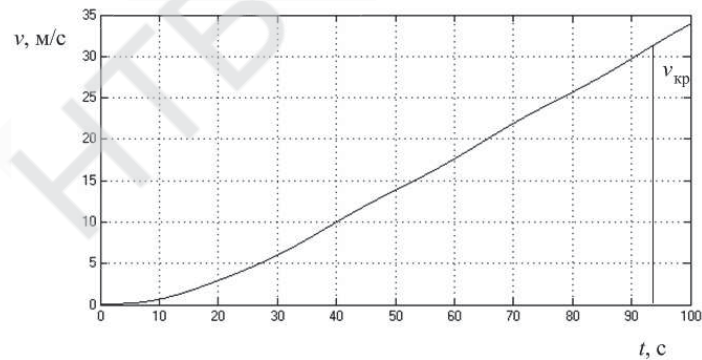


Рис. 3.6. Графік залежності швидкості від часу при режимі розгону

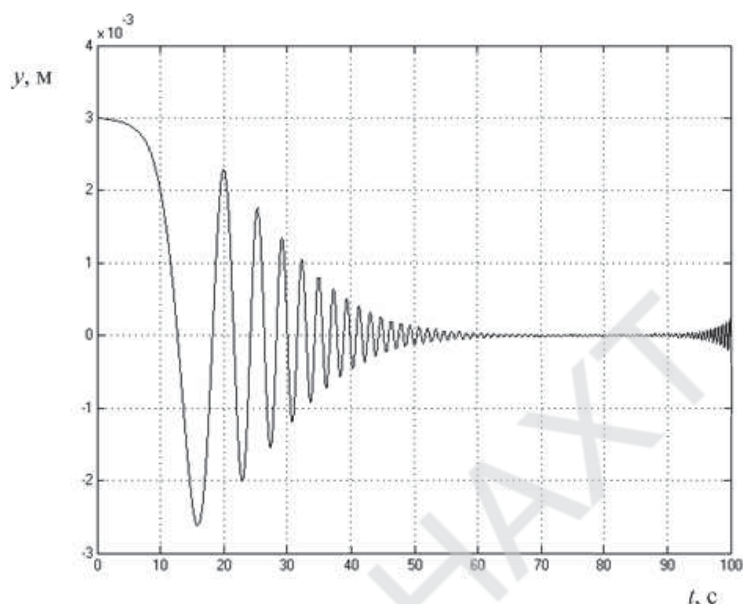


Рис. 3.7. Бокові коливання колісної пари в режимі розгону за 100 секунд

Виходячи з рис. 3.7, коливання носять затухаючий характер, критична швидкість настає на 93 секунді.

Виконаємо моделювання з використанням вхідного керуючого сигналу профілю шляху, отриманого з підсистеми збору інформації. Керуючий вхідний сигнал та значення бокового відхилення для рівномірної швидкості 20 м/с наведені на рис. 3.8.

Так як значення швидкості при моделюванні менше 24 м/с, що є критичною швидкістю, коливання є затухаючими на кожній ділянці шляху, однак не набувають 0 за час проїзду між нерівностями. Перевіримо результати роботи моделі при нерівномірному русі, задаючи нерівності, режими руху та початкову швидкість. Режими руху які розглядалися під час моделювання: розгін, підтримання швидкості, гальмування. На рис. 3.9 наведені значення бокового відхилення колісної пари в режимі зміни параметрів руху. Характер руху, що використовувався на кожній ділянці наведено в табл. 3.2.

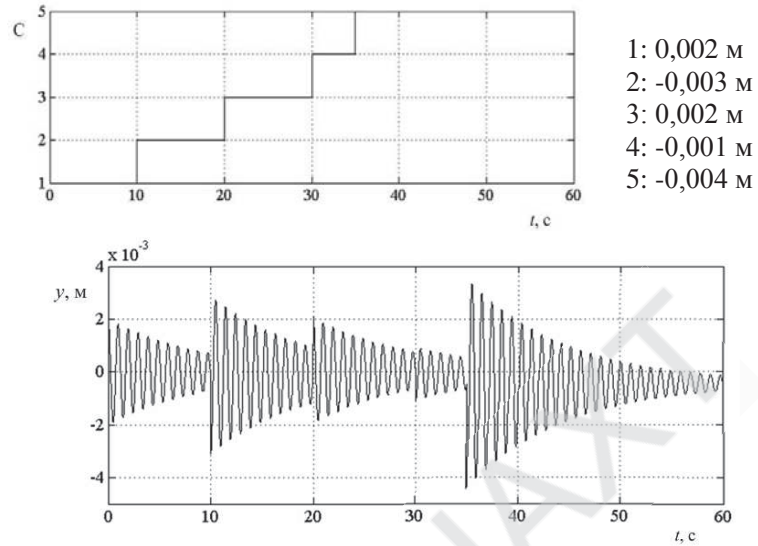


Рис. 3.8. Керуючий вхідний сигнал та бокове відхилення колісної пари при рівномірній швидкості 20 м/с

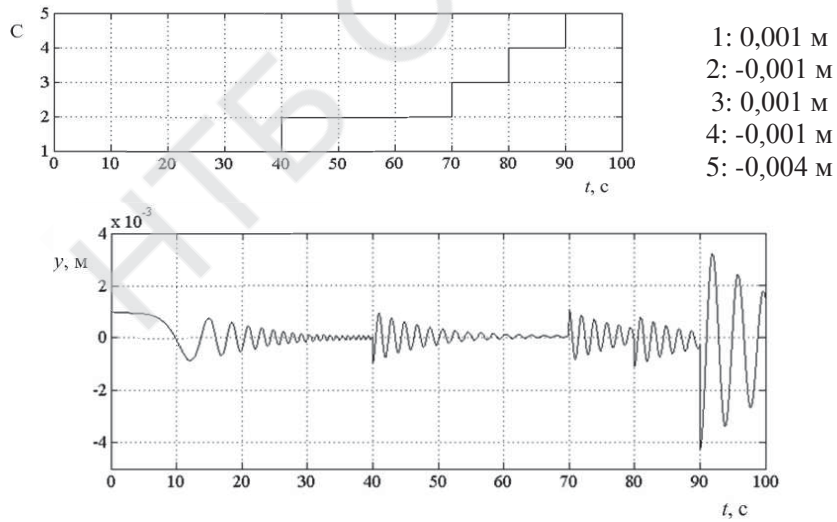


Рис. 3.9. Бокове відхилення колісної пари при нерівномірному русі

Таблиця 3.2 – Технічні параметри при моделюванні

Параметр	C = 1	C = 2	C = 3	C = 4	C = 5
Режим	розгін	рів- номірний	розгін	гальму- вання	гальму- вання
Швид- кість	від 0,1 м/с	10 м/с	від 10 м/с	до 10 м/с	до 5 м/с

Виходячи з рис. 3.9 абсолютного гасіння в будь-якому режимі руху за обраний час моделювання не відбувається, що потребує подальшої розробки систем гасіння коливань в автоматизованих системах керування та підсистем контролю стійкості руху та значень критичної швидкості при русі на нерівностях.

Висновки

У роботі розглянута науково-технічна задача управління при русі дизель-поїзда на нерівних ділянках шляху, яка дозволяє оцінювати стійкість та отримувати оптимальні закони керування рухом за допомогою бортової системи керування методами теорії стійкості та нечіткої логіки.

До основних результатів роботи відносяться: аналіз існуючих методів комп'ютерного моделювання та створення автоматизованих бортових систем управління залізничним рухом складом на нерівностях, наведено доцільність використання теорії стійкості та нечіткої логіки для синтезу системи керування;

розроблено спеціальне програмне забезпечення математичної моделі Картера, виконані експериментальні дослідження руху дизель-поїзда на нерівностях та перевірена адекватність розробленої моделі за допомогою теорії стійкості.

Розроблена структурна схема бортової системи керування, яка враховує модулі визначення контактних точок, коливань, моделі руху дизель-поїзда та нечіткого регулювання швидкості, за допомогою дослідження характеристичного рівняння отримано значення оптимальних швидкостей при русі на нерівностях.

Дані моделі можуть бути використані для систем гасіння та підтримки стійкості в системах автоматизованого керування високошвидкісних поїздів.

Дослідження в роботі виконувалися в рамках госпдоговорів з Укрзалізницею та її підрозділами: «Впровадження діагностичного комплексу для проведення інформаційно-вимірювальної діагностики

електронної системи управління дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 № 001, № 002, № 003, № 004» (Договір на створення науково-технічної продукції № 60196 з Одеською залізницею, м. Одеса), «Розробка та впровадження програмного забезпечення для визначення економічного ведення дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 № 001, № 002, № 003, № 004 у моторному депо Христинівка» (Договір на створення науково-технічної продукції № 60366 з Одеською залізницею, м. Одеса, м. Христинівка).

Список використаної літератури

1. Honghai Ji, Zhongsheng Hou, Ruikun Zhang, "Adaptive Iterative Learning Control for High-Speed Trains With Unknown Speed Delays and Input Saturations", *Automation Science and Engineering IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 260-273, 2016, ISSN 1545-5955.
2. Töpfer C. Optimierung Kompetenz des Zugs anhand Bordscomputers/ C. Töpfer // *Eisenbahningenieur*. – 1998. – № 2. – P. 68-70
3. Molinari M. Ausbeutung Diesel Züge Integral der neuen Generation / M. Molinari // *Eisenbahningenieur*. – 2003. – № 4. – P. 6-11
4. Cheng, R., Zhou, J., Chen, D., & Song, Y. (2016). Model-based verification method for solving the parameter uncertainty in the train control system. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 169-182.
5. Мартинов І.Е. Обґрунтування математичної моделі для визначення допустимих експлуатаційних швидкостей руху пасажирських вагонів / І.Е. Мартинов, О.Г. Рейдеймейстер, В.Г. Равлюк, М.Г. Равлюк // *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. – 2015. – Вип. 151(1). – С. 13-18.
6. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Изд. 2. / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2007. – 440 с
7. João Pombo, Jorge A.C. Ambrósio, Miguel T. Silva. A new wheel-rail contact model for railway dynamic. *Vehicle systems dynamics*. 2007. – Pp. 31-49.
8. Трофимович В.В. Динамика электроподвижного состава / В.В. Трофимович. Изд-во ДВГУПС, 2007. – 120 с.
9. Wu, Y., Jiang, B., & Shi, P. (2016). Incipient fault diagnosis for T-S fuzzy systems with application to high-speed railway traction devices. *IET Control Theory & Applications*, 10(17), 2286-2297.

STUDY AND FORMULATION OF THE ORGANIZATIONAL RECOMMENDATIONS: HOW TO REDUCE THE COST OF CUSTOMER SERVICE IN THE TAXI COMPANIES? Autor – Gniady M., Kowalczyk J., Kuśnierz J., Lichwała A., Mikołajczyk M., Supervisor – Okulicz-Kozaryn W.	414
TEPLODAR – CITY OF CRAFTSMEN Author – Zhikhareva N., Novikova O., Supervisor – Braiko M.	420
CREATING A VALUE DRIVER TREE AS AN ELEMENT OF INFLUENCE ON THE INDICATORS OF THE FINANCIAL STATE OF THE ENTERPRISE Author – Dashchenko O., Supervisor – Kasianova A.	440
RESEARCH METHODS FOR CALCULATION COMMERCIAL GOODS` PRODUCTION EFFICIENCY IN AGRICULTURE450 Author – Coleva D., Supervisor – Parmacli D.	450
3. AUTOMATION.....	459
DEVELOPMENT OF REMOTE CONTROL TO TRANSMIT AND DATA PROCESSING WEATHER INFORMATION IN REAL TIME Author – Romanchenko N., Supervisor – Palahin V.	459
ESTIMATION OF CRITICAL SPEED AND STABILITY OF MOTION IN THE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF RAIL TRANSPORT Author – Kharchenko A., Supervisor – Zakovorotnyi O.	475
4. IT TECHNOLOGIES AND CYBERSECURITY	493
MULTIDIMENSIONAL WAVELET NEURON AND ITS LEARNING FOR PATTERN RECOGNITION TASKS IN THE INTERNET OF THINGS APPLICATIONS Author – Oskerko S., Lutsan V., Supervisor – Vynokurova O.	493
USING OF NLP TECHNOLOGIES FOR EVALUATING THE CRYPTOCURRENCY RATES Author – Gryekhvodov B., Supervisor – Kanishcheva O.	508
INVESTIGATION OF CODE-BASED CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATIONS AND DIGITAL SIGNATURE SCHEMES Author – Kiiian A., Supervisor – Svatovskiy I.	525
RESEARCH OF INTELLIGENT NETWORK SERVICES TRAFFIC IN NGN Author – Kondratenko A., Kyslenko M., Supervisor – Kniazeva N.	540
SOFTWARE TRAINER FOR DEMONSTRATING VULNERABILITIES OF WEB APPLICATIONS Author – Babiychuk V., Supervisor – Smyrnova K.	555

Наукове видання

Міжнародний конкурс студентських наукових робіт

BLACK SEA SCIENCE 2018

Матеріали

Верстка – Н.М. Ковальчук

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Умовно-друк. арк. 48,07. Тираж 300. Замовлення № 0518-105.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105
Телефон +38 (0552) 39 95 80
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4392 від 20.08.2012 р.