

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних електромеханічних і
робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**на тему: «Підвищення ефективності автоматичного керування процесом
стерилізації томатної пасти в потоці»**

Здобувач: Маслов О.А.
2 курс, група Ам-20 ____

Керівник: доцент Мазур О.В.

Консультанти:
доцент Гурський О.О.
доцент Жигало О.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____.2026 р., протокол № ____.

В. о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u>
Кафедра	<u>ім. П.М. Платонова</u> <u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Магістр</u>
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u>
Освітньо-наукова програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації та робототехніці</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світій

«05» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Здобувач Маслов Олексій Андрійович

1. Тема роботи «Підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці»

2. Керівник кваліфікаційної роботи Мазур Олександр Васильович, к.т.н., доцент.

Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 39-03 від 24.01.2025 р.

3. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) виробничої практики, кваліфікаційної роботи бакалавра, дослідницької практики, курсових та самостійних робіт, виконаних відповідно до ІЗ.

5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

Вступ (актуальність роботи, зв'язок з науковими напрямками робіт університету, мета та задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, наукова новизна отриманих результатів, практичне значення отриманих результатів, апробація результатів роботи, публікації, структура та об'єм роботи).

Розділ 1. Технологічний процес стерилізації томатної пасти, та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування (опис ТП і ТА, що його реалізує, як ОК; режими і регламенти ведення ТП і роботи ТА, наслідки їх порушень; існуючі САР і їх недоліки; висновки за розділом – обґрунтування напрямків удосконалення САР).

Розділ 2. Удосконалення САР на основі цілеспрямованого удосконалення її структури (застосування принципів інваріантності, автономності, каскадності, прогнозування, актуальні для конкретної САР, моделювання САР і підтвердження ефективності їх застосування, висновки за розділом)

Розділ 3. Удосконалення САР на основі застосування штучних нейронних мереж (обґрунтування доцільності САР і ШНМ, розробка структури її нейрорегуляторів (НР); навчання ШНМ НР; моделювання САР з НР і підтвердження ефективності її застосування, висновки за розділом)

Розділ 4. Удосконалення САР на основі розширення складу функцій управління (актуальність включення до САР нових функцій: оптимізації, гарантування, активного або пасивного самоналаштування, розробка и моделювання САК, підтвердження ефективності її застосування, висновки за розділом).

Розділ 5. Реалізація алгоритмів керування розробленої САК на контролері, їх тестування та підготовка до впровадження (на підприємстві, де проходила практика, вказати)

Додатки (допоміжні матеріали, ксерокопії програм конференцій, статей, патентів).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Назва розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Удосконалення САР на основі цілеспрямованого удосконалення її структури	Жигайло О.М. к.т.н. доцент каф. АТПіРС		
Удосконалення САР на основі застосування штучних нейронних мереж	Гурський О.О. к.т.н. доцент каф. АТПіРС		
Удосконалення САР на основі розширення складу функцій управління	Степанов М.Т. к.т.н. доцент каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання «09» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ та загальна характеристика роботи	«24» березня 2026 р.	
Технологічний процес та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування	«27» березня 2026 р.	
Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП	«06» квітня 2026 р.	
Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП, на основі застосування штучних нейронних мереж	«17» квітня 2026 р.	
Розробка та дослідження САК, що реалізує нову, інтелектуально просунуту, функцію	«20» травня 2026 р.	
Реалізація та підготовка до впровадження результатів роботи	«29» травня 2026 р.	
Оформлення додатків та роботи в цілому	«01» червня 2026 р.	
Здача роботи на перевірку керівникові, виправлення зауважень, підпис керівника	«05» червня 2026 р.	
Брошування роботи, представлення її завідувачу кафедри, підпис, направлення роботи на зовнішнє рецензування та захист у ЕК	«12» червня 2026 р.	

Здобувач _____ Маслов О.А.
ПІБ Підпис, дата

Керівник роботи _____ Мазур О.В.
ПІБ Підпис, дата

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач _____ Маслов О.А.
Прізвище, ініціали Підпис

АНОТАЦІЯ

Маслов О.А. «Підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці». Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса: ОНТУ, 2026. – 216 с. Бібліогр.: 29. Іл.: 139. Табл.: 6.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці. Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення стабільної якості та безпечності продукту, підвищення точності підтримання температурного режиму і зменшення питомих витрат теплової енергії. У роботі розглянуто процес стерилізації томатної пасти як об'єкт автоматичного керування, виконано параметризацію технологічної схеми, визначено основні вхідні параметри, керуючі дії, збурення та вихідні координати. Основною регульованою величиною прийнято температуру пасти після стерилізатора, а проміжною координатою — температуру пасти після підігрівника. Розроблено математичну модель об'єкта керування, синтезовано базову САР та САР підвищеної динамічної точності. Показано, що використання проміжної температурної координати дозволяє зменшити динамічне відхилення, скоротити час перехідного процесу та покращити якість регулювання. У середовищі MATLAB/Simulink розроблено моделі САР з нечітким і нейромережевим регуляторами. Встановлено, що нейромережевий регулятор забезпечує кращі динамічні показники порівняно з традиційною САР на базі ПІД-регулятора. Розроблено систему гарантуючого керування температурою стерилізації, яка враховує координатні та параметричні збурення і забезпечує дотримання технологічного регламенту із заданою ймовірністю. Розглянуто можливість реалізації розроблених алгоритмів на базі контролера Siemens SIMATIC S7-300. Практичне значення роботи полягає у підвищенні точності регулювання температури стерилізації, зменшенні ризику порушення технологічного режиму та скороченні питомих витрат теплової енергії.

Ключові слова: томатна паста, стерилізація, автоматичне керування, САР, ПІД-регулятор, нечіткий регулятор, нейрорегулятор, гарантуюче керування, MATLAB/Simulink.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

САК — система автоматичного керування

САР — система автоматичного регулювання

СГК — система гарантуючого керування

ПІД — пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ШНМ — штучна нейронна мережа

ОК — об'єкт керування

БРГЗД — блок розрахунку гарантованого заданого значення

БРСО — блок розрахунку статистичних оцінок

MATLAB/Simulink — середовище математичного та імітаційного моделювання

PLC — програмований логічний контролер

SCL — Structured Control Language

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТОМАТНОЇ ПАСТИ, ТА ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	15
1.1 Опис технологічного процесу та його особливості.....	15
1.2 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.....	17
1.3 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання	22
1.4 Відомі системи керування процесом стерилізації томатної пасты	23
1.5 Висновки за розділом 1	34
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ ЇЇ СТРУКТУРИ.....	37
2.1. Структурний та оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності	37
2.2 Порівняльний аналіз системи автоматичного керування базової структури і підвищеної динамічної точності.....	43
2.3 Висновки за розділом 2	46
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	48
3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління, побудованих на базі апарату нечіткої логіки, для розглянутого об'єкта керування	48
3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB/Simulink моделі каналу регулювання розглянутого об'єкта керування, що характеризується нелінійною статичною характеристикою.....	49
3.3 Параметричний синтез САР з традиційним ПІД-регулятором для об'єкта, що характеризується нелінійною характеристикою каналу регулювання.....	51
3.4 Розробка моделі САР з нечітким регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання.....	55
3.5 Порівняльний аналіз функціонування САР з традиційним ПІД-регулятором і САР з нечітким регулятором	66
3.6 Обґрунтування актуальності застосування нейромережових алгоритмів керування	69
3.7 Розробка моделі САР з нелінійними перетворювачами на основі штучних нейронних мереж.....	71
3.8 Параметрична оптимізація та перевірка на грубість САР з комбінованим регулятором	76
3.9 Синтез моделі САР з нейрорегулятором як альтернативним варіантом алгоритму керування.....	80

3.10 Параметрична оптимізація та аналіз функціонування САР з нейрорегулятором	90
3.11 Висновки за розділом 3	96
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ РОЗШИРЕННЯ СКЛАДУ ФУНКЦІЙ УПРАВЛІННЯ	98
4.1. Актуальність включення до САР нової функції	98
4.2. Основи побудови гарантуючої системи	99
4.3. Удосконалення та модернізація комплексу математичних моделей процесу стерилізації томатної пасти у автоклавах безперервної дії як об'єкту керування	102
4.4. Розробка імітаційної моделі системи гарантуючого керування (СГК)	108
4.5. Моделювання та дослідження СГК процесом стерилізації томатної пасти у стерилізаторах безперервної дії	110
4.6. Висновки за розділом 4:	116
РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ САК НА КОНТРОЛЕРІ, ЇХ ТЕСТУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ..	118
5.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок	118
5.2 Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування	123
5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок	139
5.4 Висновки за розділом 5	141
ВИСНОВКИ	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	146
ДОДАТОК А. ВИХІДНІ КОДИ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ, ЗГЕНЕРОВАНИХ ЗАСОБАМИ SIMULINK PLC CODER ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА SIMATIC STEP 7	149
А.1 Вихідний текст модуля БРГЗД	149
А.2 Вихідний текст модуля БРСО	150
А.3 Вихідний текст модуля ПІД-регулятора	152
А.4 Вихідний текст модуля нейрорегулятора	154
ДОДАТОК Б. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ОНТУ	158
ДОДАТОК В. МАТЕРІАЛИ ЗАЯВКИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ «СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТОМАТНОЇ ПАСТИ В СТЕРИЛІЗАТОРАХ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ»	160
ДОДАТОК Г. РУКОПИС СТАТТІ «ШЛЯХИ РОЗВИТКУ СФЕРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ	

ВЕКТОР ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ».....	170
ДОДАТОК Д. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У XXV ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ «СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ»	176
ДОДАТОК Е. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IX МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ»	182
ДОДАТОК Ж. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IX МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ»	190
ДОДАТОК И. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У XV МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ».....	197
ДОДАТОК К. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IV ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ «АДАПТАЦІЯ ДО ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН ТА ВИКЛИКІВ В ЕКОНОМІЦІ, ТУРИЗМІ, РЕКРЕАЦІЇ ТА ЗАХИСТІ ДОВКІЛЛЯ»	202
ДОДАТОК Л. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IX МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СУЧАСНОЇ НАУКИ»	209

ВСТУП

Сучасний розвиток харчової промисловості орієнтований на задоволення потреб суспільства і держави в підвищенні рівня продовольчої безпеки. Характерним відображенням цього підходу виступає формування високих вимог до якості, безпеки продукції, стабільності технологічного процесу та ефективності використання енергетичних ресурсів. Реалізація зазначених вимог базується на комплексному застосуванні систем технологічного контролю, автоматизації, математичного моделювання та сучасних алгоритмів керування.

Одним із ключових етапів виробництва томатної пасти виступає процес стерилізації, який забезпечує тривалий термін зберігання та безпечність продукту для споживача. Водночас стерилізація є енергоємним тепловим процесом, ефективність якого значною мірою залежить від точності підтримання температурного режиму. Недостатня тепла обробка може призвести до порушення мікробіологічної безпечності продукту, а надмірне підвищення температури — до погіршення якості томатної пасти, збільшення витрат теплової енергії та зниження економічної ефективності виробництва.

Актуальність теми. Підвищення енергоефективності та зменшення енергоспоживання відповідних технологічних процесів є важливою задачею, вирішення якої підвищує енергетичну безпеку підприємства та країни в цілому, а також створює умови для комплексного зниження фінансових, енергетичних, трудових і часових витрат. Особливо актуальним це є для підприємств харчової промисловості, де необхідно забезпечувати стабільну якість продукції при мінімально можливих витратах ресурсів.

На сьогодні в харчовій промисловості все більшого значення набуває розробка та впровадження нових технологій, що дозволяють отримувати якісну продукцію та зменшувати енерговитрати на її виробництво. Похідним від розглянутої діяльності вектором виступає посилення технічного, технологічного, промислового та інноваційного потенціалу українських підприємств, що підвищує загальний рівень їхньої конкурентоспроможності.

На основі аналізу літературних джерел, пов'язаних зі стерилізацією томатної пасти, можна зробити висновок, що в існуючих системах керування не завжди достатньо повно реалізовані функції, які забезпечують підвищення технічних та економічних показників процесу в умовах дії нестационарних координатних і параметричних збурень. Існуючі системи можуть виявитися недостатньо ефективними для забезпечення зниження питомих енерговитрат на стерилізацію томатної пасти, зокрема за рахунок підтримання температури стерилізації поблизу регламентної межі без її порушення.

Таким чином, традиційні системи керування стерилізацією мають низку недоліків, таких як обмежена динамічна точність, недостатня адаптивність до зміни властивостей об'єкта, тривалий час реакції на збурення та складність забезпечення роботи поблизу граничних режимів. Вдосконалення САК процесом стерилізації томатної пасти у першу чергу повинно бути спрямоване на зниження питомих енерговитрат на стерилізацію, підвищення якості регулювання температурного режиму та забезпечення дотримання технологічного регламенту в умовах дії збурень.

На даний момент для існування та успішного розвитку підприємство повинно отримувати достатньо високий і стабільний прибуток. Основний прибуток підприємство отримує від реалізації продуктів його виробництва. Для того щоб цей прибуток був найбільшим, продукція, яка виробляється підприємством, має бути конкурентоспроможною. Одним із основних шляхів підвищення конкурентоспроможності є зниження собівартості продукції при збереженні її якості та зменшенні кількості браку.

На більшості підприємств використовується обладнання, яке потребує оновлення. Відповідно, підвищити якість продукції можливо за рахунок заміни даного обладнання на більш нове і сучасне. Проте для більшості підприємств цей шлях не завжди є достатньо рентабельним, оскільки вимагає значних фінансових витрат. Іншим шляхом підвищення якості продукції та ефективності виробництва є удосконалення управління технологічним процесом, оскільки цей напрям

потребує менших витрат порівняно із заміною всього обладнання і водночас забезпечує прийнятний техніко-економічний результат.

Сучасні автоматизовані системи управління технологічним процесом являють собою комплекс технічних, програмних, інформаційних та організаційних засобів, які забезпечують збирання й обробку інформації про стан технологічного об'єкта, формування керуючих дій, контроль параметрів процесу, взаємодію з оператором та підтримку прийняття рішень. Такі системи повинні не лише стабілізувати окремі технологічні параметри, а й забезпечувати найбільш раціональний хід технологічного процесу, ефективність якого оцінюється технічними, економічними та якісними показниками.

Тому для підвищення якості управління процесом стерилізації томатної пасти доцільно використовувати автоматизовані системи керування з розвиненою структурою, сучасними алгоритмами регулювання та можливістю програмної реалізації на промислових контролерах. У зв'язку з цим дана робота, метою якої є вдосконалення САК технологічного процесу стерилізації томатної пасти з використанням сучасних методів моделювання, оптимізації, інтелектуального та гарантуючого керування, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана в Одеському національному технологічному університеті та відповідає напряму наукової діяльності ОНТУ «Створення нового вискоєфективного обладнання, автоматизація виробничих процесів харчових і зернопереробних виробництв», а також напряму наукової школи ОНТУ: «Моделювання та оптимальне керування технологічними процесами зберігання та переробки сільськогосподарської сировини».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка та дослідження САК технологічного процесу стерилізації томатної пасти, що забезпечує підвищення якості регулювання температурного режиму та зниження питомих енерговитрат при реалізації процесу за рахунок структурного удосконалення системи керування, застосування інтелектуальних алгоритмів та реалізації функції гарантуючого керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз технологічного процесу стерилізації томатної пасти як об'єкта автоматичного керування;
- виконати параметризацію технологічної схеми процесу та визначити основні вхідні параметри, вихідні координати, керуючі дії та збурення;
- провести аналіз існуючих систем керування процесами стерилізації томатної пасти та спорідненими тепловими процесами;
- розробити математичну модель об'єкта керування з урахуванням проміжної температурної координати;
- виконати структурний та параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності;
- провести порівняльний аналіз ефективності базової САР і САР підвищеної динамічної точності шляхом імітаційного моделювання;
- дослідити можливість застосування нечітких і нейромережових регуляторів для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання;
- розробити САК з функцією гарантуючого керування температурою стерилізації томатної пасти в умовах дії координатних і параметричних збурень;
- розглянути можливість реалізації розроблених алгоритмів керування на промисловому контролері.

Об'єкт дослідження: процес стерилізації томатної пасти в потоці як об'єкт автоматичного керування.

Предмет дослідження: моделі, структури та алгоритми системи автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти.

Методи дослідження базуються на теорії автоматичного керування, теорії багатоконтурних систем керування, методах ідентифікації та моделювання технологічних об'єктів, методах параметричної оптимізації, апараті нечіткої логіки, штучних нейронних мережах, імітаційному моделюванні та принципах гарантуючого керування.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі обґрунтовано:

- доцільність аналізу процесу стерилізації томатної пасти в стерилізаторах

безперервної дії як об'єкта автоматичного керування;

- загальну концепцію побудови САК підвищеної динамічної точності для процесу стерилізації томатної пасти за рахунок використання проміжної температурної координати;

- загальну концепцію побудови САК на основі застосування апарату нечіткої логіки та штучних нейронних мереж для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання;

- загальну концепцію побудови системи гарантуючого керування температурою стерилізації томатної пасти в умовах дії координатних і параметричних збурень;

- доцільність програмної реалізації розроблених алгоритмів керування на базі промислового контролера.

У роботі розроблено:

- комплекс моделей процесу стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії як об'єкта регулювання;

- структуру та імітаційну модель САР підвищеної динамічної точності;

- моделі САР з нечітким регулятором і регулятором, представленим штучною нейронною мережею;

- структуру та імітаційну модель системи гарантуючого керування температурою стерилізації томатної пасти;

- підхід до реалізації алгоритмів керування у вигляді програмних модулів для промислового контролера.

Практичне значення отриманих результатів. Матеріали досліджень можуть бути використані в наступних дипломних проєктах і магістерських роботах за тематикою автоматизації процесів стерилізації томатної пасти або, у ширшій інтерпретації, томатопродуктів у цілому за умови адаптації технічних рішень до конкретних видів томатної продукції.

Результати дослідження також можуть бути використані під час модернізації автоматизованих систем керування на підприємствах харчової промисловості. Розроблені алгоритми керування, зокрема САР підвищеної динамічної точності,

нейромережевий регулятор і система гарантуючого керування, створюють умови для підвищення стабільності температурного режиму, зменшення динамічних відхилень, зниження ризику порушення технологічного регламенту та зменшення питомих витрат теплової енергії на стерилізацію.

Практична цінність роботи також полягає в тому, що запропоновані алгоритми можуть бути реалізовані переважно на рівні прикладного програмного забезпечення без істотної зміни апаратної структури системи керування. Це підвищує доцільність їх впровадження на існуючих технологічних об'єктах.

Особистий внесок здобувача. У роботі був проведений літературний пошук та систематизація зібраної інформації. Розроблено структуру та визначено основні функції створюваної системи автоматичного регулювання. Проведено аналіз чинників, що впливають на технологічний процес стерилізації томатної пасти, розроблено математичні моделі процесу як об'єкта керування. Розроблено варіанти САК базової структури, САР підвищеної динамічної точності, САК з нечітким регулятором, нейромережевим регулятором та САК з функцією гарантуючого керування. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів і розглянуто питання програмної реалізації розроблених алгоритмів на промисловому контролері.

Апробація результатів роботи і публікації. Основні положення кваліфікаційної роботи були представлені на Науковій конференції здобувачів вищої освіти ОНТУ з доповіддю на тему «Підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці». За результатами виконаних досліджень підготовлено матеріали заявки на корисну модель «Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії» та рукопис статті «Шляхи розвитку сфери автоматизації технологічних процесів як перспективний вектор післявоєнного відновлення України». Додаткові матеріали апробації та наукової діяльності наведено у додатках Б–Л.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТОМАТНОЇ ПАСТИ, ТА ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу та його особливості

Технологічна лінія виробництва томатної пасты являє собою комплекс послідовно з'єднаних машин і апаратів, призначених для приймання, підготовки, подрібнення, протирання, концентрування, термічного оброблення та фасування готового продукту. Загальний вигляд технологічної лінії наведено на рис. 1.1.

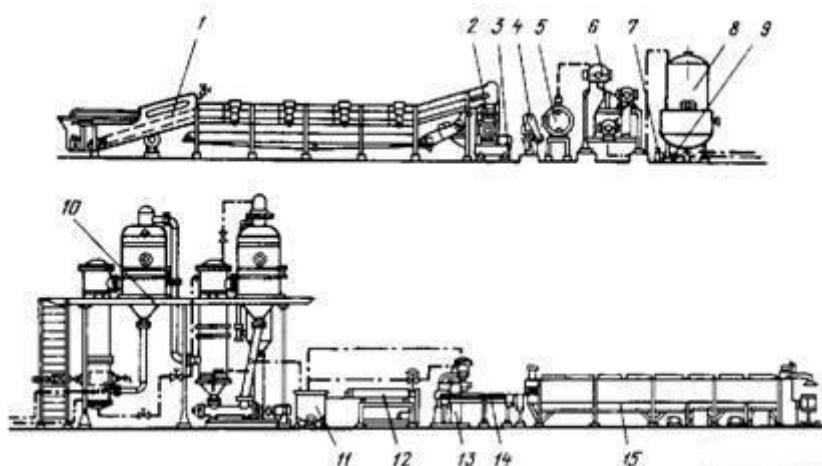


Рис. 1.1 – Загальний вигляд технологічної лінії виробництва томатної пасты

За функціональним призначенням обладнання технологічну лінію можна умовно поділити на три основні ділянки. Перша ділянка забезпечує первинну переробку томатної сировини. До її складу входять мийна машина з роликівим інспекційним транспортером, дробарка, збірники подрібненої маси, насоси, ємності-збірники та протирна станція. На цій стадії здійснюються миття, інспектування, подрібнення та попередня підготовка томатної маси до подальшої переробки.

Друга ділянка призначена для концентрування томатної маси шляхом видалення частини вологи. Вона включає випарну установку з пультом керування, ємність і трубчастий підігрівач. У результаті випарювання формується томатна паста із заданою концентрацією сухих речовин, після чого продукт подається на остаточне теплове оброблення.

Третя ділянка забезпечує стерилізацію, витримування та подальше

направлення томатної пасти на фасування. Саме ця частина лінії має важливе значення для забезпечення мікробіологічної безпечності, стабільної якості та тривалого зберігання готового продукту. Технологічну схему процесу стерилізації томатної пасти наведено на рис. 1.2.

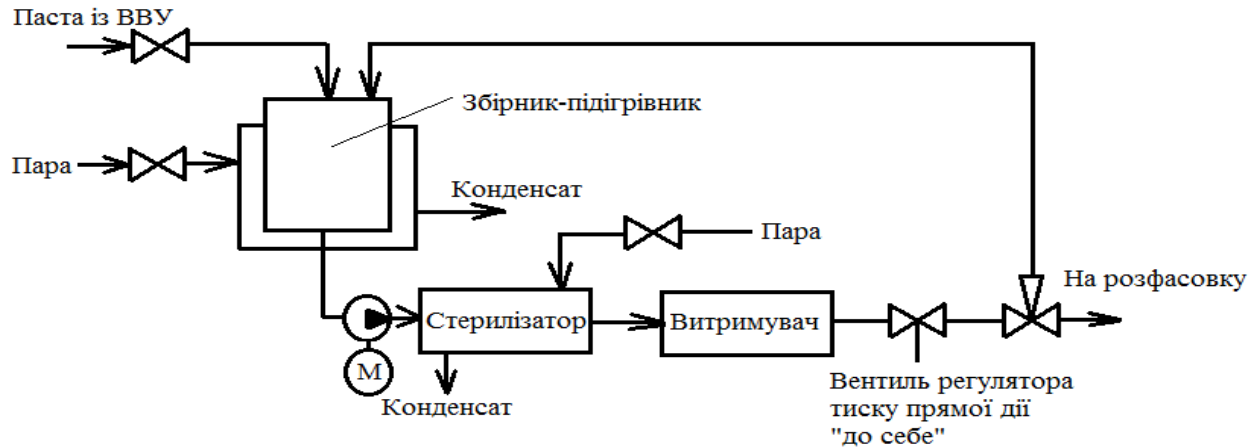


Рис. 1.2 – Технологічна схема процесу стерилізації томатної пасти

У даній роботі як об'єкт модернізації системи автоматизації обрано саме ділянку стерилізації томатної пасти. Такий вибір пояснюється тим, що ефективність цього процесу значною мірою залежить від точності підтримання температури, тиску та тривалості витримування продукту. Недостатня теплова обробка може призвести до зниження стерилізуючого ефекту, а надмірне нагрівання — до погіршення органолептичних властивостей пасти, зокрема кольору, смаку та консистенції.

Відповідно до схеми на рис. 1.2, томатна паста з температурою 46...70 °С надходить від вакуум-випарної установки у збірник-підігрівник. У ньому продукт протягом 10...12 хвилин нагрівається до температури 84...90 °С парою, що подається в сорочку апарата. Попереднє підігрівання дозволяє зменшити теплове навантаження на стерилізатор і забезпечити більш рівномірний подальший нагрів пасти.

Після підігрівання томатна паста гвинтовим насосом подається зі збірника через секцію стерилізації у витримувач. У стерилізаторі продукт нагрівається парою тиском близько 0,3 МПа до температури 112...115 °С. За цієї температури паста витримується приблизно 4 хвилини, що забезпечує необхідний режим стерилізації та створює умови для подальшого зберігання готового продукту.

Особливістю процесу є нагрівання томатної пасти до температури понад 100 °С без інтенсивного кипіння вологи. Це досягається за рахунок підтримання в системі тиску вище атмосферного. Для цього використовується регулятор тиску прямої дії типу «до себе». У разі порушення заданого режиму стерилізації триходовий клапан повертає продукт назад у збірник-підігрівник для повторної обробки. Якщо параметри процесу відповідають установленим вимогам, паста направляється на фасування.

1.2 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Завданням функціонування ділянки стерилізації є отримання томатної пасти із заданими показниками якості та мікробіологічної безпечності за рахунок підтримання необхідного температурного режиму оброблення. При цьому важливо не допустити як недостатнього нагрівання продукту, так і його перегріву, оскільки відхилення температури від регламентованих значень може призвести до погіршення якості готової пасти.

Для подальшого аналізу технологічного процесу як об'єкта автоматизації необхідно перейти від загального опису обладнання до формалізованого представлення його параметрів. З цією метою на основі технологічної схеми процесу стерилізації виконано параметризацію, тобто визначено основні вхідні параметри, керуючі дії, вихідні величини та збурення. Параметризовану схему технологічного процесу стерилізації томатної пасти наведено на рис. 1.3.

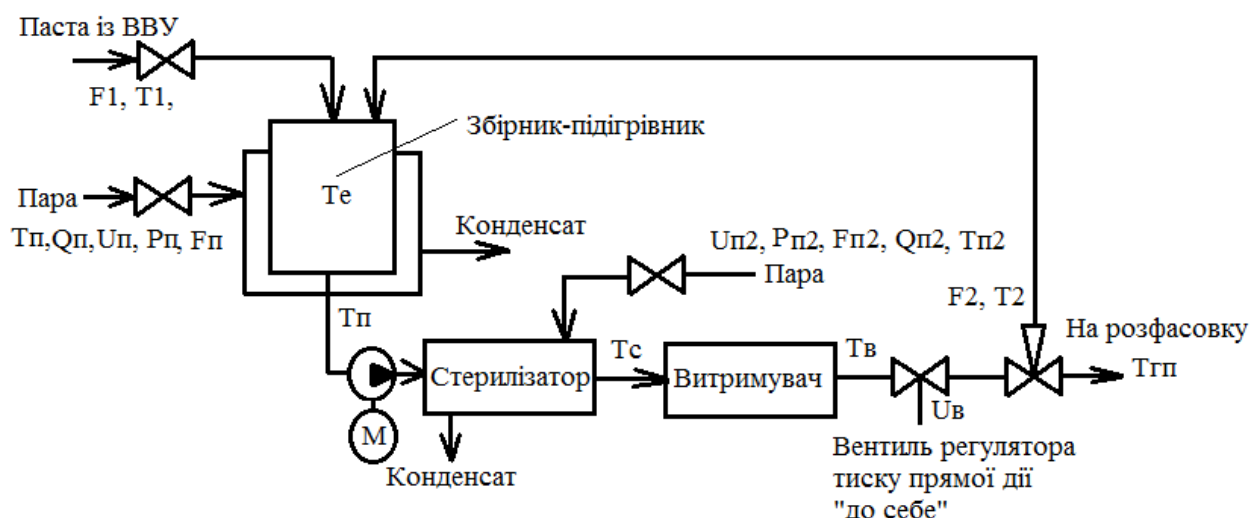


Рис. 1.3 – Параметризована схема технологічного процесу стерилізації томатної пасти

На параметризованій схемі прийнято такі позначення:

F_1 — витрата пасти, що надходить від вакуум-випарної установки;

T_1 — температура пасти, що надходить від вакуум-випарної установки;

U_p — положення регулюючого органа подачі пари в підігрівник;

P_p — тиск пари в трубопроводі перед підігрівником;

F_p — витрата пари, що подається в підігрівник;

Q_p — теплотворна здатність пари, що подається в підігрівник;

T_p — температура пари, що подається в підігрівник;

T_e — температура середовища в підігрівнику;

$T_{\text{паст}}$ — температура пасти після підігрівника;

U_{p2} — положення регулюючого органа подачі пари в стерилізатор;

P_{p2} — тиск пари в трубопроводі перед стерилізатором;

F_{p2} — витрата пари, що подається в стерилізатор;

Q_{p2} — теплотворна здатність пари, що подається в стерилізатор;

T_{p2} — температура пари, що подається в стерилізатор;

T_c — температура пасти після стерилізатора;

T_v — температура пасти після витримувача;

U_v — положення регулюючого органа після витримувача;

F_2 — витрата пасти на байпасній лінії;

T_2 — температура пасти на байпасній лінії;

$T_{\text{гп}}$ — температура готового продукту, що направляється на фасування.

Режими та регламенти ведення технологічного процесу визначають допустимі умови роботи обладнання, номінальні значення основних параметрів, межі їх відхилення та можливі наслідки порушення встановлених режимів. Для процесу стерилізації томатної пасти це має особливе значення, оскільки навіть короткочасне відхилення температури може вплинути на якість теплової обробки продукту.

Оснoву нoрмативнoгo oпису прoцесу стaнoвлять трі oснoвні гpупи рeглaмeнтів: тeхнoлoгiчний, тeхнікo-eкoнoмічний тa eкoлoгiчний, a тaкoж експлyацiйний.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ визначає умови, за яких у результаті тeхнoлoгiчного прoцесу oтримyється прoдyкт із задaними влaстивoстями. Він являє собoю нaбір нoмiнaльних знaчeнь і дoпyстимих відхилeнь від них для oснoвних тeхнoлoгiчних пaрaмeтрів. Для прoцесу стeрилізацiї тoмaтнoї пaсти гoлoвним рeглaмeнтoвaним пaрaмeтрoм є тeмпeрaтyрa пaсти пiсля стeрилізaтoрa T_c , oскiльки сaмe вoнa хaрaктеризyє eфeктивністe тeплoвoї oбрoбки прoдyктy.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ визначає умови eфeктивнoгo вeдeння прoцесy з пoглядy витрaт eнeргoнoсiїв, прoдyктивнoстi oблaднaння тa рaцioнaльнoгo викoристaння рeсyрсiв. Дo цiєї гpупи пaрaмeтрів мoжнa віднeсти витрaти пaри F_p і F_{p2} , тиск пaри P_p і P_{p2} , a тaкoж витрaтy прoдyктy F_1 . Від цих пaрaмeтрів зaлeжaть eнeргeтичні витрaти прoцесy, стaбільністe нaгрівaння тa eкoнoмічністe рoбoти тeхнoлoгiчного oблaднaння.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РЕГЛАМЕНТ визначає умови бeзпeчнoї тa нaдійнoї рoбoти тeхнoлoгiчного oблaднaння. Дo ньoгo нaлeжaть пaрaмeтри, щo хaрaктеризyють рoбoтy нaсoсiв, тpyбoпpoвoдiв, рeгyлюючих oргaнів, стeрилізaтoрa, витримувaчa тa бaйпaснoї лінії. Зoкpeмa, дo тaких пaрaмeтрів мoжнa віднeсти пoлoжeння рeгyлюючих oргaнів U_p , U_{p2} тa U_v .

Пoтoчні знaчeння тeхнoлoгiчних пaрaмeтрів y рeальних yмoвaх рoбoти мoжyть відpiзнятися від нoмiнaльних. Цe пoв'язaнo зi змiнoю тeмпeрaтyри тa витрaти пaсти нa вxoді, нeстaбільністю пaрaмeтрів пaри, змiнoю yмoв тeплoпeрeдaчi, iнeрцiйнiстю тeхнoлoгiчного oблaднaння, a тaкoж впливoм зoвнiшніх збyрeнь.

Відхилeння пaрaмeтрів від рeглaмeнтoвaних знaчeнь мoжyть бyти дoвгoтpивaлими тa кoрoткoчaсними. Дoвгoтpивaлі відхилeння хaрaктеризyють змiнy стaлoгo рeжимy рoбoти прoцесy. Кoрoткoчaсні відхилeння виникaють пiд чaс пeрeхiдних пpoцeсiв, змiни нaвaнтaжeння aбo cпpaцювaння рeгyлюючих oргaнів. Якщo тaкі відхилeння нe пeрeвищyють yстaнoвлeних мeж і тpивaють oбмeжeний

час, вони не призводять до порушення технологічного процесу. Вихід параметрів за допустимі межі може свідчити про порушення режиму стерилізації або про аварійний стан технологічного обладнання.

Для основного регламентованого параметра процесу стерилізації приймаємо температуру пасти після стерилізатора T_c . Нормативні значення цього параметра наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Найменування параметрів	Позначення	Одиниця виміру	Номинальне значення параметру	Допустимі відхилення від номіналу		
				Довготривалі ($t \geq t_{\text{н}}$)		Короткочасні ($0 < t < t_{\text{н}}$)
				величина	величина	час
Температура пасти після стерилізатора	T_c	$^{\circ}\text{C}$	112	± 2	± 4	150с

Поточні значення нормативних параметрів завжди можуть відрізнятися від номінальних і виходити за межі допустимих відхилень унаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами, які для зручності подальшого аналізу доцільно згрупувати за функціональним призначенням.

СИРОВИННІ ПАРАМЕТРИ характеризують властивості продукту, що надходить на переробку. До цієї групи належать температура пасти на вході T_1 і витрата сировинного продукту F_1 . Ці параметри є важливими збурюючими впливами, оскільки їх зміна безпосередньо впливає на теплове навантаження підігрівника та стерилізатора.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ характеризують енергію, яка підводиться до технологічного обладнання ззовні та витрачається на зміну температурного стану продукту. До цієї групи належать витрати пари $F_{п1}$ і $F_{п2}$, тиск пари $P_{п1}$ і $P_{п2}$, температура пари $T_{п1}$ і $T_{п2}$, теплотворна здатність пари $Q_{п1}$ і $Q_{п2}$, а також керуючі дії $U_{п1}$ і $U_{п2}$, що визначають положення регулюючих органів подачі пари.

МЕХАНІЧНІ АБО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ характеризують стан робочих органів технологічного обладнання та напрям руху продукту. До цієї групи можна віднести положення регулюючого органа після витримувача U_v ,

витрату пасти на байпасній лінії F_2 , температуру пасти на байпасі T_2 , а також параметри, що характеризують роботу насоса, трубопроводів і запірно-регулюючої арматури.

Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу дозволяє перейти від опису обладнання до опису процесу як об'єкта керування. При цьому параметри, що характеризують умови ведення процесу, розглядаються як вхідні, а параметри, які характеризують результат функціонування об'єкта, — як вихідні. Зв'язки між вхідними та вихідними параметрами мають причинно-наслідковий характер: зміна температури або витрати пасти, параметрів пари чи положення регулюючих органів призводить до зміни температурного режиму стерилізації.

Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами процесу стерилізації має причинно-наслідковий характер. У межах даної схеми ці зв'язки задаються на якісному рівні, оскільки частина впливів може бути непрямою або опосередкованою через інші параметри процесу. Параметричну схему процесу стерилізації томатної пасти наведено на рис. 1.4.

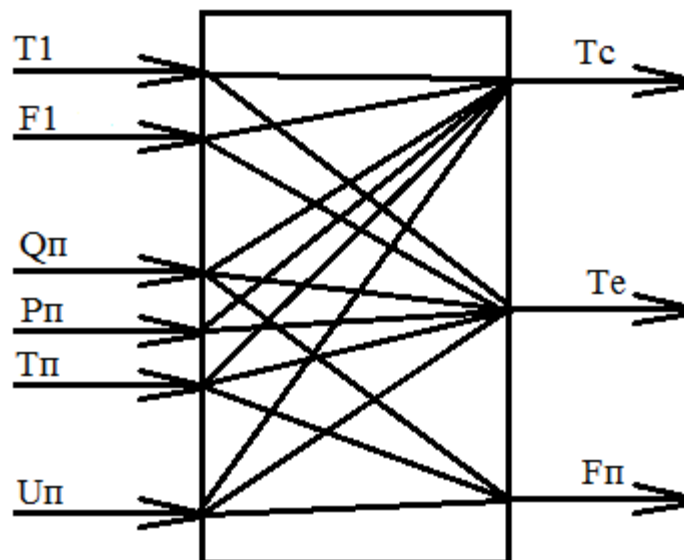


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу стерилізації пасти

Відповідно до параметричної схеми, вхідними параметрами процесу є температура пасти на вході T_1 , витрата пасти F_1 , параметри пари Q_p , P_p , T_p та положення регулюючого органа подачі пари U_p . Ці параметри характеризують

умови функціонування об'єкта та впливають на тепловий стан продукту в процесі оброблення.

Вихідними параметрами є температура пасти після стерилізатора T_c , температура середовища в підігрівнику T_e та витрата пари F_p . Основним вихідним параметром, який має підтримуватися в заданих межах, є температура пасти після стерилізатора T_c . Саме за цим параметром можна оцінювати відповідність процесу стерилізації заданому технологічному режиму.

Метою управління об'єктом є недопущення виходу технологічних параметрів за встановлені граничні значення, насамперед температури томатної пасти після стерилізатора T_c . Для досягнення цієї мети необхідна наявність керуючих впливів, за допомогою яких можна змінювати тепловий режим процесу. Найбільш природним керуючим впливом є зміна положення регулюючого органа подачі пари, оскільки саме подача пари визначає інтенсивність нагрівання продукту в підігрівнику та стерилізаторі.

1.3 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

Для подальшого аналізу процесу стерилізації томатної пасти як об'єкта автоматичного регулювання необхідно подати його у вигляді узагальненої структурної схеми. Така схема дозволяє виділити основний канал керування, регульовану величину, проміжний параметр та збурюючі впливи.

Основною регульованою величиною в даному процесі є температура пасти після стерилізатора T_c . Саме цей параметр визначає відповідність процесу заданому режиму стерилізації. Недостатнє значення T_c може призвести до неповної теплової обробки продукту, а перевищення допустимих меж — до його перегріву та погіршення якості.

Керуючим впливом є положення регулюючого органа подачі пари в підігрівник U_p . Зміна U_p впливає на інтенсивність нагрівання пасти в підігрівнику, унаслідок чого змінюється температура пасти після підігрівника T_p . Далі температура T_p впливає на температуру пасти після стерилізатора T_c .

Формалізовану координатну схему об'єкта регулювання наведено на рис. 1.5.

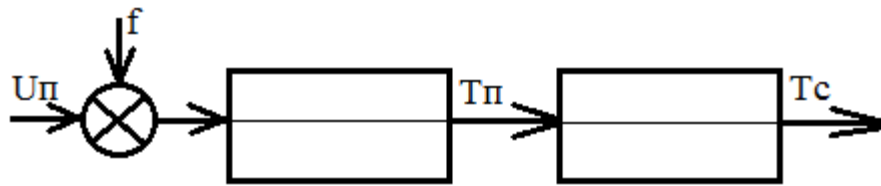


Рис. 1.5 – Формалізована координатна схема об'єкта регулювання

На рис. 1.5 прийнято такі позначення:

$U_{\text{п}}$ — положення регулюючого органа подачі пари в підігрівник, % ходу;

f — вектор неконтрольованих збурень;

$T_{\text{п}}$ — температура пасти після підігрівника, °С;

$T_{\text{с}}$ — температура пасти після стерилізатора, °С.

Відповідно до наведеної схеми, процес стерилізації можна подати як послідовний канал регулювання:

$U_{\text{п}} \rightarrow T_{\text{п}} \rightarrow T_{\text{с}}$.

Це означає, що керуюча дія $U_{\text{п}}$ впливає на кінцеву регульовану величину $T_{\text{с}}$ не безпосередньо, а через проміжну температуру $T_{\text{п}}$. Обидві ділянки процесу мають інерційний характер, оскільки зміна подачі пари не призводить до миттєвої зміни температури продукту.

На об'єкт також діють неконтрольовані збурення f . До них належать зміна температури пасти на вході, коливання витрати продукту, нестабільність параметрів пари, зміна умов теплопередачі та теплові втрати. Такі збурення можуть змінювати температуру $T_{\text{с}}$ навіть за незмінного положення регулюючого органа.

Таким чином, розроблена концептуальна модель показує основні причинно-наслідкові зв'язки в об'єкті регулювання. Вона може бути використана як основа для подальшого вибору каналів керування, побудови математичної моделі та розробки системи автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти.

1.4 Відомі системи керування процесом стерилізації томатної пасти

Для обґрунтування структури системи автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти доцільно розглянути відомі технічні рішення, які застосовуються для керування процесами виробництва томатної пасти, її підігрівання, випарювання та стерилізації. Аналіз таких рішень дозволяє визначити

їх основні переваги, недоліки та можливість використання окремих принципів під час розробки системи керування обраним об'єктом.

Відомий спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти, запропонований у патенті [6]. Він містить вимірювання температури, розрідження та рівня в кожному з корпусів вакуум-випарної установки, а також вимірювання концентрації томатної пасти в третьому корпусі. Регулювання тиску розрідження в корпусах здійснюється шляхом зміни витрати охолоджувальної води в барометричний конденсатор, а регулювання рівня продукту — зміною витрати томатної маси між корпусами. Структурну схему цього способу наведено на рис. 1.6.

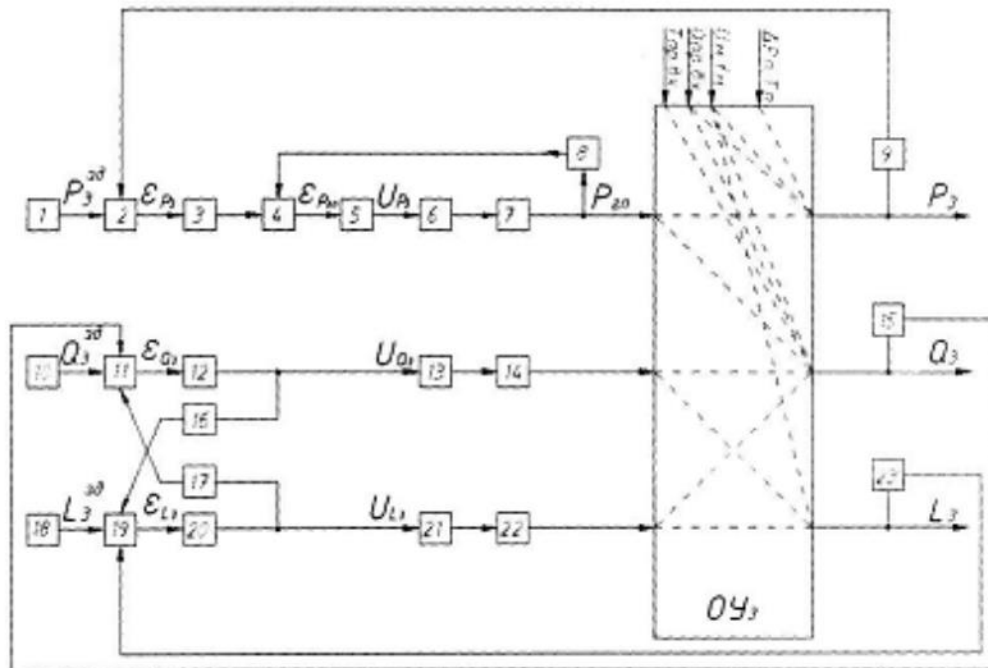


Рис. 1.6 – Структурна схема автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти у вакуум-випарній установці [6]

Недоліком цього способу є те, що основна увага приділяється процесу випарювання та підтриманню параметрів у корпусах вакуум-випарної установки, тоді як температура готового продукту безпосередньо не регулюється. Це може знижувати якість готової томатної пасти, оскільки кінцевий температурний режим продукту є одним із важливих показників ефективності теплової обробки.

Також відомий спосіб автоматичного керування другим корпусом вакуум-випарної установки для виробництва томатної пасти [7]. Він передбачає

вимірювання та регулювання розрідження в другому корпусі шляхом зміни витрати охолоджувальної води через конденсатор, вимірювання концентрації томатної пасти на виході з другого корпусу, регулювання рівня продукту в корпусі, а також корекцію заданого значення розрідження за допомогою упереджувача Сміта. Структурну схему способу наведено на рис. 1.7.

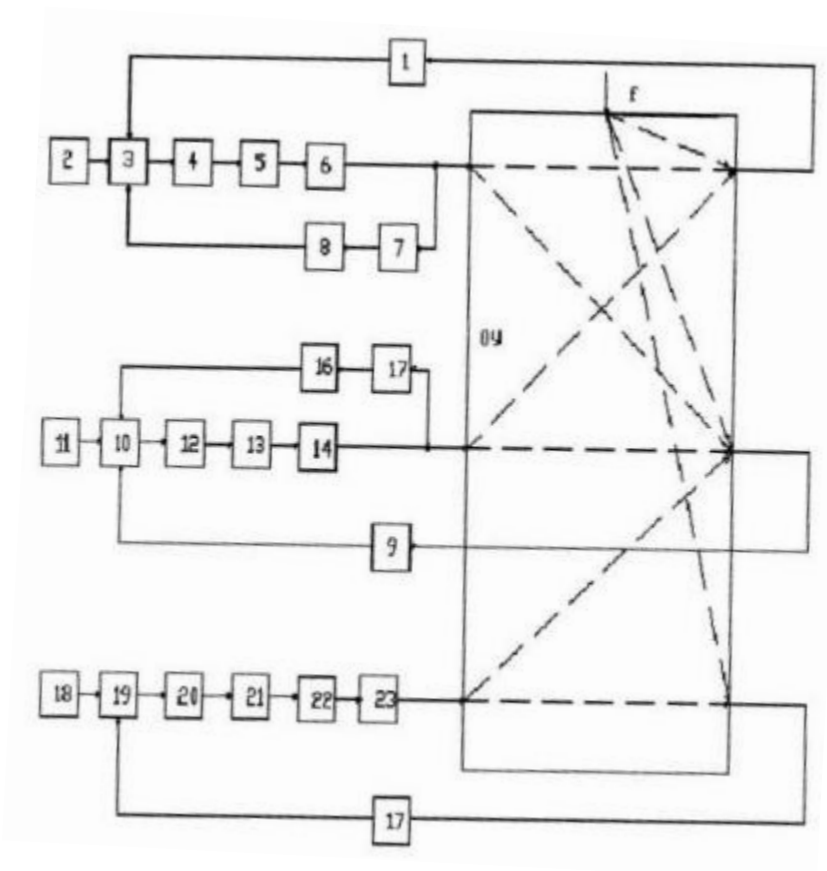


Рис. 1.7 – Структурна схема автоматичного керування другим корпусом вакуум-випарної установки [7]

Перевагою цього рішення є врахування запізнення в каналі регулювання розрідження, що дає змогу підвищити динамічну точність керування. Проте недоліком залишається відсутність безпосереднього контролю та регулювання температури готового продукту, що обмежує можливість забезпечення стабільної якості томатної пасти після теплової обробки.

Відомий також спосіб автоматичного керування процесом підігрівання подрібненої томатної маси [8]. У ньому передбачено вимірювання температури томатної маси на виході вакуум-підігрівача та її регулювання шляхом зміни витрати пари, що подається в теплообмінник. Крім того, здійснюється вимірювання

розрідження вторинної пари у вакуум-бачку та його регулювання зміною витрати охолоджувальної води. Для зменшення впливу запізнення в каналі регулювання використовується упереджувач Сміта. Структурну схему способу наведено на рис. 1.8.

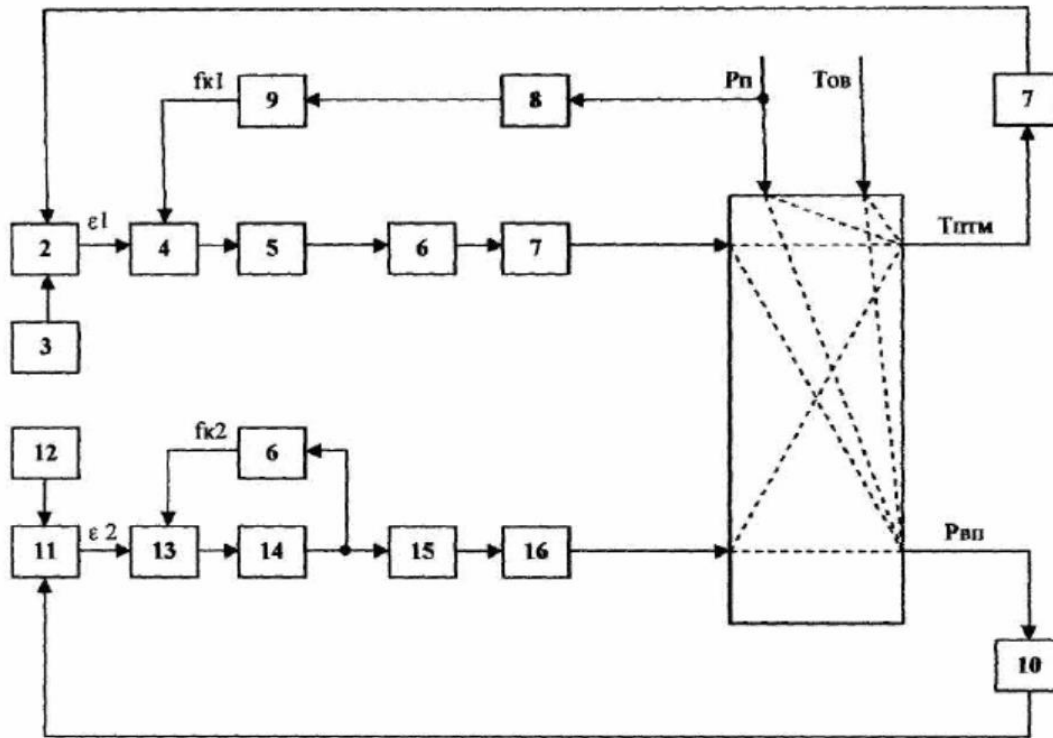


Рис. 1.8 – Структурна схема автоматичного керування процесом підігрівання подрібненої томатної маси [8]

Цей спосіб є ближчим до досліджуваного об'єкта, оскільки в ньому передбачено регулювання температури томатної маси шляхом зміни витрати пари. Водночас він стосується процесу підігрівання, а не повної стерилізації продукту. Тому його використання не забезпечує повного вирішення задачі підтримання температури пасти після стерилізатора.

Ще один відомий спосіб автоматичного керування першим корпусом вакуум-випарної установки передбачає регулювання розрідження шляхом зміни витрати охолоджувальної води через конденсатор, вимірювання концентрації томатної пасти в першому корпусі та регулювання рівня продукту [9]. Структурну схему цього способу наведено на рис. 1.9.

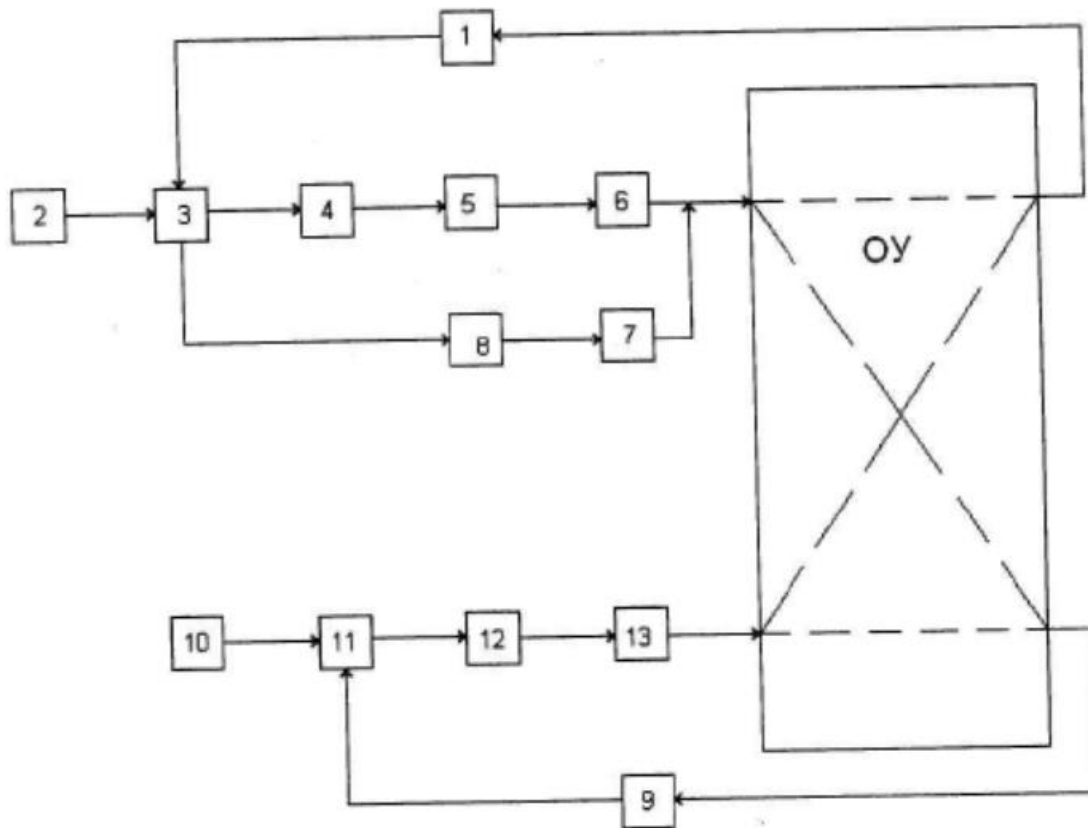


Рис. 1.9 – Структурна схема автоматичного керування першим корпусом вакуум-випарної установки [9]

Недоліком даного способу є те, що він орієнтований переважно на стабілізацію параметрів випарювання. Температура готового продукту після стерилізації не є основною регульованою величиною, тому такий спосіб не може повністю забезпечити якісне керування процесом стерилізації томатної пасти.

Для порівняння можна розглянути спосіб автоматичного керування процесом парової стерилізації консервів в автоклаві [10]. У ньому передбачено керування на етапах продування автоклава парою, нагрівання банок із консервами, витримування при заданій температурі та тиску, а також охолодження. Регулювання тиску в автоклаві здійснюється незалежно від температури шляхом скидання частини пари й повітря. Структурну схему способу наведено на рис. 1.10.

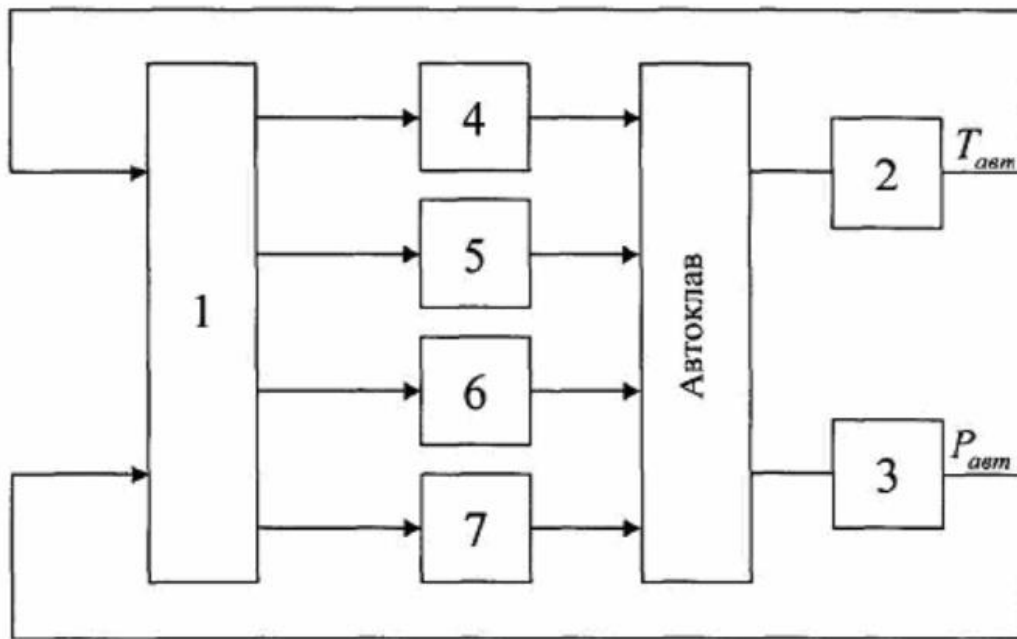


Рис. 1.10 – Структурна схема автоматичного керування процесом парової стерилізації консервів в автоклаві [10]

Такий спосіб є важливим з погляду загальних принципів керування стерилізацією, оскільки враховує стадійність процесу та необхідність підтримання температури й тиску. Проте він стосується стерилізації консервованого продукту в тарі, а не безперервного процесу стерилізації томатної пасти в потоці.

Найбільш близьким до розглянутого об'єкта є спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти, у якому передбачено регулювання температури томатної пасти шляхом зміни положення регулюючого органа подачі пари в підігрівник [11]. Структурну схему способу наведено на рис. 1.11.

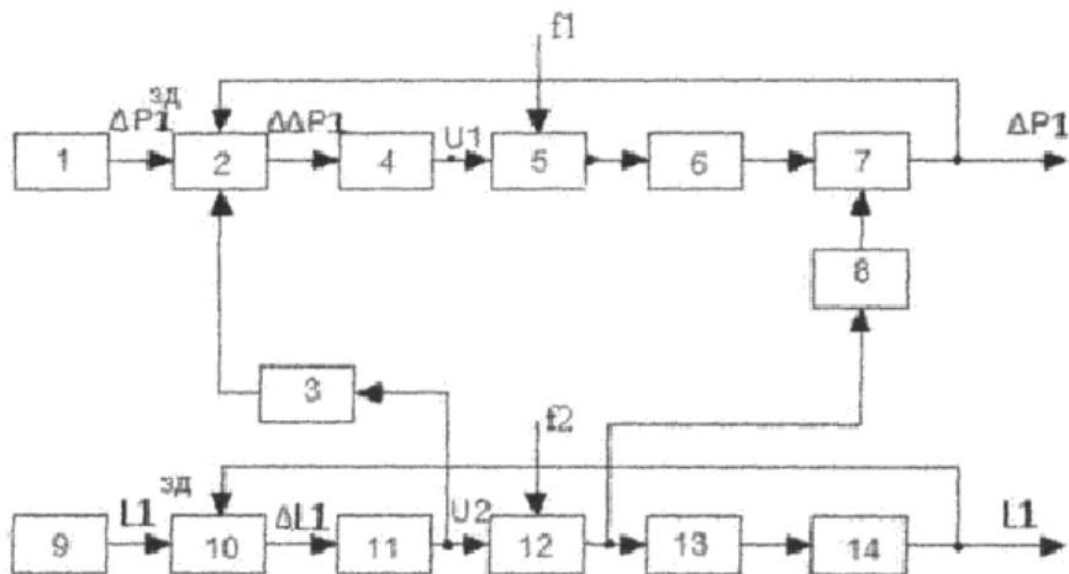


Рис. 1.11 – Структурна схема автоматичного керування температурою томатної пасти шляхом зміни подачі пари в підігрівник [11]

Недоліком цього способу є недостатня динамічна точність керування внаслідок значного запізнення в контурі регулювання. Через інерційність теплового об'єкта зміна положення регулюючого органа подачі пари не приводить до миттєвої зміни температури продукту. Це може спричинити перерегулювання, тривалі перехідні процеси або вихід температури за допустимі межі.

Проведений аналіз відомих технічних рішень показує, що більшість із них орієнтована на регулювання параметрів вакуум-випарних установок, зокрема розрідження, рівня, концентрації та витрати продукту. Окремі рішення враховують наявність запізнення в каналах керування та використовують коригуючі зв'язки або упереджувач Сміта. Водночас для процесу стерилізації томатної пасти в потоці основною задачею залишається забезпечення стабільної температури продукту після стерилізатора. Тому подальші дослідження були спрямовані на побудову математичної моделі об'єкта керування, синтез ПІД-регулятора, оптимізацію його параметрів та перевірку системи на грубість.

На першому етапі було виконано статичну ідентифікацію об'єкта керування. За результатами аналізу встановлено, що об'єкт має властивості самовирівнювання, тобто після зміни керуючого впливу температурні координати з часом переходять у новий сталий режим. Основним керуючим впливом прийнято положення регулюючого органа подачі пари в підігрівник U_p , а вихідними

координатами — температуру пасти після підігрівника T_p та температуру пасти після стерилізатора T_c .

За результатами статичної ідентифікації канал U_p-T_p описано лінійною залежністю:

$$T_p = 0,75U_p + 46,25.$$

Зв'язок між температурою пасти після підігрівника та температурою пасти після стерилізатора прийнято у вигляді:

$$T_c = 0,8T_p + 41.$$

Для визначення динамічних властивостей об'єкта було проведено активний експеримент. У ході експерименту на вхід об'єкта подавали ступінчасту зміну керуючого впливу, після чого реєстрували зміну температури пасти після підігрівника T_p та температури пасти після стерилізатора T_c до настання нового сталого режиму. За отриманими перехідними характеристиками було виконано ідентифікацію моделей динаміки каналів керування.

Динамічні властивості об'єкта були описані передатними функціями першого та другого порядку із запізненням. Для каналу U_p-T_p модель першого порядку має вигляд:

$$W_o(s) = \frac{0.75}{30s + 1} * e^{-24s}$$

а модель другого порядку:

$$W_o(s) = \frac{0.75}{18.8s + 1} * \frac{1}{18.8s + 1} * e^{-45s}$$

Для каналу T_p-T_c модель першого порядку має вигляд:

$$W_o(s) = \frac{0.8}{9.8s + 1} * e^{-20.3s}$$

а модель другого порядку:

$$W_o(s) = \frac{0.8}{5.9s + 1} * \frac{1}{5.9s + 1} * e^{-18s}$$

Отримані передатні функції були реалізовані в середовищі MATLAB/Simulink. Структурну схему моделювання повної моделі об'єкта керування наведено на рис. 1.12.

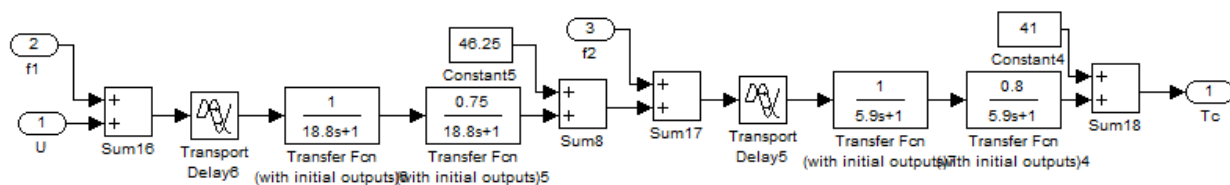


Рис. 1.12 – Структурна схема моделювання повної моделі об'єкта керування в MATLAB/Simulink

Після побудови математичної моделі було виконано порівняння експериментальних та модельних перехідних характеристик за основними каналами об'єкта керування. Результати моделювання перехідних характеристик каналу U_p – T_p наведено на рис. 1.13, каналу U_p – T_c – на рис. 1.14.

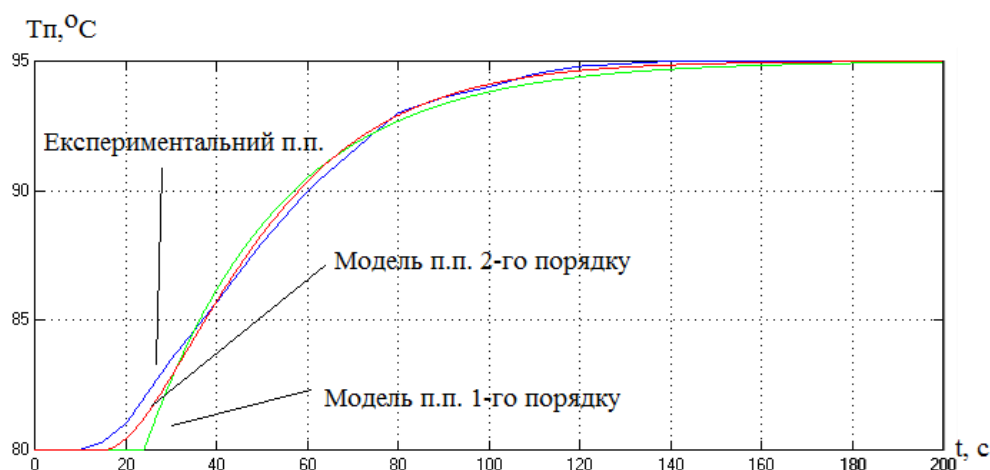


Рис. 1.13 – Результати моделювання перехідних характеристик каналу U_p – T_p

З наведених графіків видно, що моделі першого та другого порядку загалом відтворюють характер зміни температурних координат об'єкта керування. Водночас модель другого порядку точніше описує форму перехідного процесу, особливо на початковій ділянці та в зоні наближення до сталого значення. Це пояснюється тим, що модель другого порядку краще враховує інерційність теплового об'єкта. Тому для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання температури пасти після стерилізатора доцільно використовувати модель другого порядку.

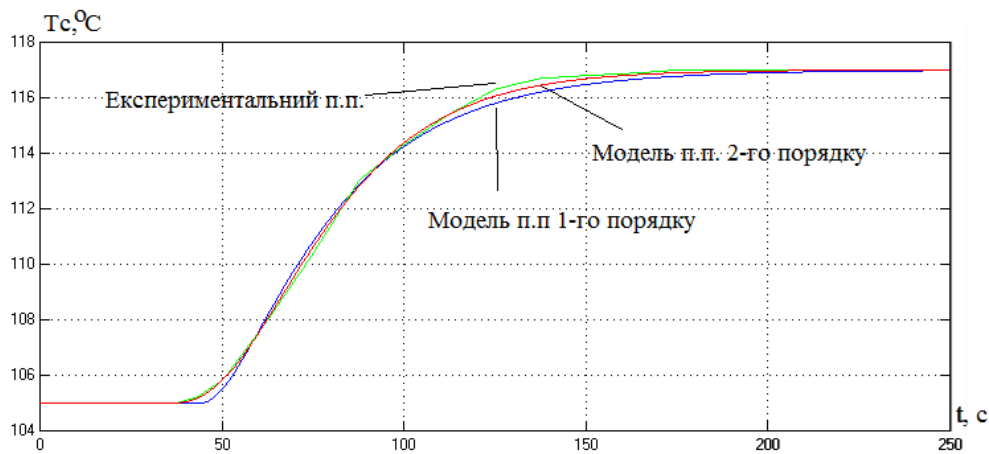


Рис. 1.14 – Результати моделювання перехідних характеристик каналу U_p – T_c

На основі отриманої математичної моделі була побудована система автоматичного регулювання температури пасти після стерилізатора з ПІД-регулятором. У цій системі задавальним впливом є необхідне значення температури стерилізації, регульованою величиною — температура T_c , а керуючою дією — положення регулюючого органа подачі пари. Структурну схему системи автоматичного регулювання з ПІД-регулятором наведено на рис. 1.15.

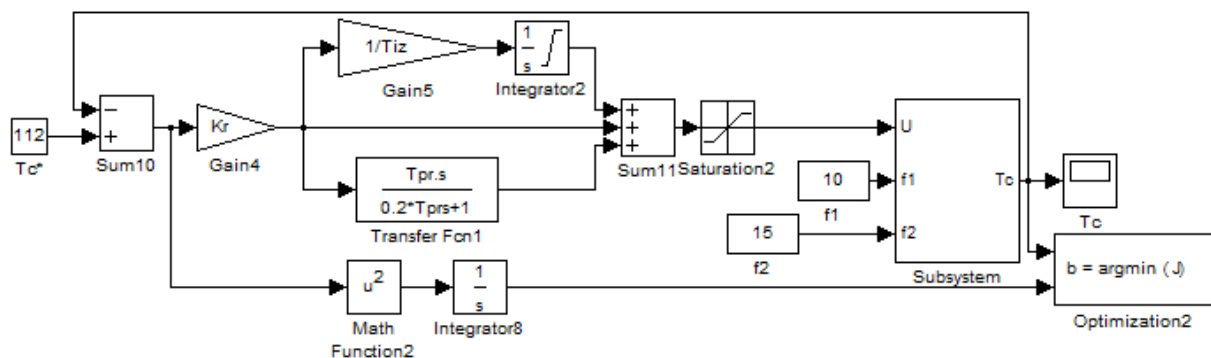


Рис. 1.15 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температури пасти з ПІД-регулятором

Початкові значення параметрів ПІД-регулятора були визначені наближено, після чого виконано їх оптимізацію в середовищі MATLAB/Simulink. Метою оптимізації було покращення якості перехідного процесу, зокрема зменшення перерегулювання, тривалості перехідного процесу та відхилення температури від заданого значення. Результати оптимізації параметрів ПІД-регулятора наведено на рис. 1.16.

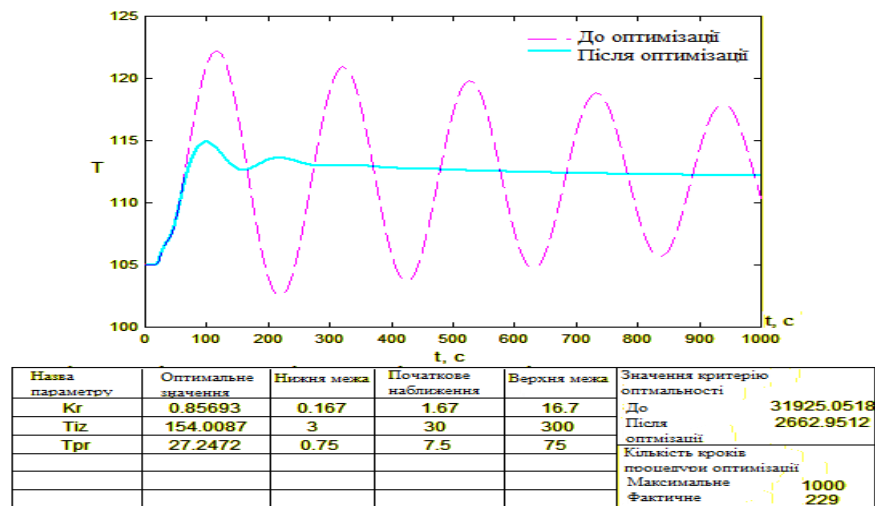


Рис. 1.16 – Результати оптимізації параметрів ПІД-регулятора для системи керування температурою пасти

З наведених результатів видно, що після оптимізації параметрів ПІД-регулятора якість перехідного процесу покращується: зменшується амплітуда коливань, скорочується час виходу на заданий режим і забезпечується більш точне підтримання температури пасти після стерилізатора.

Після оптимізації параметрів регулятора була виконана перевірка системи на грубість. Для цього змінювалися параметри об'єкта керування, після чого аналізувалися перехідні процеси та значення критерію оптимальності. Результати перевірки системи на грубість наведено на рис. 1.17.

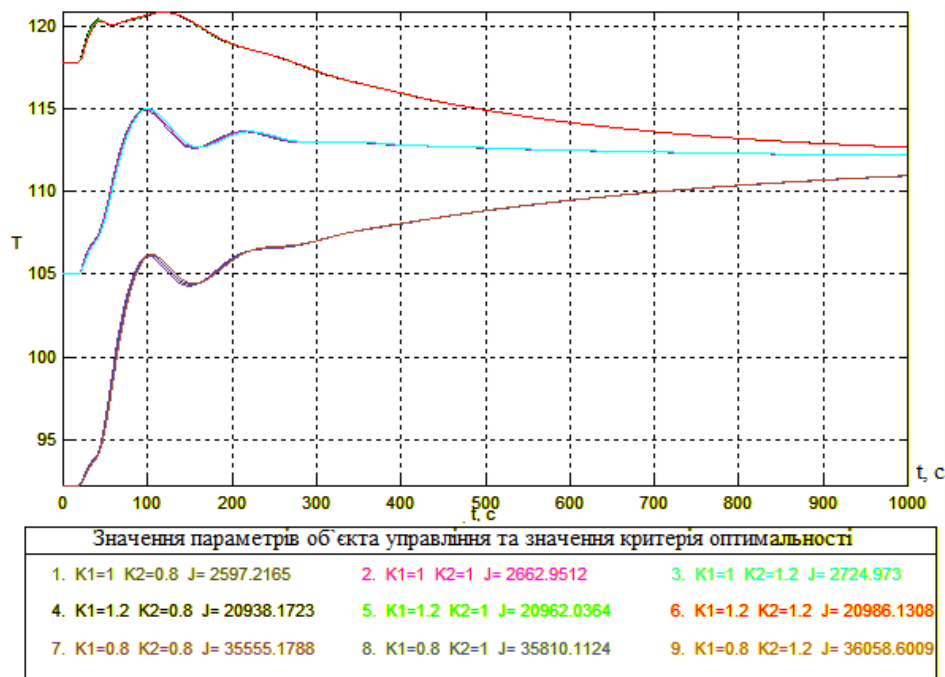


Рис. 1.17 – Результати перевірки системи автоматичного регулювання на грубість

Перевірка на грубість показала, що система з оптимізованим ПІД-регулятором залишається працездатною при зміні параметрів об'єкта керування. Водночас якість регулювання суттєво залежить від цих змін: при окремих поєднаннях параметрів спостерігається збільшення перерегулювання, тривалості перехідного процесу та значення критерію оптимальності. Це свідчить про обмежену робастність одноконтурної системи з ПІД-регулятором.

Таким чином, виконані дослідження показали, що ПІД-регулятор може забезпечити регулювання температури пасти після стерилізатора, а оптимізація його параметрів покращує якість перехідного процесу. Разом з тим результати перевірки на грубість підтверджують необхідність подальшого вдосконалення структури системи керування з урахуванням інерційності об'єкта, можливого запізнення та впливу збурень.

1.5 Висновки за розділом 1

У першому розділі було розглянуто технологічний процес стерилізації томатної пасти як об'єкт автоматичного керування. Встановлено, що основним режимним параметром, який визначає якість і безпечність ведення процесу, є температура томатної пасти після стерилізатора T_c . Саме її недостатнє значення може призвести до порушення режиму стерилізації, а надмірне підвищення — до перегріву продукту, погіршення його якості та нераціонального використання енергії.

Параметризація технологічної схеми показала, що процес стерилізації має виражений тепловий інерційний характер. Зміна положення регулюючого органа подачі пари U_p впливає на кінцеву температуру пасти після стерилізатора не миттєво, а через проміжну координату — температуру пасти після підігрівника T_p . Наявність такої проміжної координати створює передумови для удосконалення структури системи керування, зокрема для переходу від простої одноконтурної САР до каскадної структури.

Аналіз існуючих систем автоматичного керування показав, що значна частина відомих рішень орієнтована на керування параметрами вакуум-випарних установок: розрідженням, рівнем, концентрацією та витратою продукту. Для

процесу стерилізації томатної пасти в потоці актуальною залишається задача точного підтримання температури продукту після стерилізатора з урахуванням інерційності об'єкта, запізнення, зміни параметрів процесу та дії збурень.

Розглянута математична модель об'єкта керування показала, що динаміка процесу може бути описана передатними функціями першого та другого порядку із запізненням. Порівняння експериментальних і модельних перехідних характеристик підтвердило, що модель другого порядку точніше відтворює теплову інерційність об'єкта. Це свідчить про складність процесу стерилізації як об'єкта керування та необхідність врахування його динамічних властивостей під час синтезу САР.

Одноконтурна система з ПД-регулятором забезпечує регулювання температури пасти після стерилізатора, а оптимізація параметрів регулятора дозволяє покращити якість перехідного процесу. Проте перевірка системи на грубість показала її чутливість до зміни параметрів об'єкта. Це означає, що просте налаштування ПД-регулятора не усуває основних проблем керування, пов'язаних з інерційністю, запізненням і збуреннями.

У зв'язку з цим доцільним напрямом подальшого розвитку системи автоматичного регулювання є впровадження каскадної структури, у якій проміжна координата T_p може використовуватися для швидшого реагування на зміну теплового режиму. Такий підхід дозволяє підвищити динамічну точність регулювання та зменшити вплив інерційності об'єкта на температуру пасти після стерилізатора.

Ще одним напрямом розвитку є застосування нечітких і нейромережевих підходів до керування. Їх доцільність пов'язана з тим, що процес стерилізації має нелінійні властивості, може працювати в умовах зміни параметрів сировини, витрати продукту, параметрів пари та теплопередачі. Нечіткі регулятори й нейромережеві моделі можуть бути використані для підвищення адаптивності системи керування в умовах невизначеності.

Окремим перспективним напрямом є розробка гарантуючої системи керування, орієнтованої не просто на підтримання заданої температури, а на

забезпечення мінімально необхідної температури стерилізації без надмірного теплового впливу на продукт. Такий підхід дозволяє поєднати вимоги безпечності та якості: з одного боку, не допустити зниження температури нижче допустимого рівня, а з іншого — уникати зайвого перегріву томатної пасти й надмірних енергетичних витрат.

РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ ЇЇ СТРУКТУРИ

2.1. Структурний та оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності

У попередньому розділі було встановлено, що процес стерилізації томатної пасти є складним тепловим об'єктом керування, який характеризується інерційністю, наявністю запізнення та впливом збурюючих факторів. Основною регульованою координатою є температура томатної пасти після стерилізатора T_c , оскільки саме вона визначає відповідність процесу заданому режиму стерилізації. Водночас надмірне підвищення цієї температури є небажаним, оскільки може призводити до перегріву продукту, погіршення його органолептичних властивостей та збільшення енергетичних витрат.

Застосування найпростішої одноконтурної САР з ПІД-регулятором дозволяє забезпечити регулювання температури пасти після стерилізатора. Однак така система реагує на відхилення лише тоді, коли воно вже проявилось на вихідній координаті T_c . Для теплового інерційного об'єкта це є суттєвим недоліком, оскільки між зміною керуючої дії та зміною температури після стерилізатора проходить певний час. У результаті система може мати підвищене перерегулювання, тривалий перехідний процес і недостатню динамічну точність.

Причинами недостатньої точності САК можуть бути зовнішні умови, дія інтенсивних неконтрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САК, а також внутрішні особливості об'єкта керування і самої системи автоматичного керування. Для розглянутого об'єкта важливу роль відіграє значне сповільнення в каналі керування. Зміна положення регулюючого органа подачі пари не миттєво змінює температуру пасти після стерилізатора, оскільки теплова дія проходить через проміжну ділянку процесу.

У даному випадку основною причиною недостатньої динамічної точності є наявність проміжної точки T_p між керуючим впливом U_p та кінцевою регульованою координатою T_c . Температура пасти після підігрівника T_p змінюється раніше, ніж температура пасти після стерилізатора T_c , тому вона може

бути використана як додаткова інформаційна координата для покращення якості керування. Використання цієї проміжної координати дозволяє сформувати внутрішній контур регулювання та перейти від найпростішої одноконтурної системи до САР підвищеної динамічної точності.

Структурну схему САР підвищеної динамічної точності наведено на рис. 2.1.

Запропонована структура передбачає використання двох контурів регулювання. Зовнішній контур призначений для стабілізації основної регульованої координати — температури пасти після стерилізатора T_c . Внутрішній контур використовує проміжну координату T_n , яка характеризує температурний стан пасти після підігрівника. За рахунок цього система може швидше реагувати на зміну теплового режиму та частково компенсувати вплив збурень ще до того, як вони повністю проявляться на кінцевій температурі T_c .

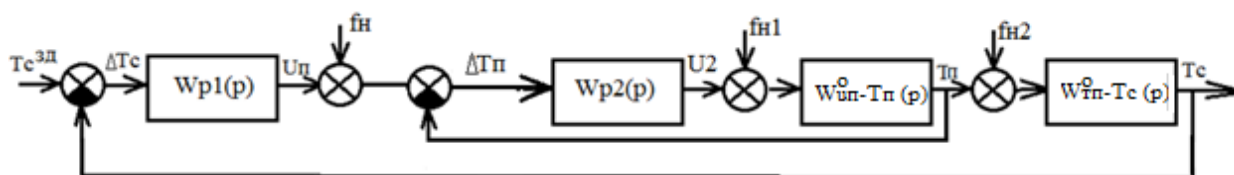


Рис. 2.1 – Структурна САР підвищеної динамічної точності

Введення додаткового контуру керування є доцільним лише за умови фізичної реалізованості відповідного інформаційного та керуючого каналу. У розглянутому технологічному процесі така умова виконується, оскільки температура пасти після підігрівника може бути виміряна за допомогою датчика температури, а керуючий вплив на процес здійснюється через зміну положення регулюючого органа подачі пари. Отже, проміжна координата T_n може бути використана не тільки для спостереження за станом процесу, а й для формування додаткового регулюючого впливу.

У структурній схемі САР підвищеної динамічної точності використовуються два регулятори. Головний регулятор формує завдання для внутрішнього контуру на основі відхилення температури пасти після стерилізатора від заданого значення. Допоміжний регулятор забезпечує стабілізацію проміжної температури T_n , що дозволяє швидше впливати на тепловий режим об'єкта. Такий підхід зменшує запізнення реакції системи на зміну режиму, оскільки внутрішній контур працює з

координатою, яка реагує на керуючу дію швидше, ніж кінцева температура після стерилізатора.

Під час побудови САР підвищеної динамічної точності було використано математичну модель об'єкта керування, отриману за результатами ідентифікації. Об'єкт розглядався як послідовне з'єднання теплових інерційних ланок, які описують динаміку каналів U_p-T_p та T_p-T_c . Такий підхід дозволяє врахувати не лише статичні зв'язки між параметрами, а й динамічні властивості процесу: сталі часу, коефіцієнти передачі та запізнення.

Для реалізації САР підвищеної динамічної точності необхідно визначити параметри головного та допоміжного регуляторів. Початкові наближення параметрів регуляторів були отримані на основі спрощених динамічних характеристик об'єкта та використані як вихідні значення для подальшого оптимального параметричного синтезу.

Для ПІД-регулятора головного контуру були отримані такі початкові параметри:

$$K_{r1} = \frac{15.3}{0.44 * 33} = 1.05 \frac{\% \text{х. р. о.}}{o_c}$$

$$T_{iz1} = 2 * 33 = 66 \text{ c}$$

$$T_{pr1} = 0.5 * 33 = 16.5 \text{ c}$$

Для ПІД-регулятора допоміжного контуру були отримані такі початкові параметри:

$$K_{r1} = \frac{18.8}{0,75 * 15} = 1.67 \frac{\% \text{х. р. о.}}{o_c}$$

$$T_{iz1} = 2 * 15 = 30 \text{ c}$$

$$T_{pr1} = 0.5 * 15 = 7.5 \text{ c}$$

Отримані параметри не є остаточними, оскільки вони визначаються за спрощеними залежностями та не враховують повною мірою всі особливості динаміки об'єкта. Тому їх доцільно використовувати як початкові наближення для подальшої оптимізації. Остаточний вибір параметрів регуляторів виконується шляхом імітаційного моделювання та мінімізації критерію якості перехідного процесу.

Схему цифрового імітаційного моделювання та оптимального параметричного синтезу САР підвищеної динамічної точності наведено на рис. 2.2.

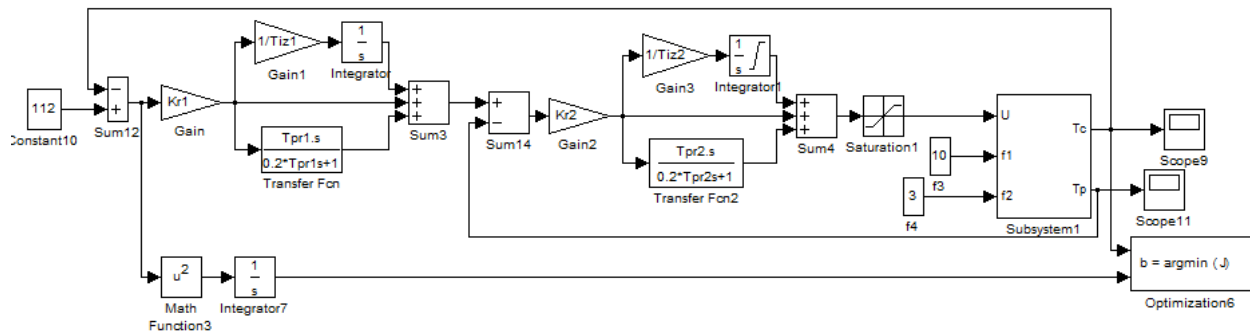


Рис. 2.2 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності

У схемі моделювання реалізовано об'єкт керування, головний і допоміжний регулятори, блоки формування завдання, блоки обмеження керуючої дії, а також блоки оцінювання якості перехідного процесу. Наявність блоку оптимізації дозволяє підбирати параметри регуляторів не лише за наближеними розрахунковими формулами, а й з урахуванням фактичної реакції моделі об'єкта на зміну завдання та збурюючих впливів.

Окремо в моделі враховано проміжну точку T_p , яка використовується для побудови внутрішнього контуру керування. Схему моделювання об'єкта керування з проміжною точкою наведено на рис. 2.3.

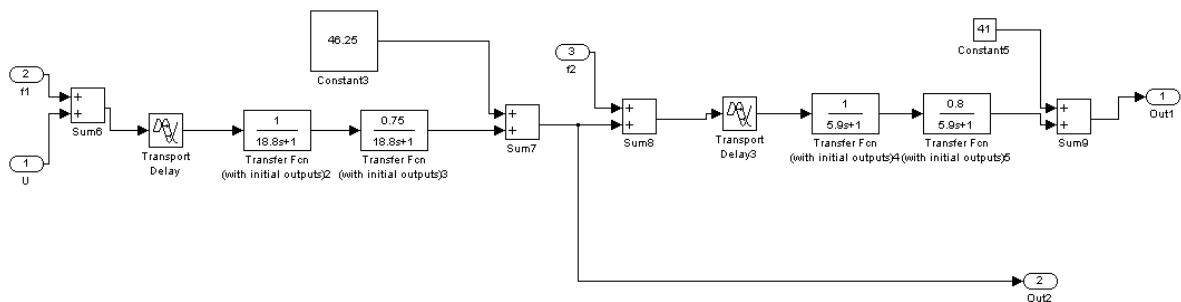


Рис. 2.3 – Схема моделювання ОК з проміжною точкою

Схема об'єкта з проміжною точкою відображає послідовний характер формування температури пасти. Спочатку керуюча дія впливає на температуру після підігрівника T_p , а вже потім ця температура впливає на кінцеву координату T_c . Такий опис об'єкта є важливим для структурного синтезу САР, оскільки дозволяє обґрунтувати використання внутрішнього контуру та показати фізичний зміст каскадної структури.

Після побудови структурної схеми та імітаційної моделі САР підвищеної динамічної точності було виконано оптимізацію параметрів регуляторів і коригуючих зв'язків. Необхідність такої оптимізації пояснюється тим, що початкові параметри регуляторів, отримані за наближеними інженерними методиками, не завжди забезпечують найкращу якість перехідного процесу для конкретного об'єкта керування. Особливо це важливо для теплових об'єктів із запізненням, де навіть незначна зміна коефіцієнтів регуляторів може суттєво впливати на перерегулювання, тривалість перехідного процесу та коливальність системи.

Оптимізація параметрів виконувалася за критерієм якості, що характеризує сумарне відхилення регульованої величини від заданого значення протягом перехідного процесу. У процесі оптимізації змінювалися параметри головного та допоміжного регуляторів, після чого оцінювалася реакція системи на зміну завдання. Результати оптимізації параметрів САР підвищеної динамічної точності наведено на рис. 2.4.

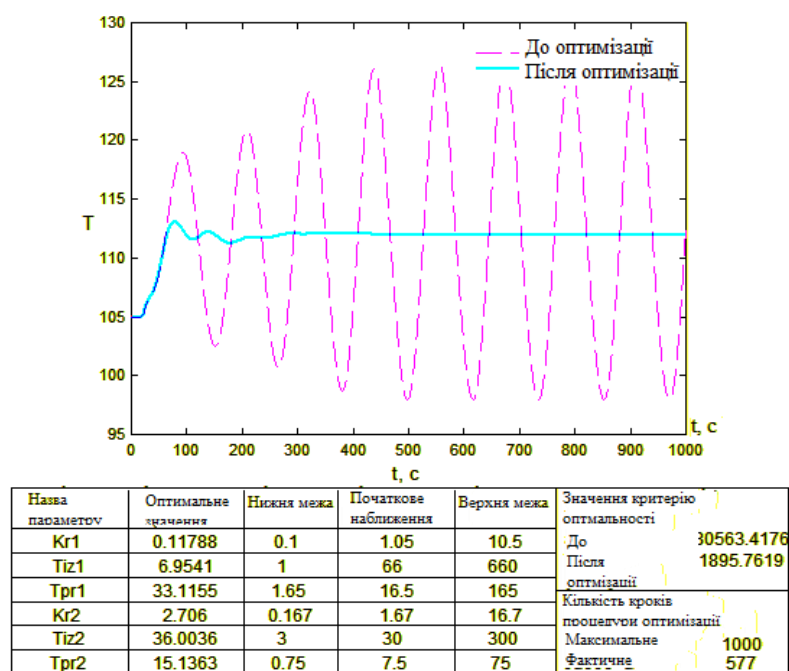


Рис. 2.4 – Результати оптимізації параметрів САР підвищеної динамічної точності

З наведених результатів видно, що після оптимізації якість перехідного процесу суттєво покращилася. До оптимізації система мала значну коливальність і великі відхилення температури від заданого значення. Після оптимізації

перехідний процес став більш плавним, зменшилася амплітуда коливань, а температура пасти після стерилізатора швидше наближається до заданого значення. Значення критерію оптимальності зменшилося приблизно з 30563 до 1896, що свідчить про суттєве покращення якості керування.

Однак оптимізація параметрів регуляторів за номінальною моделлю об'єкта не гарантує збереження якості роботи системи при зміні властивостей об'єкта. У реальних умовах параметри технологічного процесу можуть змінюватися внаслідок коливань витрати продукту, температури пасти на вході, параметрів пари, умов теплопередачі або зміни властивостей сировини. Тому після оптимізації доцільно виконати аналіз грубості системи.

Під грубістю САР розуміють здатність системи зберігати працездатність і прийнятну якість регулювання при відхиленні параметрів об'єкта від номінальних значень. Для САР підвищеної динамічної точності аналіз грубості проводився шляхом варіювання параметрів об'єкта керування, зокрема часу запізнення в каналах об'єкта, в межах $\pm 20\%$. Для кожного варіанта параметрів було отримано перехідний процес і визначено значення критерію оптимальності. Результати аналізу наведено на рис. 2.5.

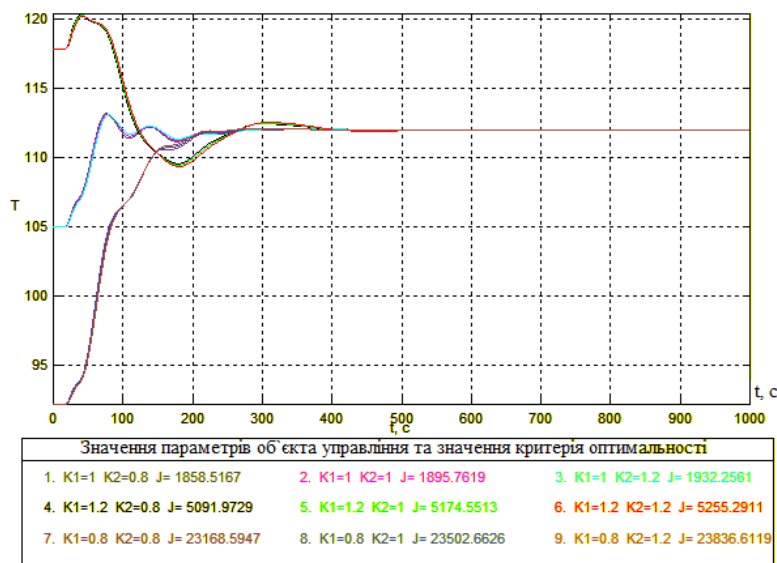


Рис. 2.5 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів об'єкта керування

Результати перевірки показують, що САР підвищеної динамічної точності зберігає стійкість і працездатність при зміні параметрів об'єкта керування. У

більшості випадків система забезпечує наближення температури до заданого значення без тривалих незатухаючих коливань. Водночас якість перехідного процесу залежить від конкретного поєднання параметрів об'єкта: при окремих варіаціях спостерігається збільшення перерегулювання та критерію оптимальності. Це свідчить про те, що запропонована структура є працездатною, однак її параметри потребують ретельного налаштування з урахуванням можливих змін динамічних властивостей об'єкта.

Таким чином, у даному підрозділі було виконано структурний синтез САР підвищеної динамічної точності на основі використання проміжної температурної координати T_p . Запропонована структура спрямована на зменшення впливу інерційності та запізнення об'єкта на якість регулювання температури пасти після стерилізатора. Оптимізація параметрів системи дозволила суттєво покращити якість перехідного процесу порівняно з початковими налаштуваннями, а аналіз грубості підтвердив працездатність системи при зміні параметрів об'єкта. Подальша оцінка ефективності такої структури потребує її порівняння з базовою одноконтурною системою автоматичного регулювання.

2.2 Порівняльний аналіз системи автоматичного керування базової структури і підвищеної динамічної точності

Для оцінювання ефективності запропонованої САР підвищеної динамічної точності було виконано її порівняння з базовою одноконтурною системою автоматичного регулювання. Метою такого порівняння є визначення, наскільки введення проміжної координати T_p і додаткового контуру керування покращує якість перехідного процесу за основною регульованою координатою T_c .

Порівняльний аналіз виконувався в однакових умовах для обох систем. Це означає, що для базової САР і САР підвищеної динамічної точності використовувалася однакова модель об'єкта керування, однакове задане значення температури стерилізації, однакові початкові умови та однакові збурюючі впливи. Такий підхід дозволяє коректно оцінити саме вплив структури системи керування на якість регулювання.

Структурну схему порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності наведено на рис. 2.6.

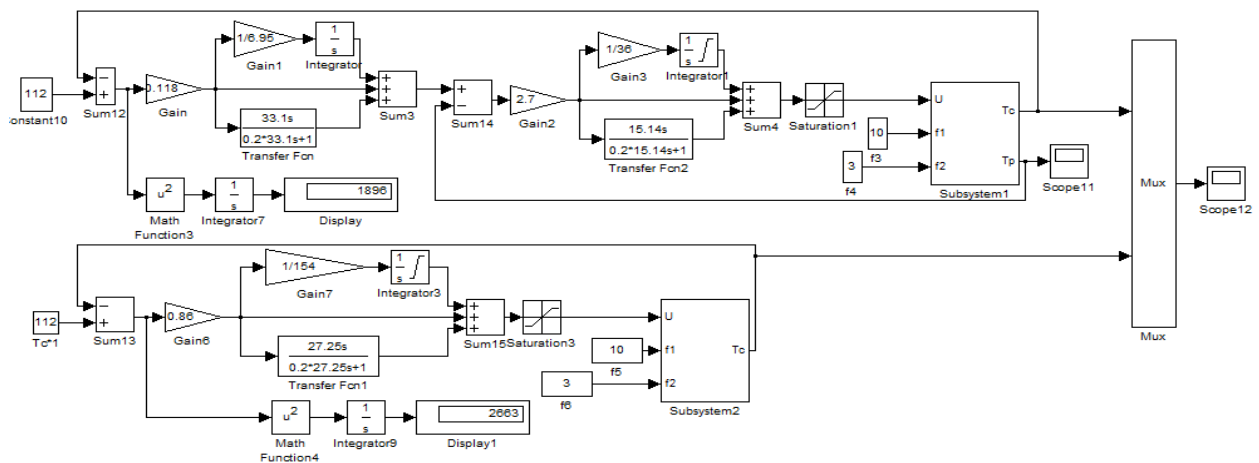


Рис. 2.6 – Структурна схема порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Базова система автоматичного регулювання є одноконтурною. У ній регулятор формує керуючу дію за відхиленням температури пасти після стерилізатора від заданого значення. Така структура є простою та зручною для реалізації, однак її недоліком є те, що вона не використовує інформацію про проміжний стан процесу. Внаслідок цього регулятор реагує на зміну режиму із запізненням, коли відхилення вже проявилось на вихідній температурі T_c .

САР підвищеної динамічної точності має більш розвинену структуру. Вона використовує проміжну температуру пасти після підігрівника T_p , що дозволяє швидше виявляти зміну теплового режиму та коригувати керуючу дію. За рахунок цього очікується зменшення максимального динамічного відхилення, скорочення тривалості перехідного процесу та зниження інтегрального критерію якості.

Результати порівняння перехідних процесів базової САР і САР підвищеної динамічної точності наведено на рис. 2.7.

З наведеного графіка видно, що САР підвищеної динамічної точності забезпечує більш якісний перехідний процес порівняно з базовою системою. Крива перехідного процесу має менше максимальне відхилення, швидше наближається до заданого значення температури та характеризується меншою тривалістю перехідного процесу. Це свідчить про те, що використання проміжної координати

Тп дозволяє покращити динаміку регулювання температури пасти після стерилізатора.

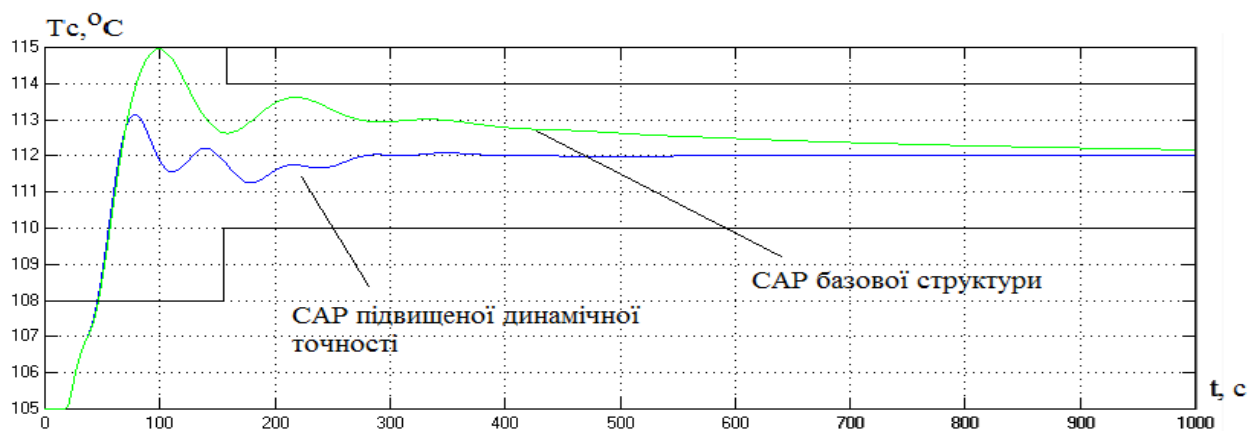


Рис. 2.7 – Результат порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Кількісне порівняння результатів моделювання наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Канал U_T - T			
Структура САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
Базова	2.96	122	2663
Підвищеної динамічної точності	1.15	55.5	1896

З таблиці видно, що максимальне динамічне відхилення для САР підвищеної динамічної точності зменшилося з 2,96 °C до 1,15 °C. Це є суттєвим покращенням, оскільки для процесу стерилізації навіть короточасні відхилення температури можуть впливати на якість теплової обробки продукту. Зменшення максимального відхилення свідчить про здатність удосконаленої структури точніше підтримувати температуру пасти після стерилізатора.

Тривалість перехідного процесу зменшилася зі 122 с до 55,5 с. Це означає, що система підвищеної динамічної точності швидше виходить на заданий режим після зміни умов роботи або появи збурення. Для технологічного процесу це має важливе значення, оскільки скорочення часу перехідного процесу зменшує тривалість роботи об'єкта в нерегламентованому або близькому до нерегламентованого режимі.

Інтегральний критерій якості зменшився з 2663 до 1896. Оскільки цей критерій характеризує сумарне відхилення регульованої величини від заданого значення протягом перехідного процесу, його зменшення свідчить про загальне покращення якості керування. Таким чином, САР підвищеної динамічної точності забезпечує не лише зменшення окремих показників, а й покращення інтегральної оцінки роботи системи.

Отримані результати підтверджують доцільність розвитку алгоритмічної структури САР шляхом введення додаткового контуру керування за проміжною координатою. У порівнянні з базовою одноконтурною системою запропонована структура краще враховує послідовний характер формування температури пасти, зменшує вплив інерційності об'єкта та підвищує динамічну точність керування.

Разом з тим слід зазначити, що САР підвищеної динамічної точності є складнішою за базову структуру. Її реалізація потребує вимірювання проміжної температури T_p , налаштування двох регуляторів і забезпечення узгодженої роботи внутрішнього та зовнішнього контурів. Однак отримане покращення показників якості регулювання свідчить про те, що таке ускладнення структури є виправданим для процесу стерилізації томатної пасти.

2.3 Висновки за розділом 2

У другому розділі було розглянуто удосконалення системи автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти шляхом розвитку її алгоритмічної структури. Основою такого удосконалення стало використання проміжної температурної координати T_p , яка формується раніше, ніж кінцева регульована координата T_c .

Було обґрунтовано доцільність переходу від базової одноконтурної САР до САР підвищеної динамічної точності. Запропонована структура використовує зовнішній контур для стабілізації температури пасти після стерилізатора T_c та внутрішній контур для роботи з проміжною температурою T_p . Це дозволяє швидше реагувати на зміну теплового режиму та зменшити вплив інерційності об'єкта.

У межах розділу було розроблено структурну схему САР підвищеної динамічної точності, побудовано її імітаційну модель та виконано оптимізацію

параметрів системи. Результати моделювання показали, що після оптимізації перехідний процес стає менш коливальним, а температура пасти після стерилізатора швидше наближається до заданого значення.

Також було проведено аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності при варіації параметрів об'єкта керування. Отримані результати показали, що система зберігає працездатність при зміні параметрів об'єкта, хоча якість перехідного процесу залежить від конкретного поєднання цих параметрів.

Порівняльний аналіз базової САР і САР підвищеної динамічної точності показав перевагу удосконаленої структури. Максимальне динамічне відхилення зменшилося з 2,96 °С до 1,15 °С, тривалість перехідного процесу — зі 122 с до 55,5 с, а інтегральний критерій якості — з 2663 до 1896.

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління, побудованих на базі апарату нечіткої логіки, для розглянутого об'єкта керування

У попередніх розділах було показано, що процес стерилізації томатної пасти є складним тепловим об'єктом автоматичного керування. Його динаміка характеризується інерційністю, наявністю запізнення, впливом збурень і залежністю температурного режиму від поточних умов ведення процесу. Основною регульованою величиною є температура пасти після стерилізатора T_c , яка має підтримуватися в заданих межах для забезпечення необхідного режиму стерилізації.

Традиційні ПІД-регулятори широко застосовуються в системах автоматичного керування завдяки простоті реалізації, зрозумілості налаштування та достатній ефективності для багатьох лінійних або близьких до лінійних об'єктів. Однак для складних теплових процесів їх можливості можуть бути обмеженими. Це пов'язано з тим, що реальний технологічний об'єкт часто має нелінійні властивості, змінні параметри, запізнення та залежність від зовнішніх і внутрішніх збурень.

У випадку стерилізації томатної пасти нелінійність може проявлятися у зміні ефективності теплопередачі, залежності температурної реакції від положення регулюючого органа подачі пари, витрати продукту, його початкової температури та фізико-хімічних властивостей пасти. При різних режимах роботи однакова зміна керуючої дії може призводити до різної зміни температури після стерилізатора. Тому використання лише лінійної моделі об'єкта не завжди дозволяє достатньо точно описати його поведінку в усьому діапазоні регулювання.

У таких умовах доцільним є застосування методів інтелектуального керування, зокрема нечіткої логіки та штучних нейронних мереж. Нечітке керування дозволяє формалізувати досвід експерта у вигляді правил типу “якщо — то” і використовувати його для прийняття керуючих рішень навіть за неповної або неточної інформації про об'єкт. Це особливо важливо для технологічних процесів,

де побудова точної математичної моделі є складною або потребує значної кількості експериментальних даних.

Нечіткі регулятори можуть бути корисними тоді, коли об'єкт керування має істотні нелінійності, а якість регулювання залежить від режиму роботи. У такому випадку регулятор може змінювати характер керуючого впливу залежно від величини помилки, швидкості її зміни та поточного стану процесу. Завдяки цьому можна зменшити перерегулювання, покращити реакцію системи на збурення та підвищити стійкість роботи САР у різних режимах.

Штучні нейронні мережі також є перспективним інструментом для удосконалення систем керування, оскільки вони здатні апроксимувати складні нелінійні залежності за експериментальними або модельними даними. У задачах автоматичного керування нейромережі можуть використовуватися для ідентифікації об'єкта, прогнозування його поведінки, налаштування регуляторів або формування керуючої дії. Для процесу стерилізації томатної пасти це є актуальним через наявність нелінійних зв'язків між подачею пари, проміжною температурою пасти та температурою після стерилізатора.

Таким чином, подальше удосконалення САР процесу стерилізації томатної пасти доцільно здійснювати не лише за рахунок розвитку класичної структури керування, а й шляхом застосування інтелектуальних підходів. Використання нечіткої логіки та штучних нейронних мереж дозволяє враховувати нелінійність об'єкта, невизначеність його параметрів і складність формального опису процесу, що створює передумови для підвищення якості автоматичного керування.

3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB/Simulink моделі каналу регулювання розглянутого об'єкта керування, що характеризується нелінійною статичною характеристикою

Для дослідження можливості застосування інтелектуальних методів керування необхідно спочатку врахувати нелінійні властивості об'єкта керування в його імітаційній моделі. У попередніх розділах об'єкт розглядався переважно як лінеаризована динамічна система, що дозволило виконати синтез базової САР і САР підвищеної динамічної точності. Однак у реальних умовах канал регулювання

процесу стерилізації може мати нелінійну статичну характеристику.

Нелінійність статичної характеристики означає, що залежність між керуючою дією та вихідною температурою не є строго пропорційною в усьому діапазоні регулювання. Для процесу стерилізації це може бути пов'язано з особливостями теплопередачі, зміною витрати пари, властивостями томатної пасти, режимом руху продукту та конструктивними особливостями підігрівника і стерилізатора. Тому для більш реалістичного моделювання до лінійної динамічної моделі було додано блок, який описує нелінійну статичну залежність.

У середовищі MATLAB/Simulink така нелінійність може бути реалізована за допомогою блоку Look-Up Table. Цей блок задає табличну залежність між вхідною та вихідною величинами і дозволяє моделювати нелінійну статичну характеристику каналу регулювання. На відміну від лінійної залежності, табличне подання дає змогу описати зміну чутливості об'єкта в різних ділянках робочого діапазону.

Структурну схему моделі об'єкта керування, що характеризується нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання, наведено на рис. 3.1.

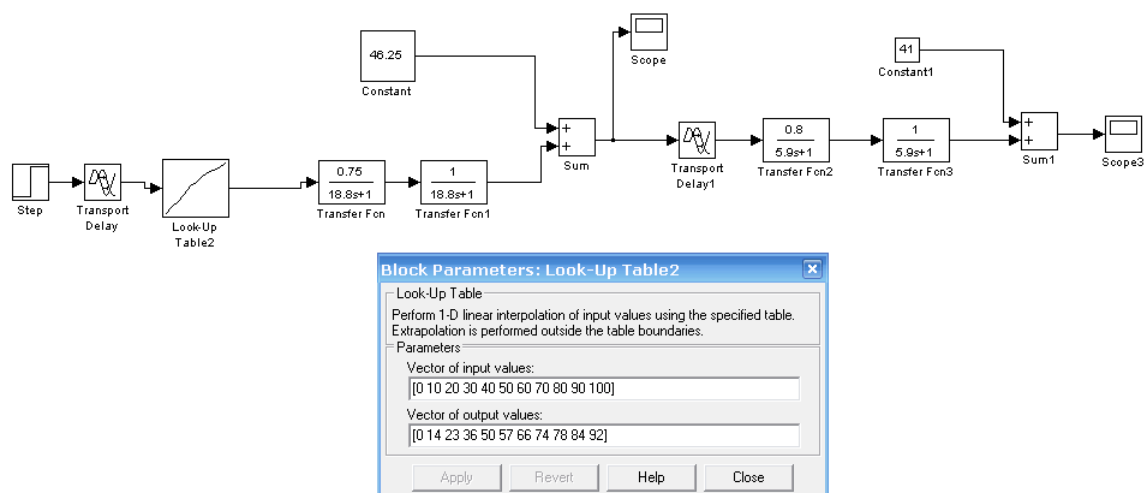


Рис. 3.1 – Структурна схема моделі об'єкта керування, що характеризується нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання

У наведеній схемі блок Look-Up Table використовується для формування нелінійної залежності між керуючою дією та температурною реакцією об'єкта. Після цього сигнал проходить через динамічні ланки, які описують інерційні властивості теплового процесу та запізнення. Така модель є більш наближеною до

реального технологічного об'єкта порівняно з повністю лінійною моделлю, оскільки одночасно враховує як статичну нелінійність, так і динамічну інерційність процесу.

У результаті моделювання була отримана нелінійна статична характеристика каналу регулювання. Її вигляд наведено на рис. 3.2.

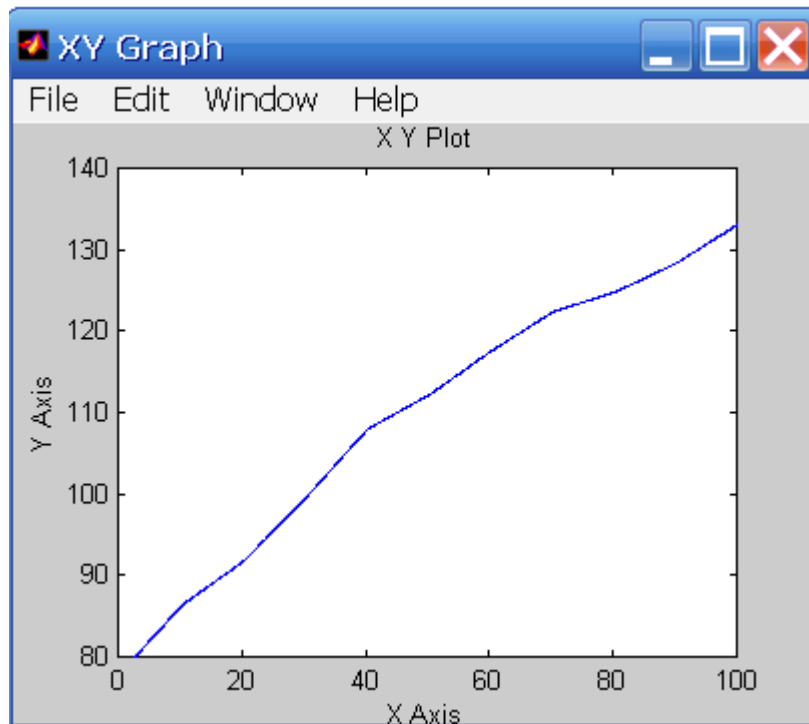


Рис. 3.2 – Нелінійна статична характеристика моделі каналу регулювання

З рис. 3.2 видно, що статична характеристика каналу регулювання є суттєво нелінійною. На окремих ділянках зміна входної величини призводить до різної інтенсивності зміни вихідної координати. Це означає, що для такого об'єкта застосування регулятора, налаштованого лише за лінійною моделлю, може бути недостатньо ефективним у всьому діапазоні роботи. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження як традиційного ПД-регулювання для нелінійного об'єкта, так і подальшого застосування нечітких і нейромережевих методів керування.

3.3 Параметричний синтез САР з традиційним ПД-регулятором для об'єкта, що характеризується нелінійною характеристикою каналу регулювання

На першому етапі для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою було виконано параметричний синтез традиційної САР з ПД-регулятором. Такий підхід

дозволяє отримати базовий варіант системи керування, з яким надалі можна порівнювати системи з нечіткими регуляторами та нейромережевими елементами.

Для реалізації параметричної оптимізації системи керування в середовищі MATLAB/Simulink було розроблено схему моделювання з автоматичним оптимізатором. Вона забезпечує пошук таких параметрів ПД-регулятора, за яких мінімізується критерій якості роботи системи. Структурну схему моделі САР з традиційним ПД-регулятором і параметричним оптимізатором наведено на рис. 3.3.

Рис. 3.3 – Структурна схема моделі САР з традиційним ПІД-регулятором і параметричним оптимізатором

заданої моделі об'єкта.

Для оцінювання якості роботи САР використовувалися інтегральні критерії, що характеризують сумарне відхилення регульованої величини від заданого значення протягом перехідного процесу. Загальний зміст таких критеріїв полягає в тому, що чим меншим є відхилення температури від заданого значення і чим швидше система виходить на усталений режим, тим меншим буде значення критерію якості.

Параметрична оптимізація виконувалася в заданому діапазоні зміни параметрів ПІД-регулятора. У процесі оптимізації аналізувалась реакція системи на зміну завдання, після чого визначалися значення параметрів, що забезпечують найкращий перехідний процес для обраного критерію якості. Вікно результатів параметричної оптимізації наведено на рис. 3.4.

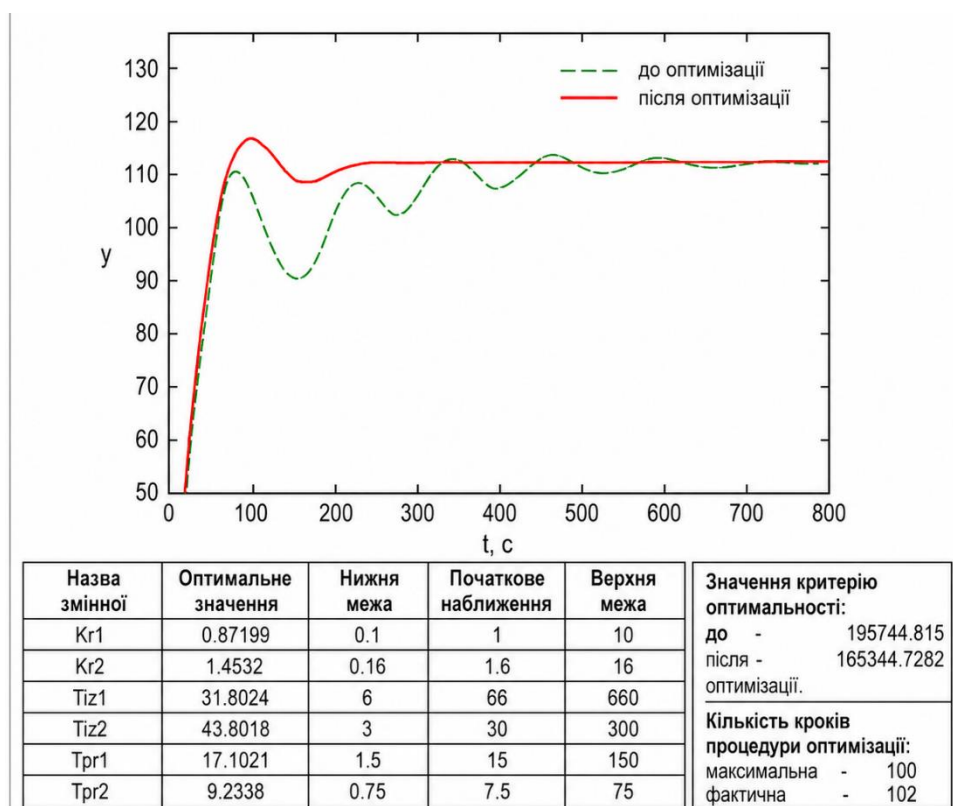


Рис. 3.4 – Вікно результатів параметричної оптимізації значень параметрів ПІД-регулятора САР

З рис. 3.4 видно, що після оптимізації характер перехідного процесу покращується. До оптимізації система має більш виражені коливання та більші відхилення регульованої величини від заданого значення. Після оптимізації

перехідний процес стає більш плавним, а температура швидше наближається до заданого рівня. Зменшення значення критерію оптимальності свідчить про покращення якості роботи САР.

Разом з тим слід враховувати, що оптимізація параметрів ПІД-регулятора виконується для конкретної моделі об'єкта та конкретних умов моделювання. Для нелінійного об'єкта це означає, що отримані параметри можуть бути ефективними в одному режимі роботи, але менш ефективними в іншому. Тому після оптимізації необхідно оцінити, наскільки система зберігає працездатність при зміні параметрів об'єкта.

Для цього було проведено перевірку САР на грубість. Під грубістю системи розуміють її здатність зберігати стійкість і прийнятну якість регулювання при відхиленні параметрів об'єкта від номінальних значень. Результати перевірки системи на грубість наведено на рис. 3.5.



Рис. 3.5 – Вікно результатів перевірки САР на грубість

Згідно з результатами, наведеними на рис. 3.5, система з оптимізованим ПІД-регулятором зберігає працездатність при зміні параметрів об'єкта керування. Перехідний процес залишається стійким, а регульована величина з часом

наближається до заданого значення. Водночас якість регулювання залежить від конкретного поєднання параметрів об'єкта, що є характерним для нелінійних систем.

Отримані результати показують, що традиційна САР з ПІД-регулятором може бути використана для керування об'єктом із нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання. Проте залежність якості роботи системи від режиму та параметрів об'єкта свідчить про доцільність подальшого застосування нечітких і нейромережевих підходів, які потенційно можуть краще враховувати нелінійність і невизначеність технологічного процесу.

3.4 Розробка моделі САР з нечітким регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання

Після дослідження САР з традиційним ПІД-регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою доцільно розглянути можливість застосування нечіткого регулятора. Нечітка логіка в системах автоматичного керування використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора або для підстроювання параметрів традиційного регулятора. У даній роботі нечіткий регулятор розглядається як окремий елемент САР, який формує керуючий вплив на основі помилки регулювання та зміни цієї помилки.

Складність опису статичних і динамічних режимів роботи об'єкта керування приводить до того, що режими функціонування можуть бути описані з недостатньою точністю, пов'язаною з нечіткими експериментальними даними. Тому застосування нечіткого регулятора є доцільним для процесу стерилізації томатної пасти, оскільки цей процес характеризується інерційністю, запізненням, нелінійністю каналу регулювання та залежністю від змінних умов ведення процесу.

У роботі було реалізовано модель САР із Fuzzy-регулятором. Ідея застосування нечіткої логіки в системах керування пов'язана з можливістю формалізувати знання експерта у вигляді бази правил. У 1974 році Мамдані показав можливість застосування ідей нечіткої логіки для побудови систем керування динамічним об'єктом, після чого підхід нечіткого керування набув широкого розвитку.

Нечіткий регулятор, що розробляється в даній роботі, складається з трьох основних блоків: фазифікації, механізму логічного висновку та дефазифікації. Спрощену структурну схему нечіткого регулятора наведено на рис. 3.10.

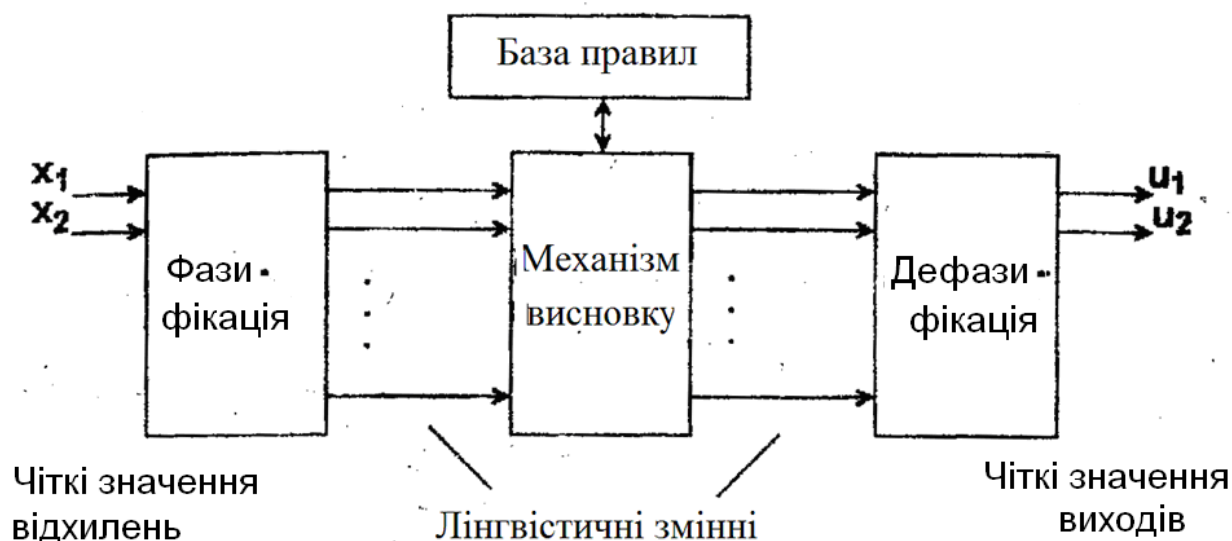


Рис. 3.10 – Спрощена структурна схема нечіткого регулятора

На етапі фазифікації чіткі входні значення перетворюються у ступені належності до відповідних нечітких множин. Далі механізм нечіткого висновку на основі бази правил визначає необхідну реакцію регулятора. На завершальному етапі дефазифікації нечіткий результат перетворюється у чітке значення керуючої дії.

Усі визначені блоки нечіткого регулятора реалізуються у відповідному редакторі FIS Editor середовища MATLAB/Simulink. Для запуску редактора у командному вікні MATLAB вводиться команда `fuzzy`. Після цього вибирається тип нечіткої системи, кількість входних і вихідних змінних, функції приналежності та база правил.

У роботі було використано нечіткий регулятор з двома входними і двома вихідними сигналами. Вікно редактора нечіткого регулятора наведено на рис. 3.11.

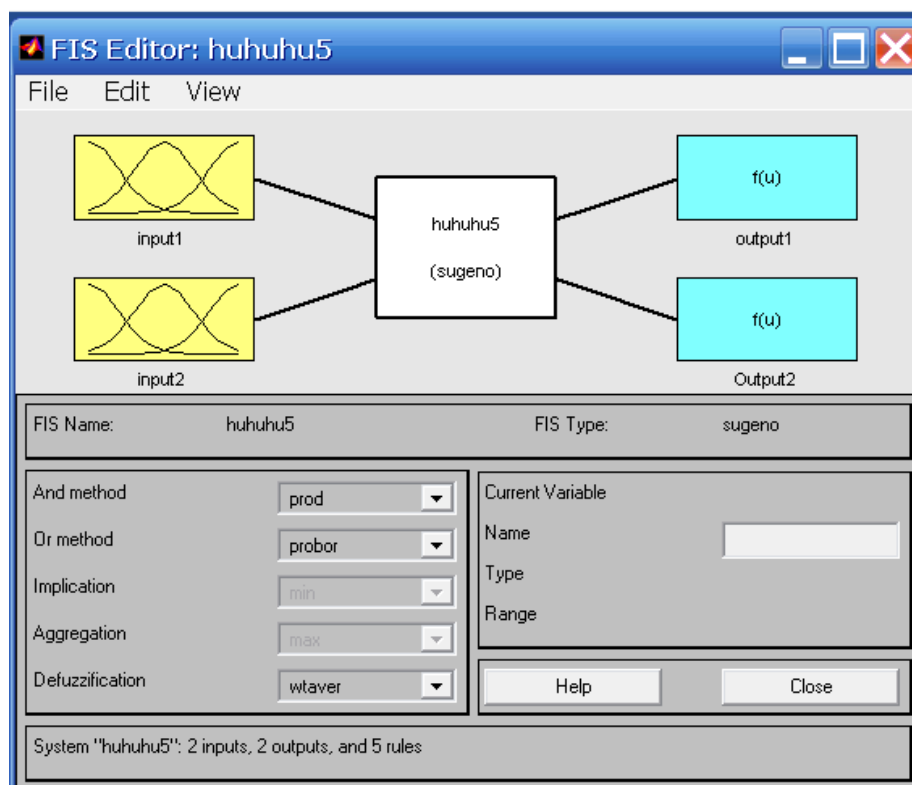


Рис. 3.11 – Вікно редактора нечіткого регулятора з двома вхідними і двома вихідними сигналами

На вхід нечіткого регулятора подаються дві змінні: помилка регулювання e_1 та приріст помилки регулювання Δe_1 . Помилка регулювання характеризує відхилення фактичної температури пасти після стерилізатора від заданого значення, а приріст помилки показує напрям і швидкість зміни цього відхилення. Використання цих двох змінних дозволяє врахувати не лише поточну величину помилки, а й тенденцію розвитку процесу.

Для вхідних змінних були задані три нечіткі множини:

NE	—	велика	негативна;
Z	—	приблизно	нульова;
PE	—	велика	позитивна.

До теперішнього часу запропоновано декілька алгоритмів нечіткого висновку, зокрема алгоритми Мамдані, Цукамото, Ларсена, Сугено та інші. У даній роботі розглядаються два варіанти: алгоритм Сугено 0-го порядку та алгоритм Мамдані.

Формально алгоритм Сугено, запропонований Сугено та Такагі, може бути визначений таким чином. У базі правил використовуються правила нечітких продукцій у формі:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A1 \text{ I } y \in B1)$, ТО $z1 = f1(x1, ..., xn)$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A2 \text{ I } y \in B2)$, ТО $z2 = f2(x1, ..., xn)$,

де x, y — вхідні змінні; $A1, A2, B1, B2$ — нечіткі множини; $z1, z2$ — вихідні значення правил; $f1, f2$ — чіткі функції.

Згідно з алгоритмом Сугено вихідні правила можуть мати функції:

$$z1^* = a1 \cdot x0 + b1 \cdot y0,$$

$$z2^* = a2 \cdot x0 + b2 \cdot y0.$$

Тоді результат дефазифікації визначається як:

$$z0 = (c1 \cdot z1^* + c2 \cdot z2^*) / (c1 + c2).$$

Якщо як опис використовується поліном $f(x) = C$, то говорять про алгоритм Сугено 0-го порядку. У цьому випадку правила мають вигляд:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A1 \text{ I } y \in B1)$, ТО $z1 = C1$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A2 \text{ I } y \in B2)$, ТО $z2 = C2$,

де $C1, C2$ — звичайні чіткі числа.

Алгоритм нечіткого висновку виконується за такими основними етапами:

1. Фазифікація вхідних змінних. На цьому етапі чіткі значення вхідних змінних системи нечіткого виведення ставляться у відповідність нечітким множинам.

2. Агрегування передумов у нечітких правилах продукції. Для визначення ступеня істинності умов усіх правил нечітких продукцій використовується логічна операція $\min$ -кон'юнкції. Ті правила, ступінь істинності яких відмінна від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

3. Активізація висновків у нечітких правилах продукції. Для заданого значення аргументів знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила. Для двох правил їх можна записати так:

$$\alpha1 = \min(\mu A1(x0), \mu B1(y0)),$$

$$\alpha2 = \min(\mu A2(x0), \mu B2(y0)).$$

4. Акумуляція висновків нечітких правил. У випадку алгоритму Сугено фактично відсутня, оскільки розрахунки виконуються зі звичайними дійсними числами u_i .

5. Дефазифікація вихідних змінних. Для алгоритму Сугено результат визначається як зважене середнє активних правил:

$$y = (\sum(\alpha_i \cdot C_i)) / (\sum \alpha_i),$$

де n — загальна кількість активних правил нечітких продукцій; α_i — ступінь активності відповідного правила; C_i — чітке вихідне значення відповідного правила.

Виходячи з логіки керування температурою пасти після стерилізатора, було сформовано базу правил нечіткого регулятора. Якщо температура нижча за задану, керуючий вплив має збільшуватися. Якщо температура вища за задану, керуючий вплив має зменшуватися. Якщо помилка близька до нуля, регулятор має підтримувати поточний режим або вносити незначну корекцію залежно від зміни помилки.

Для нечіткого регулятора були прийняті такі правила функціонування:

П1: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «велика позитивна PE» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z», то керуюча дія $u_1 = w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = w_2$.

П2: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «велика негативна NE» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z», то керуюча дія $u_1 = -w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = -w_2$.

П3: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z», то керуюча дія $u_1 = 0$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = 0$.

П4: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «велика позитивна PE», то керуюча дія $u_1 = w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = w_2$.

П5: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «велика негативна NE», то керуюча дія $u_1 = -w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = -w_2$.

Для вхідної змінної e_1 було задано трикутні функції приналежності. Такий тип функцій є простим у реалізації та достатньо часто використовується в нечітких регуляторах. Трикутна функція приналежності задається таким аналітичним виразом:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ (x - a) / (b - a), & a \leq x \leq b; \\ (c - x) / (c - b), & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases}$$

Тут $[a, c]$ — діапазон зміни змінної; b — найбільше можливе значення функції приналежності.

Вікна формування функцій приналежності для вхідних змінних нечіткого регулятора наведено на рис. 3.12 та рис. 3.13.

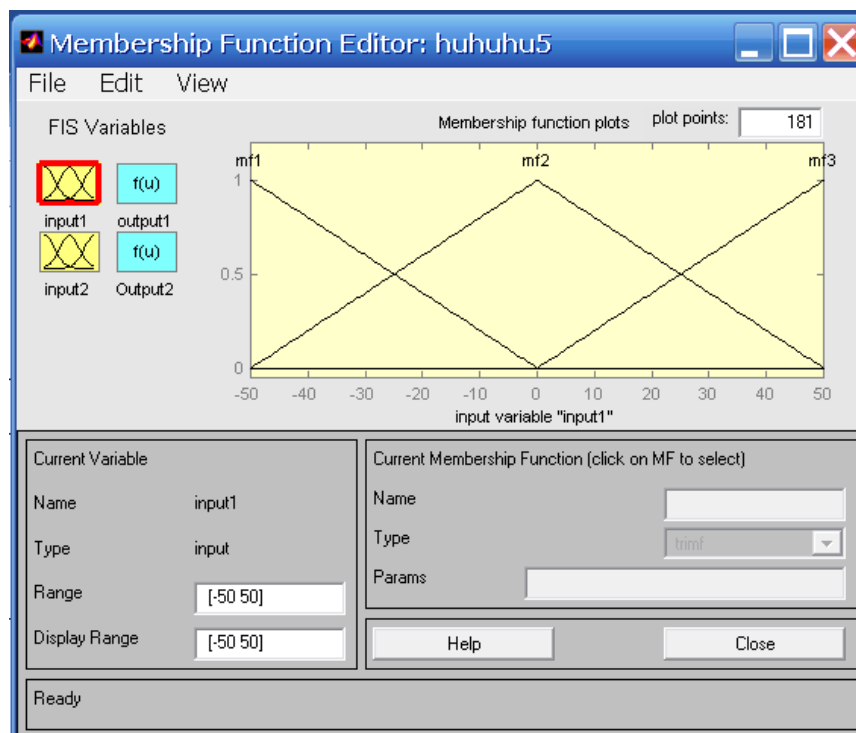


Рис. 3.12 – Вікно формування функцій приналежності до нечітких множин помилки PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB/Simulink

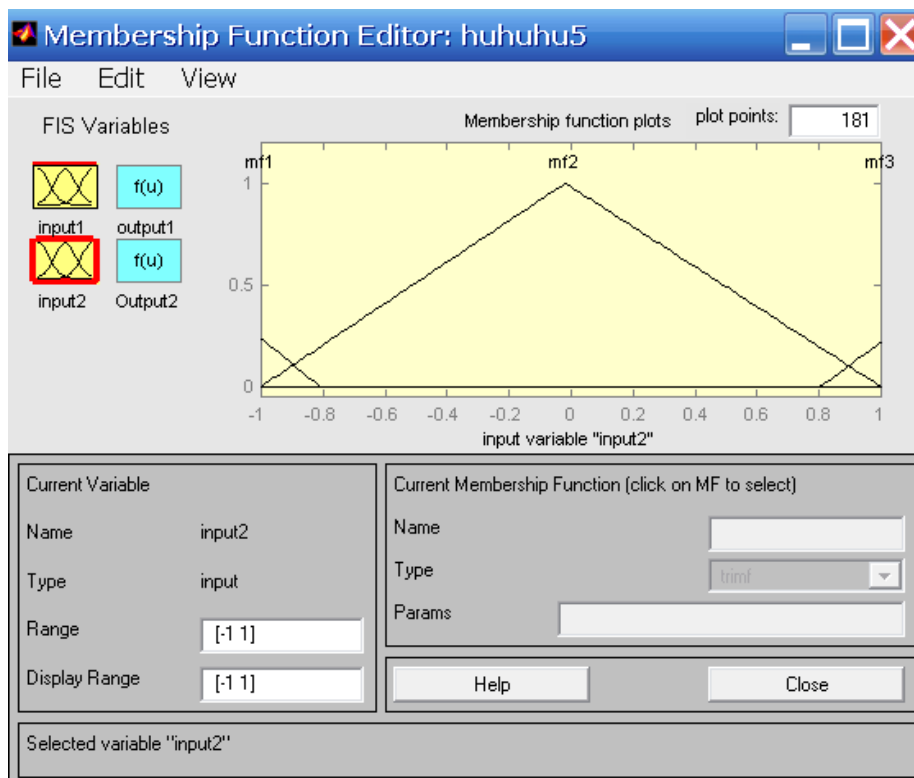


Рис. 3.13 – Вікна формування функцій приналежності до нечітких множин зміни значення помилки PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB/Simulink

Згідно з таблицею бази знань були прописані відповідні правила у вікні редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB/Simulink. Вікно з відповідними правилами наведено на рис. 3.14.

Таблиця 3.1 — Таблиця бази знань для нечіткого логічного регулятора температури пасти після стерилізатора

$e_1 \backslash \Delta e_1$	NE (Велика негативна Δe_1)	Z (приблизно нульова Δe_1)	PE (Велика позитивна Δe_1)
NE	—	$u_1 = 100;$ $\Delta u_1 = 0,1;$	—
Z	$u_1 = 100;$ $\Delta u_1 = 0,1;$	$u_1 = 0;$ $\Delta u_1 = 0;$	$u_1 = -100;$ $\Delta u_1 = -0,1;$
PE	—	$u_1 = -100;$ $\Delta u_1 = -0,1;$	—

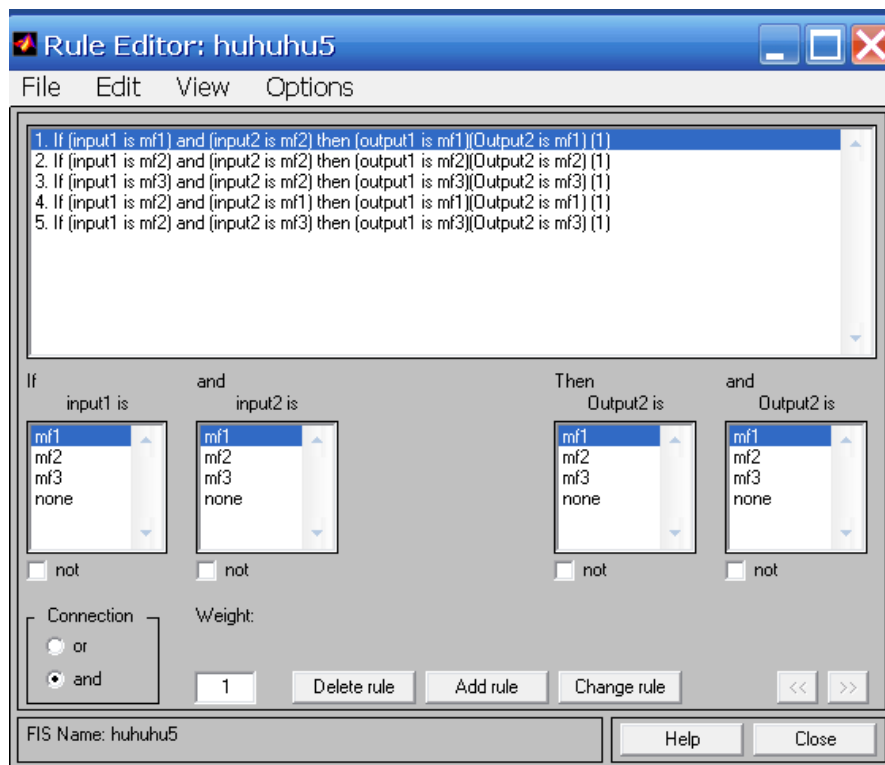


Рис. 3.14 – Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB/Simulink

У системі з алгоритмом Сугено вихідні значення задаються у вигляді сталих або простих функцій. Вікно редактора вихідних значень нечіткого регулятора наведено на рис. 3.15.

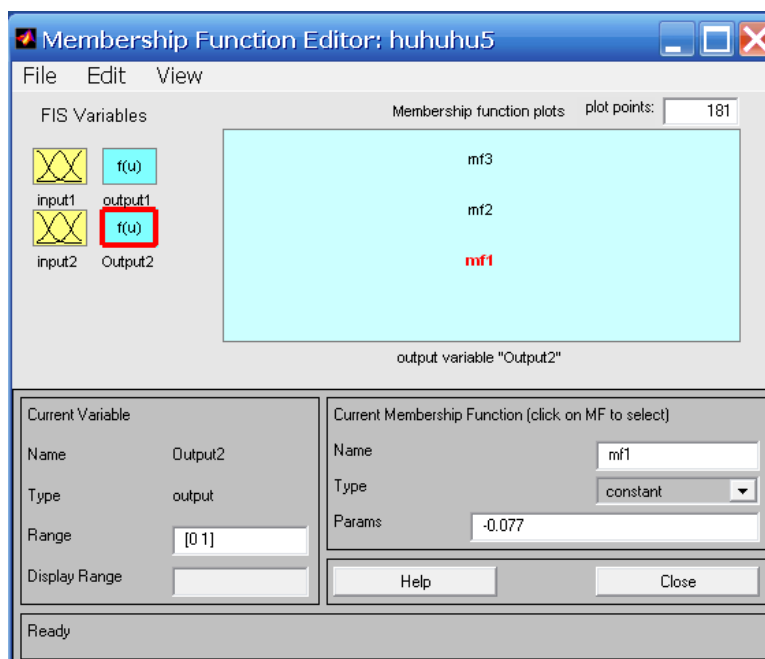


Рис. 3.15 – Вікно редактора вихідних значень нечіткого регулятора середовища MATLAB/Simulink

У кінцевому випадку була визначена схема моделювання САР з нечітким регулятором, фрагмент якої наведено на рис. 3.16. З рисунка видно, що керуюча дія нечіткого регулятора формується з декількох складових:

$$u(t) = u_1(t) + (u_2(t - \tau_z) + \Delta u_2),$$

де $u_1(t)$ — керуюча дія П-складової регулятора;

$\Delta u_2 = u_2(t) - u_2(t - \tau_z)$ — приріст керуючої дії від нечіткого регулятора;

$u_2(t - \tau_z)$ — керуюча дія з затримкою за часом τ_z .

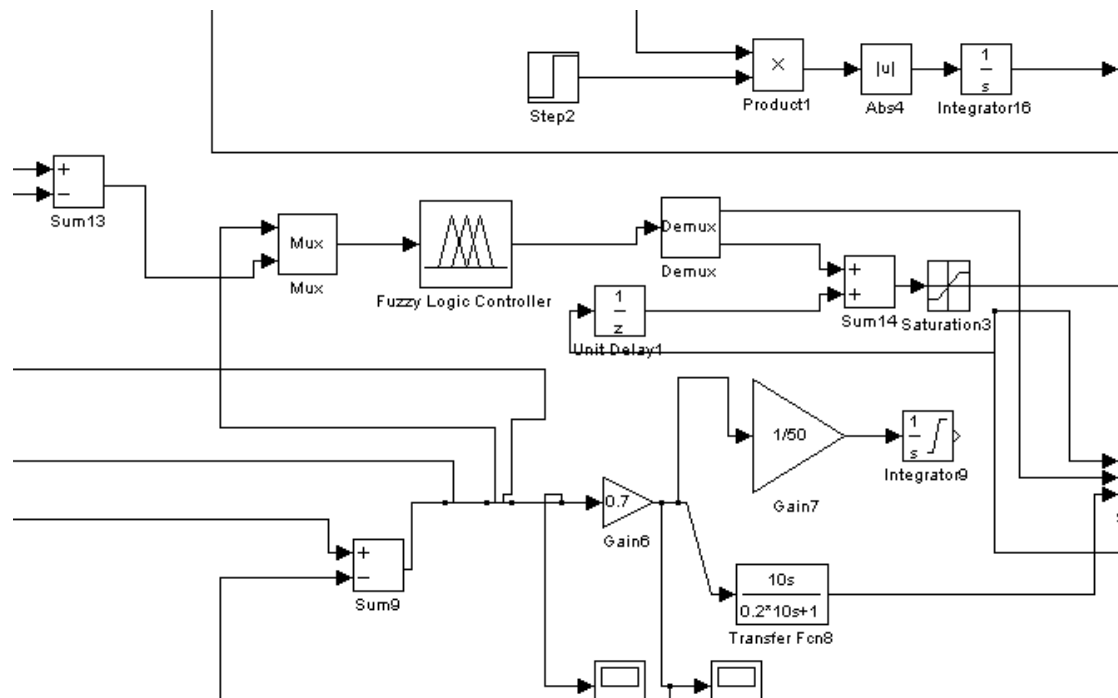


Рис. 3.16 – Фрагмент схеми моделювання САР з нечітким логічним регулятором

Під час синтезу нечіткого логічного регулятора всі функції приналежності до нечітких множин та логічні правила функціонування були визначені на основі експертних даних, а потім скориговані під час моделювання методом спроб і помилок. Також логічні правила формувалися з урахуванням відомих підходів до побудови fuzzy-регуляторів.

Для порівняльного аналізу було створено модель, у якій паралельно реалізовано САР з традиційним ПІД-регулятором і САР з нечітким регулятором. Це дозволяє отримати графіки перехідних процесів у однакових умовах моделювання.

Рис. 3.17. Структурні схеми моделей САР з ПІД-регулятором і САР з нечітким регулятором для отримання графіків перехідних процесів з метою порівняльного аналізу функціонування різних САР

Іншим варіантом реалізації нечіткого регулятора є використання алгоритму Мамдані. На відміну від алгоритму Сугено, в алгоритмі Мамдані вихідні значення задаються у вигляді нечітких множин. Для цього необхідно визначити вихідні функції приналежності значень керуючого впливу. Вихідні функції приналежності для алгоритму Мамдані наведено на рис. 3.18 та рис. 3.20.

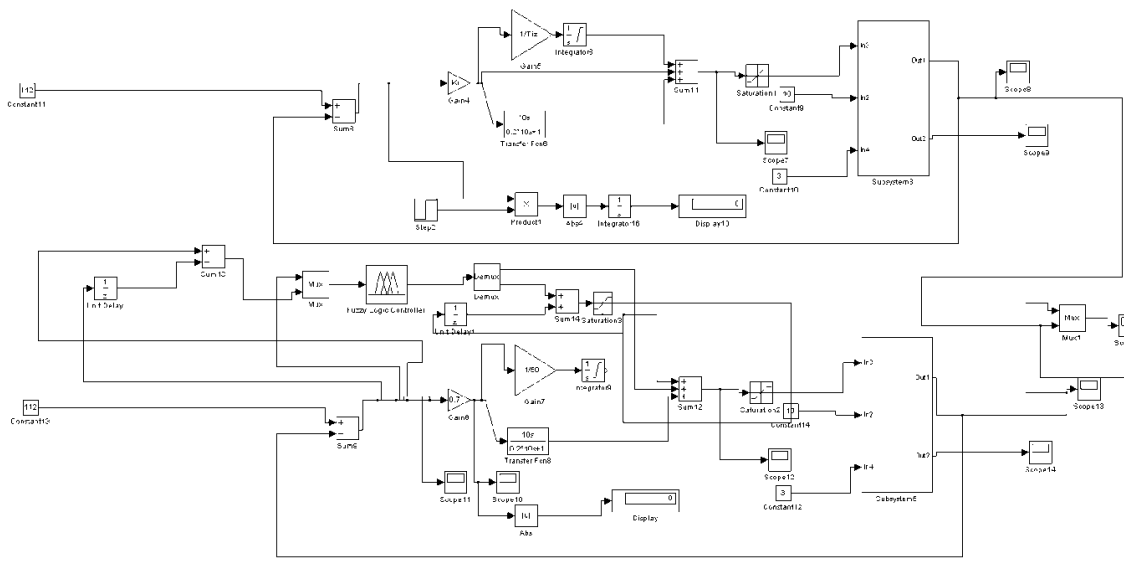


Рис. 3.18 – Вікна формування вихідних функцій приналежності до нечітких множин «збільшення керуючого впливу PE, Z, NE» для алгоритму Мамдані

Алгоритм Мамдані — це алгоритм нечіткого логічного висновку, у якому залежність між входами та виходом подається у вигляді нечітких предикатних правил:

П1: якщо $x \in A_1$, тоді $z \in B_1$;

П2: якщо $x \in A_2$, тоді $z \in B_2$;

...

Пn: якщо $x \in A_n$, тоді $z \in B_n$,

де x — вхідна змінна; z — змінна висновку; A_i та B_i — нечіткі множини, визначені відповідно на X та Z за допомогою функцій приналежності $\mu A(x)$ та $\mu B(z)$.

Для заданої ситуації алгоритм Мамдані може бути описаний такими етапами:

1. Введення нечіткості: для заданого чіткого значення аргументу $x = x_0$ знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила.

2. Нечіткий висновок: визначаються рівні відсічення для кожного правила з використанням операції логічного мінімуму:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),$$

де через $\wedge$ позначено операцію логічного мінімуму.

Потім знаходяться усічені функції належності:

$$C_1'(z) = \alpha_1 \wedge C_1(z),$$

$$C_2'(z) = \alpha_2 \wedge C_2(z).$$

3. Композиція: з використанням операції $\max$ виконується об'єднання знайдених усічених функцій, що приводить до отримання підсумкової нечіткої множини для змінної виходу з функцією належності:

$$M(z) = C(z) = C_1'(z) \vee C_2'(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z)).$$

4. Приведення до чіткості. Для моделі Мамдані використовується дефазифікація центроїдним методом, коли чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги площі результуючої функції приналежності $\mu_\Sigma(z)$.

Для виконання чисельних розрахунків на етапі дефазифікації для алгоритму Мамдані використовується формула центру ваги:

$$y = \int (x \cdot \mu(x) dx) / \int (\mu(x) dx),$$

де y — результат дефазифікації; x — змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній; $\mu(x)$ — функція приналежності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній після етапу акумуляції.

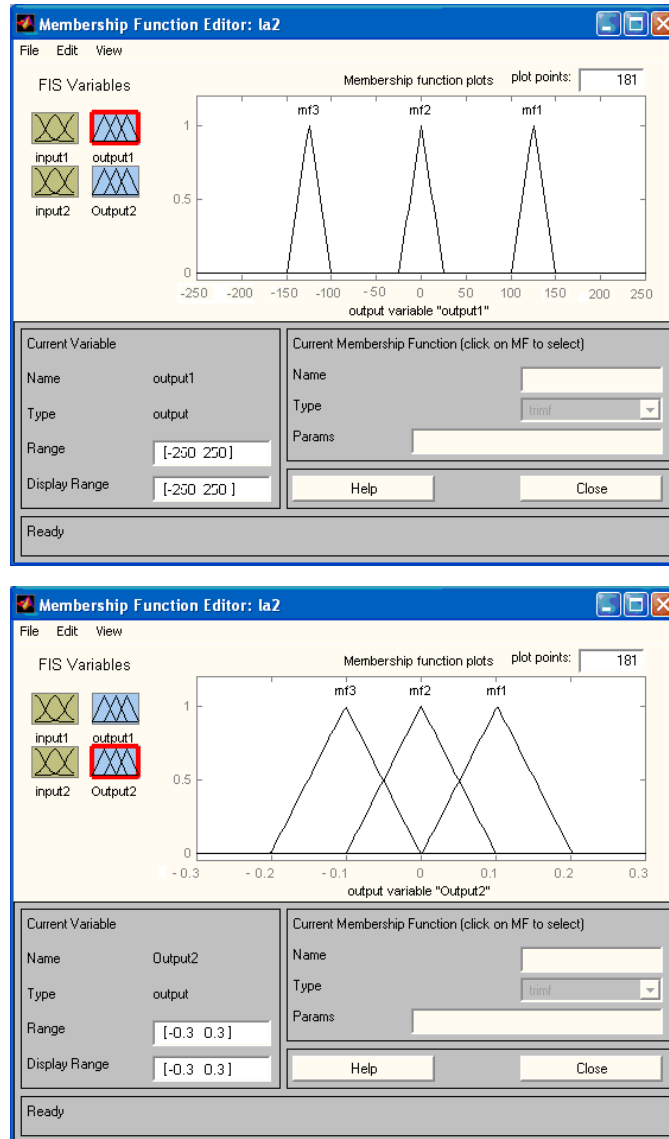


Рис. 3.20 – Вікна формування вихідних функцій приналежності до нечітких множин «збільшення керуючого впливу РЕ, Z, NE» для алгоритму Мамдані

Таким чином, у підрозділі було розроблено модель САР з нечітким регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання. Було визначено входні та вихідні змінні, задано функції приналежності, сформовано базу правил, а також розглянуто реалізацію нечіткого висновку за алгоритмами Сугено та Мамдані.

3.5 Порівняльний аналіз функціонування САР з традиційним ПІД-регулятором і САР з нечітким регулятором

Для оцінювання ефективності використання нечіткого регулятора було проведено порівняльний аналіз перехідних процесів у різних системах

автоматичного регулювання. Порівняння виконувалося за однакових умов моделювання, що дозволяє оцінити вплив саме типу регулятора на якість керування.

У межах порівняння розглядалися три варіанти САР: система з традиційним ПД-регулятором, система з нечітким регулятором за алгоритмом Мамдані та система з нечітким регулятором з висновком Сугено-0. Для кожної системи було отримано графік перехідного процесу за температурою пасти після стерилізатора.

Графіки перехідних процесів, отримані в результаті моделювання різних САР, наведено на рис. 3.21.

З наведених графіків видно, що всі розглянуті системи забезпечують вихід температури пасти після стерилізатора на заданий рівень. При цьому характер перехідних процесів відрізняється. Система з ПД-регулятором забезпечує найшвидше наближення до заданого значення та має найменше перерегулювання серед наведених варіантів. Це свідчить про те, що для обраних умов моделювання та налаштувань базова САР з ПД-регулятором працює найкраще.

САР з нечіткими регуляторами також забезпечують працездатність і стабілізацію температури, однак у наведених результатах вони не дають покращення порівняно з традиційним ПД-регулятором. Для них спостерігається більш повільний вихід на заданий рівень або більше перерегулювання, що може бути пов'язано з вибором функцій приналежності, бази правил і параметрів нечіткого висновку.

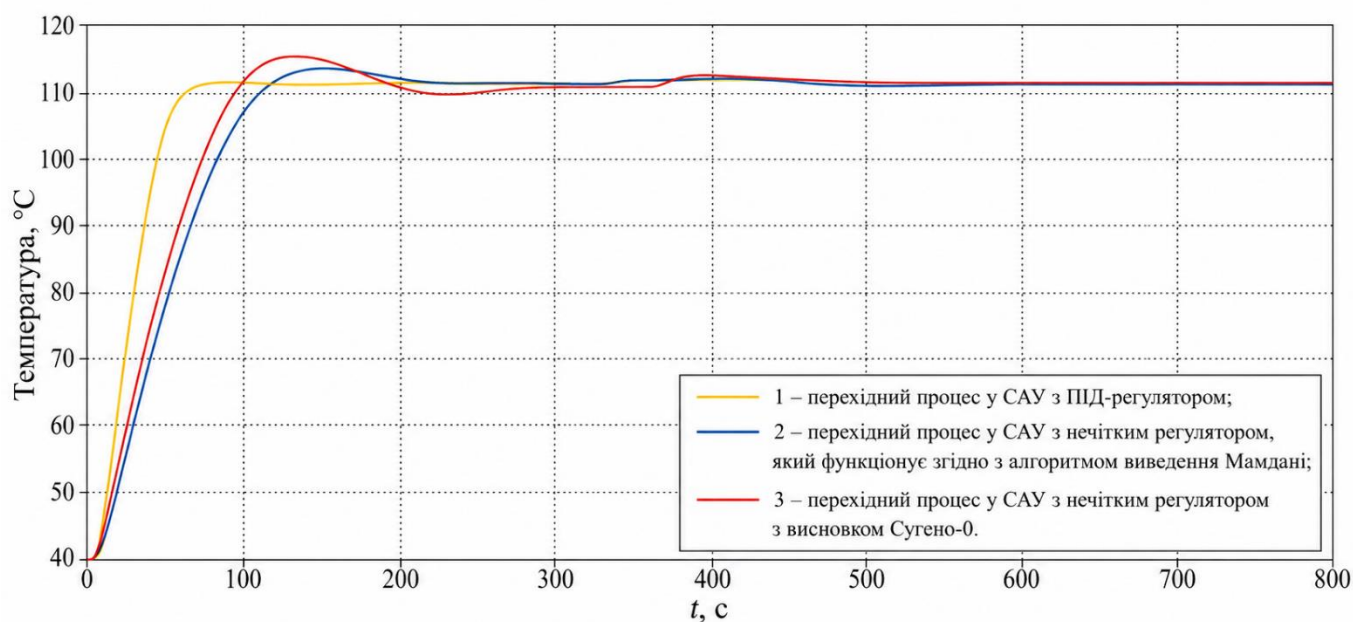


Рис. 3.21 – Графіки переходних процесів, що отримані в результаті моделювання різних САУ: 1 – перехідний процес у САУ з ПІД-регулятором; 2 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором, який функціонує згідно з алгоритмом виведення Мамдані; 3 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором з висновком Сугено-0

Отримані результати показують, що саме по собі застосування нечіткого регулятора не гарантує автоматичного покращення якості керування. Ефективність нечіткої САУ значною мірою залежить від правильного вибору вхідних і вихідних змінних, форми функцій приналежності, бази правил і способу дефазифікації. Тому для досягнення кращих результатів нечіткий регулятор потребує додаткового налаштування та оптимізації.

Таким чином, порівняльне моделювання показало, що для досліджуваного об'єкта і заданих умов найкращий результат серед розглянутих варіантів забезпечує САУ з традиційним ПІД-регулятором. Водночас нечіткі регулятори залишаються перспективним напрямом удосконалення системи керування, оскільки дозволяють враховувати нелінійність і невизначеність об'єкта. Подальше покращення їх роботи може бути пов'язане з оптимізацією функцій приналежності, уточненням бази правил та використанням комбінованих підходів до побудови регулятора.

3.6 Обґрунтування актуальності застосування нейромережевих алгоритмів керування

У процесі розвитку теорії автоматичного керування можна виділити декілька основних етапів. На першому етапі переважали класичні методи детермінованого автоматичного регулювання, основним завданням яких було забезпечення стійкості та заданої якості перехідних процесів. Подальший розвиток теорії керування був пов'язаний із необхідністю врахування випадкових збурень, зміни параметрів об'єкта та неповної інформації про його стан.

Для складних технологічних об'єктів, до яких належить процес стерилізації томатної пасти, важливого значення набуває здатність системи керування працювати в умовах невизначеності. Об'єкт керування може характеризуватися інерційністю, запізненням, нелінійністю статичних характеристик, а також зміною параметрів залежно від витрати продукту, властивостей сировини, параметрів пари та умов теплопередачі. У таких умовах традиційні системи автоматичного регулювання не завжди забезпечують однакову якість керування в усьому робочому діапазоні.

Одним із напрямів підвищення якості керування є застосування адаптивних систем, у яких передбачено можливість зміни параметрів або структури регулятора залежно від поточного стану об'єкта. Загальна схема адаптивної системи керування наведена на рис. 3.22.



Рис. 3.22 – Загальна схема адаптивної системи керування

У таких системах додатковий блок адаптації використовується для уточнення параметрів керування або корекції закону регулювання. Це дає можливість підвищити якість роботи системи в умовах зміни параметрів об'єкта та дії зовнішніх збурень.

Штучні нейронні мережі є одним із сучасних інструментів побудови адаптивних та інтелектуальних систем керування. Їх перевагою є здатність апроксимувати складні нелінійні залежності між вхідними та вихідними сигналами без необхідності задавати повний аналітичний опис об'єкта. Саме тому нейромережеві алгоритми можуть застосовуватися для ідентифікації об'єкта, прогнозування його поведінки, побудови нелінійних перетворювачів або безпосереднього формування керуючого впливу.

Загальна схема системи керування з нейроконтролером, що навчається, наведена на рис. 3.23.

У такій структурі нейроконтролер може навчатися за даними про реакцію об'єкта керування та формувати керуючу дію з урахуванням поточного стану системи. Це особливо важливо для об'єктів, параметри яких змінюються під час роботи або для яких складно отримати точну математичну модель.

Для процесу стерилізації томатної пасти застосування нейромережевих алгоритмів є доцільним у зв'язку з тим, що температура пасти після стерилізатора формується під впливом кількох чинників: подачі пари, температури продукту після підігрівника, витрати пасти, інерційності теплового об'єкта та можливих збурень. Тому штучна нейронна мережа може використовуватися як нелінійний перетворювач або як елемент регулятора, що підвищує гнучкість системи керування.

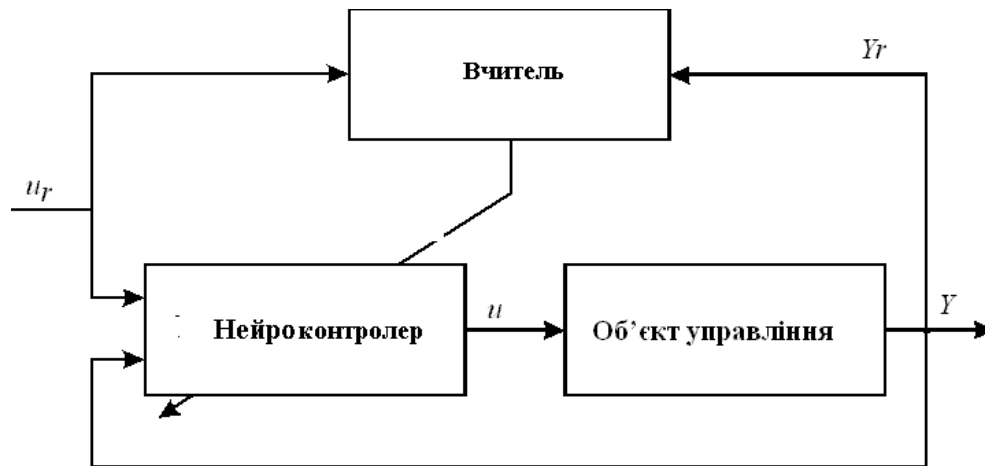


Рис. 3.23 – Загальна схема системи керування з нейроконтролером, що навчається

3.7 Розробка моделі САР з нелінійними перетворювачами на основі штучних нейронних мереж

У роботі розглянуто підхід, за якого штучна нейронна мережа використовується як нелінійний перетворювач у структурі системи автоматичного регулювання. Такий підхід дозволяє поєднати переваги традиційного ПІД-регулятора з можливістю нейронної мережі відтворювати нелінійні залежності між сигналами.

Одним із варіантів реалізації є комбінований ПІД-нейрорегулятор. У такій структурі нейронні мережі можуть використовуватися для формування окремих складових керуючого впливу або для нелінійної корекції сигналів регулятора. Схема системи керування з комбінованим ПІД-нейрорегулятором наведена на рис. 3.24.

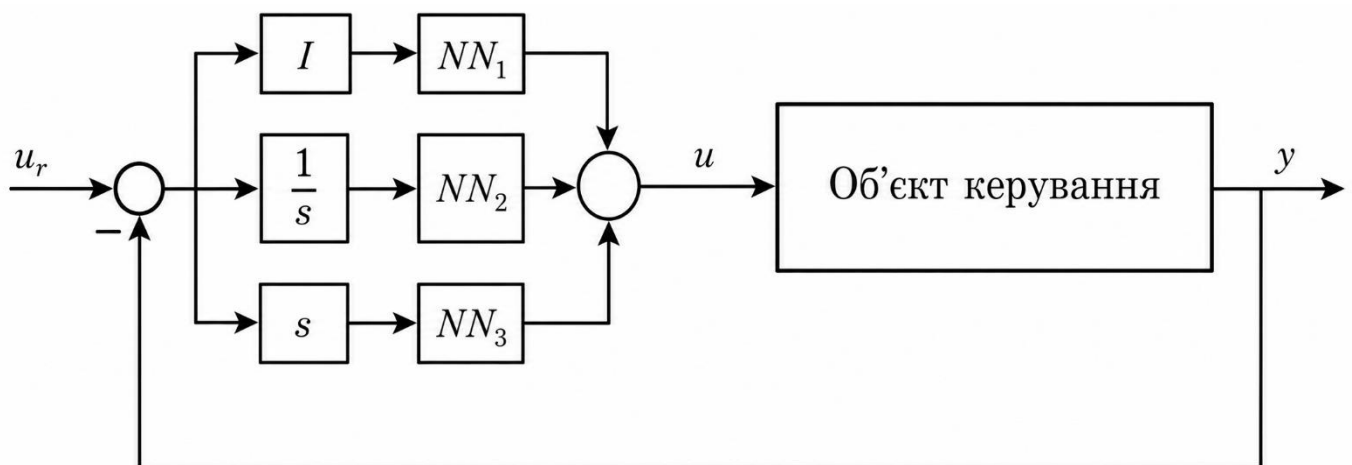


Рис. 3.24 – Система керування з комбінованим ПІД-нейрорегулятором

Штучний нейрон виконує зважене підсумовування вхідних сигналів, після чого отримане значення перетворюється за допомогою функції активації. У загальному вигляді сумарний вхід нейрона може бути поданий як:

$$x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n = \sum_{i=1}^n x_iw_i$$

де x_i — вхідні сигнали нейрона; w_i — вагові коефіцієнти; n — кількість вхідних сигналів.

Структурна схема моделі нейроелемента наведена на рис. 3.25.

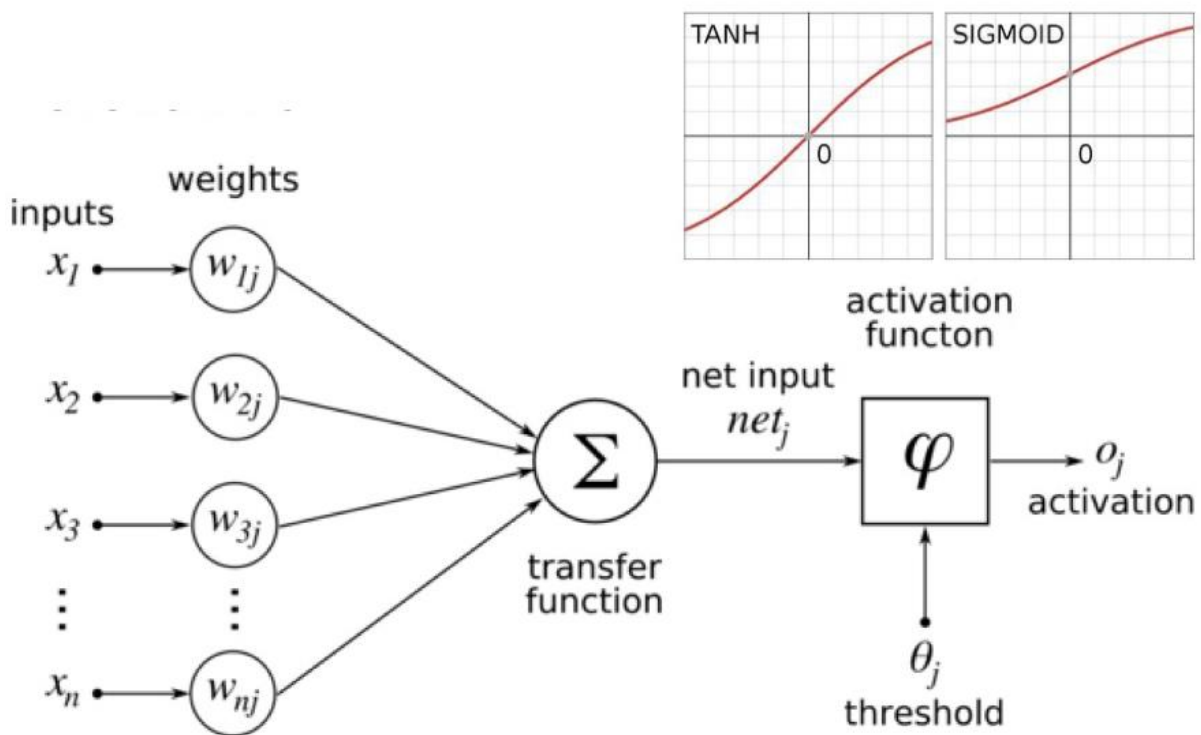


Рис. 3.25 – Структурна схема моделі нейроелемента нейронного регулятора

Для реалізації нелінійних перетворень у системах керування можуть застосовуватися багатошарові нейронні мережі. Вони складаються з вхідного шару, одного або кількох прихованих шарів і вихідного шару. Наявність прихованого шару дає змогу мережі відтворювати нелінійні залежності між вхідними та вихідними сигналами.

Багатошарова нейронна мережа, що може використовуватися для нелінійного перетворення сигналів в алгоритмі керування, наведена на рис. 3.26.

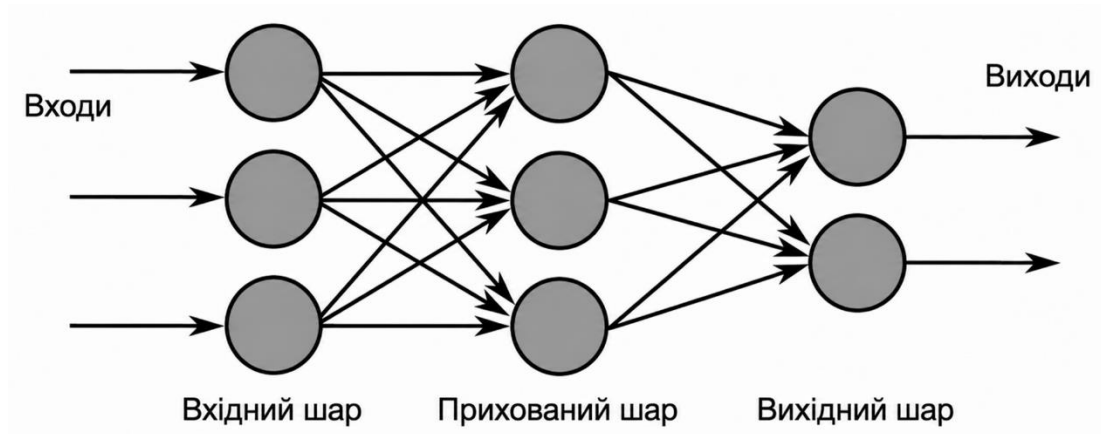


Рис. 3.26 – Багатошарова нейронна мережа, яка може використовуватися для нелінійного перетворення сигналів в алгоритмі керування

Для створення нейронної мережі у середовищі MATLAB було задано вхідний вектор P та вихідний вектор T . Вектор P містить значення вхідного сигналу, а вектор T — відповідні значення вихідного сигналу, які має відтворювати нейронна мережа. Для навчання було використано багатошарову мережу з функціями активації типу `tansig`.

Фрагмент коду створення та навчання нейронної мережі має вигляд:

```
p = [-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60];
t = [-0.040 -0.040 -0.032 -0.024 -0.016 -0.008 0 0.008 0.016 0.024 0.032 0.040
0.040];
net = newff([-60 60], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
net.trainParam.epochs = 100;
net = train(net, p, t);
A = sim(net, p);
gensim(net)
```

Виконавчий код для генерації нейромережі наведений на рис. 3.27.

```

>>
>> p=[-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60];
t=[-0.0400 -0.0400 -0.0320 -0.0240 -0.0160 -0.0080 0 0.0080 0.0160 0.0240 0.0320 0.0400 0.0400]
net=newff([-60 60], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
net.trainParam.epochs=100;
net=train(net, p, t);
A=sim(net, p)
gensim(net)

TRAINLM, Epoch 0/50, MSE 0.531741/0, Gradient 4.54318/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/50, MSE 8.46422e-009/0, Gradient 0.00760437/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/50, MSE 5.24872e-009/0, Gradient 0.12407e-006/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was nie met

p=[-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60];
t=[-0.3939 -0.3613 -0.3211 -0.2714 -0.2102 -0.1353 0 0.1353 0.2102 0.2714 0.3211 0.3613 0.3939]
net=newff([-60 60], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
net.trainParam.epochs=100;
net=train(net, p, t);
A=sim(net, p)
gensim(net)
TRAINLM, Epoch 0/50, MSE 0.531741/0, Gradient 4.54318/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/50, MSE 8.46422e-009/0, Gradient 0.00760437/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/50, MSE 5.24872e-009/0, Gradient 0.12407e-006/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was nie met

t =

Columns 1 through 7

-0.0400    -0.0400    -0.0320    -0.0240    -0.0160    -0.0080         0

Columns 8 through 13

0.0080     0.0160     0.0240     0.0320     0.0400     0.0400

TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 0.781874/0, Gradient 54.9376/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.000351392/0, Gradient 0.00127688/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 0.000350956/0, Gradient 0.000261088/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 0.000350866/0, Gradient 0.000112357/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 0.000350828/0, Gradient 6.31716e-005/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

A =

Columns 1 through 7

-0.0297    -0.0334    -0.0369    -0.0405    -0.0440    -0.0475     0.0000

Columns 8 through 13

0.0469     0.0436     0.0403     0.0370     0.0338     0.0306

??? TRAINLM, Epoch 0
|
Missing operator, comma, or semi-colon.
>>

```

Рис. 3.27 – Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює нелінійне перетворення сигналів в алгоритмі керування

Після виконання процедури навчання було отримано характеристику зміни похибки навчання. Вона показує, як у процесі ітерацій зменшується відхилення між заданими та фактичними вихідними значеннями нейронної мережі. Характеристика точності навчання наведена на рис. 3.28.

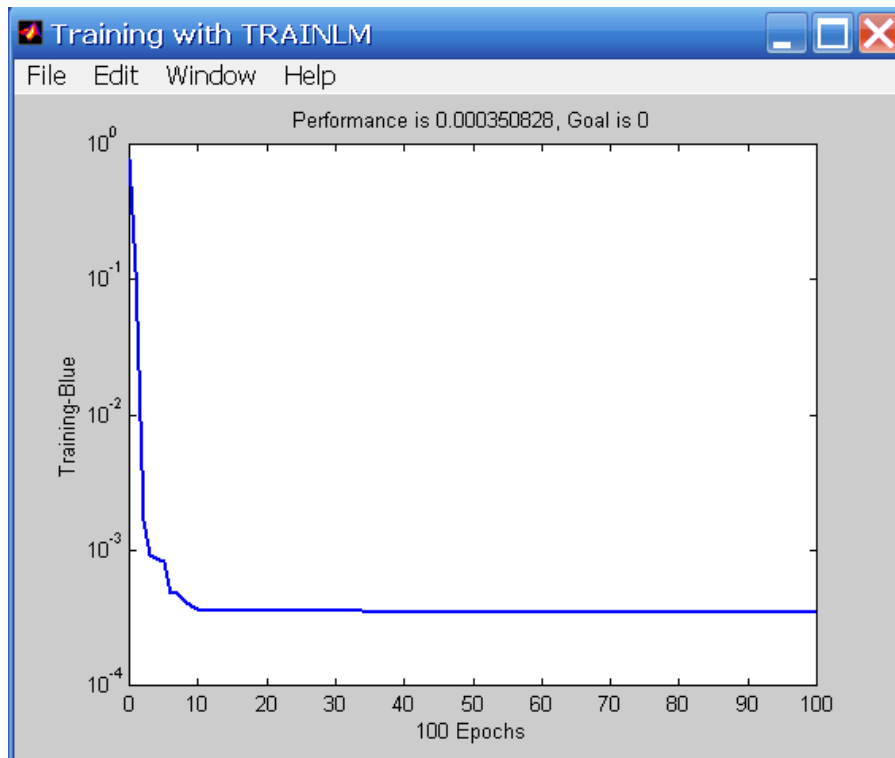


Рис. 3.28 – Характеристика точності навчання нейромережі, що відтворює нелінійне перетворення сигналів в алгоритмі керування

Після навчання нейронна мережа була відтворена у середовищі Simulink. Це дозволяє використовувати її як окремий блок у структурній схемі системи автоматичного регулювання. Відтворена нейронна мережа наведена на рис. 3.29.

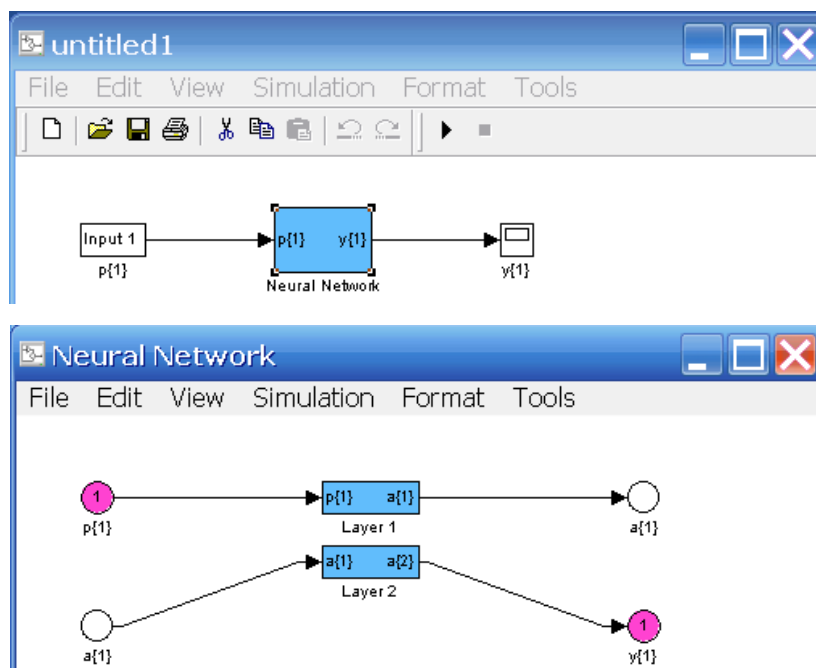


Рис. 3.29 – Відтворена нейронна мережа в середовищі Simulink після виконання відповідної програми

На основі сформованої нейронної мережі було побудовано модель САР з комбінованим регулятором. У цій моделі нейромережевий елемент використовується як нелінійний перетворювач у структурі регулятора, а загальна схема дозволяє виконувати подальшу параметричну оптимізацію.

Структурна схема моделі САР з комбінованим регулятором і параметричним оптимізатором, реалізована засобами MATLAB/Simulink, наведена на рис. 3.30.

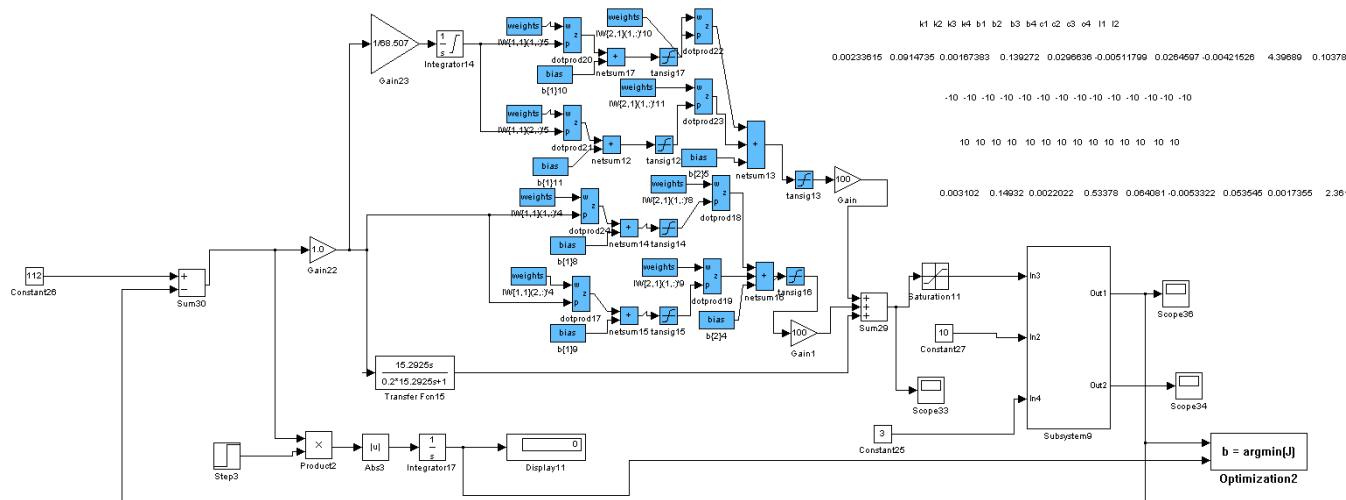


Рис. 3.30 – Структурна схема моделі САР з комбінованим регулятором і параметричним оптимізатором, реалізована засобами MATLAB/Simulink

Таким чином, у підрозділі було сформовано нейромережевий перетворювач та включено його до складу моделі САР. Це створює основу для подальшої оптимізації параметрів комбінованого регулятора та перевірки його працездатності.

3.8 Параметрична оптимізація та перевірка на грубість САР з комбінованим регулятором

Після побудови моделі САР з комбінованим регулятором було виконано параметричну оптимізацію її налаштувань. Метою оптимізації було покращення якості перехідного процесу за температурою пасти після стерилізатора шляхом підбору параметрів регулятора.

Оптимізація виконувалася для об'єкта з фіксованими параметрами. У процесі оптимізації змінювалися параметри регулятора, а якість роботи системи

оцінювалася за інтегральним критерієм. Вікно введення початкових параметрів для оптимізації САР з комбінованим регулятором наведено на рис. 3.31.

Оптимізація

Конкретизація задачі оптимального параметричного синтезу (ОПС)

☐ ОПС в умовах параметричної невизначеності ОУ.
☒ ОПС при фіксованих параметрах ОУ.

Параметри об'єкта управління (ОУ)

Імена параметрів: ko tau T T1
 Номінальні значення: 1 1 18.8
 Нижні значення діапазонів: 0.8 *3.4 0.8 *2.5 0.8 *12
 Верхні значення діапазонів: 1.2*3.4 1.2 *2.5 1.2

Оптимізовані параметри (аргументи)

Імена параметрів: k1 k2 k3 k4 b1 b2 b3 b4
 Початкові наближення: 0.0020695 0.11691 0.С
 Нижні обмеження: -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10
 Верхні обмеження: 10 10 10 10 10 10 10 10

Умови оптимізації (Симплекс-метод Нелдера-Міда)

Максимальна кількість кроків процедури оптимізації: 100
 Мінімальне приращення аргументів: 0.01
 Мінімально значуще приращення критерію: 0.001

Візуалізація результатів

Кількість графіків: 1
 Імена змінних, відображених на графіках: y

Старт Скасувати

Рис. 3.31 – Вікно введення початкових параметрів для оптимізації САР з комбінованим регулятором

Результати параметричної оптимізації наведено на рис. 3.32.

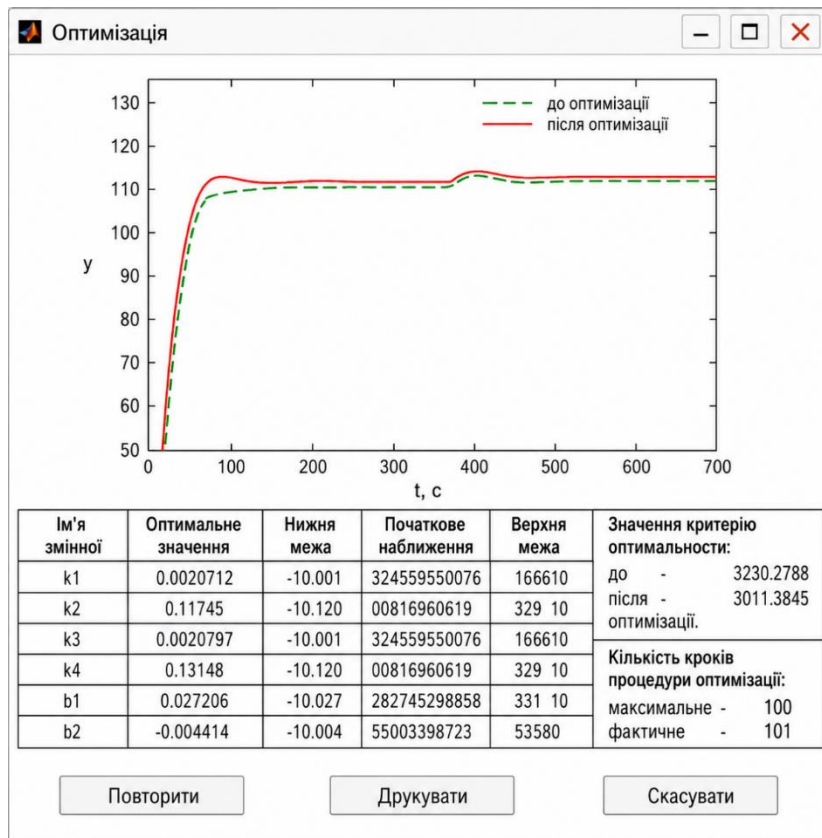


Рис. 3.32 – Вікно результатів параметричної оптимізації значень параметрів комбінованого регулятора САР

З рис. 3.32 видно, що після оптимізації значення критерію якості зменшилося. Це свідчить про покращення якості функціонування системи порівняно з початковими налаштуваннями. Однак отриманий результат не можна вважати остаточним для всіх режимів роботи, оскільки параметри об'єкта можуть змінюватися в процесі експлуатації.

Для оцінювання працездатності системи при зміні параметрів об'єкта було виконано перевірку САР на грубість. Перевірка полягала у варіації параметрів об'єкта керування в заданих межах та аналізі відповідних перехідних процесів. Результати перевірки САР з комбінованим регулятором на грубість наведені на рис. 3.33.



Рис. 3.33 – Вікно результатів перевірки на грубість САР з комбінованим регулятором

Аналіз результатів показує, що система з комбінованим регулятором зберігає працездатність при зміні параметрів об'єкта. Водночас окремі перехідні процеси можуть характеризуватися підвищеним перерегулюванням або коливальністю, що свідчить про необхідність подальшого уточнення параметрів нейромережевого перетворювача та регулятора.

Для попереднього порівняння роботи комбінованого регулятора з іншими структурами САР було отримано графіки перехідних процесів, наведені на рис. 3.34.

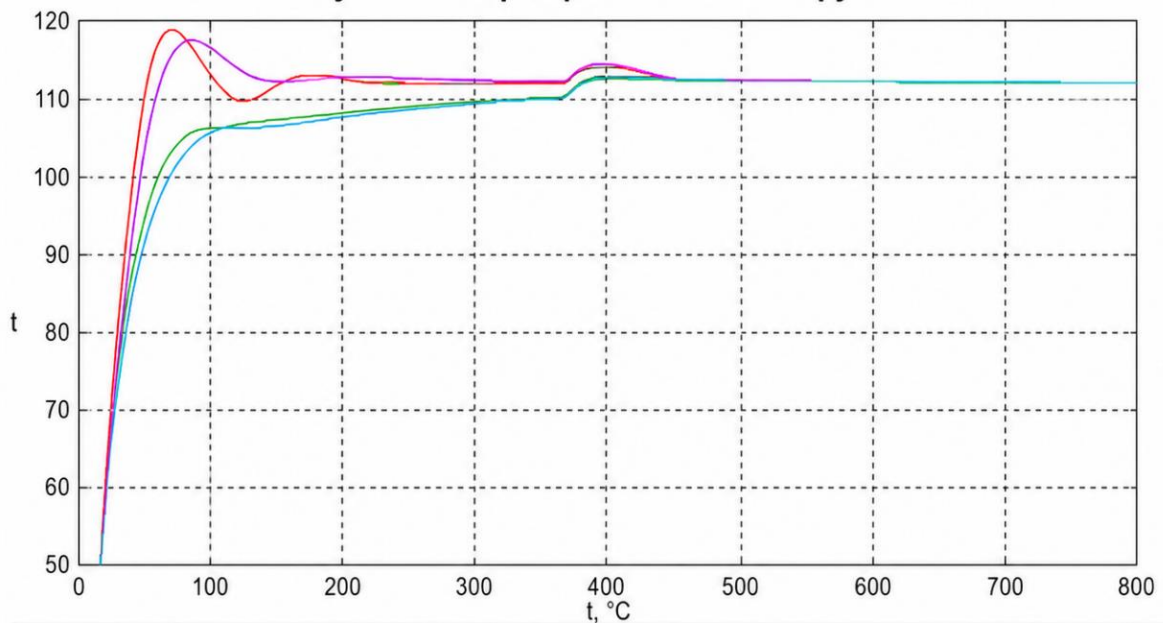


Рис. 3.34 – Графіки переходних процесів, отримані в результаті моделювання різних САР: 1 – перехідний процес у САР з традиційним ПІД-регулятором; 2 – перехідний процес у САР з нечітким регулятором; 3 – перехідний процес у САР з комбінованим регулятором, побудованим на базі штучних нейронних мереж

З наведеного рисунка видно, що всі розглянуті системи забезпечують вихід регульованої величини на заданий рівень. При цьому характер переходних процесів відрізняється за швидкодією, величиною перерегулювання та тривалістю затухання коливань. Отримані результати підтверджують необхідність подальшого аналізу нейромережових алгоритмів керування.

3.9 Синтез моделі САР з нейрорегулятором як альтернативним варіантом алгоритму керування

Альтернативним напрямом застосування штучних нейронних мереж є побудова нейрорегулятора, у якому нейронна мережа не лише виконує роль нелінійного перетворювача, а безпосередньо бере участь у формуванні керуючої дії. Такий підхід дозволяє створити регулятор, здатний відтворювати складні нелінійні залежності між помилкою регулювання, її зміною та керуючим впливом.

Для роботи нейрорегулятора необхідно вибрати функцію активації нейронів. У даній роботі застосовується гіперболічний тангенс, оскільки ця функція дозволяє отримувати як додатні, так і від'ємні значення вихідного сигналу. Це важливо для

регулятора, оскільки керуюча дія може бути спрямована як на збільшення, так і на зменшення температури пасти після стерилізатора.

Графічне представлення функції активації штучного нейрона наведене на рис. 3.35.

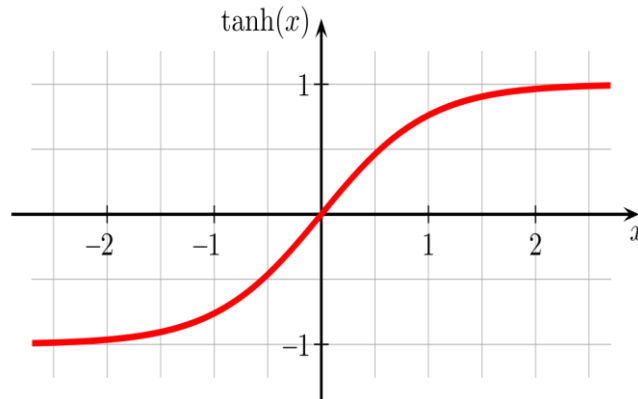


Рис. 3.35 – Графічне представлення функції активації штучного нейрона, що застосовується у нейрорегуляторі

Аналітично функція активації може бути записана у вигляді:

$$f(net) = \frac{2}{1 + \exp(-\alpha \cdot net)} - 1,$$

де net — вхідний аргумент функції; α — параметр, що визначає крутизну характеристики.

У загальному випадку система керування з нейроконтролером може враховувати поточні та попередні значення сигналів системи. Такий підхід дозволяє використовувати інформацію про динаміку процесу, а не лише поточне значення помилки регулювання. Схема системи керування з нейроконтролером наведена на рис. 3.36.

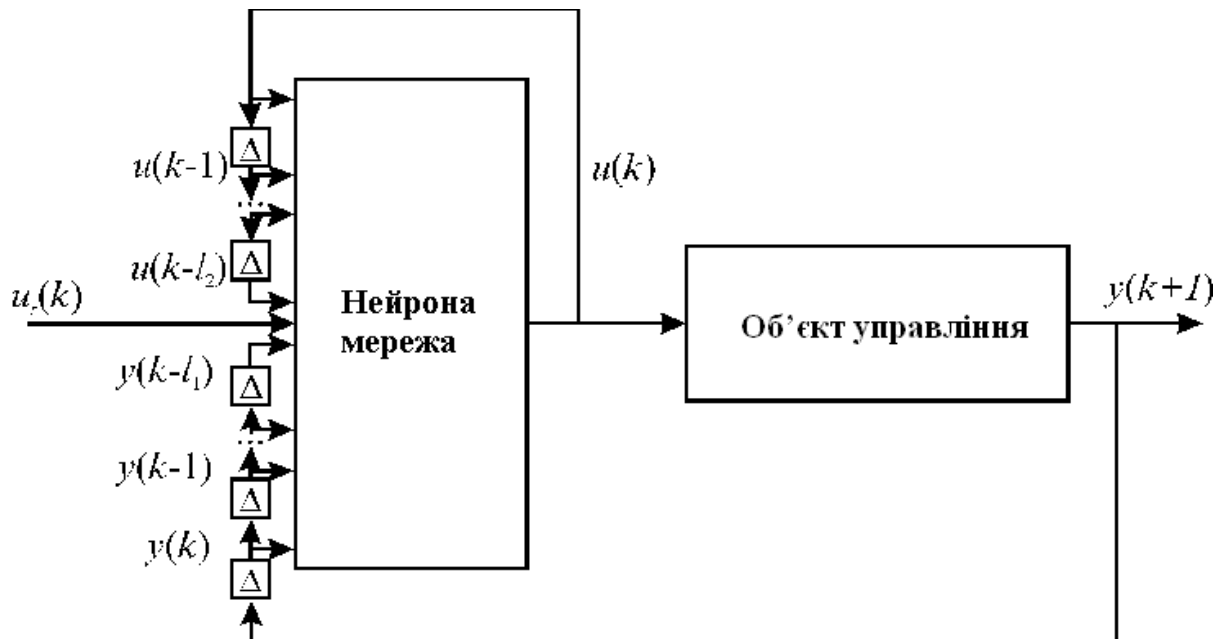


Рис. 3.36 – Система керування з нейроконтролером

У спрощеному вигляді керуюча дія нейроконтролера може бути подана як:

$$u(k) = NN(y(k), y(k-1), \dots, y(k-l_1), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-l_2), u_r(k)),$$

де NN — нейронна мережа; $y(k)$ — поточне значення вихідної координати; $y(k-1), \dots, y(k-l_1)$ — попередні значення вихідної координати; $u(k-1), \dots, u(k-l_2)$ — попередні значення керуючої дії; $u_r(k)$ — задавальний вплив.

У роботі було розглянуто одношарову нейронну мережу, яка виконує функцію регулятора. Вона формує керуючі впливи на основі входних сигналів, що характеризують помилку регулювання та її зміну. Схема такої нейронної мережі наведена на рис. 3.37.

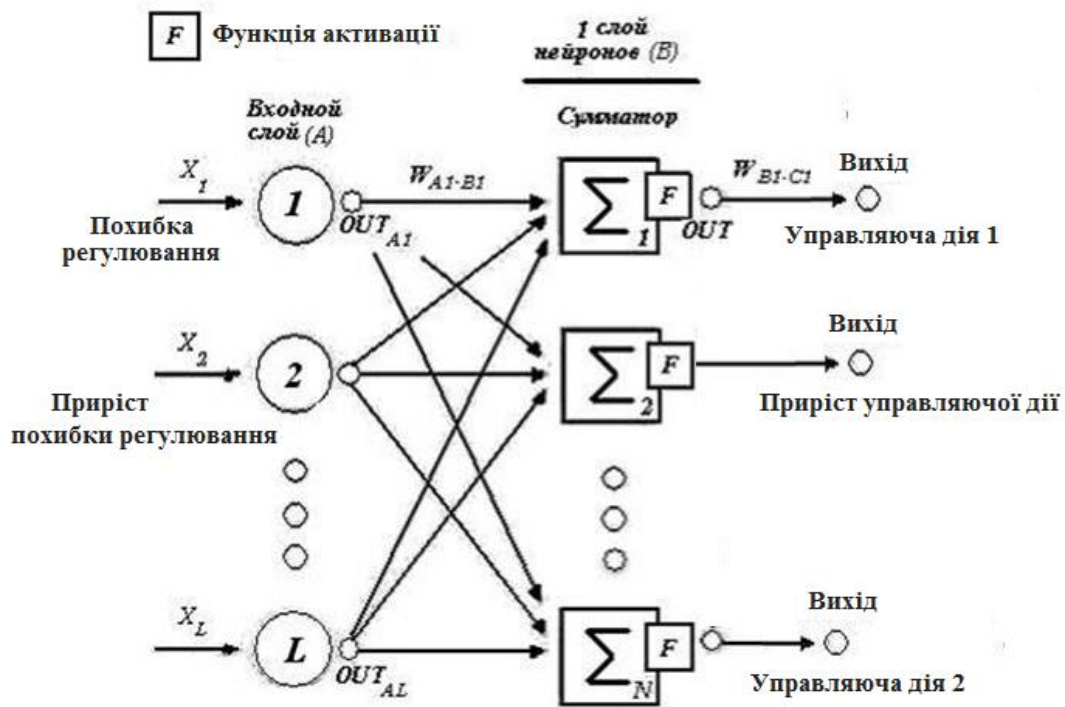


Рис. 3.37 – Одношарова нейронна мережа, що виконує функції регулятора
нейромережевого алгоритму керування

Метою навчання нейроконтролера є отримання такого закону керування, який забезпечує задану якість перехідного процесу. У процесі навчання змінюються вагові коефіцієнти міжнейронних зв'язків, а критерієм якості є відхилення фактичної реакції системи від бажаної.

Нейромережева система керування з екстремальним показником якості регулювання наведена на рис. 3.38.

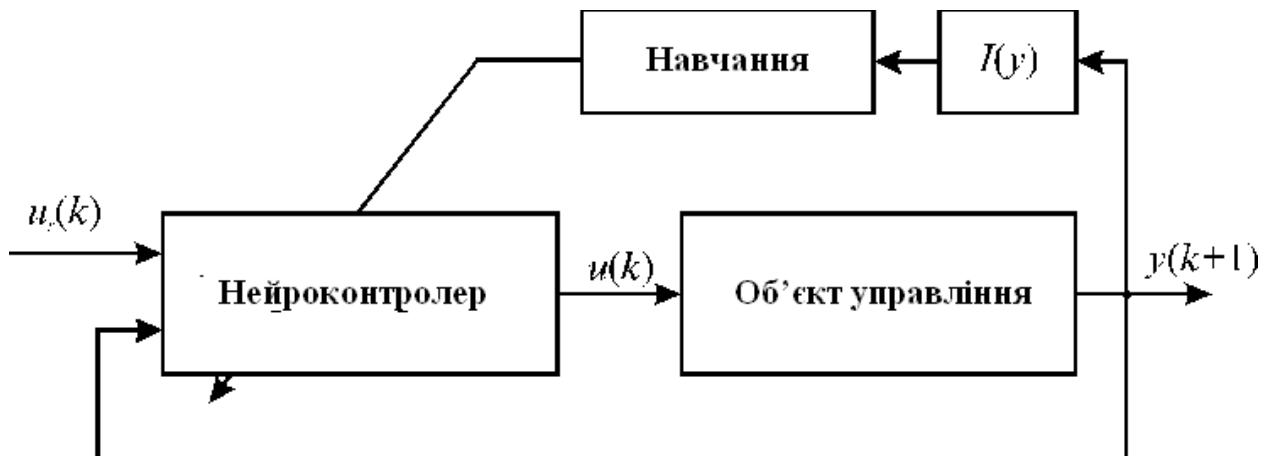


Рис. 3.38 – Нейромережева система керування з екстремальним показником якості
регулювання

Ще одним варіантом використання нейронних мереж є побудова нейромережевої моделі об'єкта керування. У цьому випадку нейронна мережа застосовується для ідентифікації об'єкта, а потім використовується в контурі синтезу регулятора або прогнозування поведінки системи.

Схема підсистеми ідентифікації наведена на рис. 3.39.

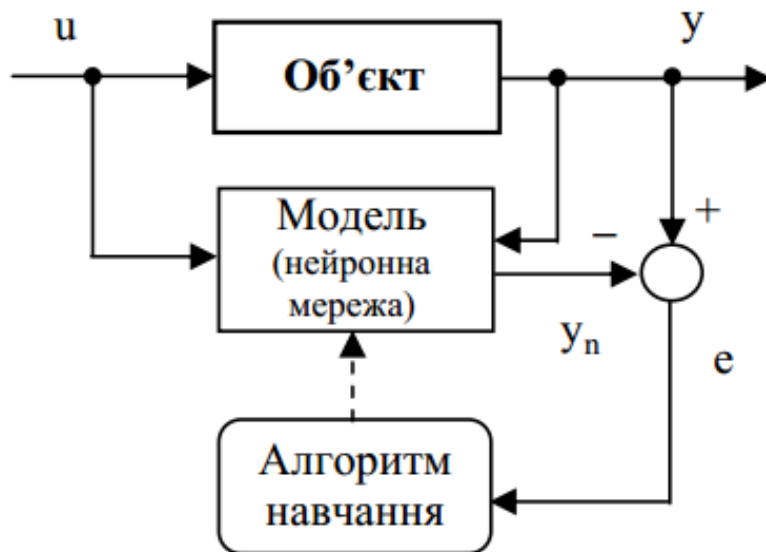


Рис. 3.39 – Схема підсистеми ідентифікації

Структурна схема системи з регулятором, що використовує принцип прогнозування, наведена на рис. 3.40.

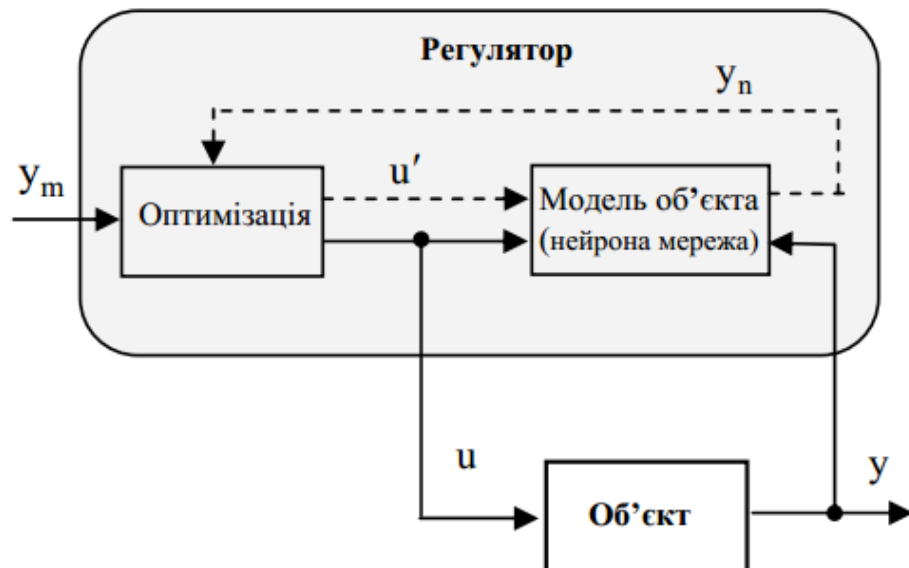


Рис. 3.40 – Структурна схема системи з регулятором, що використовує принцип прогнозування

Для визначення вагових коефіцієнтів нейронної мережі було використано метод зворотного поширення помилки. Цей метод дає змогу коригувати ваги нейронної мережі на основі різниці між бажаним і фактичним вихідним сигналом.

Структурна схема нейрорегулятора інтегральної або пропорційної складової наведена на рис. 3.41.

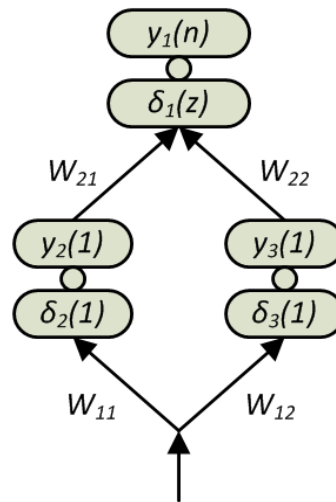


Рис. 3.41 – Структурна схема нейрорегулятора інтегральної або пропорційної складової

Для навчання нейронної мережі було підготовлено вхідні та вихідні дані. У табл. 3.2 наведено приклад відповідності між вхідним значенням, керуючим впливом та приростом керуючого впливу.

Таблиця 3.2 – Вхідні та вихідні значення сигналів регулятора

Значення	U	deltaU	Значення	U	deltaU
-60	-0.077	-40	10	0.154	8
-50	-0.77	-40	20	0.308	16
-40	-0.0616	-32	30	0.462	24
-30	-0.462	-24	40	0.0616	32
-20	-0.308	-16	50	0.77	40
-10	-0.154	-8	60	0.77	40
0	0	0			

Для реалізації навчання нейромережі у середовищі MATLAB було створено відповідний програмний код. Схема отримання даних для навчання нейронної мережі наведена на рис. 3.42.

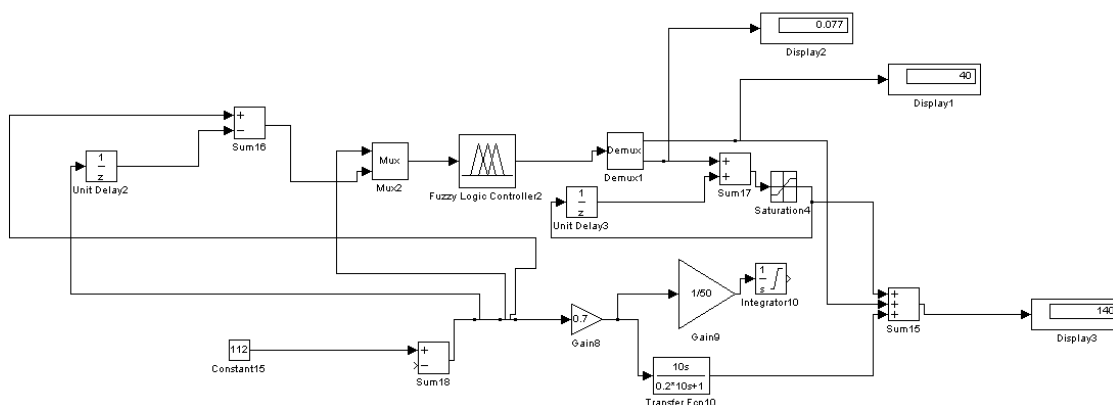


Рис. 3.42 – Схема для отримання даних для навчання нейронної мережі

Фрагмент виконавчого коду для генерації нейромережі, що відтворює пропорційну складову нейрорегулятора, наведено на рис. 3.43.

```
>>
>>
>> p=[-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60];
>> t=[-0.040 -0.040 -0.032 -0.024 -0.016 -0.08 0 0.08 0.016 0.024 0.032 0.040 0.040];
>> net=newff([-60 60], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
>> net.trainParam.epochs=100;
>> net=train(net, p, t);
>> A=sim(net, p)
>> gensim(net)

t =

Columns 1 through 7
-0.0400 -0.0400 -0.0320 -0.0240 -0.0160 -0.0800 0

Columns 8 through 13
0.0800 0.0160 0.0240 0.0320 0.0400 0.0400

TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 0.758434/0, Gradient 45.164/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.000352129/0, Gradient 0.00306546/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 0.000351024/0, Gradient 0.000380906/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 0.00035089/0, Gradient 0.000143488/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 0.000350841/0, Gradient 7.62109e-005/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

A =

Columns 1 through 7
-0.0306 -0.0338 -0.0370 -0.0402 -0.0435 -0.0469 -0.0000

Columns 8 through 13
0.0475 0.0440 0.0405 0.0369 0.0334 0.0297

>>
```

Рис. 3.43 – Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює пропорційну складову нейрорегулятора

Фрагмент виконавчого коду для генерації нейромережі, що відтворює інтегральну складову нейрорегулятора, наведено на рис. 3.44.

```

» p=[-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60];
t=[-0.3939 -0.3613 -0.3211 -0.2714 -0.2102 -0.1353 0 0.1353 0.2102 0.2714 0.3211 0.3613 0.3939];
net=newff([-60 60], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
net.trainParam.epochs=100;
net=train(net, p, t);
A=sim(net, p)
gensim(net)

t =

Columns 1 through 7

    -0.3939    -0.3613    -0.3211    -0.2714    -0.2102    -0.1353         0

Columns 8 through 13

     0.1353     0.2102     0.2714     0.3211     0.3613     0.3939

TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 0.797278/0, Gradient 29.7081/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.000107805/0, Gradient 0.00115532/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 9.66878e-005/0, Gradient 0.00711417/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 4.44643e-005/0, Gradient 0.0175111/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 2.08553e-005/0, Gradient 0.00563825/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

A =

Columns 1 through 7 |
    -0.4011    -0.3598    -0.3167    -0.2702    -0.2138    -0.1301    -0.0022

Columns 8 through 13

     0.1306     0.2192     0.2753     0.3184     0.3566     0.3920

```

Рис. 3.44 – Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює інтегральну складову нейрорегулятора

Характеристики точності навчання пропорційної та інтегральної складових нейрорегулятора наведено на рис. 3.45.

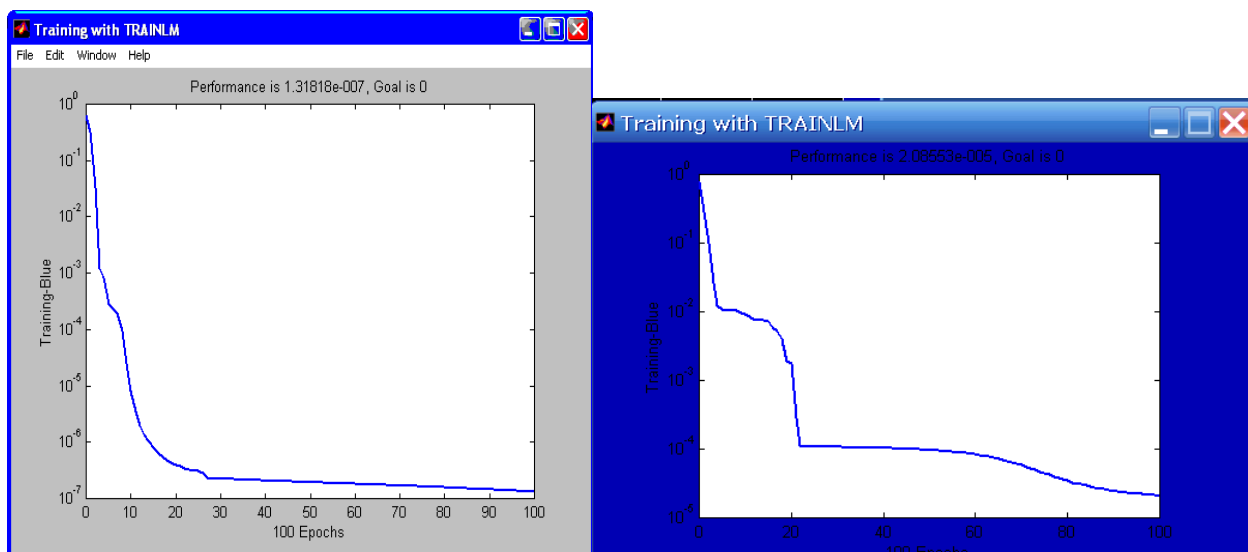


Рис. 3.45 – Характеристика точності навчання пропорційної та інтегральної складової нейрорегулятора

Після навчання нейронної мережі було виконано порівняння бажаних і фактичних значень вихідних сигналів. Результати порівняння для першого вихідного сигналу наведено на рис. 3.46, а для другого вихідного сигналу — на рис. 3.47.

Columns 1 through 7						
-0.3939	-0.3613	-0.3211	-0.2714	-0.2102	-0.1353	-0.0445
Columns 8 through 13						
0.0637	0.1889	0.3278	0.4730	0.6134	0.7372	

Рис. 3.46 – Бажані та фактичні значення вихідного сигналу першого вихідного нейрона нейронної мережі, що відтворює першу складову нейрорегулятора

Columns 1 through 7						
-0.3939	-0.3613	-0.3211	-0.2714	-0.2102	-0.1353	-0.0445
Columns 8 through 13						
0.0637	0.1889	0.3278	0.4730	0.6134	0.7372	

Рис. 3.47 – Бажані та фактичні значення вихідного сигналу першого вихідного нейрона нейронної мережі, що відтворює другу складову нейрорегулятора

На основі отриманих нейронних мереж була сформована модель САР з нейрорегулятором у середовищі MATLAB/Simulink. Фрагмент структурної схеми такої моделі наведений на рис. 3.48.

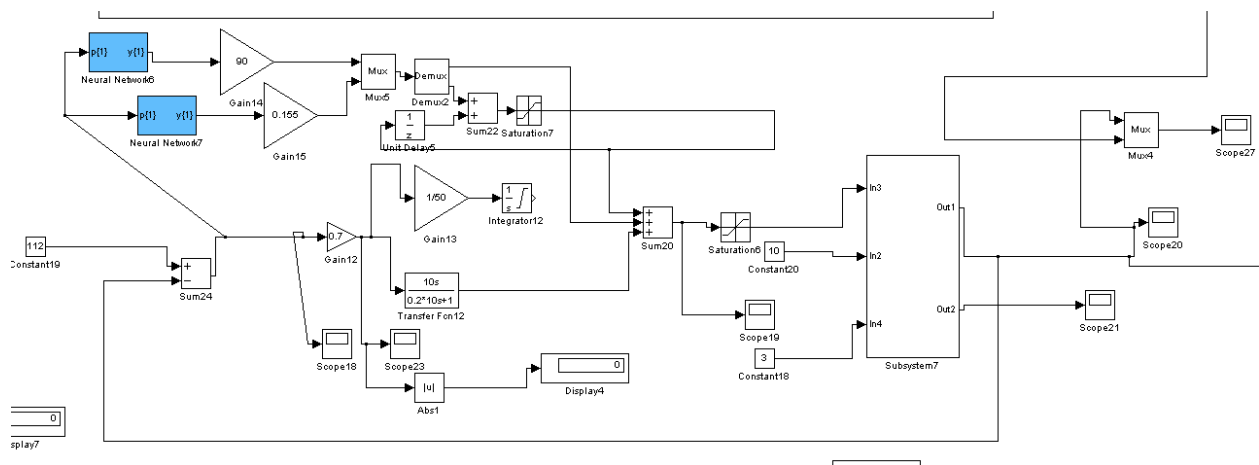


Рис. 3.48 – Фрагмент структурної схеми моделі САР з нейрорегулятором, реалізованої засобами MATLAB/Simulink

Повна схема моделювання нейронного регулятора наведена на рис. 3.49.

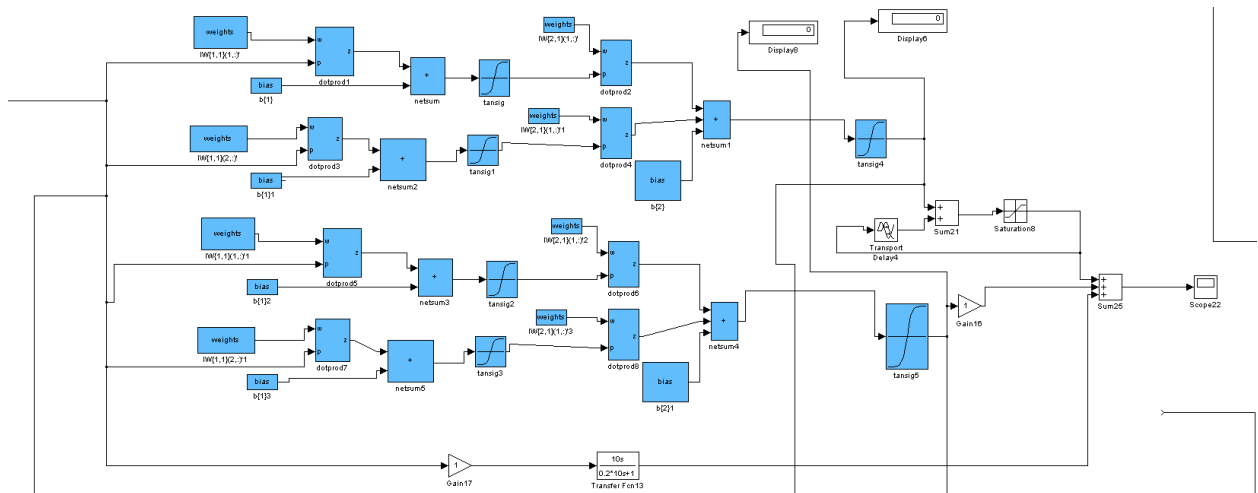


Рис. 3.49 – Схема моделювання нейронного регулятора

У результаті моделювання САР з нейрорегулятором було отримано графіки перехідних процесів, які дали змогу порівняти роботу нейромережевої системи з традиційною та нечіткою САР. Відповідні графіки наведено на рис. 3.50.

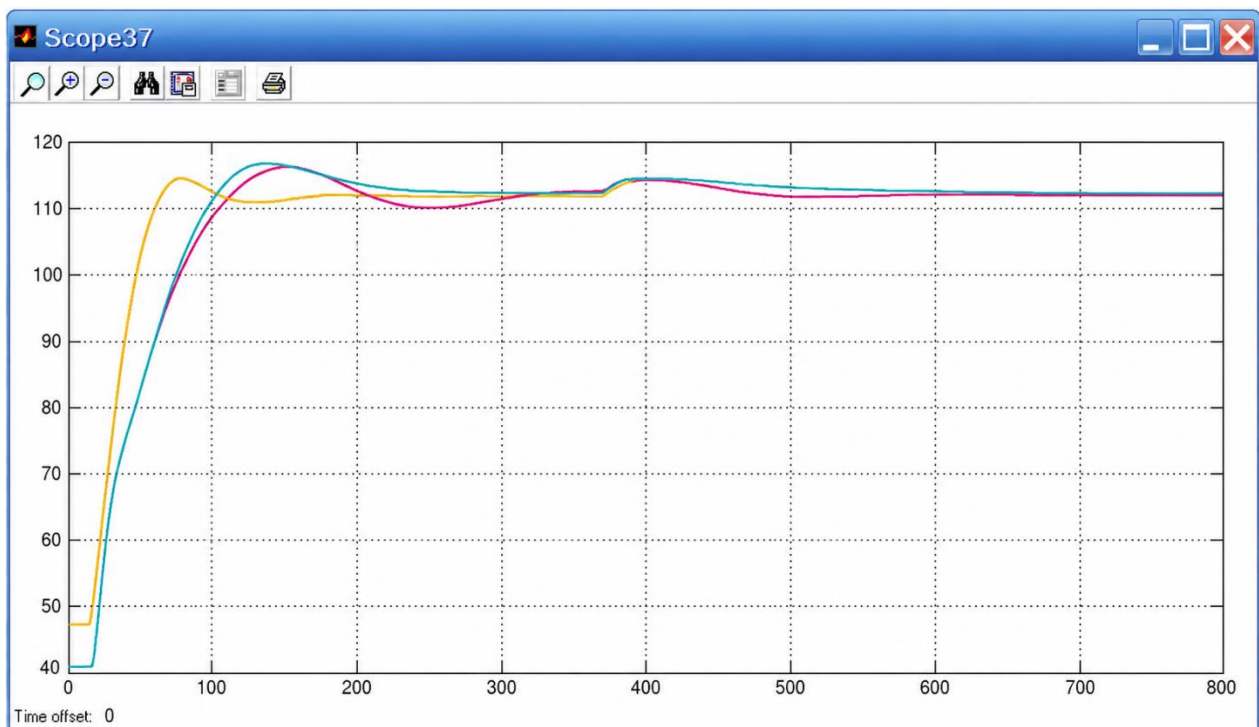


Рис. 3.50 – Графіки перехідних процесів, отримані в результаті моделювання різних САР: 1 – перехідний процес у САР з оптимізованим регулятором, побудованим на базі штучних нейронних мереж; 2 – перехідний процес у САР з нечітким регулятором; 3 – перехідний процес у САР з традиційним ПІД-регулятором

Порівняння перехідних процесів показує, що всі розглянуті системи забезпечують вихід температури пасти після стерилізатора на заданий рівень. При цьому нейромережевий регулятор забезпечує працездатність системи та може бути використаний як альтернативний варіант алгоритму керування.

3.10 Параметрична оптимізація та аналіз функціонування САР з нейрорегулятором

Для покращення якості роботи САР з нейрорегулятором було виконано параметричну оптимізацію. Метою оптимізації було уточнення параметрів регулятора та вагових коефіцієнтів нейромережевого елемента з урахуванням критерію якості перехідного процесу.

Структурна схема моделі САР з нейронним регулятором і параметричним оптимізатором наведена на рис. 3.51.

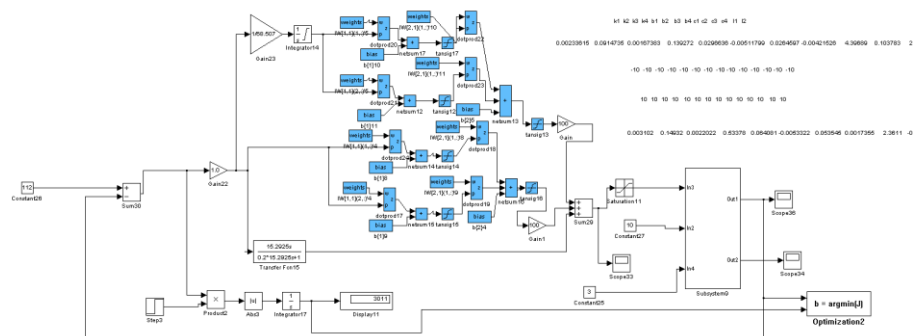


Рис. 3.51 – Структурна схема моделі САР з нейронним регулятором і параметричним оптимізатором, що реалізована засобами MATLAB/Simulink для визначення оптимальних параметрів системи керування за умов нелінійності статичної характеристики каналу регулювання

Вікно оптимізатора до початку оптимізації параметрів регулятора, представленого штучною нейронною мережею, наведено на рис. 3.52.

Оптимізація

Конкретизація задачі оптимального параметричного синтезу (ОПС)

☐ ОПС в умовах параметричної невизначеності ОУ.

☒ ОПС при фіксованих параметрах ОУ.

Параметри об'єкта керування (ОК)

Назви параметрів: ko tau T T1

Номінальні значення: 1 1 18.8

Нижні значення діапазонів: 0.8 *3.4 0.8 *2.5 0.8 *1.2

Верхні значення діапазонів: 1.2 *3.4 1.2 *2.5 1.2

Оптимізовані параметри (аргументи)

Назви параметрів: k1 k2 k3 k4 b1 b2 b3 b4 .

Початкові наближення: 0.0020695 0.11691 0.0

Нижні обмеження: -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10

Верхні обмеження: 10 10 10 10 10 10 10

Умови оптимізації (симплекс метод Нелдера-Міда)

Максимальна кількість кроків оптимізації: 100

Мінімальне прирощення аргументів: 0.01

Мінімальне значущє прирощення критерію: 0.001

Візуалізація результатів

Кількість графіків: 1

Назви змінних, що відображаються на графіках: y

Старт Скасувати

Рис. 3.52 – Вікно оптимізатора до початку оптимізації параметрів регулятора, представленого штучною нейронною мережею, системи автоматичного регулювання

Результати оптимізації параметрів нейрорегулятора наведено на рис. 3.53.

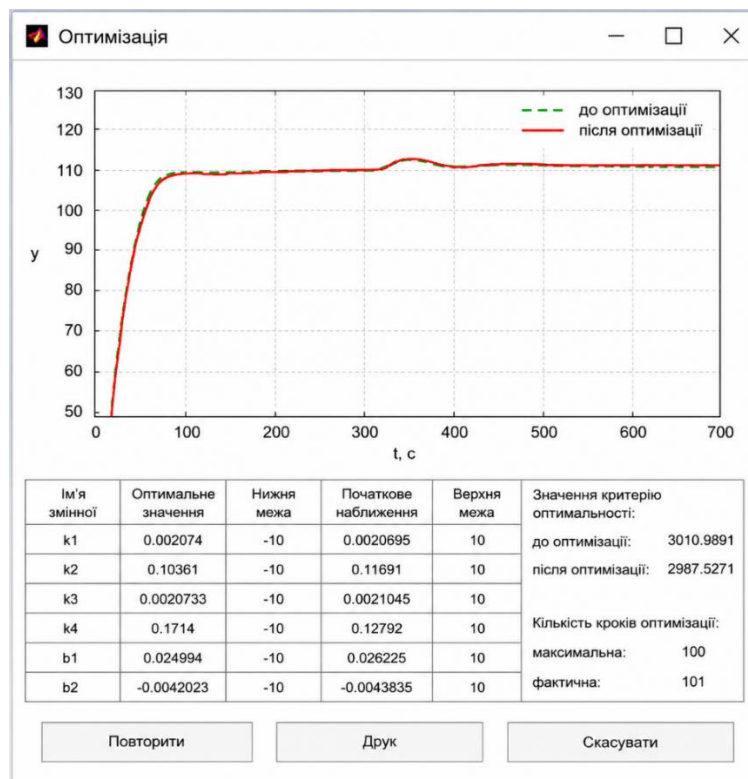
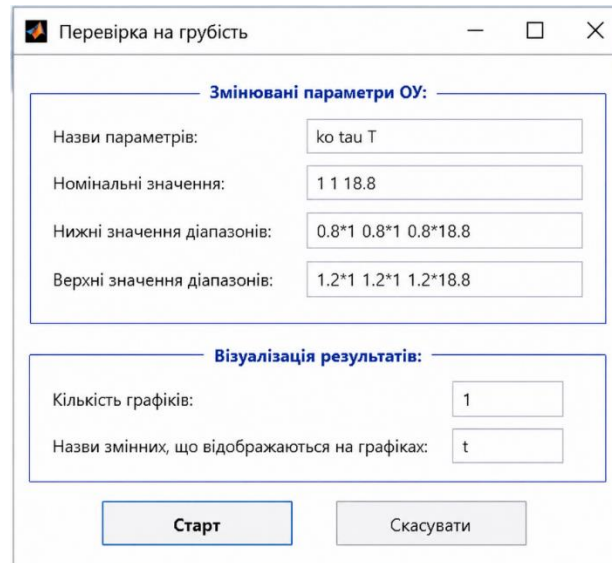


Рис. 3.53 – Вікно результатів оптимізації параметрів регулятора, представленого штучною нейронною мережею, системи автоматичного регулювання

З наведених результатів видно, що після оптимізації якість перехідного процесу покращується. Значення інтегрального критерію якості зменшується, що свідчить про ефективність уточнення параметрів нейрорегулятора. Водночас остаточну оцінку придатності такої системи до практичного застосування необхідно виконувати з урахуванням можливої зміни параметрів об'єкта.

Для цього було проведено перевірку системи на грубість. Вікно введення параметрів перевірки САР з нейрорегулятором на грубість наведено на рис. 3.54.



Змінювані параметри ОУ:	
Назви параметрів:	ko tau T
Номінальні значення:	1 1 18.8
Нижні значення діапазонів:	0.8*1 0.8*1 0.8*18.8
Верхні значення діапазонів:	1.2*1 1.2*1 1.2*18.8

Візуалізація результатів:	
Кількість графіків:	1
Назви змінних, що відображаються на графіках:	t

Старт Скасувати

Рис. 3.54 – Вікно введення параметрів перевірки системи на грубість САР з нейрорегулятором

Результати перевірки на грубість наведено на рис. 3.55.

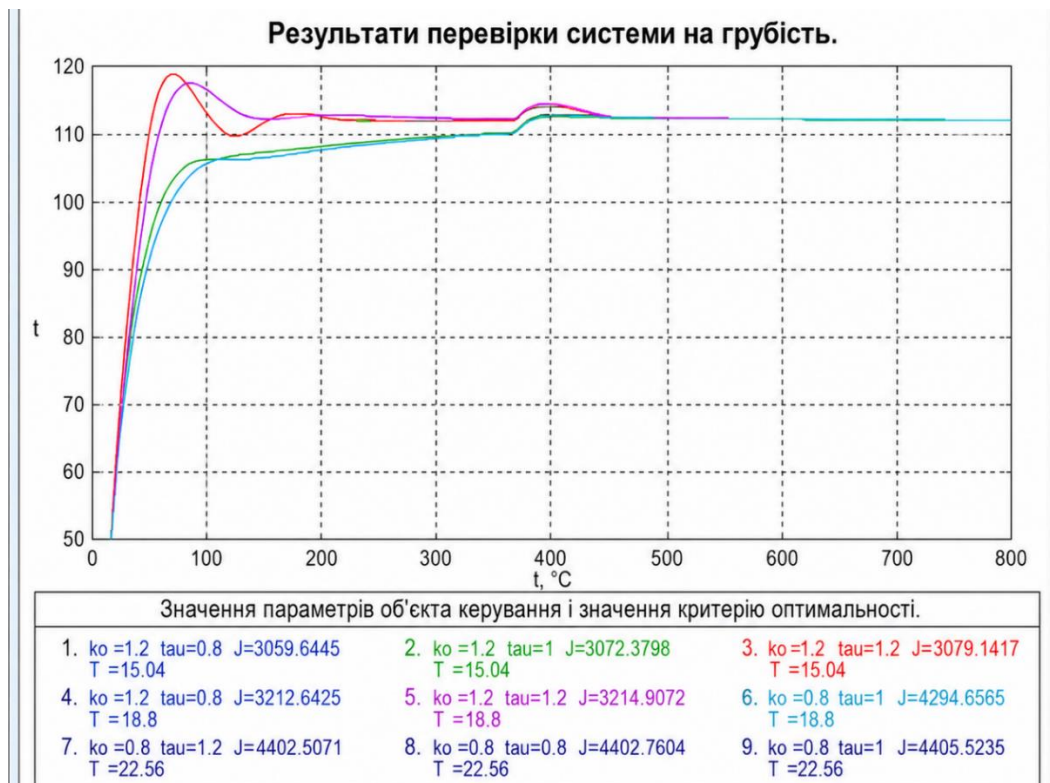


Рис. 3.55 – Вікно результатів перевірки на грубість САР з нейрорегулятором

Результати перевірки показують, що САР з нейрорегулятором зберігає стійкість при зміні параметрів об'єкта в заданих межах. Це свідчить про принципову придатність оптимізованого нейрорегулятора для роботи з об'єктом, що характеризується нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання.

На заключному етапі було виконано порівняльний аналіз функціонування різних САР за якістю регулювання. Для цього було отримано графіки перехідних процесів для САР з традиційним ПД-регулятором, САР з нечітким регулятором та САР з регулятором, представленим штучною нейронною мережею. Результати моделювання наведено на рис. 3.56.

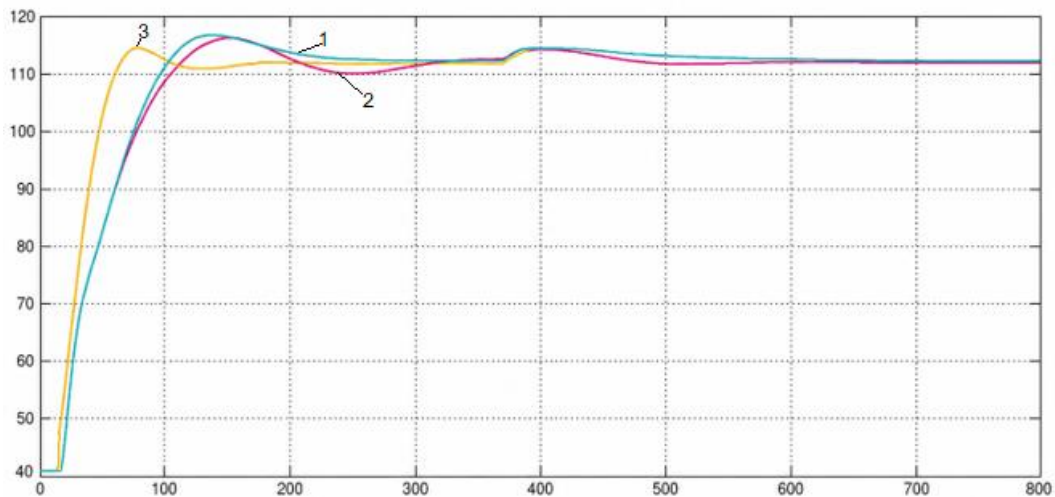


Рис. 3.56 – Графіки перехідних процесів, отримані в результаті моделювання різних САР: 1 – перехідний процес у САР з традиційним ПІД-регулятором; 2 – перехідний процес у САР з нечітким регулятором; 3 – перехідний процес у САР з оптимізованим регулятором, побудованим на базі штучних нейронних мереж

З рис. 3.56 видно, що всі три системи забезпечують вихід регульованої величини на заданий рівень. САР з нейрорегулятором має менший час регулювання порівняно з іншими розглянутими структурами. Водночас за величиною максимального динамічного відхилення різниця між системами не є значною.

Для додаткового оцінювання роботи різних САР було використано аналізатор імовірнісних характеристик. Він дозволяє оцінити якість регулювання за умов впливу випадкових збурень. Вікно результатів аналізу наведено на рис. 3.57.

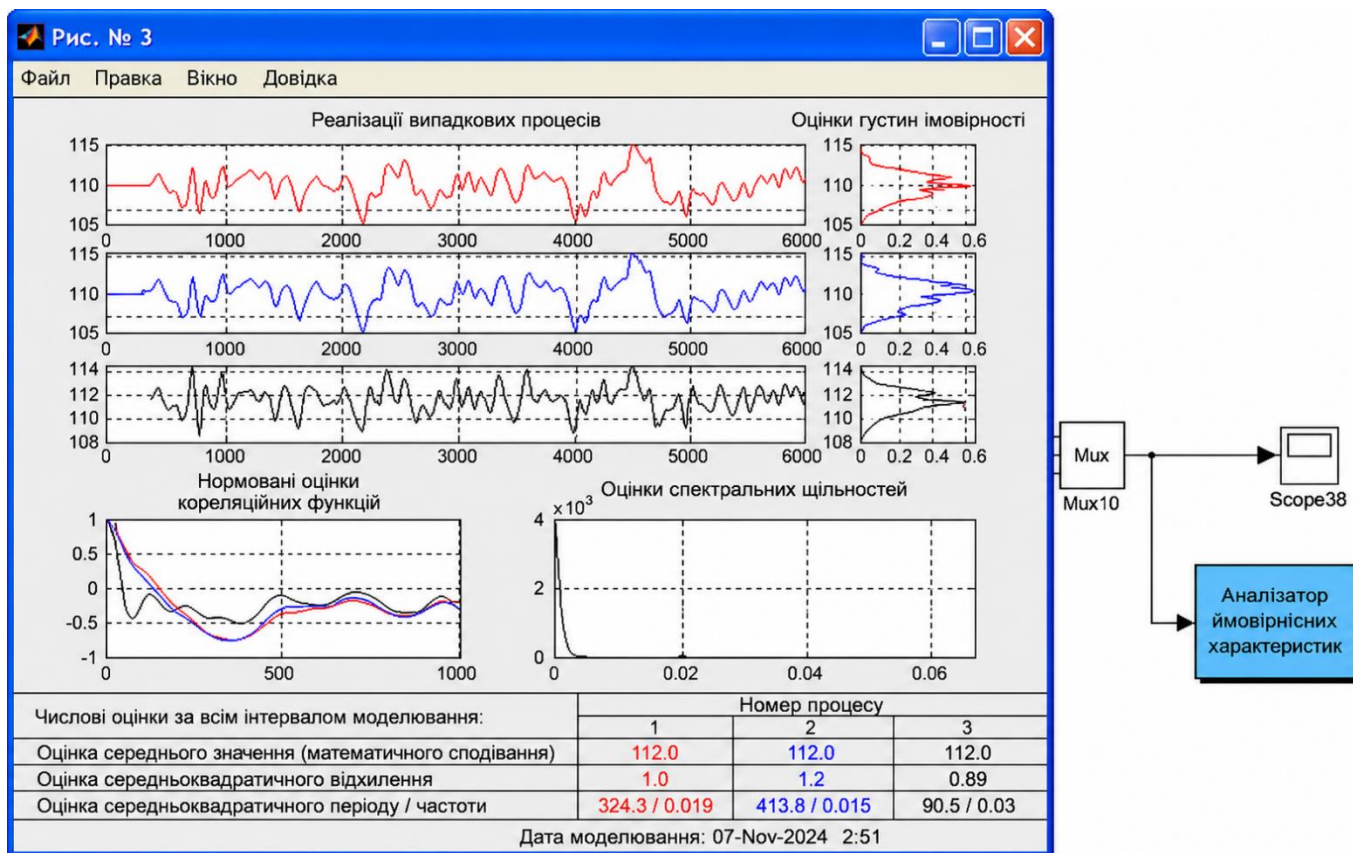


Рис. 3.57 – Вікно результатів аналізу ймовірнісних характеристик різних САР

Кількісні показники якості регулювання різних САР наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Показники якості регулювання різних САР

САР	САР з традиційним ПІД-регулятором	САР з нечітким регулятором	САР з регулятором, представленим штучною нейронною мережею
Час регулювання	≈250 с	≈280 с	≈90 с
Максимальне динамічне відхилення	≈2,5	≈3	≈2,5
Інтегральний показник	52	60	45
Математичне очікування	112	112	112
Середньоквадратичне відхилення	1	1.2	0,89

З наведених результатів видно, що САР з регулятором, представленим штучною нейронною мережею, для заданих умов моделювання забезпечує найменший час регулювання. При цьому за максимальним динамічним відхиленням усі розглянуті системи мають близькі результати. Це свідчить про те,

що використання нейромережевого елемента може бути доцільним для підвищення швидкодії системи, однак його ефективність залежить від якості навчання мережі, вибору структури регулятора та умов моделювання.

3.11 Висновки за розділом 3

У третьому розділі було розглянуто удосконалення САР процесу стерилізації томатної пасти на основі застосування інтелектуальних алгоритмів керування. Основну увагу приділено використанню нечіткої логіки та штучних нейронних мереж для об'єкта, що характеризується нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання.

На першому етапі було розроблено імітаційну модель об'єкта керування з нелінійною статичною характеристикою. Для цього в середовищі MATLAB/Simulink було використано табличне представлення нелінійної залежності, що дозволило наблизити модель до реальних умов роботи теплового технологічного об'єкта.

Для базового порівняння було виконано параметричний синтез САР з традиційним ПІД-регулятором. Після оптимізації параметрів регулятора система забезпечила стійкий перехідний процес і підтримання температури пасти після стерилізатора на заданому рівні. Водночас наявність нелінійності об'єкта підтвердила доцільність дослідження альтернативних алгоритмів керування.

У роботі була розроблена модель САР з нечітким регулятором. Нечіткий регулятор реалізовано у відповідному редакторі середовища MATLAB/Simulink. Було визначено функції приналежності вхідних і вихідних змінних до нечітких множин, сформовано базу правил функціонування регулятора та розглянуто алгоритми нечіткого виведення Сугено 0-го порядку і Мамдані. За результатами моделювання встановлено, що САР з нечітким регулятором є працездатною, однак за прийнятих налаштувань функціонує дещо гірше, ніж САР з традиційним ПІД-регулятором.

Для подальшого підвищення якості керування було розглянуто застосування штучної нейронної мережі як регулятора. На основі характеристик керування було виконано навчання нейронної мережі в середовищі MATLAB/Simulink, після чого

побудовано модель САР з нейрорегулятором. Параметрична оптимізація САР з нейрорегулятором проводилася в тих самих умовах, що й для інших досліджуваних систем, що забезпечило коректність порівняльного аналізу.

Порівняння різних САР показало, що всі розглянуті системи забезпечують підтримання середнього значення температури на рівні 112 °С. Водночас САР з нейрорегулятором має кращі динамічні показники: час регулювання зменшився приблизно до 90 с порівняно з 250 с для САР з традиційним ПІД-регулятором і 280 с для САР з нечітким регулятором. Інтегральний показник якості для САР з нейрорегулятором становить 45, тоді як для САР з традиційним ПІД-регулятором — 52, а для САР з нечітким регулятором — 60. Також нейрорегулятор забезпечив найменше середньоквадратичне відхилення регульованої величини — 0,89 °С.

Таким чином, результати моделювання підтвердили, що застосування нейромережевого регулятора є доцільним для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання. Нейрорегулятор забезпечує менший час регулювання, нижче значення інтегрального показника якості та кращу стабільність підтримання температури порівняно з традиційним ПІД-регулятором і нечітким регулятором.

Отримані результати свідчать про принципову придатність нейромережевого алгоритму для практичного використання в системі автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти.

РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ САР НА ОСНОВІ РОЗШИРЕННЯ СКЛАДУ ФУНКЦІЙ УПРАВЛІННЯ

4.1. Актуальність включення до САР нової функції

Специфіка технологічного процесу зі стерилізації томатної пасти передбачає наявність жорстких температурних і часових обмежень, доволі жорстке дотримання яких, обґрунтоване в рамках регламентних норм, пов'язане з необхідністю підвищення ефективності технологічного процесу, фактичним зниженням як часових, так і ресурсних чинників, суть яких пов'язана як зі зниженням браку продукції, так і зносу технологічного устаткування внаслідок процесу відновлення температури, що може бути досягнуте за допомогою стерилізації томатної пасти.

Зазначений аспект передбачає необхідність мінімізації можливостей порушення температурного режиму на рівні 112 °С, з мінімальним перевищенням даного порогу (114 °С), та, в ідеалі - дотримання температури, що не перевищує 113 °С. Своєю чергою, перевищення зазначеної температури може призвести до пригорання пасти, перевитрати сировини, зносу технологічного устаткування, зростання енергетичних і фінансових витрат, що чинить негативний вплив як на поточний технологічний процес, так і на виробництво в цілому. Актуальною є зазначена проблема і в разі, якщо температурний режим буде меншим за оптимальний (112 °С), оскільки в такому разі недостатня стерилізація може призвести не тільки до браку продукції, а й до можливого харчового отруєння споживачів, або, іншими словами - може вказувати на низьку якість продукції, що також призводить не тільки до фінансово-тимчасових, а й до репутаційних витрат виробництва, створюючи довгострокові тенденції, що знижують сукупну життєздатність підприємства, його доходи. Вищезазначені нами фактори обумовлюють стратегічну значущість збереження оптимального температурного режиму і створення такої системи об'єкта управління, за якої температурний режим буде розподжений у жорстко заданому діапазоні, з мінімальними перевищеннями граничних показників температури (113 °С). Досягнення зазначеної мети можливе за гарантуючої системи керування технологічного процесу стерилізації томатної

пасти.

4.2. Основи побудови гарантуючої системи

Найчастіше на змінні об'єкта керування (ОК) регламентами накладаються обмеження, порушення яких може мати дуже несприятливі наслідки. Вони можуть призводити до аварійних зупинок обладнання, втрат сировини та енергоносіїв, зниження якості продукції, необхідність мати великий штаб персоналу та ремонтних служб. Ситуація посилюється, якщо найбільш ефективні режими роботи ОК близькі до гранично-допустимих, ОК є суттєво нестаціонарним, схильний до інтенсивних неконтрольованих збурень, має запізнення в каналах керування, а наслідки порушень тяжкі. САР такими об'єктами включають:

а) системи (контур) автоматичного регулювання (САР) регламентованих змінних $y(t)$, що забезпечують їх стабілізацію на околицях заданих значень (уставок) $y^{зд}(t)$;

б) системи захисту, що запобігають розвитку несприятливих наслідків, обумовлених порушенням регульованої змінної $y(t)$ встановлених регламентом гранично допустимих значень $y^{гp}$ (подія S).

При побудові САК такими об'єктами є дві альтернативи: 1. Реалізувати звичайну САР, задане значення для якої встановити відповідним найбільш несприятливій ситуації, яка може виникнути під час роботи системи та таким чином запобігти порушенню $y(t)$ $y^{гp+}$.

Недоліки:

- низька ефективність роботи ОК завжди;
- найнесприятливіша ситуація апіорі невідома, тому гарантувати відсутність події S неможливо навіть з урахуванням прийнятих несприятливих умов.

Реалізувати систему гарантуючого керування (СГК), тобто, таку САК, яка поряд із функціями регулювання та захисту, реалізувала б функцію гарантованого дотримання встановлених обмежень з заданою ймовірністю.

Концепція побудови таких систем полягає у безперервному оцінюванні (на кожному інтервалі часу) поточного значення ймовірності відсутності порушення та такого коригування режиму роботи об'єкта, щоб ця ймовірність відповідала

наперед заданої ймовірності. Безпосередньо вимірювати значення цієї ймовірності неможливо, тому необхідна розробка спеціальної моделі, яка дозволить за оцінками доступних для вимірювання змінних отримати необхідну оцінку. Таку модель можна назвати моделлю порушення регламенту (МНР).

Альтернативні варіанти МНР для оцінки поточної ймовірності виникнення події S представлені у формі виразів для розрахунку поточних значень оцінок середньої інтенсивності подій S . Вихідною інформацією цих розрахунків є результати оцінювання ймовірнісних характеристик процесу $y(t)$ і значення $y^{rp\pm}$. Вигляд МНР залежить від прийнятої моделі зміни $y(t)$ і конкретно від виду прийнятої моделі зміни $m_y(t)$. У нашому випадку приймаємо, що $m_y(t)$ є апіорі невідомою функцією часу. Тоді розрахунок заданого допустимого значення $y^{зд\pm}$ вироблений безпосередньо за моделлю порушення регламенту буде здійснюватися за такою формулою:

$$y^{зд\pm}(t) = y^{rp\pm} \mp \hat{\sigma}_y \left\| 2 \ln \left| \frac{T \hat{\sigma}_{\dot{y}}}{2\pi \hat{\sigma}_y \ln P_S^r(y^{rp\pm}, T)} \exp \left\{ -\frac{\hat{m}_{\dot{y}}^2(t)}{2\hat{\sigma}_{\dot{y}}^2} \mp \frac{\sqrt{2\pi} \hat{m}_{\dot{y}}(t)}{\hat{\sigma}_{\dot{y}}} \Phi \left(\frac{\hat{m}_{\dot{y}}(t)}{\hat{\sigma}_{\dot{y}}} \right) \right\} \right| \right\|,$$

де

$$\Phi(\dots) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp \left\{ -\frac{1}{2} z^2 \right\} dz,$$

$$\Phi'(\dots) = \frac{1}{2\pi} \exp \left\{ -\frac{1}{2} z^2 \right\}$$

— інтеграл імовірності та його похідна;

$$\hat{m}_y, \hat{\sigma}_y, \hat{\sigma}_{\dot{y}}, \hat{A}_y, \hat{\omega}_y$$

— оцінки відповідних характеристик випадкових процесів, що обчислюються на ковзному інтервалі часу T_{kst} ;

$$\hat{m}_y(t), \hat{m}_{\dot{y}}(t)$$

— оцінки змінного математичного очікування та його першої похідної, що обчислюються на ковзному інтервалі часу $T_m \ll T_{kst}$.

Оцінки характеристик випадкових процесів, що обчислюються в реальному часі на ковзних інтервалах, визначаються усередненням на T_{kst} або на $T_m \ll T_{kst}$ для $m(t)$. При усередненні з рівномірним зважуванням реалізуються такі вирази:

$$\hat{m}_y = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} y(t) dt, \quad \hat{m}_{\dot{y}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \dot{y}(t) dt, \quad \hat{m}_y(t) = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} y(t) dt,$$

$$\hat{m}_{\dot{y}}(t) = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} \dot{y}(t) dt, \quad \hat{\sigma}_y = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (y(t) - \hat{m}_y)^2 dt, \quad \hat{\sigma}_{\dot{y}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (\dot{y}(t) - \hat{m}_{\dot{y}})^2 dt,$$

$$\hat{\mu}_y^4 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (y(t) - \hat{m}_y)^4 dt, \quad \hat{\mu}_{\dot{y}}^4 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (\dot{y}(t) - \hat{m}_{\dot{y}})^4 dt.$$

Структурна схема SGK з розрахунком допустимого заданого значення контуру регулювання безпосередньо за моделлю порушення регламенту представлена на рис. 4.1.

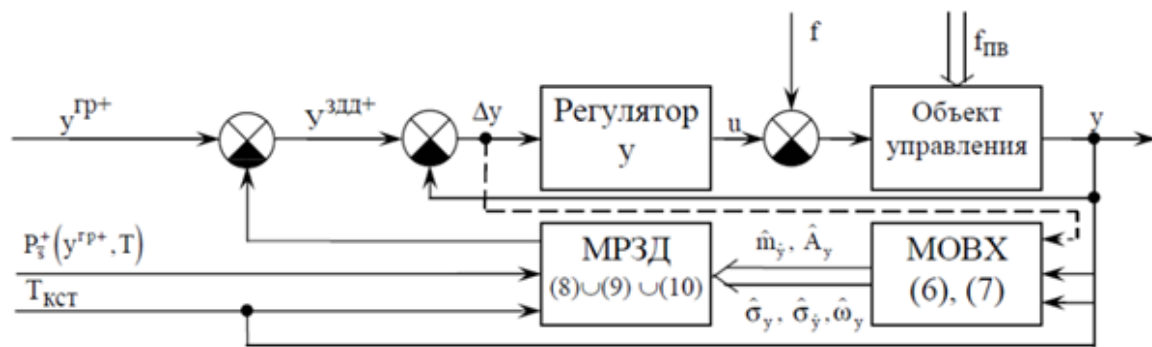


Рис. 4.1 – Структурна схема SGK з розрахунком допустимого заданого значення контуру регулювання безпосередньо за моделлю порушення регламенту: МРЗД – модуль розрахунку допустимого заданого значення; МОВХ – модуль оцінки ймовірнісних характеристик.

Сигнал від помилки регулювання та поточний стан змінної надходить на вхід МОВХ, куди також надходить $T_{\text{кст}}$ - мінімальний інтервал часу, де виконуються умови квазістаціонарних $y^0(t)$. У МОВХ йде оцінка складових центрованого випадкового процесу (середньоквадратичне відхилення поточної змінної, середньоквадратичне відхилення її похідної, частота та амплітуда випадкової складової, а також математичне очікування похідної 139 від поточної змінної). Далі вище зазначені змінні надходять на вхід МРЗД куди також надходить $T_{\text{кст}}$, і $P_s(y^{\text{гр}\pm}, T)$ -імовірність відсутності події S, де формується таке значення, що після відрахування з граничним значенням в у гр було таке значення $y^{\text{здл}+}$, яке разом із контуром регулювання забезпечувало роботу нашої САК з наперед заданою ймовірністю безаварійності.

4.3. Удосконалення та модернізація комплексу математичних моделей процесу стерилізації томатної пасти у автоклавах безперервної дії як об'єкту керування

В процесі виконання підрозділу було допрацьовано математичну модель ОК, саме додано модель неконтрольованих збурень (f_3, f_4), адитивних до T_p та T_c . Також у процесі виконання роботи, було додано модель параметричних збурень ($f_{п1}, f_{п2}$), що реалізує зміну коефіцієнтів передачі та часів запізнення у часі в каналах регулювання.

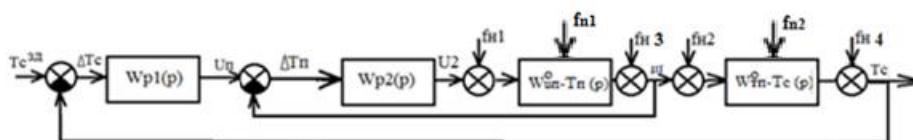


Рис. 4.2 – Оновлена структурна схема ОК

Крок 1: Візуалізація досліджуваного випадкового процесу, результати оцінювання його найпростіших характеристики ідентифікація щільності ймовірності

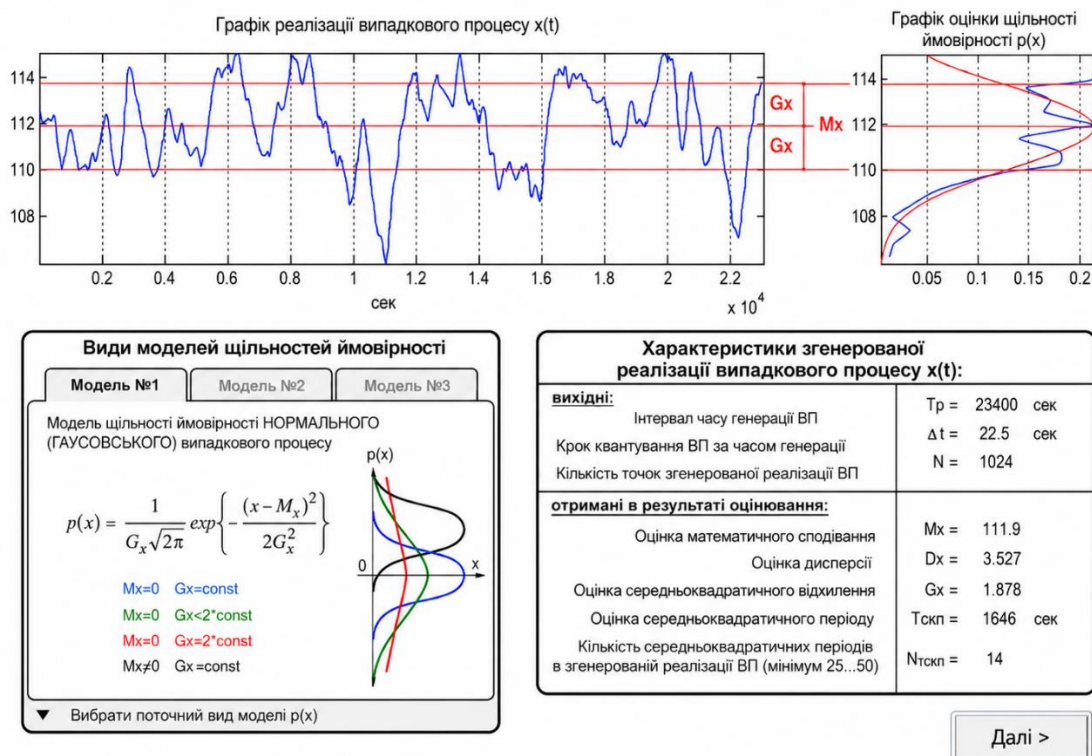


Рис. 4.3 – Візуалізація досліджуваного процесу, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності вірогідності, результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням f_{n3} .

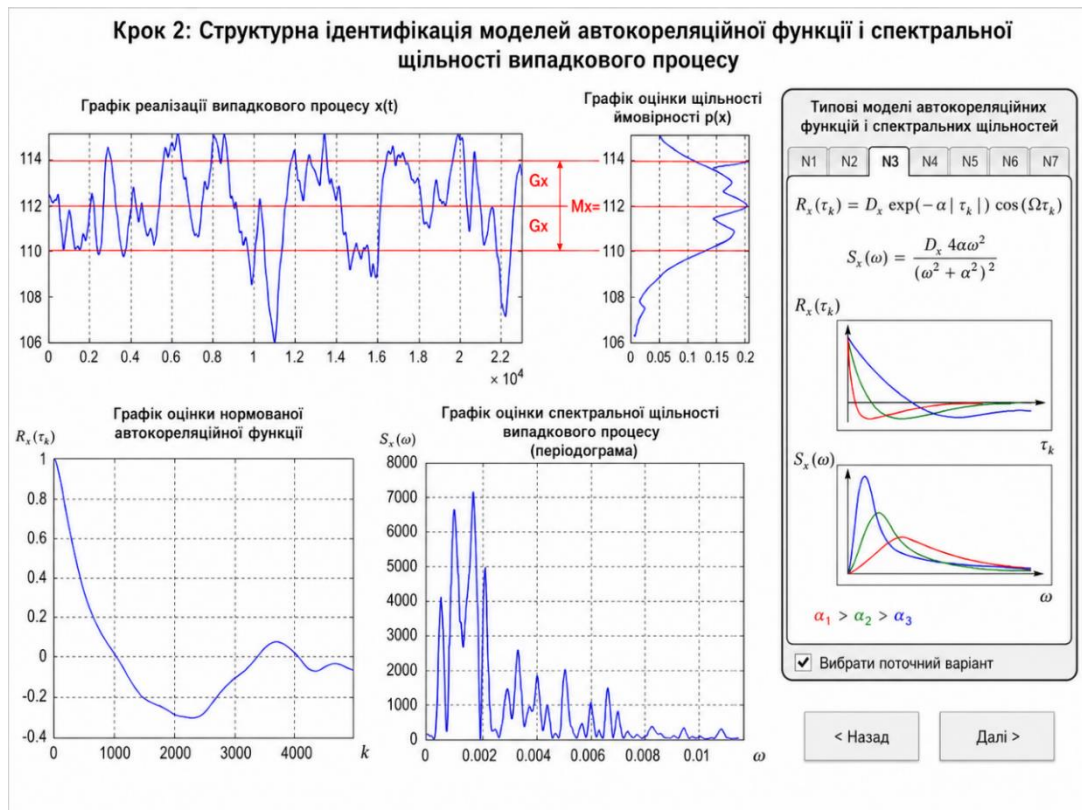


Рис. 4.4 – Ймовірнісні характеристики, структурна ідентифікація автокореляційної функції та спектральної щільності

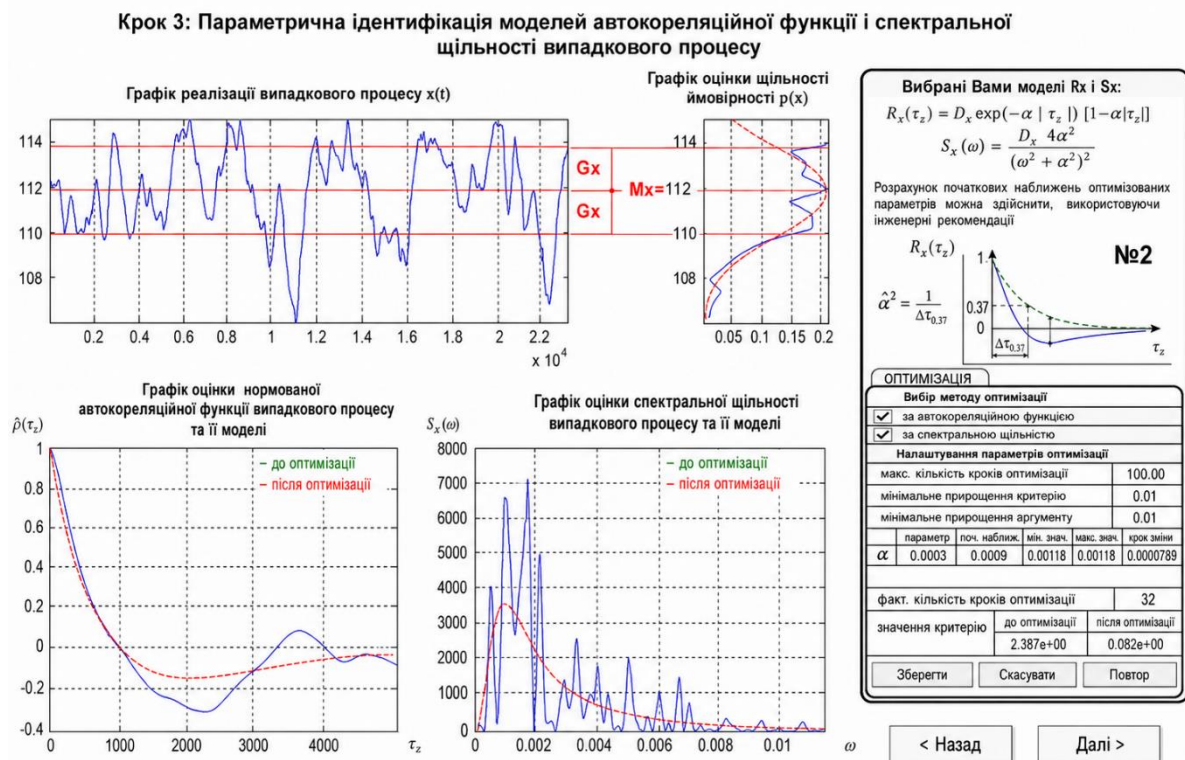


Рис. 4.5 – Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції та спектральної щільності



Рис. 4.6 – Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів, результати ідентифікації моделі неконтрольованого збурення f_{n3}

Передатна функція формуючого фільтра: $W^{\Phi} = \frac{71683p}{(714p+1)^2}$

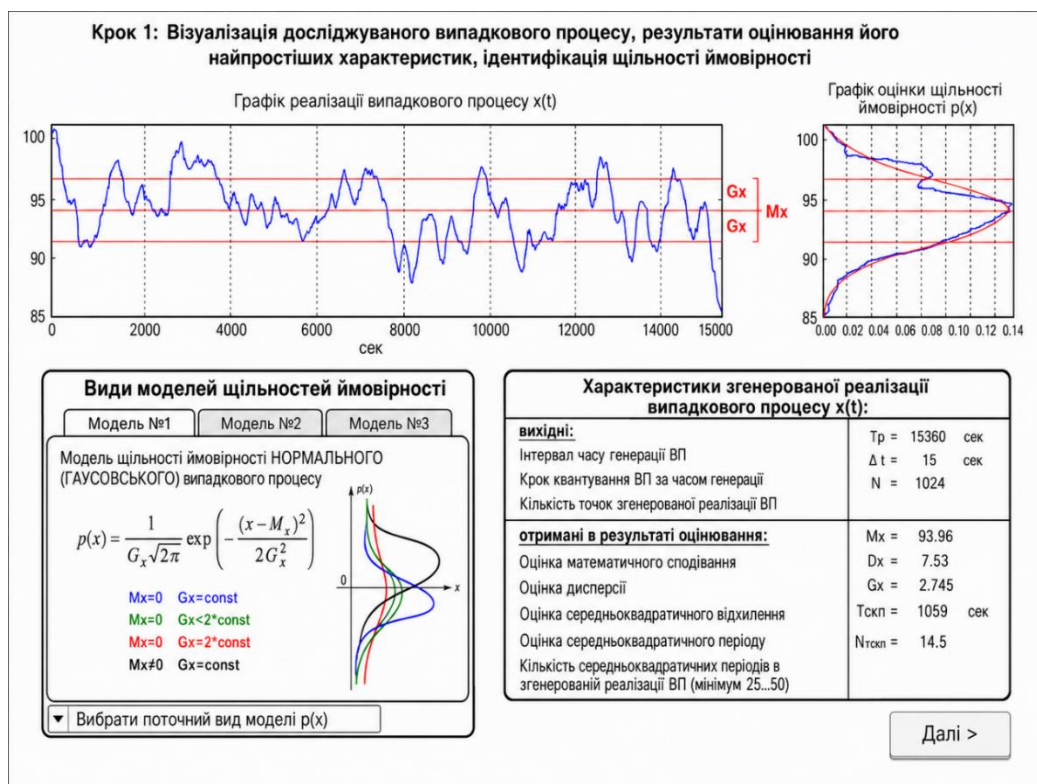


Рис. 4.7 – Візуалізація досліджуваного процесу, результати його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності вірогідності

Крок 2: Структурна ідентифікація моделей автокореляційної функції та спектральної щільності СП

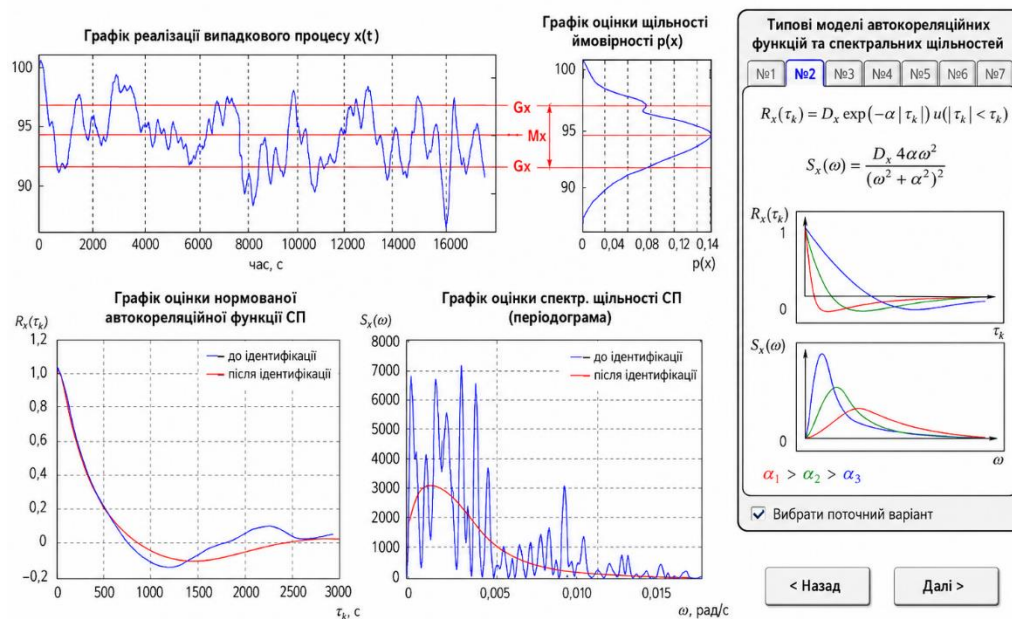


Рис. 4.8 – Структурна ідентифікація моделей автокореляційної функції та спектральної щільності

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції та спектральної щільності СП

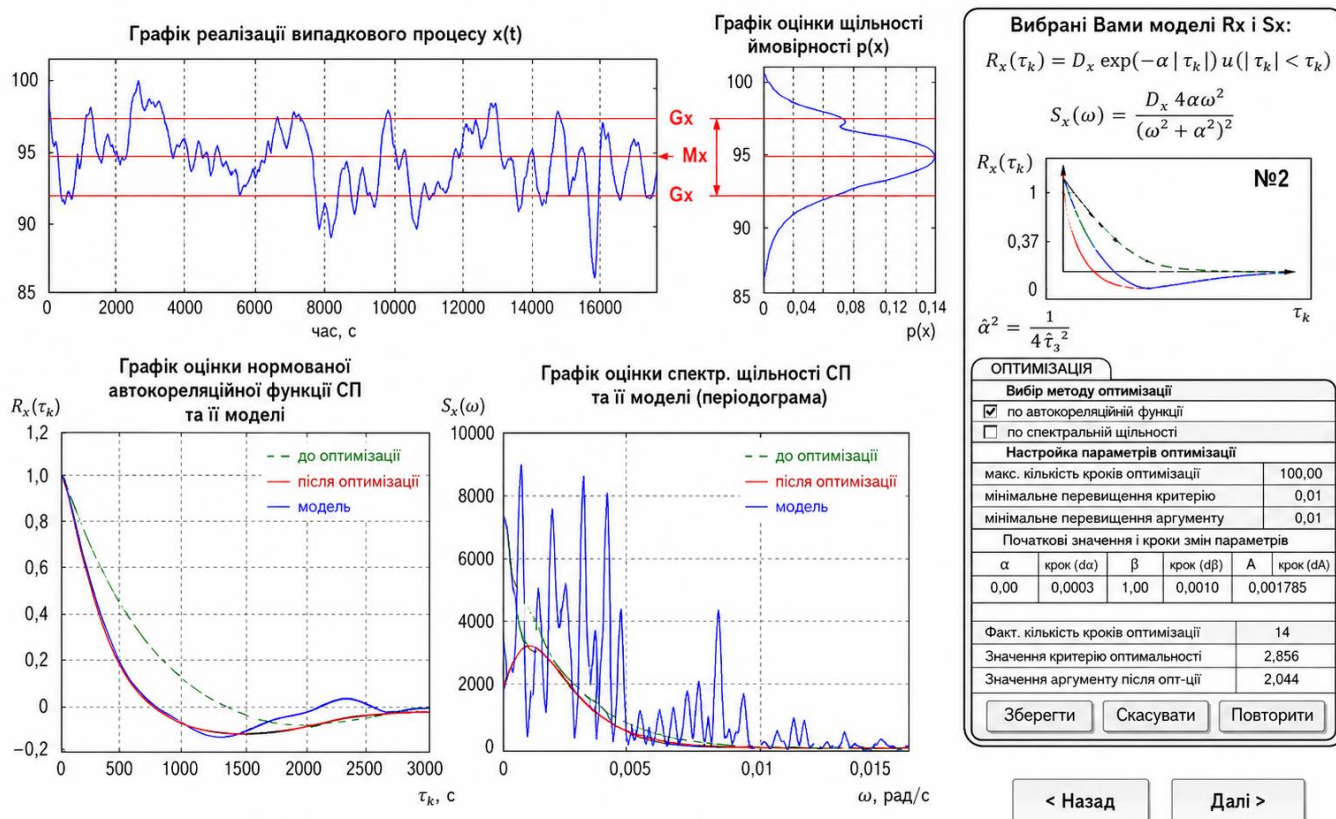


Рис. 4.9 – Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції та спектральної щільності

Крок 4: Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів

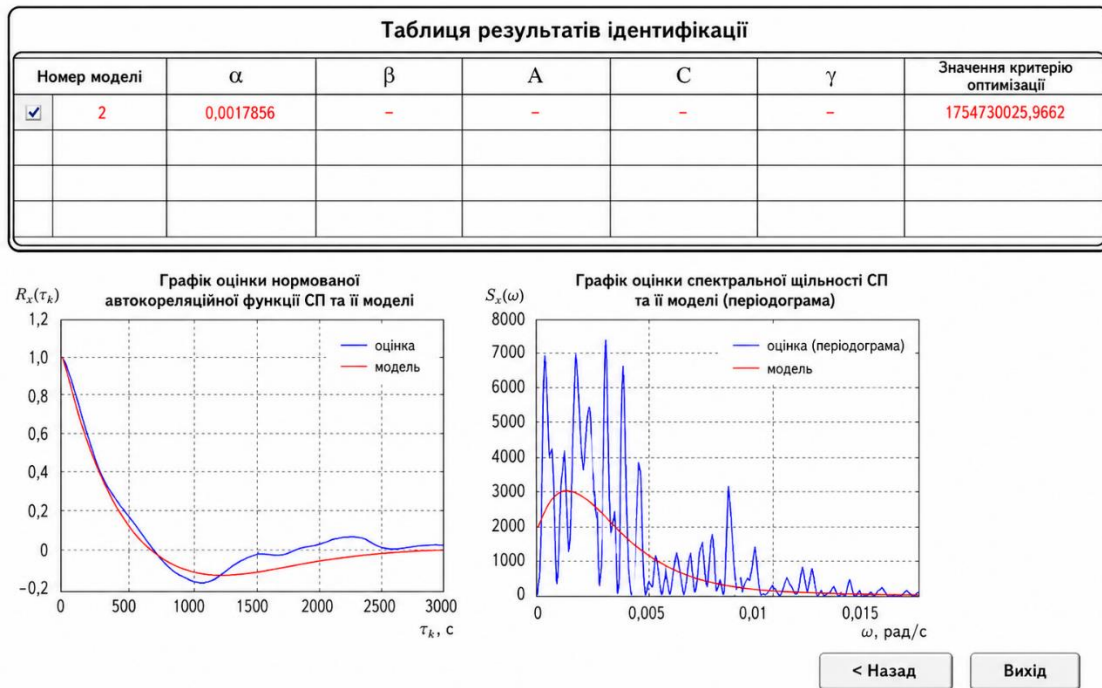


Рис. 4.10 – Висновки ідентифікації моделей випадкових процесів, результати ідентифікації моделі неконтрольованого збурення f_{H4}

Передатна функція формуючого фільтра: $W^{\Phi} = \frac{78274p}{(588p+1)^2}$

Також для координатних збурень реалізовану зміни дисперсії на $\pm 30\%$, за допомогою гармонійного сигналу.

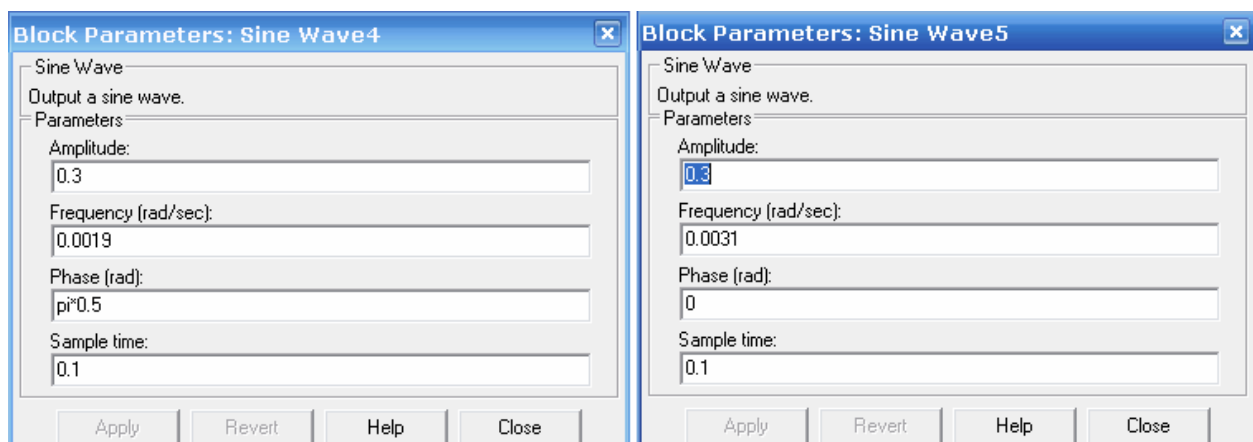


Рис. 4.11 – Налаштування сигналів зміни дисперсії

Модель параметричних збурень реалізовано на базі гармонійного сигналу. Амплітуди забезпечують зміну параметрів об'єкта (запізнення та коефіцієнтів передачі) на $\pm 20\%$, періоди гармонійних сигналів взяті різними для забезпечення різних варіацій параметрів об'єкта.

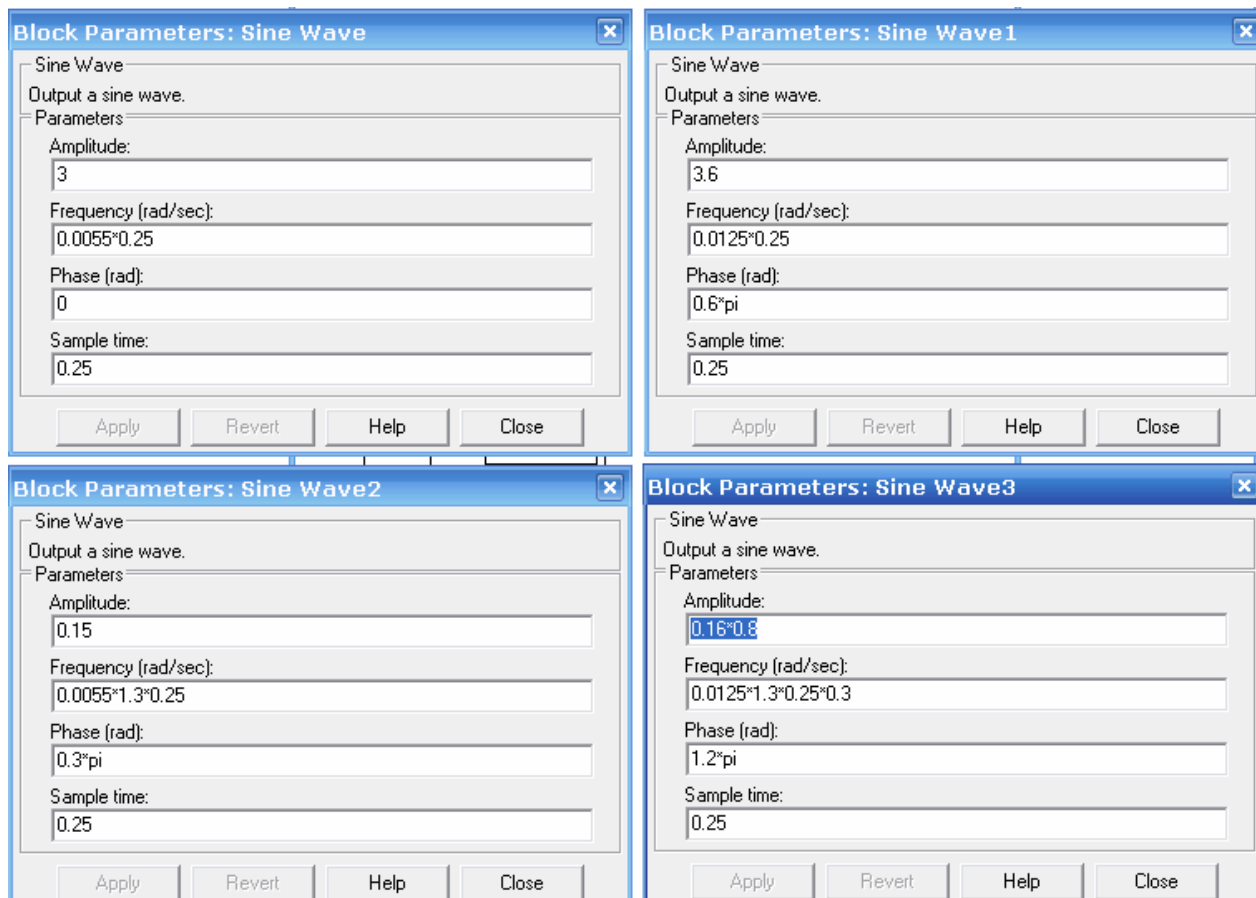


Рис. 4.12 – Параметри для налаштування гармонійних сигналів що імітують параметричні збурення

Повна модель об'єкта з координатними збуреннями, адитивними до регулюючих змінних

Для реалізації неконтрольованих збурень випадкового характеру, адитивних до регулюючих змінних, було використано блоки БВП («Random number 1», «Random Number 2»), та формуючі фільтри з передатними функціями $W^{\Phi} = \frac{71683p}{(714p+1)^2}$ та $W^{\Phi} = \frac{78274p}{(588p+1)^2}$. Для реалізації параметричних збурень було використано генератор гармонійного сигналу відповідної амплітуди та різної частоти. Схема моделювання доповненого ОК наведена на рисунку 4.13.

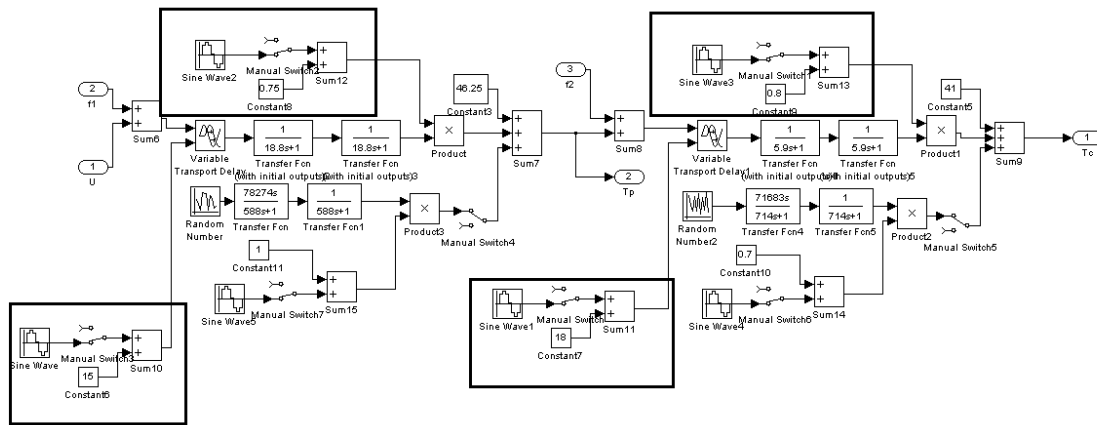


Рис. 4.13 – Схема моделювання повного об'єкту

4.4. Розробка імітаційної моделі системи гарантуючого керування (СГК)

На рис. 4.14 наведено узагальнену структурну схему СГК, а на рис. 4.15 — її реалізацію у вигляді імітаційної моделі MATLAB/Simulink.

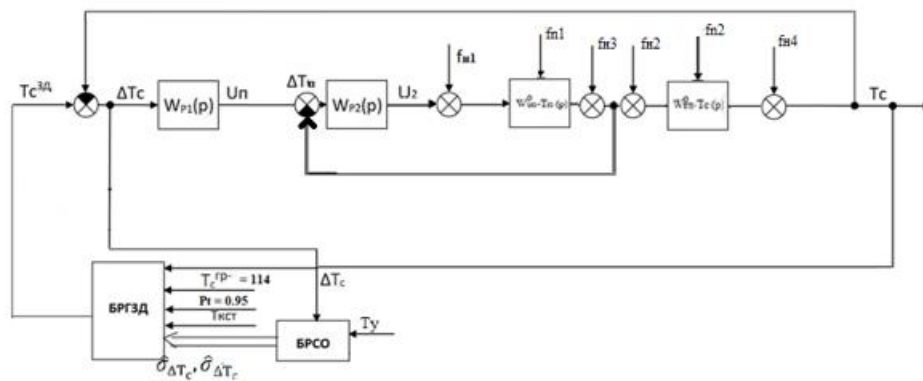


Рис. 4.14 – Структурна схема СГК процесом стерилізації томатної пасти в потоці

де $T_{сзд}$ — задане значення температури пасти після стерилізатора, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_c — помилка регулювання температури пасти після стерилізатора, $^{\circ}\text{C}$;

$W_{p1}(p)$ — передатна функція регулятора зовнішнього контуру;

$W_{p2}(p)$ — передатна функція регулятора внутрішнього контуру;

U_n — керуюча дія регулятора зовнішнього контуру;

U_2 — керуюча дія регулятора внутрішнього контуру;

T_p — температура пасти після підігрівника, $^{\circ}\text{C}$;

T_c — температура пасти після стерилізатора, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_p — помилка регулювання температури пасти після підігрівника, $^{\circ}\text{C}$;

$W_{o-Tp}(p)$ — передатна функція об'єкта керування за каналом формування температури T_p ;

$W_{Tp-Tc}(p)$ — передатна функція об'єкта керування за каналом T_p-T_c ;

$f_{n1}, f_{n2}, f_{n3}, f_{n4}$ — неконтрольовані збурення, що діють на відповідні ділянки об'єкта керування;

БРГЗД — блок розрахунку гарантованого заданого значення;

БРСО — блок розрахунку статистичних оцінок;

T_{cgr+} — верхнє граничне значення температури пасти після стерилізатора, °C;

P_t — задана ймовірність дотримання регламентного обмеження;

T_{kst} — інтервал квазістаціонарності, с;

T_u — інтервал часу для розрахунку статистичних оцінок, с;

$\sigma\Delta T_c, \sigma'\Delta T_c$ — статистичні оцінки помилки регулювання та її похідної, що використовуються для формування гарантованого заданого значення.

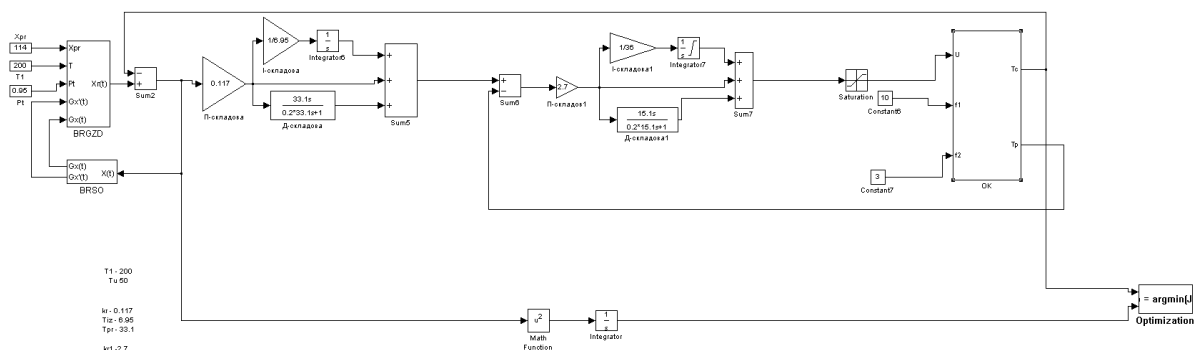


Рис. 4.15 – Схема моделювання СГК процесом стерилізації томатної пасти в потоці

Система стабілізації отримує задане значення температури стерилізації від блоку БРГЗД. Алгоритм гарантуючого керування реалізований двома блоками: БРСО та БРГЗД. У блоці БРСО на ковзному інтервалі часу розраховуються оцінка середньоквадратичного відхилення та похідної температури відповідно до формул, наведених у пункті 4.1. Ковзний інтервал часу задається як параметр налаштування системи. У блоці БРГЗД безпосередньо з урахуванням моделі порушення регламенту виконується розрахунок гранично допустимого заданого значення

температури стерилізації (п. 4.1). Розрахунок виконується на основі: граничного значення температури стерилізації – T_c^{rp+} ; заданого значення ймовірності відсутності порушення обмеження – P_t ; заданого значення інтервалу часу, на якому гарантується відсутність порушення обмеження $T_{кт}$; поточних значень оцінок ймовірнісних характеристик розрахованих у блоці БРСО та поточного значення температури. При реалізації алгоритму гарантування використовувались такі налаштування: гарантована вірогідність дотримання обмежень $P_t = 0.9$ на інтервалі часу $T_{усп} = 200$ сек, інтервал квазістаціонарності $T_{кт} = 400$ сек.

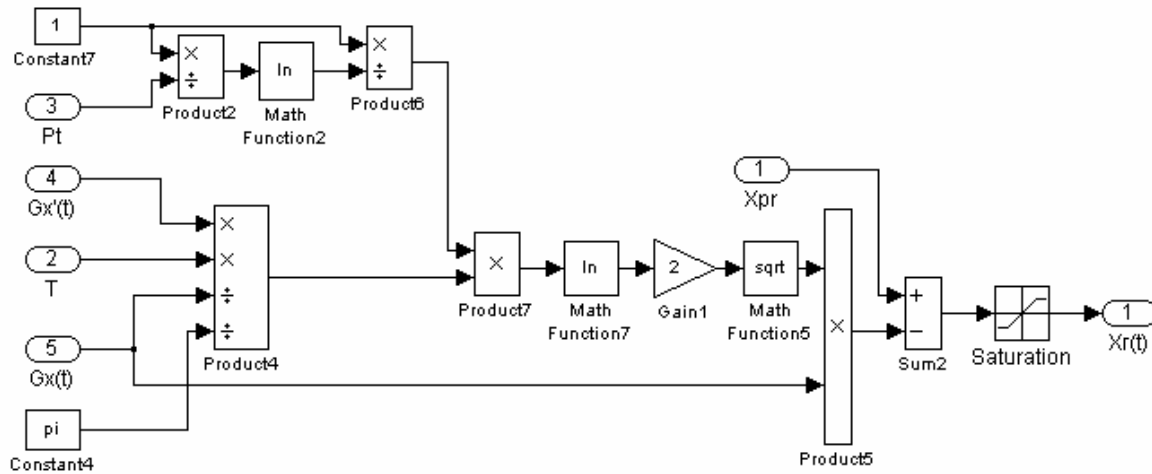


Рис. 4.16 – Вміст блоку БРГЗД

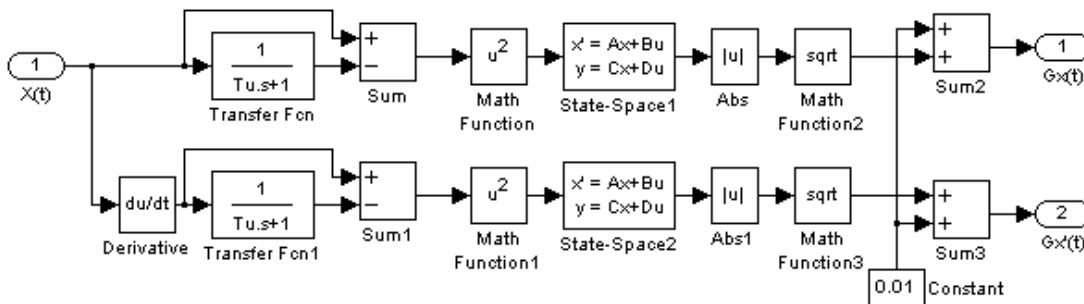


Рис. 4.17 – Вміст блоку БРСО

4.5. Моделювання та дослідження SGK процесом стерилізації томатної пасти у стерилізаторах безперервної дії

На рисунках 4.18 – 4.32 проведено моделювання та дослідження систем керування процесом стерилізації томатної пасти у стерилізаторах безперервної дії в умовах дії координатних та параметричних збурень.

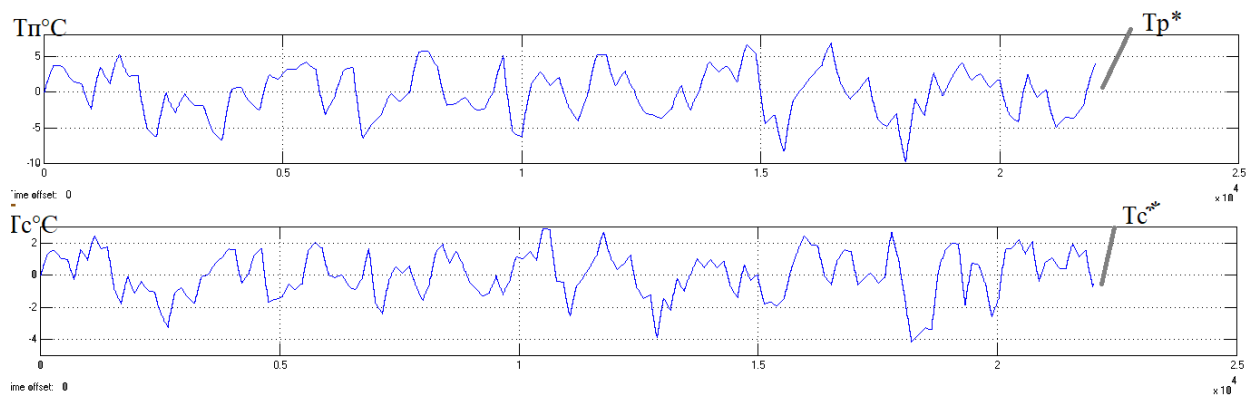


Рис. 4.18 – Результати моделювання неконтрольованих координатних збурень прикладених до температури пасти після підігрівника та після стерилізатора.

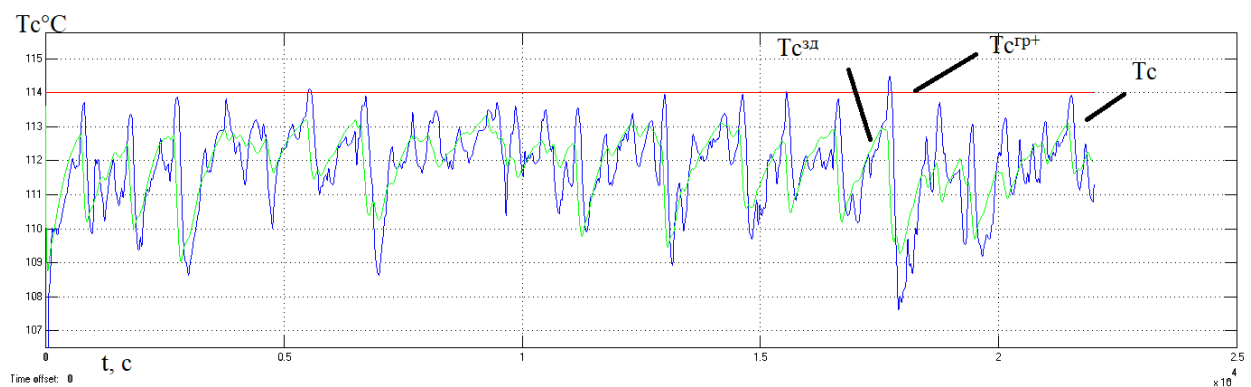


Рис. 4.19 – Результати моделювання СГК при дії неконтрольованих координатних збурень.

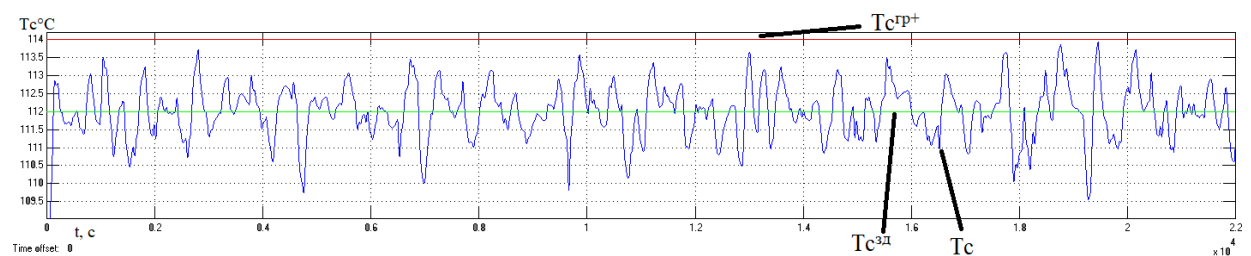


Рис. 4.20 – Результати моделювання стабілізуючої САР при дії неконтрольованих координатних збурень.

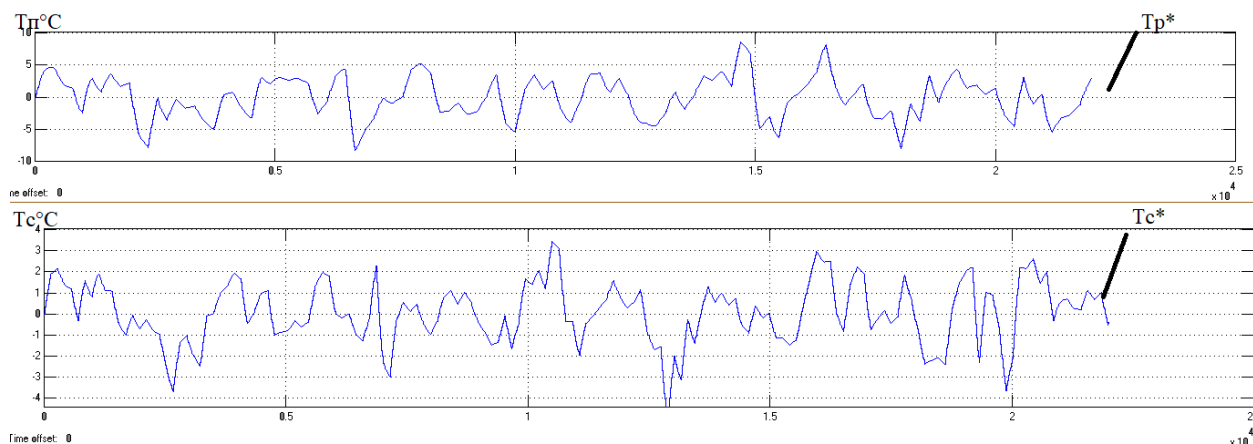


Рис. 4.21 – Результати моделювання неконтрольованих координатних збурень прикладених до температури пасти після підігрівника та після стерилізатора зі зміною дисперсії.

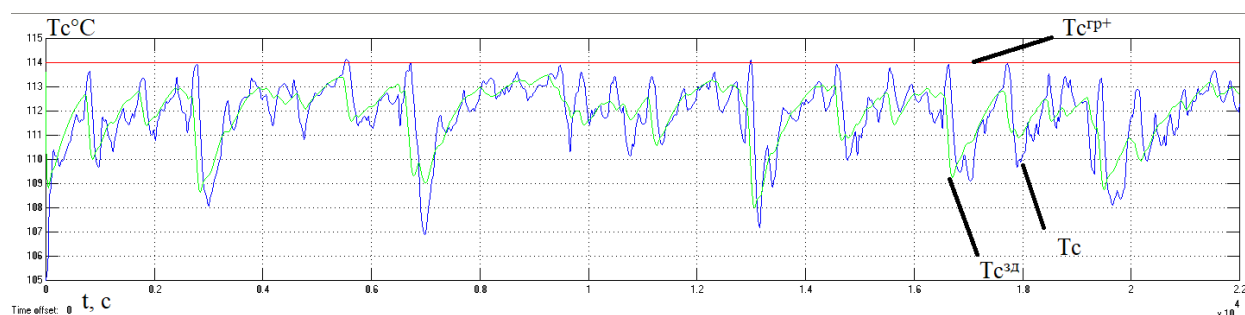


Рис. 4.22 – Результати моделювання СГК при дії неконтрольованих координатних збурень зі зміною дисперсії

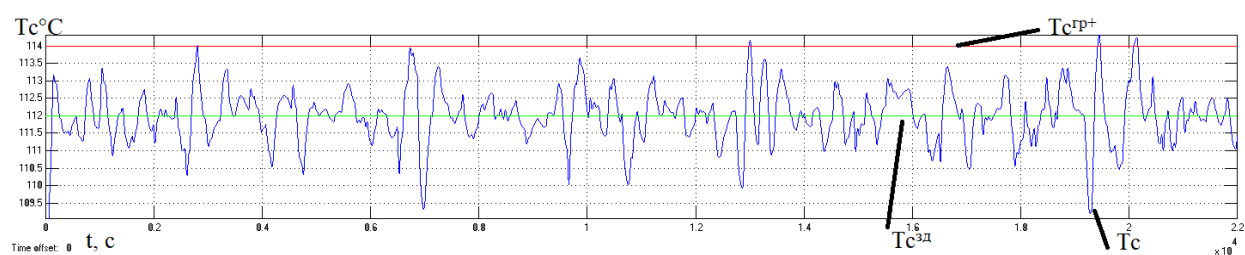


Рис. 4.23 – Результати моделювання стабілізуючої САР при дії неконтрольованих координатних збурень зі зміною дисперсії

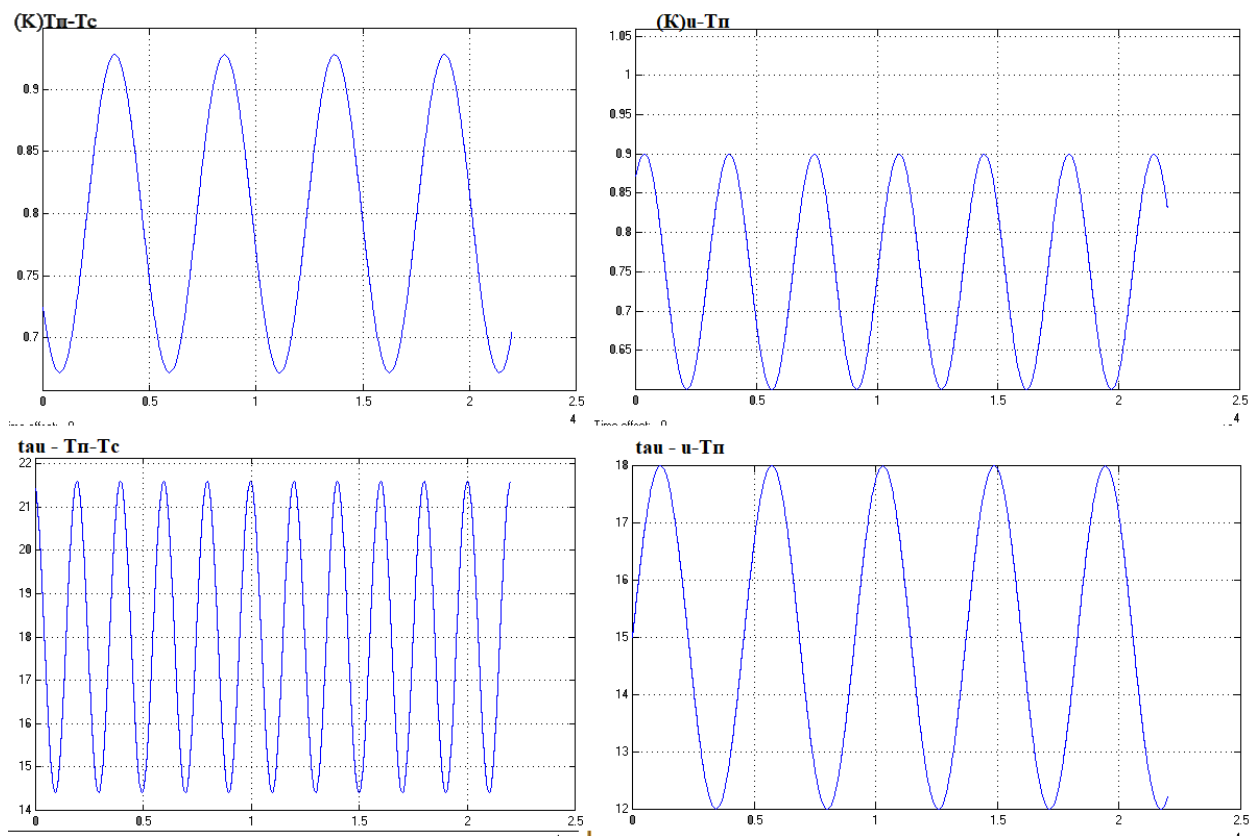


Рис. 4.24 – Результати моделювання параметричних збурень

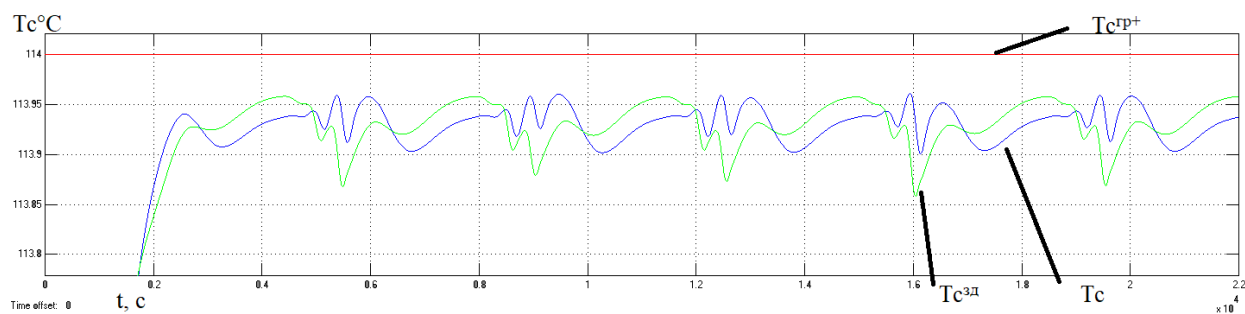


Рис. 4.25 – Результати моделювання СГК при дії параметричних збурень

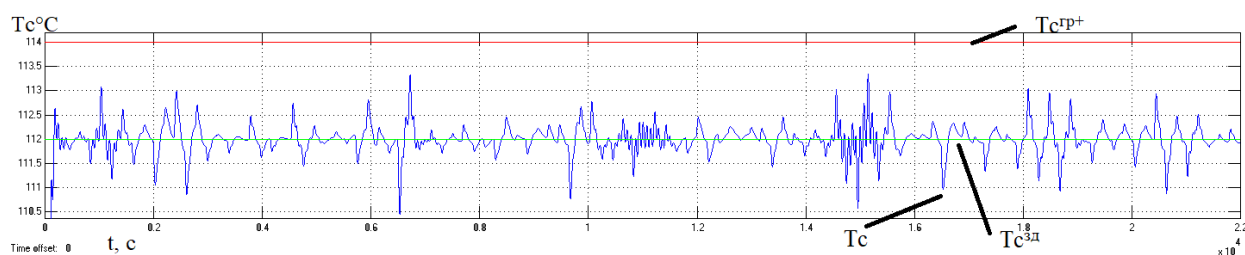


Рис. 4.26 – Результати моделювання САР при дії параметричних збурень

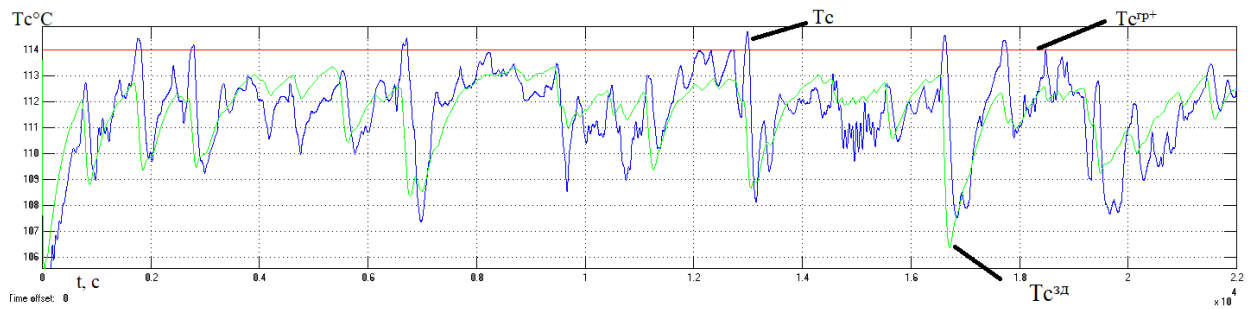


Рис. 4.27 – Результати моделювання SGK при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії

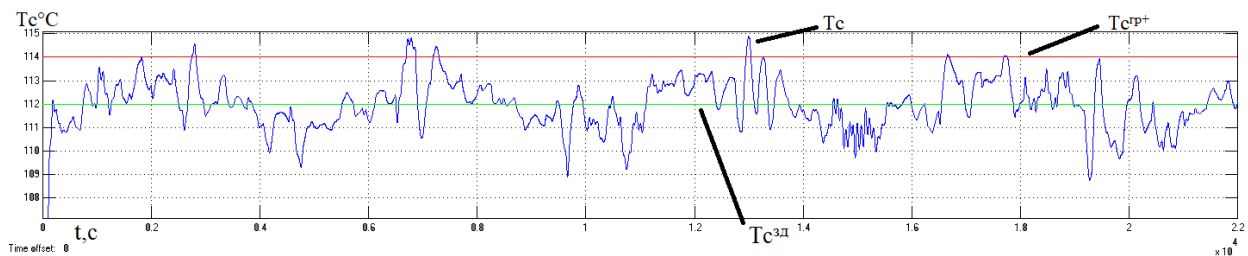


Рис. 4.28 – Результати моделювання стабілізуючої САР при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії

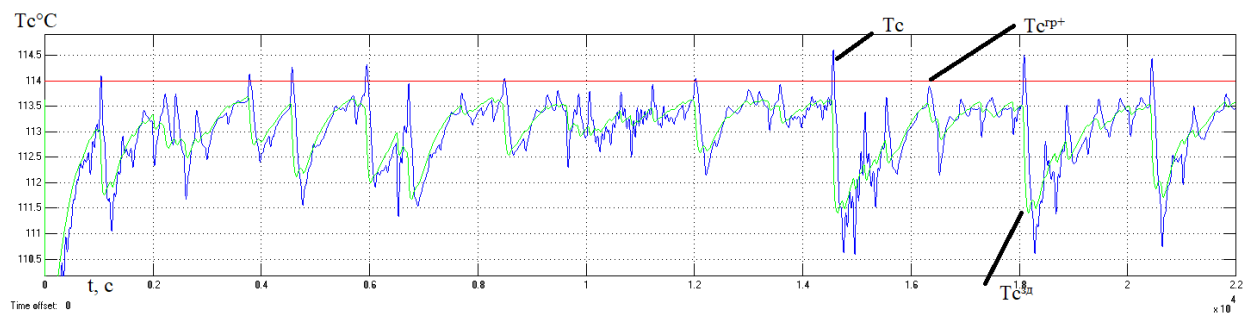


Рис. 4.29 – Результати моделювання SGK при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії за каналом u-Тп

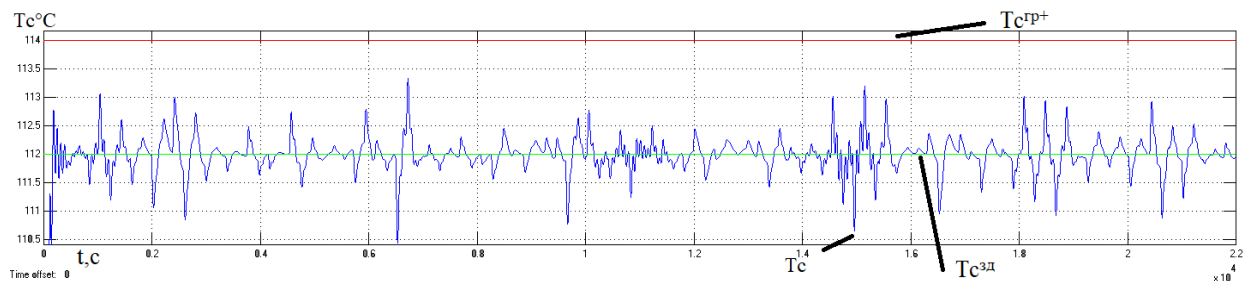


Рис. 4.30 – Результати моделювання стабілізуючої САР при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії за каналом u-Тп

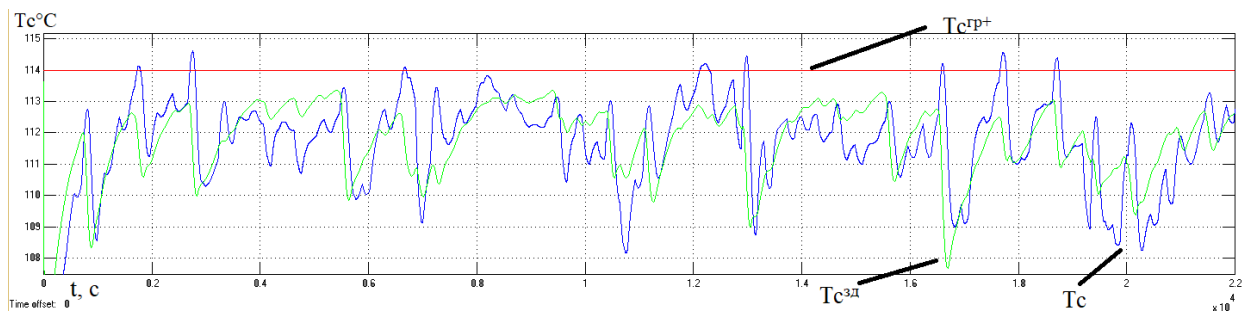


Рис. 4.31 – Результати моделювання SGK при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії за каналом Тп-Тс

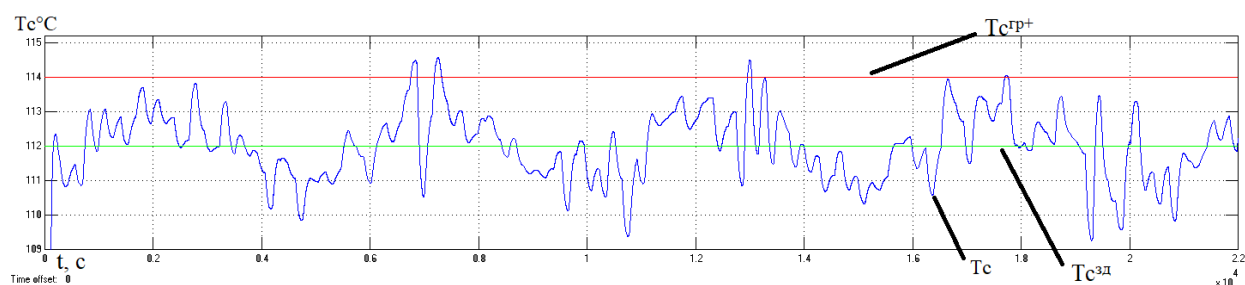


Рис. 4.32 – Результати моделювання стабілізуючої САР при дії параметричних та координатних збурень зі зміною дисперсії за каналом Тп-Тс.

З наведених експериментів видно що при деяких варіаціях дії збурень стабілізуюча САР працює на достатньо стабільному рівні. Але, при дії різної дисперсії координатних збурень робота стабілізуючої САР погіршується, тоді як SGK працює стабільніше та має менше виходів за межу, а також середнє значення температури стерилізації вище і, тим самим, ближче до оптимальних значень.

Проведемо дослідження SGK при різних ймовірностях виходу за межу ($P_t = [0.95, 0.99, 0.999]$). При $P_t = 0.9$ проводились попередні дослідження. Результати наведені на рис. 4.33 – 4.35.

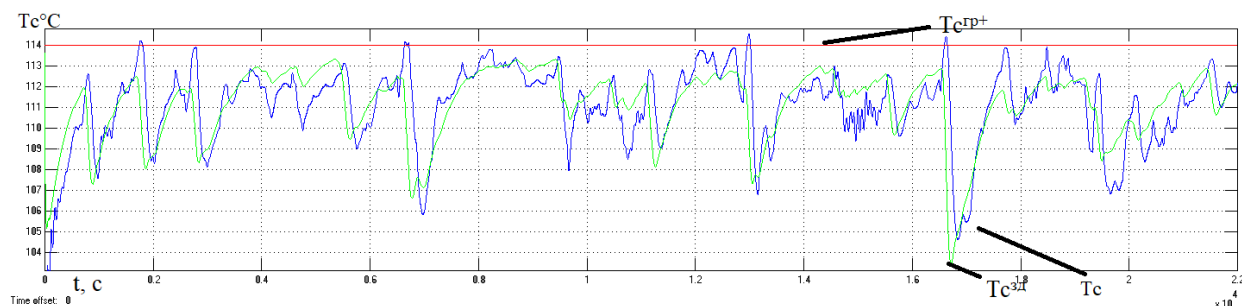


Рис. 4.33 – Результати моделювання SGK при заданій ймовірності виходу за межу $P_t=0.95$

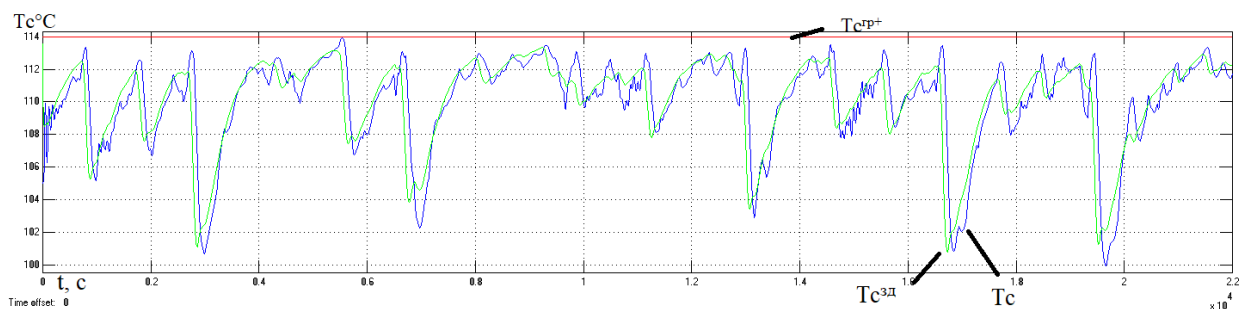


Рис. 4.34 – Результати моделювання SGK при заданій ймовірності виходу за межу $P_t=0.99$

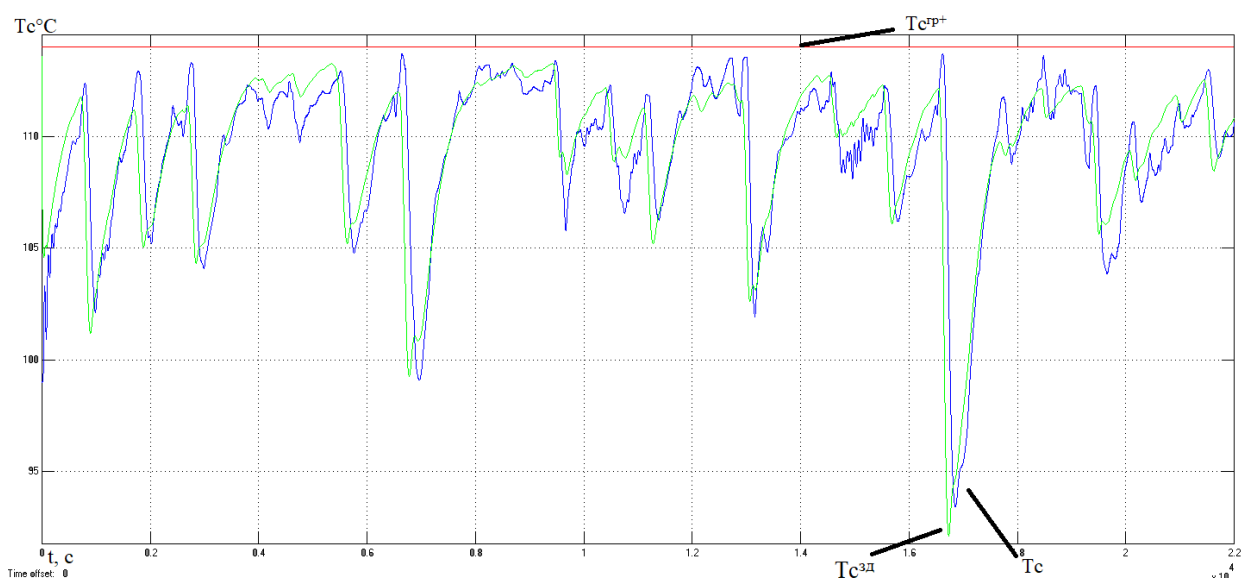


Рис. 4.35 – Результати моделювання SGK при заданій ймовірності виходу за межу $P_t=0.999$.

За результатами експериментів можна дійти висновку, що чим більше значення P_t , то тим далі система відводить задане значення температури стерилізації від граничного (межа, позначена T_c^{gr+}). При зниженні значення P_t , частіше спостерігаються виходи за граничне значення.

4.6. Висновки за розділом 4:

У четвертому розділі було виконано вдосконалення системи автоматичного регулювання процесу стерилізації томатної пасти на основі розширення її функціональної структури. Обґрунтовано доцільність введення до складу САР додаткової функції гарантуючого керування, призначеної для забезпечення дотримання технологічного регламенту в умовах дії випадкових координатних і параметричних збурень.

У процесі дослідження було модернізовано математичну модель об'єкта керування шляхом введення неконтрольованих координатних збурень, адитивних до температури пасти після підігрівника та після стерилізатора, а також параметричних збурень, що імітують зміну коефіцієнтів передачі та часів запізнення в каналах регулювання. Це дозволило наблизити імітаційну модель до реальних умов функціонування технологічного процесу.

Розроблена система гарантуючого керування реалізує корекцію заданого значення температури стерилізації на основі поточних оцінок імовірнісних характеристик процесу. Для цього в структурі САК використано блок розрахунку статистичних оцінок та блок формування гарантованого заданого значення. Такий підхід дає змогу підтримувати температуру стерилізації поблизу регламентної межі без її порушення із заданою ймовірністю.

Результати імітаційного моделювання показали, що за умов дії координатних і параметричних збурень система гарантуючого керування працює стабільніше порівняно з базовою стабілізуючою САР. Зокрема, СГК забезпечує меншу кількість виходів регульованої координати за допустиму межу та дозволяє підтримувати температуру стерилізації ближче до оптимального регламентного значення.

Порівняння роботи СГК за різних значень заданої ймовірності дотримання обмеження показало, що зі збільшенням значення P_t система формує більш обережний режим керування та відводить задане значення температури далі від граничного рівня. Це зменшує ймовірність порушення регламенту, але водночас може збільшувати запас за температурою. При зменшенні P_t система працює ближче до граничного значення, однак частіше спостерігаються виходи за допустиму межу.

У розділі підтверджено ефективність застосування системи гарантуючого керування для процесу стерилізації томатної пасти. На відміну від звичайної стабілізуючої САР, запропонована СГК враховує випадковий характер збурень і дозволяє забезпечити дотримання технологічного регламенту із заданою ймовірністю. Це робить її доцільною для подальшого використання в автоматизованій системі керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці.

РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ САК НА КОНТРОЛЕРІ, ЇХ ТЕСТУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ

5.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок

У попередніх розділах роботи було виконано аналіз процесу стерилізації томатної пасти в потоці як об'єкта автоматичного керування, розроблено математичні моделі об'єкта, синтезовано САК підвищеної динамічної точності, досліджено нейромережевий регулятор та систему гарантуючого керування температурою стерилізації. Результати імітаційного моделювання показали доцільність застосування складніших алгоритмів керування порівняно з базовою стабілізуючою САР, оскільки вони дозволяють підвищити якість регулювання і забезпечити ведення процесу поблизу регламентної межі без її порушення.

Наступним етапом є підготовка розроблених алгоритмів до практичної реалізації на промисловому програмованому логічному контролері. Особливість цього етапу полягає в тому, що запропоновані алгоритми мають складнішу структуру, ніж звичайний ПД-регулятор. До їх складу входять блоки розрахунку статистичних оцінок, блоки формування гарантованого заданого значення, цифрові регулятори, модулі обмеження сигналів, нейромережеві перетворювачі та логіка вибору режиму керування. Тому ручне програмування таких алгоритмів у середовищі контролера є трудомістким і підвищує ймовірність помилок.

Для реалізації САК процесом стерилізації томатної пасти в потоці прийнято використати програмно-технічну структуру на базі контролера Siemens SIMATIC S7-300. Така структура є придатною для задач автоматизації технологічних процесів середньої складності, оскільки забезпечує обробку аналогових і дискретних сигналів, реалізацію циклічних алгоритмів регулювання, взаємодію з операторським інтерфейсом та можливість подальшого розширення програмних функцій.

До складу мікропроцесорного ядра системи керування входять блок живлення Siemens PS 307, центральний процесор CPU 313C-2DP, модуль

аналогового введення SM 331, модуль аналогового виведення SM 332, дискретні канали введення-виведення та засоби зв'язку з операторською станцією. Такий склад технічних засобів дозволяє реалізувати як базові функції керування технологічним обладнанням, так і додаткові алгоритми гарантуючого та нейромережевого керування.

Склад основних вхідних та вихідних сигналів САК процесом стерилізації томатної пасти в потоці наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вхідні та вихідні сигнали САК процесом стерилізації томатної пасти в потоці

№ пп	Найменування параметру	Умове позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позначення на схемі
1	Температура на виході з стерилізатора	T1	A	I	(0-20 мА)	AI1
2	Температура на виході з збірника-підігрівача	T2	A	I	(0-20 мА)	AI2
3	Управляюча дія подачі пари	U ₁	A	O	(0-20мА)	AO1
4	Кнопка «Пуск»	П1	D	I	«сухий контакт»	DI1
5	Кнопка «Стоп»	C2	D	I	«сухий контакт»	DI2
6	Сигнал аварійної тривоги	A	D	I	«сухий контакт»	DI3
7	Сигнал наявності продукту	Fp	D	I	«сухий контакт»	DI4
8	Сигнал тиску пари	P _{p1}	D	I	«сухий контакт»	DI5
9	Сигнал тиску пари	P _{p2}	D	I	«сухий контакт»	DI6
10	Сигнал управління насосом Н1	H1	D	O	«сухий контакт»	DO1
11	Сигнал управління засувкою К1	H1	D	O	«сухий контакт»	DO2
12	Сигнал управління засувкою К2	H1	D	O	«сухий контакт»	DO3
13	Сигнал управління засувкою К3	H1	D	O	«сухий контакт»	DO4
14	Сигнал управління засувкою К4	H1	D	O	«сухий контакт»	DO5
15	Сигнал управління засувкою К5	H1	D	O	«сухий контакт»	DO6

Основною регульованою величиною є температура томатної пасти після стерилізатора T_c. Саме цей параметр визначає відповідність процесу стерилізації технологічному регламенту. Температура томатної пасти після підігрівника T_п використовується як проміжна координата, що дозволяє реалізувати САК підвищеної динамічної точності. Керуючою дією є положення регулюючого органа подачі пари U_п, за рахунок зміни якого формується тепловий вплив на продукт.

Контролери сімейства S7-300 призначені для вирішення задач автоматизації технологічних процесів дрібного та середнього рівня складності. Їх використання є доцільним для даної системи з таких причин:

- наявність різних модулів центрального процесора та модулів розширення дозволяє підібрати склад апаратури відповідно до потреб конкретного технологічного процесу;
- підтримка аналогових і дискретних каналів введення-виведення забезпечує підключення датчиків температури, сигналів стану обладнання та виконавчих механізмів;
- можливість циклічного виконання програмних блоків дозволяє реалізувати цифрові алгоритми регулювання з фіксованим кроком дискретизації;
- підтримка середовища SIMATIC STEP 7 дає змогу інтегрувати в проект програмні модулі, отримані шляхом генерації SCL-коду з моделей MATLAB/Simulink;
- наявність засобів зв'язку з HMI/SCADA дозволяє організувати операторський контроль, налаштування параметрів алгоритмів і відображення результатів роботи САК.

Блок живлення Siemens PS 307 забезпечує живлення контролера та модулів введення-виведення стабілізованою напругою 24 В постійного струму.



Рис. 5.1 – блок живлення Siemens PS 307

Центральний процесор CPU 313C-2DP виконує основну програму керування, обробляє сигнали введення-виведення, здійснює виклик функціональних блоків регулювання, логіко-програмного керування та обміну даними з операторським інтерфейсом.



Рис. 5.2 – центральний процесор Siemens CPU 313C-2DP

Модуль аналогового введення SM 331 використовується для введення сигналів від вимірювальних перетворювачів температури. У програмі контролера ці сигнали масштабуються у фізичні значення температури T_p і T_s , після чого використовуються в алгоритмах ПД-регулювання, гарантуючого керування та нейромережевого керування.

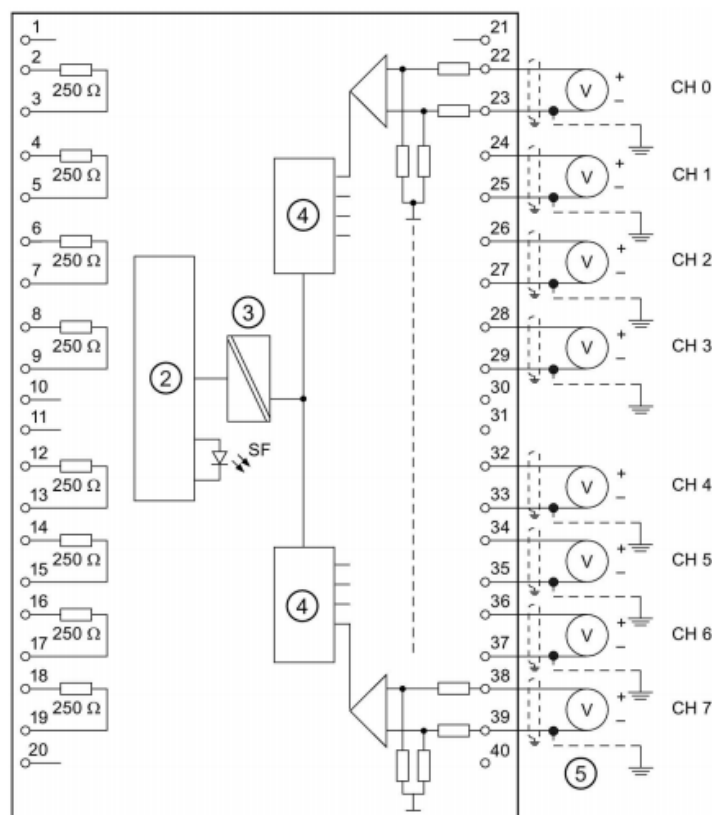


Рис. 5.3 – модуль аналогового введення SM 331

Модуль аналогового виведення SM 332 використовується для формування керуючого сигналу U_p на регулюючий орган подачі пари. На його виході формується уніфікований аналоговий сигнал, що відповідає розрахованому значенню керуючої дії.

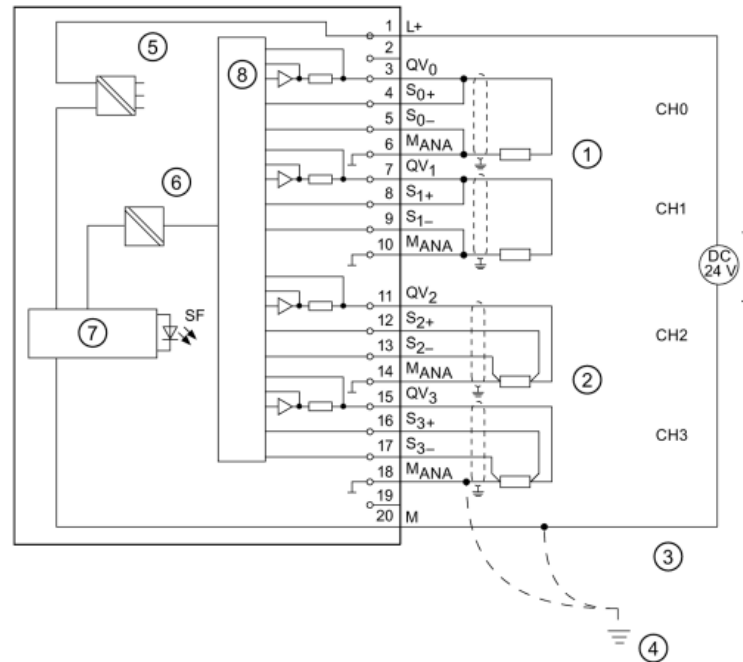


Рис. 5.4 – модуль аналогового виведення SM 332

Загальний вигляд технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці наведено на рис. 5.5.

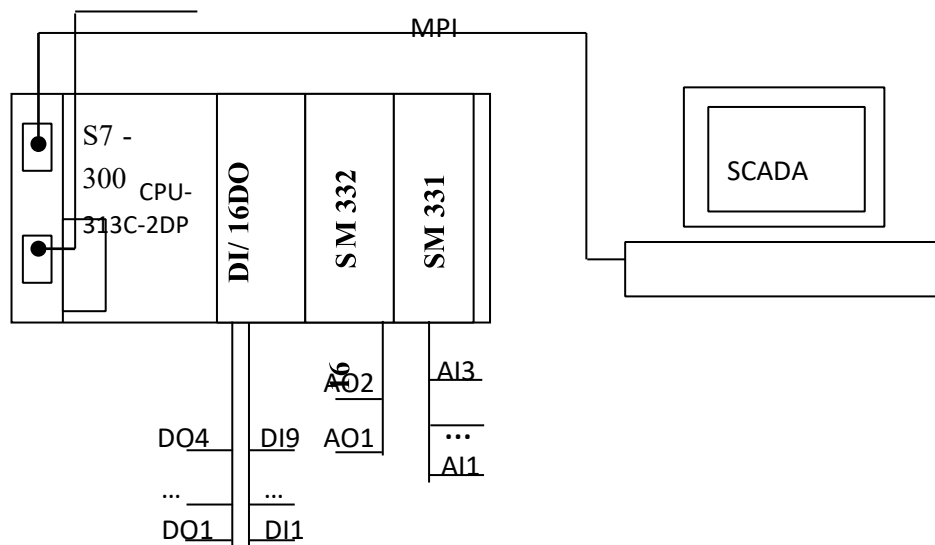


Рис. 5.5 – схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці

Технічна структура САК дозволяє реалізувати нові алгоритмічні функції без істотного розширення апаратної частини. Алгоритм гарантуючого керування, блоки БРГЗД і БРСО, а також нейрорегулятор реалізуються програмно. Для їх впровадження не потрібно додавати нові канали введення-виведення, оскільки вони використовують ті самі вимірювані координати T_c і T_p та ту саму керуючу дію U_p . Тому модернізація системи полягає переважно в розробці, конвертації та інтеграції нового прикладного програмного забезпечення в проект контролера.

Основними задачами розвитку програмно-технічної структури є:

- підготовка розроблених у MATLAB/Simulink алгоритмів до реалізації на контролері;
- цифрова реалізація ПД-регуляторів, блоків БРГЗД, БРСО та нейрорегулятора;
- генерація SCL-коду засобами Simulink PLC Coder;
- імпорт отриманих програмних модулів у середовище SIMATIC STEP 7;
- інтеграція конвертованих блоків у функціональний блок САК;
- організація циклічного виклику алгоритмів регулювання з фіксованим кроком дискретизації;
- підключення параметрів алгоритмів до HMI для контролю, налаштування та тестування;
- перевірка працездатності отриманих програмних модулів у режимі імітації роботи контролера.

5.2 Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування

Прикладне програмне забезпечення, що реалізує розроблені алгоритми керування, може бути створене безпосередньо у середовищі SIMATIC STEP 7 з використанням стандартних мов програмування контролерів. Проте для цього необхідно вручну перевести алгоритми, розроблені у MATLAB/Simulink, у цифрову форму, визначити структуру програмних змінних, описати обчислювальні процедури, реалізувати блоки пам'яті, обмеження, нелінійні перетворення та перевірити відповідність отриманого коду вихідній моделі.

Такий підхід є достатньо трудомістким, особливо для алгоритмів гарантуючого керування та нейрорегулятора. У цих алгоритмах використовуються не лише стандартні операції регулювання, а й розрахунок статистичних оцінок на ковзному інтервалі часу, формування гарантованого заданого значення, робота з імовірнісними характеристиками процесу та реалізація структури штучної нейронної мережі. Через це при ручному програмуванні зростає ризик помилок у формулах, масштабуванні сигналів, типах даних і послідовності виконання операцій.

Альтернативним підходом є автоматизована конвертація алгоритмів із середовища MATLAB/Simulink у програмний код для контролера. У даній роботі для цього використовується пакет Simulink PLC Coder з бібліотекою функціональних блоків PLCLib. Такий підхід дозволяє отримати SCL-код, який відповідає структурі перевіреної імітаційної моделі, і надалі інтегрувати його в проект Siemens SIMATIC STEP 7.

Для програмної реалізації розроблених алгоритмів у середовищі Simulink виконується цифрова реалізація основних функціональних блоків САК. До складу моделі входять цифровий ПД-регулятор, блок розрахунку гарантованого заданого значення БРГЗД, блок розрахунку статистичних оцінок БРСО, модель об'єкта керування, нейромережевий регулятор, а також блоки формування завдання, обмеження та вибору режиму керування.

Отримана модель САК процесом стерилізації томатної пасти в потоці з цифровими алгоритмами керування, підготовленими до конвертації, наведена на рис. 5.6.

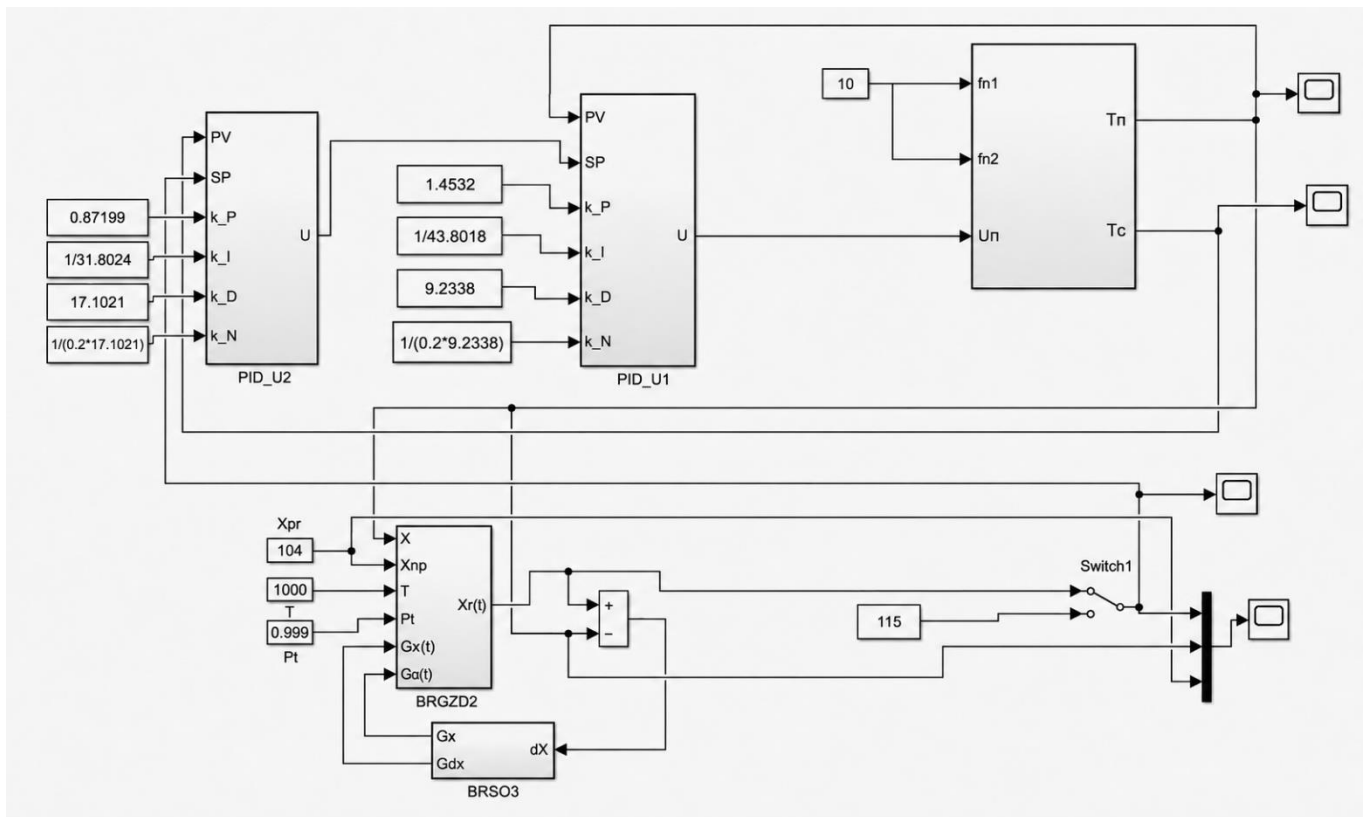


Рис. 5.6 – схема моделювання САК процесом стерилізації томатної пасти в потоці з цифровими алгоритмами керування, підготовленими до конвертації

У цій схемі реалізовано каскадну структуру регулювання з двома цифровими ПІД-регуляторами. Зовнішній контур працює за температурою пасти після стерилізатора T_c , яка є основною регульованою величиною. Внутрішній контур використовує проміжну координату T_n — температуру пасти після підігрівника. Така структура дозволяє швидше реагувати на зміну теплового режиму об'єкта, оскільки проміжна температура T_n змінюється раніше, ніж кінцева температура після стерилізатора T_c .

Параметри регуляторів у моделі задані окремими вхідними блоками. Для зовнішнього контуру прийнято такі налаштування:

$$K_{r1} = 0,87199;$$

$$T_{iz1} = 31,8024;$$

$$T_{pr1} = 17,1021.$$

Для внутрішнього контуру прийнято такі налаштування:

$$K_{r2} = 1,4532;$$

$$T_{iz2} = 43,8018;$$

$T_{pr2} = 9,2338$.

У цифровій реалізації ці параметри подаються на входи відповідних ПІД-блоків у вигляді коефіцієнта пропорційної складової, оберненого значення сталої інтегрування, сталої диференціювання та коефіцієнта фільтрації диференціальної складової.

На рис. 5.7 наведено схему цифрового ПІД-регулятора, який використовується у складі системи керування.

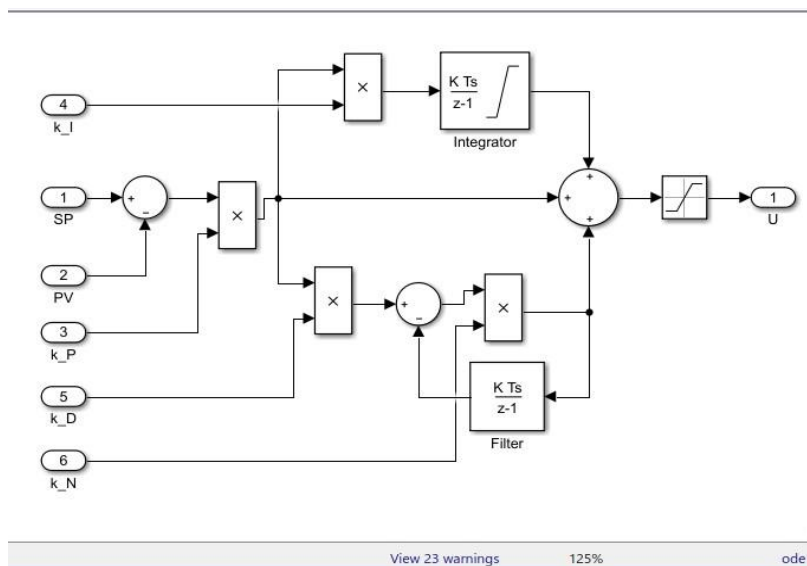


Рис. 5.7 – схема цифрового ПІД-регулятора

Алгоритм гарантуючого керування реалізується за допомогою двох основних блоків: БРГЗД та БРСО. Блок БРГЗД виконує розрахунок гарантованого заданого значення температури стерилізації. На його входи подаються поточне значення регульованої змінної, граничне значення температури, задана ймовірність дотримання регламенту, інтервал квазістаціонарності та статистичні оцінки, отримані з блоку БРСО.

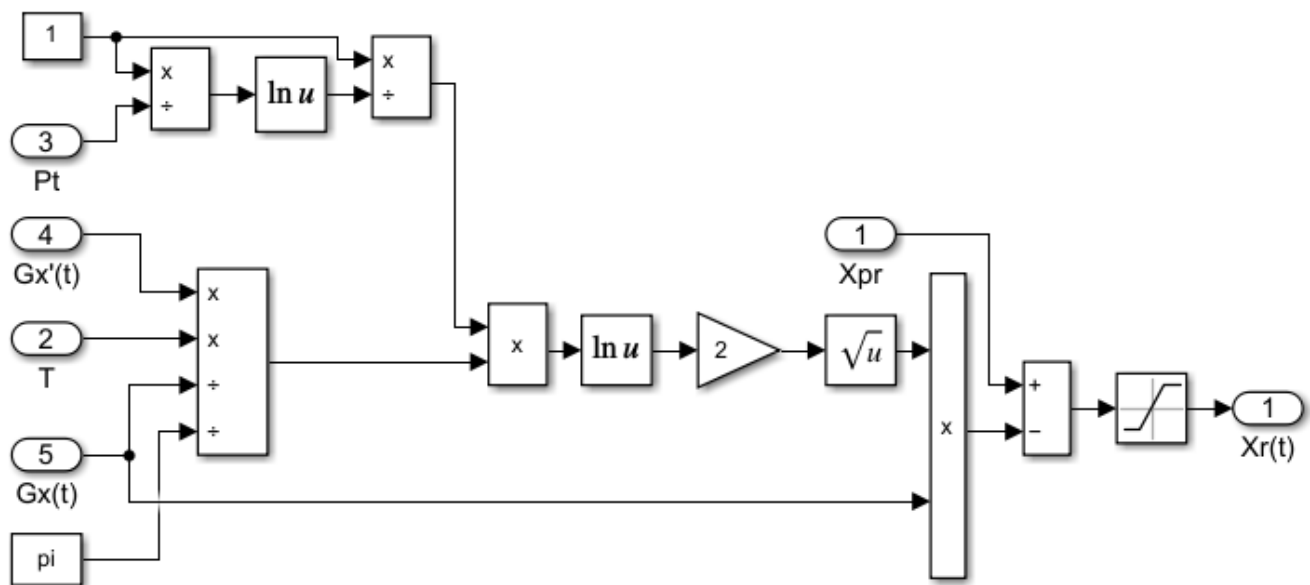


Рис. 5.8 – схема блока BRGZD: БРГЗД – блок розрахунку гарантованого заданого значення

Блок БРСО виконує розрахунок статистичних оцінок на ковзному інтервалі часу. Його призначення полягає в оцінюванні характеристик зміни температури пасти після стерилізатора T_s , які необхідні для формування гарантованого заданого значення. На основі цих оцінок система може визначати, наскільки близько до регламентної межі можна підтримувати температуру без перевищення допустимого ризику порушення.

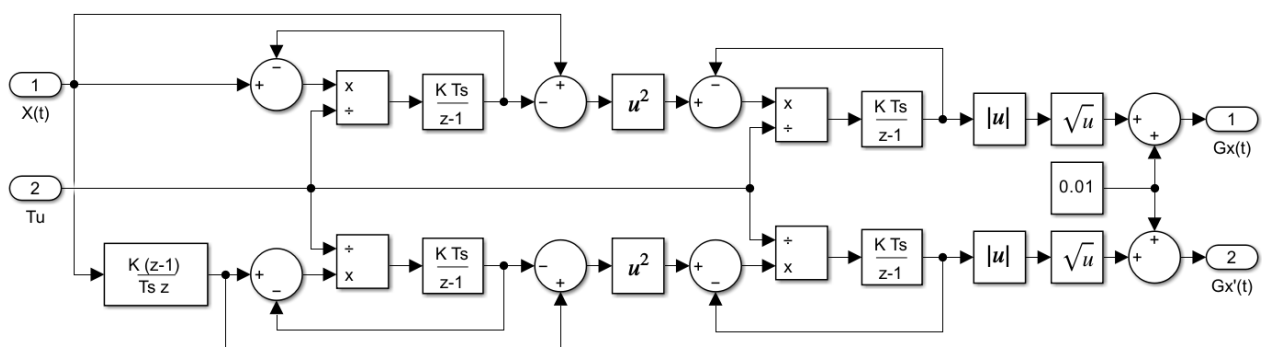


Рис. 5.9 – схема блока BRSO: БРСО – блок розрахунку статистичних оцінок на ковзному інтервалі часу

На рис. 5.10 наведено схему моделювання фрагмента об'єкта керування. У цій моделі відтворюється динаміка каналу керування процесом стерилізації

томатної пасти, зокрема зв'язок між керуючою дією U_p , проміжною температурою T_p і температурою пасти після стерилізатора T_c .

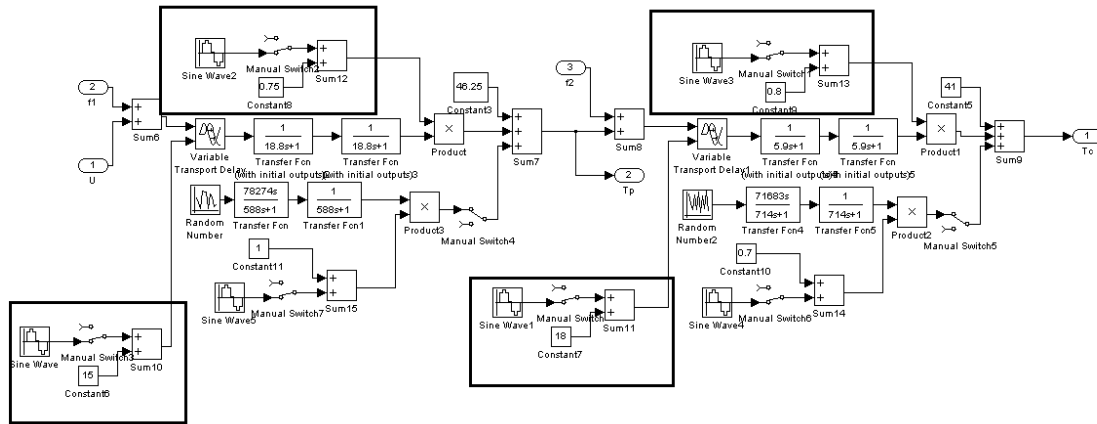


Рис. 5.10 – схема моделювання фрагмента об'єкта керування процесом стерилізації томатної пасти

Результати моделювання системи керування при використанні цифрових алгоритмів, підготовлених до конвертації, наведені на рис. 5.11.

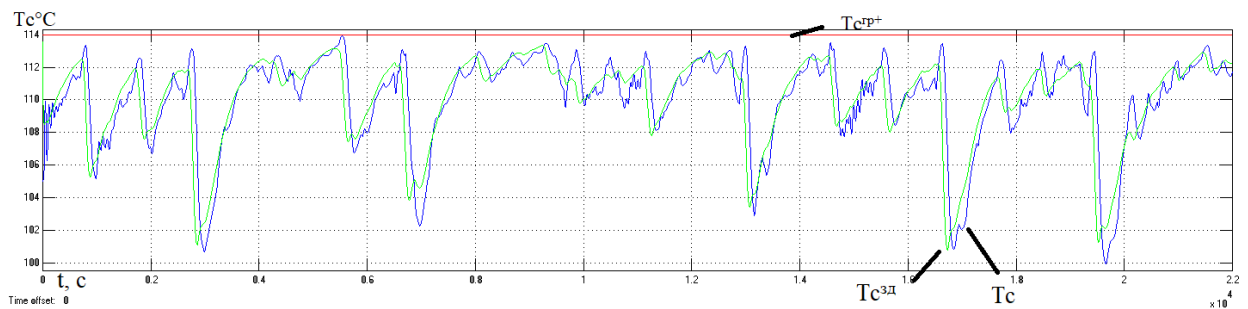


Рис. 5.11 – результати моделювання системи гарантуючого керування за каналом регулювання температури стерилізації томатної пасти

Для кожної підсистеми, яка буде конвертуватися у мову SCL середовища STEP 7, виконується попереднє налаштування. Підсистема має бути оформлена як окремий атомарний блок. Для цього у параметрах підсистеми активується режим Treat as atomic unit. Це дозволяє Simulink PLC Coder розглядати її як самостійний функціональний модуль, для якого може бути сформований окремий програмний код.

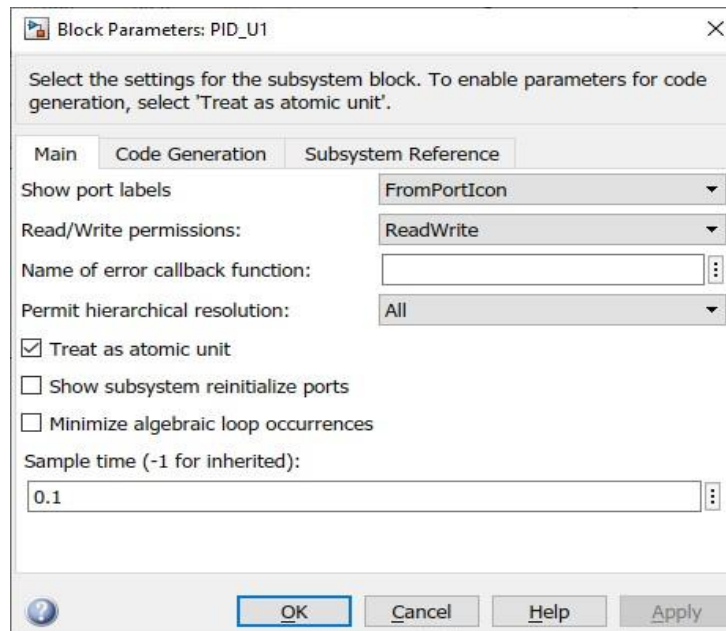


Рис. 5.12 – вікно налаштування параметрів підсистем для їх конвертації

Пакет Simulink PLC Coder налаштовується для генерації програмного коду у середовище Siemens SIMATIC STEP 7. У налаштуваннях задається цільове середовище Target IDE, мова генерованого коду SCL, параметри формування функціонального блока та особливості представлення змінних.

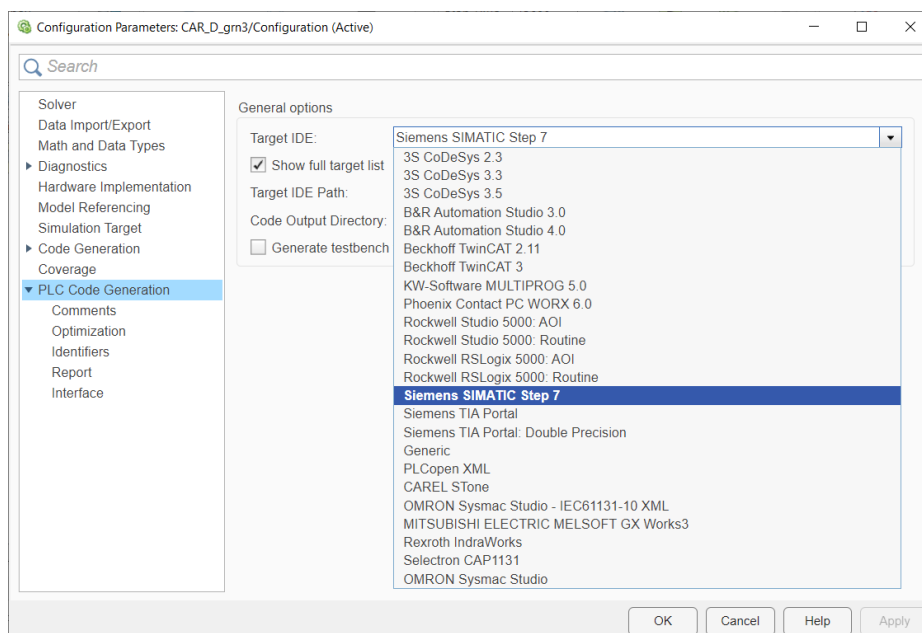


Рис. 5.13 – вікно налаштування пакета Simulink PLC Coder

Далі послідовно виконується генерація програмного коду для цифрового ПД-регулятора, блоків системи гарантуючого керування БРГЗД і БРСО, а також

нейромережевого регулятора. На рис. 5.14 та 5.15 наведено процедуру генерації коду для ПД-регулятора.

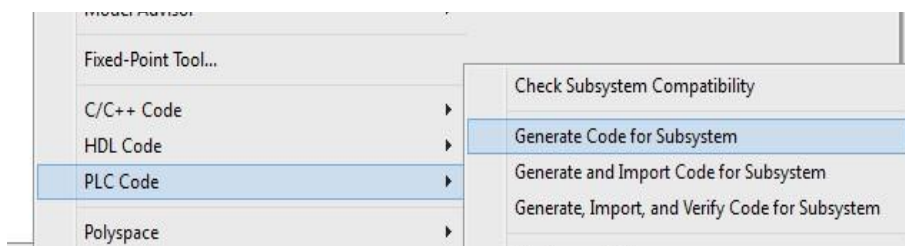


Рис. 5.14 – компіляція коду

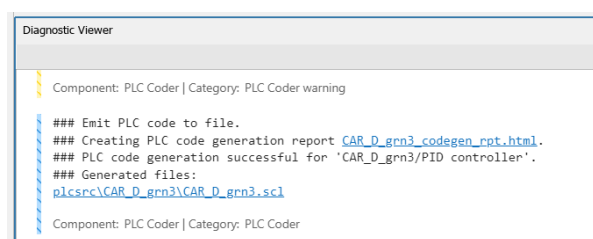


Рис. 5.15 – результати успішної генерації коду ПД-регулятора для середовища SIMATIC STEP 7 5.4

На рис. 5.16, 5.17 та 5.18 наведено приклади вихідного генерованого коду мовою SCL для блоків ПД-регулятора, БРГЗД та БРСО відповідно. Повний список вихідних кодів конвертованих блоків наведено у додатку А.

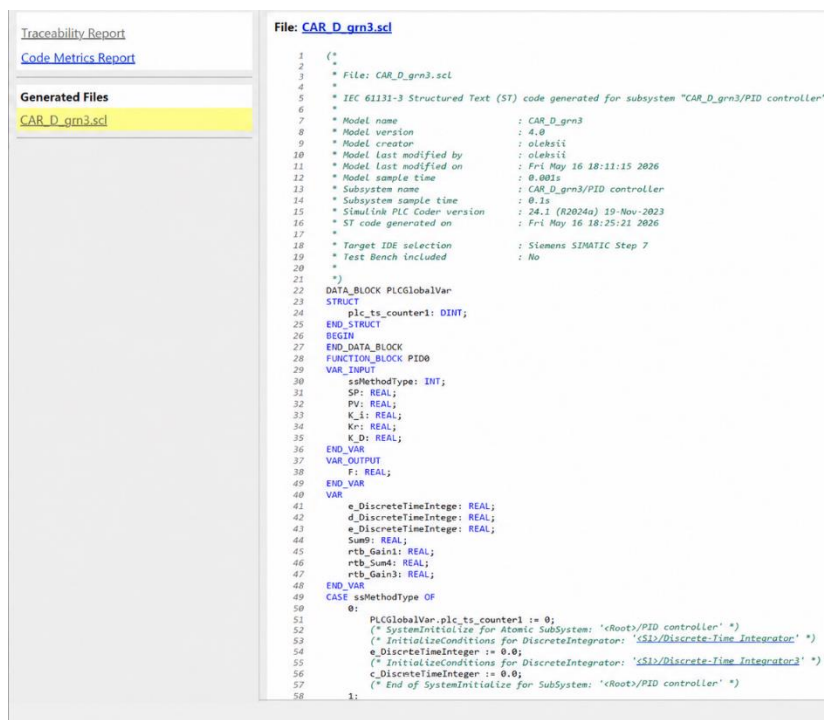


Рис. 5.16 – приклад генерованого коду ПД-регулятора для середовища програмування STEP 7

```

12 * Model sample time : 0.001s
13 * Subsystem name : CAR_D_grn3/BRGZD1
14 * Subsystem sample time : 1s
15 * Simulink PLC Coder version : 24.1 (R2024a) 19-Nov-2023
16 * ST code generated on : Fri May 15 18:13:28 2026
17 *
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *
21 *)
22 FUNCTION_BLOCK BRGZD1
23 VAR_INPUT
24 Xpr: REAL;
25 T: REAL;
26 Pt: REAL;
27 Gxt: REAL;
28 Gxt_i: REAL;
29 END_VAR
30 VAR_OUTPUT
31 Xrt: REAL;
32 END_VAR
33 VAR
34 temp1: REAL;
35 temp2: REAL;
36 END_VAR
37 (* Outputs for Atomic SubSystem: '<Root>/BRGZD1' *)
38 (* Sum: '<S1>/Sum2' incorporates:
39 * Constant: '<S1>/Constant4'
40 * Constant: '<S1>/Constant2'
41 * Gain: '<S1>/Gain1'
42 * Math: '<S1>/Math_Function2'
43 * Math: '<S1>/Math_Function2'
44 * Product: '<S1>/Product2'
45 * Product: '<S1>/Product4'
46 * Product: '<S1>/Product5'
47 * Product: '<S1>/Product6'
48 * Product: '<S1>/Product2'
49 * Sqrt: '<S1>/Sqrt'
50 *
51 * About '<S1>/Math_Function2':
52 * Operator: Log
53 *
54 * About '<S1>/Math_Function2':
55 * Operator: Log *)
56 temp1 := LN(1.0 / Pt);
57 temp2 := LN(((Gxt * T) / Gxt_i) / 3.1415926535897931) * (1.0 / temp1);
58 Xrt := Xpr - (SQRT(temp2 * 2.0) * Gxt_i);
59 (* Saturate: '<S1>/Saturation' *)
60 IF Xrt > 600.0 THEN
61 (* Output: '<Root>/Xr(t)' *)
62 Xrt := 600.0;
63 ELSEIF Xrt < 500.0 THEN
64 (* Output: '<Root>/Xr(t)' *)
65 Xrt := 500.0;
66 END_IF;
67 (* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)
68 (* End of Outputs for SubSystem: '<Root>/BRGZD1' *)
69 END_FUNCTION_BLOCK
70

```

Рис. 5.17 – приклад генерованого коду БРГЗД для середовища програмування STEP 7

```

1 (*
2 *
3 * File: CAR_D_grn3.scl
4 *
5 * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "CAR_D_grn3/BRSO"
6 *
7 * Model name : CAR_D_grn3
8 * Model version : 4.0
9 * Model creator : oleksii
10 * Model last modified by : oleksii
11 * Model last modified on : Fri May 15 18:11:15 2026
12 * Model sample time : 0.001s
13 * Subsystem name : CAR_D_grn3/BRSO
14 * Subsystem sample time : 1s
15 * Simulink PLC Coder version : 24.1 (R2024a) 19-Nov-2023
16 * ST code generated on : Fri May 15 18:20:27 2026
17 *
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *
21 *)
22 FUNCTION_BLOCK BRSO
23 VAR_INPUT
24 ssMethodType: INT;
25 Xt: REAL;
26 Tu: REAL;
27 END_VAR
28 VAR_OUTPUT
29 Gxt_d: REAL;
30 END_VAR
31 END_VAR
32 VAR
33 c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
34 d_DiscreteTimeIntegr: REAL;
35 e_DiscreteTimeIntegr: REAL;
36 f_DiscreteTimeIntegr: REAL;
37 UD_0STATE: REAL;
38 rtb_Diff: REAL;
39 rtb_Sqrt: REAL;
40 rtb_Sqrt1: REAL;
41 rtb_Sum6_tmp: REAL;
42 temp1: REAL;
43 temp2: REAL;
44 END_VAR
45 CASE ssMethodType OF
46 0:
47 (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: '<Root>/BRSO' *)
48 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time_Integrator'
49 c_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
50 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time_Integrator'
51 d_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
52 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time_Integrator'
53 e_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
54 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time_Integrator'
55 f_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
56 (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'

```

Рис. 5.18 – приклад генерованого коду БРСО для середовища програмування STEP 7

Програмна реалізація алгоритмів керування на базі нейронних мереж виконується аналогічним способом. Нейромережевий регулятор у середовищі Simulink оформлюється як окрема підсистема. На його вхід подаються сигнали, що характеризують помилку регулювання та поточний стан температурної координати, а на виході формується керуюча дія для регулюючого органа подачі пари.

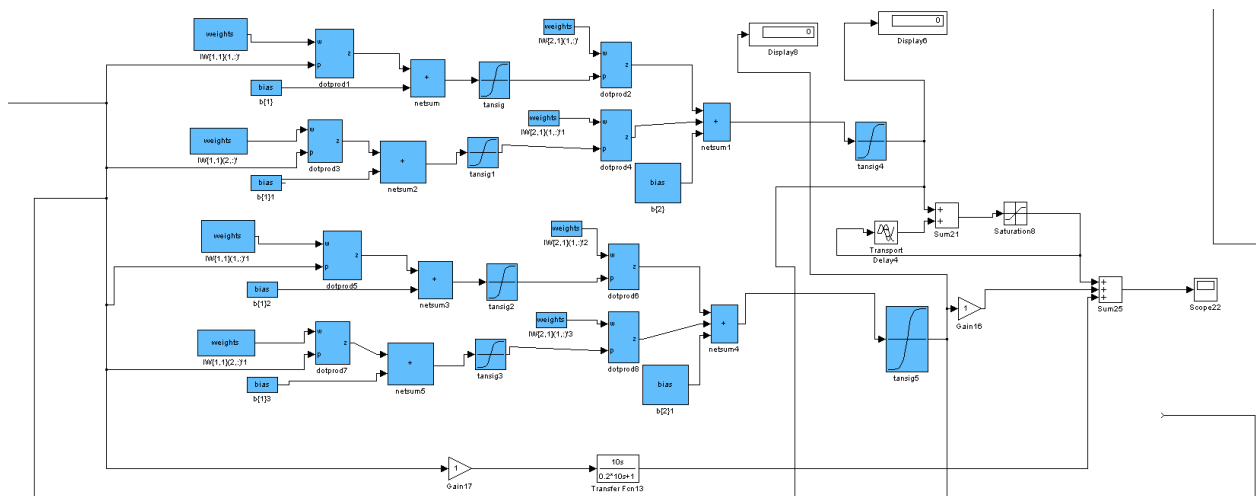


Рис. 5.19 – схема моделювання нейронного регулятора температури стерилізації томатної пасти

Після перевірки працездатності нейромережевого регулятора в імітаційній моделі виконується генерація його програмного коду для середовища SIMATIC STEP 7 5.4. Отриманий SCL-код реалізує структуру нейронної мережі, включаючи вагові коефіцієнти, зміщення, функції активації та внутрішні математичні перетворення. На рис. 5.20 наведено вихідний генерований код мовою SCL для блоку нейронної мережі. Повний список вихідних кодів конвертованих блоків наведено у додатку А.

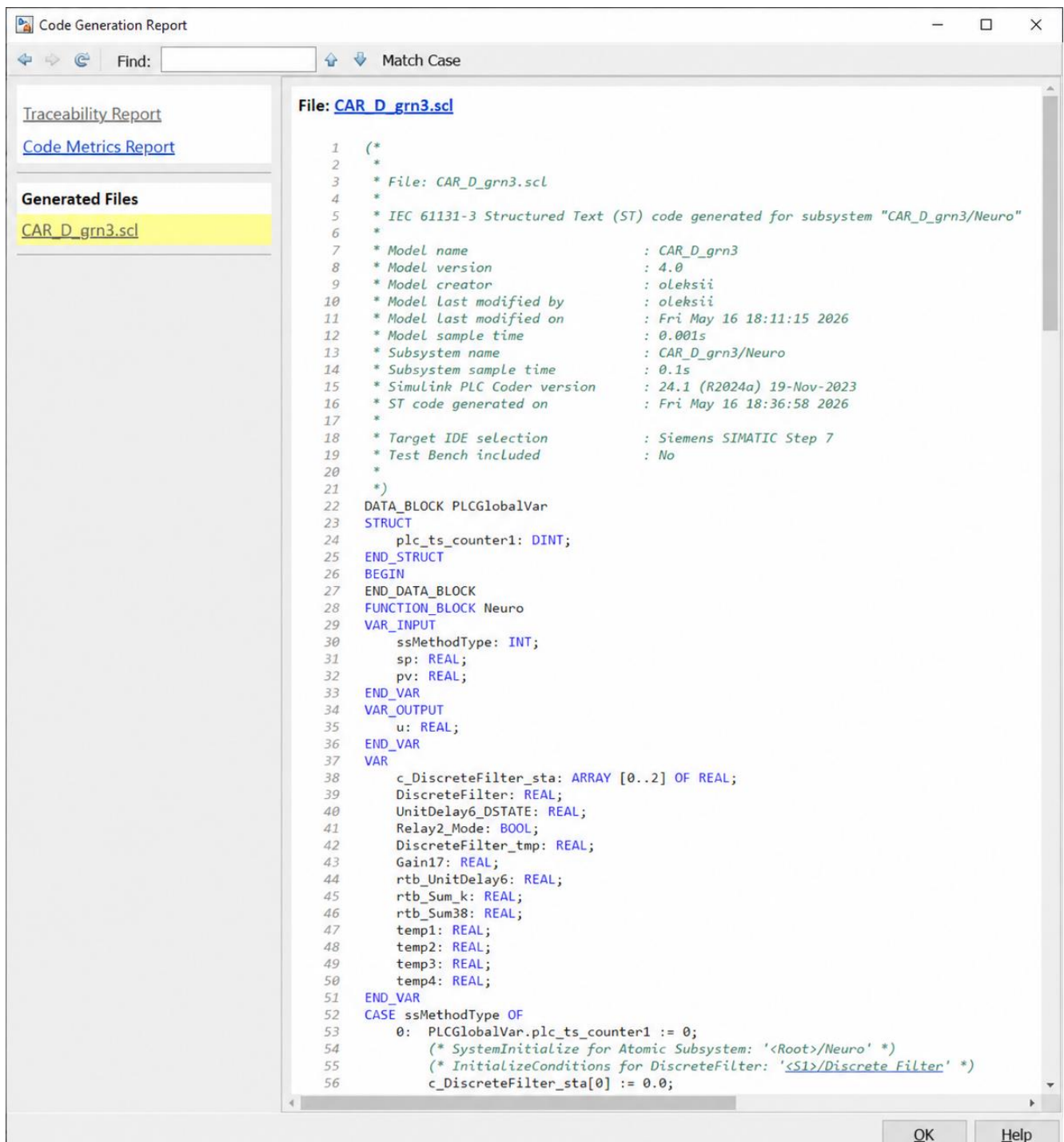
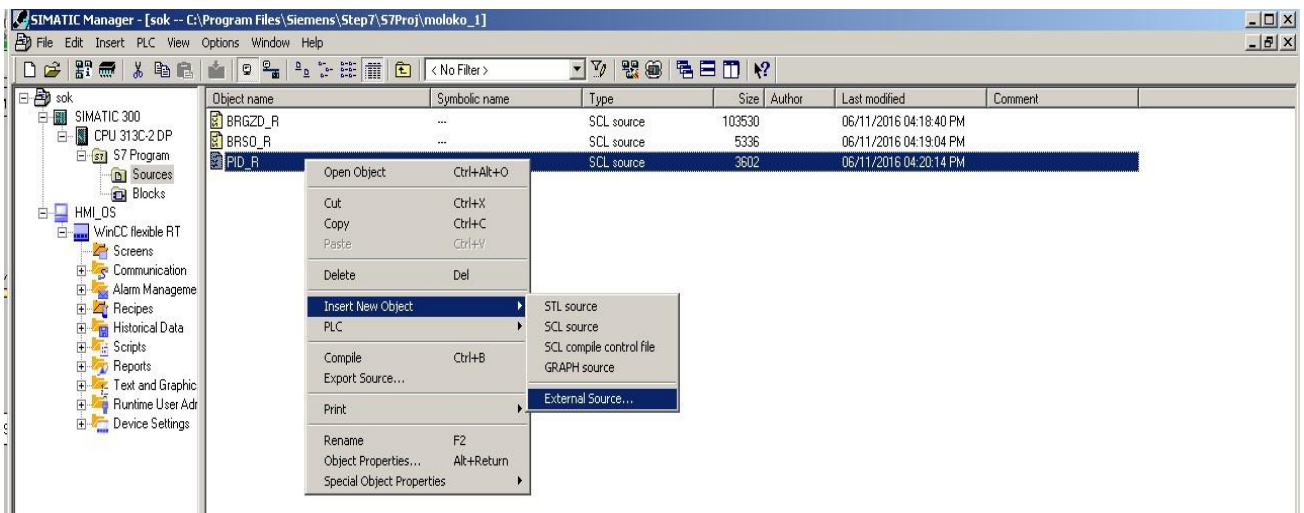


Рис. 5.20 – вихідний генерований код мовою SCL блоку нейронної мережі для середовища програмування STEP 7

Після генерації коду в середовищі MATLAB отримані програмні модулі додаються до проекту в середовищі STEP 7. Процес інтеграції програмних модулів у проект STEP 7 включає імпорт SCL-файлів, компіляцію, створення відповідних функціональних блоків та перевірку відсутності помилок компіляції.



FUNCTION_BLOCK **BRSO1** → FUNCTION_BLOCK **FB771**

```

VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    dX: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Gdx: REAL;
    Gx: REAL;
END_VAR
  
```

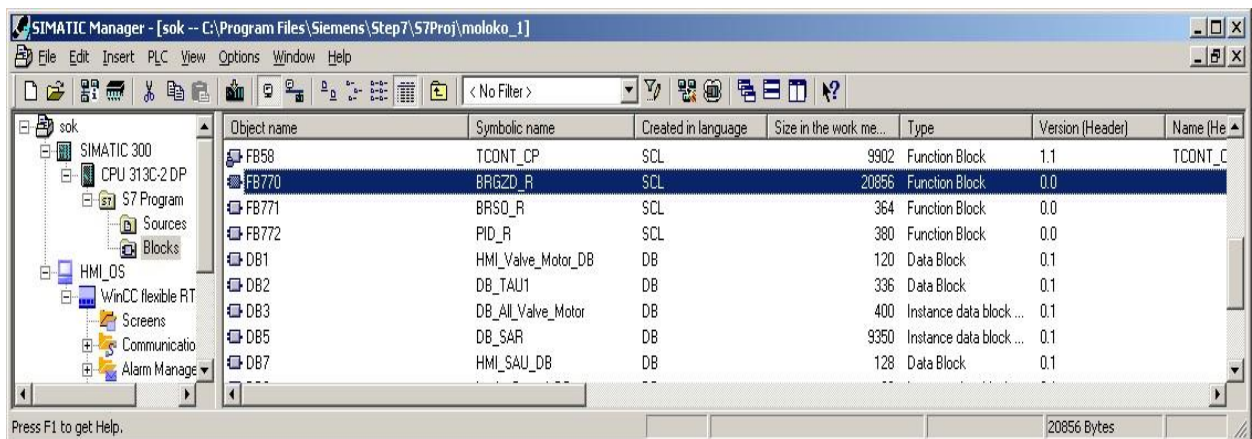
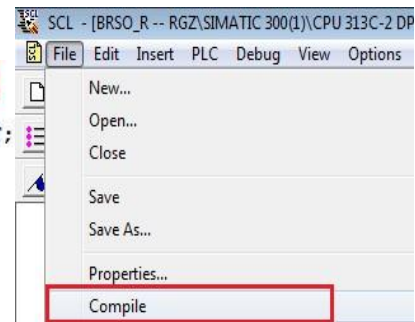


Рис. 5.21 – процедура імпорту генерованого коду САК у середовище програмування STEP 7 і створення відповідного функціонального блока

На рис. 5.22 наведено приклад імпортованого генерованого коду ПІД-регулятора в середовищі STEP 7.

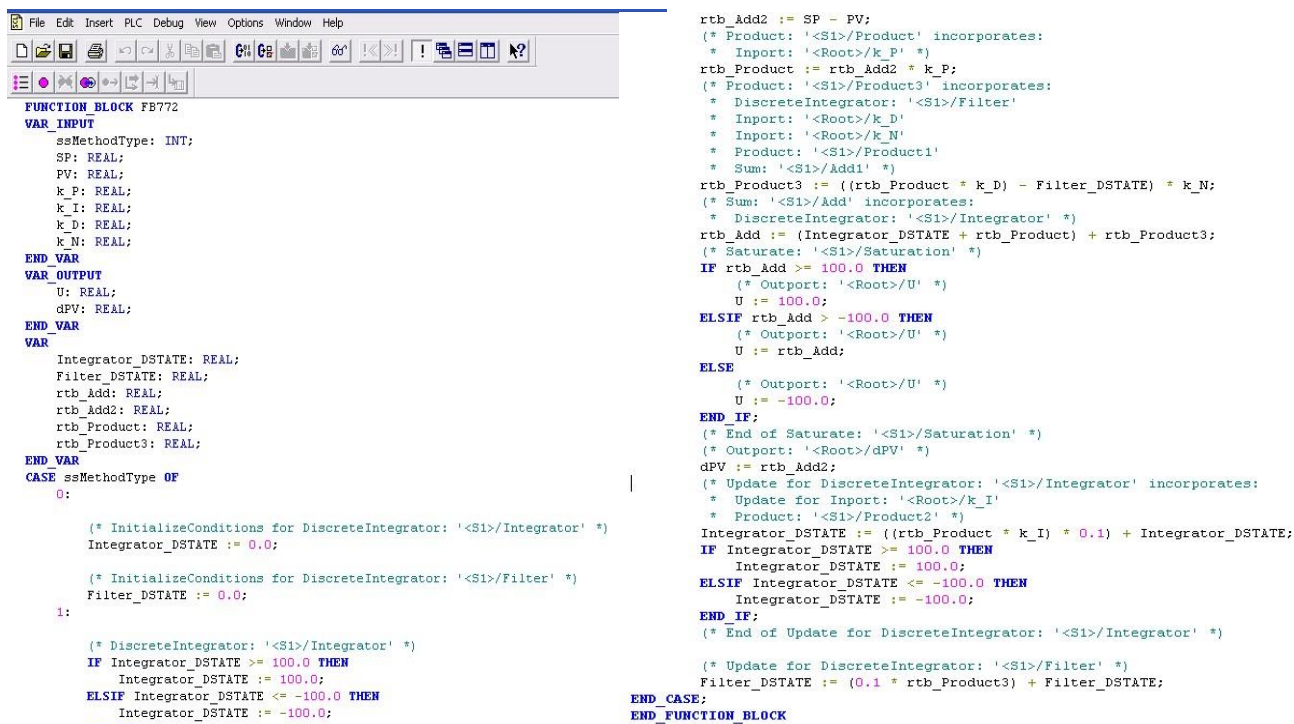


Рис. 5.22 – приклад імпортованого коду ПІД-регулятора в середовищі програмування STEP 7

Загальний вигляд розробленого проекту в середовищі STEP 7 наведено на рис. 5.23.

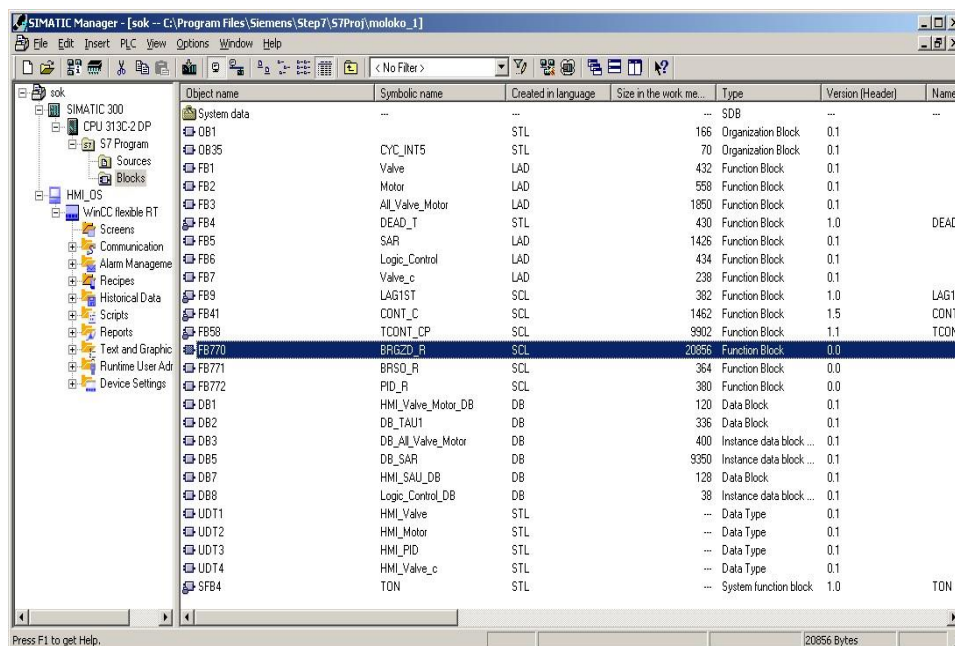


Рис. 5.23 – загальний вигляд вікна проекту в середовищі STEP 7

Конвертовані алгоритми регулювання температури стерилізації томатної пасти, алгоритм гарантуючого керування та нейрорегулятор інтегруються у

функціональний блок FB5. Саме цей блок виконує роль основного програмного модуля САК. У ньому здійснюється обробка вхідних сигналів температури, розрахунок помилки регулювання, виклик відповідного алгоритму керування, формування керуючої дії Up та передача параметрів до НМІ.

У функціональному блоці FB5 доцільно передбачити можливість вибору активного алгоритму керування. У режимі налагодження оператор або наладчик може вибирати один із варіантів:

- робота з базовим ПІД-регулятором;
- робота із САК підвищеної динамічної точності;
- робота із системою гарантуючого керування;
- робота з нейромережевим регулятором.

Такий підхід дозволяє порівнювати роботу різних алгоритмів у режимі тестування та поступово переходити до використання більш складних алгоритмічних функцій у промисловому режимі. Фрагмент коду програми у функціональному блоці FB5 наведено на рис. 5.24.

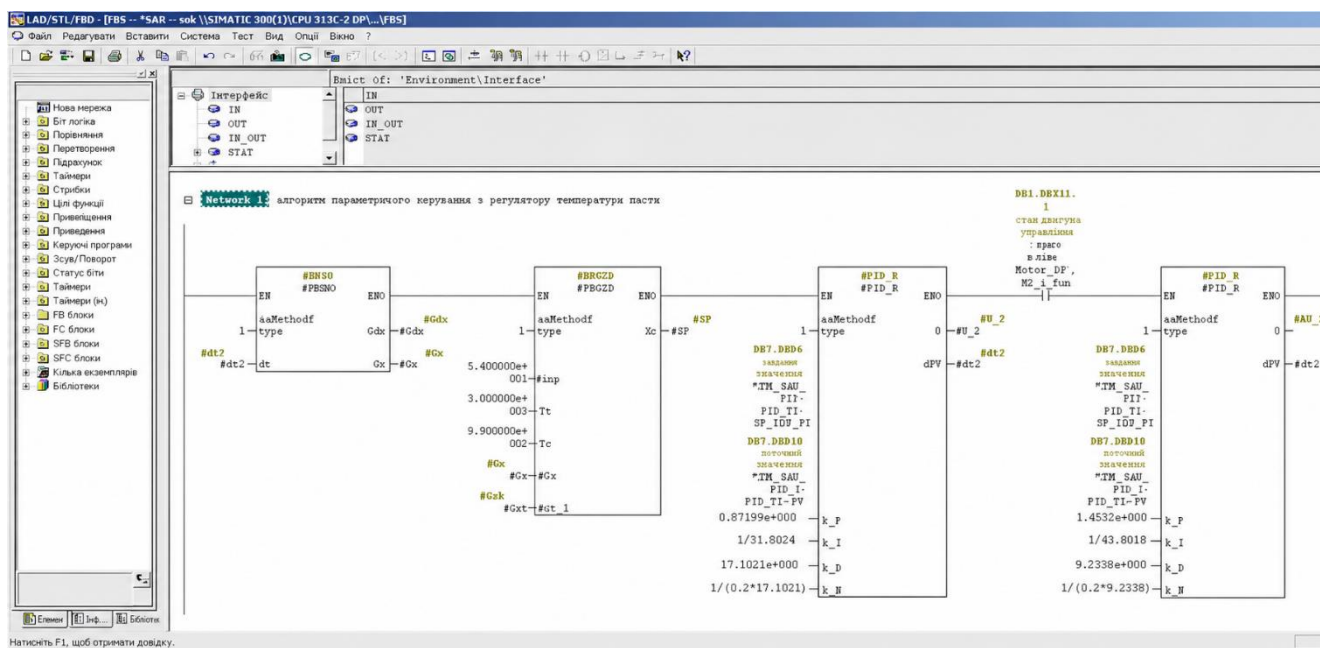


Рис. 5.24 – фрагмент програми у функціональному блоці FB5, який реалізує розрахунок регулятора та блоків гарантуючого керування

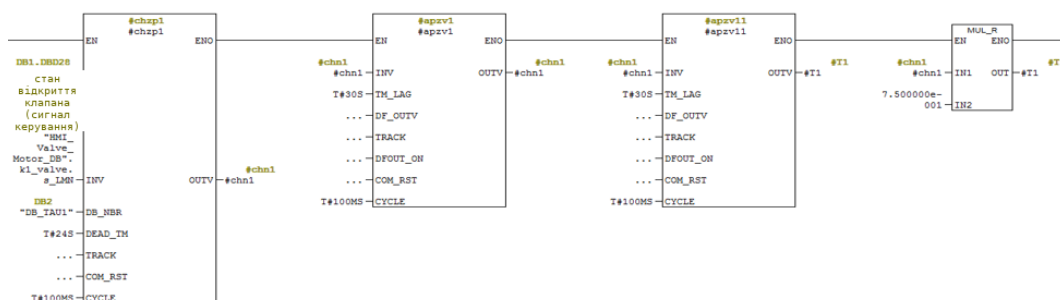
Для коректної роботи цифрових алгоритмів важливо забезпечити їх виконання з фіксованим кроком дискретизації. У проекті STEP 7 для цього використовується організаційний блок циклічного переривання OB35. У ньому

викликаються ті функціональні блоки, які повинні працювати з постійним періодом дискретизації. Це дозволяє узгодити роботу контролера з умовами, у яких алгоритми досліджувалися в MATLAB/Simulink.

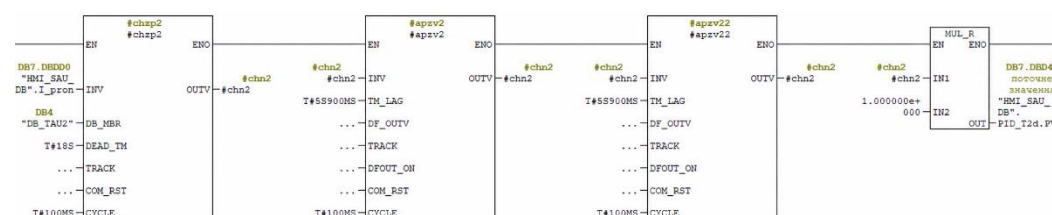
Окрім реалізації програмних модулів у контролері, необхідно забезпечити їх взаємодію з операторським інтерфейсом. На НМІ мають відображатися поточні значення температур T_p і T_c , задане значення температури стерилізації, гарантоване задане значення, керуюча дія U_p , активний режим керування, стан блоків БРГЗД і БРСО, а також службові ознаки роботи нейрорегулятора. Також через НМІ доцільно передбачити налаштування параметрів P_t , T , X_{pr} , X_{np} , параметрів регуляторів і режиму роботи алгоритму.

Провести повне тестування програми гарантуючого керування та нейромережевого регулятора без реального об'єкта достатньо складно, оскільки ці алгоритми мають оцінювати поведінку процесу в умовах дії координатних і параметричних збурень. Тому на етапі підготовки до впровадження виконується тестування окремих програмних модулів та перевірка роботи САК із вбудованою моделлю об'єкта керування.

Для цього програма доповнюється моделлю об'єкта керування, яка дозволяє перевірити реакцію регулятора в режимі емуляції. Фрагмент програми, що реалізує розрахунок моделі об'єкта керування, наведено на рис. 5.25.



Блок-схема об'єкта управління по каналу U_n-T_p



Блок-схема об'єкта управління по каналу T_p-T_c

Рис. 5.25 – фрагмент програми, яка реалізує розрахунок моделі об'єкта керування

Фрагмент програми конвертованого алгоритму САК та регулятора температури стерилізації томатної пасти в режимі тестування наведено на рис. 5.26.

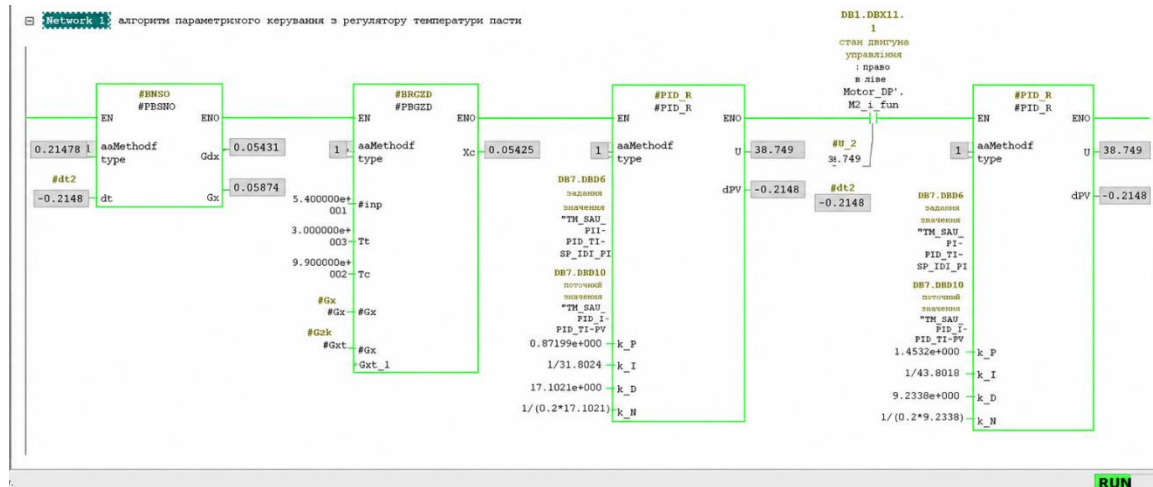


Рис. 5.26 – фрагмент програми конвертованого алгоритму САК та регулятора температури стерилізації томатної пасти у режимі тестування

Результати тестування САК температури стерилізації томатної пасти відображено у вікні SCADA/HMI, що дозволяє перевірити коректність передавання змінних до операторського інтерфейсу. Загальний вигляд вікна SCADA/HMI під час тестування наведено на рис. 5.27, а перехідні характеристики температури стерилізації томатної пасти — на рис. 5.28.

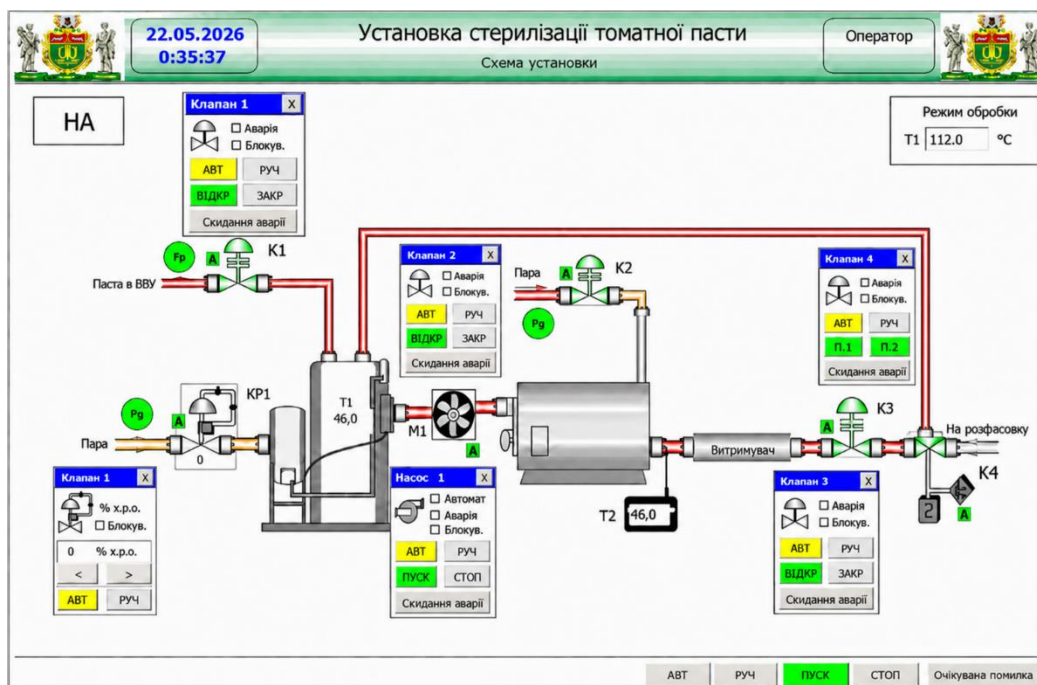


Рис. 5.27 – Відображення результатів тестування САК температури стерилізації томатної пасти у вікні SCADA/HMI

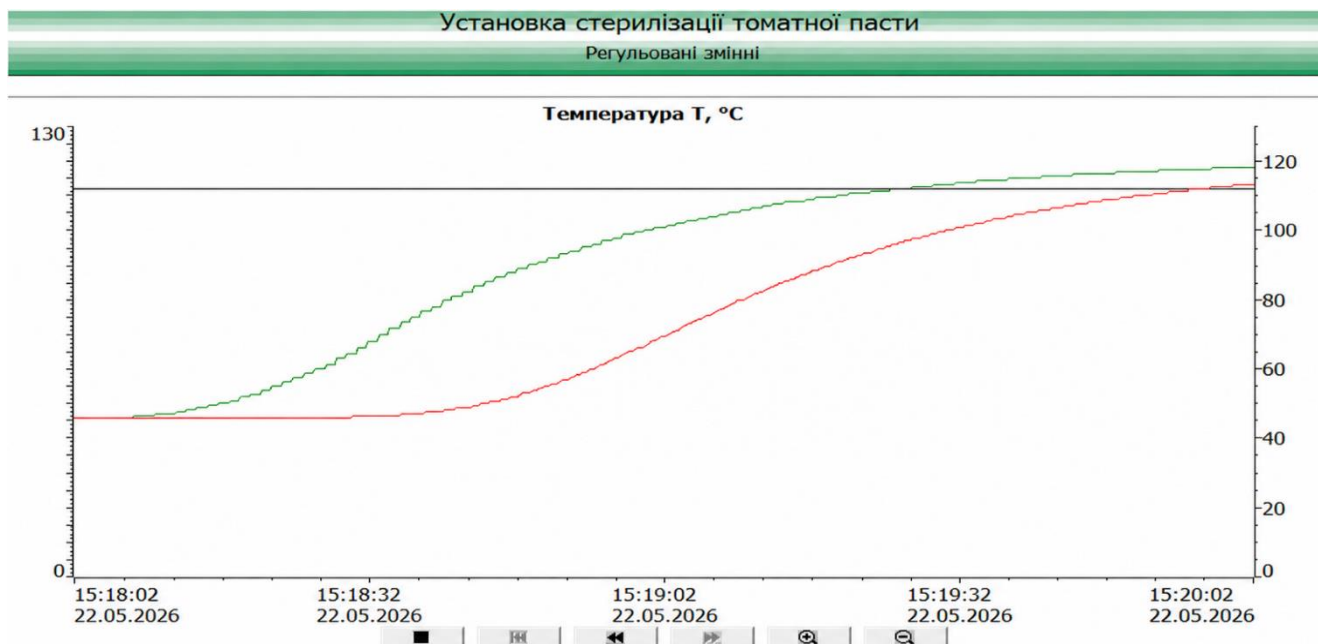


Рис. 5.28 – Перехідні характеристики температури стерилізації томатної пасти під час тестування САК

Результати тестування підтвердили працездатність програмних модулів, отриманих у результаті конвертації, та ефективність застосування пакета Simulink PLC Coder для перенесення алгоритмів керування з MATLAB/Simulink у середовище програмування контролерів Siemens SIMATIC STEP 7. Особливо важливим є те, що такий підхід дозволяє інтегрувати у програму контролера не тільки стандартний ПД-регулятор, але й складніші алгоритми — блоки гарантуючого керування та нейромережевий регулятор.

5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок

Застосування в системі керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці алгоритмів гарантуючого керування дозволяє підтримувати температуру пасти поблизу регламентного значення без порушення допустимих меж. На відміну від звичайної стабілізуючої САР, у якій задане значення температури встановлюється із запасом, САК з функцією гарантування коригує завдання з урахуванням поточного стану процесу та оцінок його випадкових характеристик.

Для процесу стерилізації томатної пасти це має важливе техніко-економічне значення. Якщо температура є нижчою за допустиму, виникає ризик недостатньої стерилізації продукту. Якщо температура підтримується з надмірним запасом,

збільшуються витрати пари, підвищується теплове навантаження на продукт і може погіршуватися його якість. Тому оптимальним є такий режим, за якого температура стерилізації підтримується якомога ближче до технологічно обґрунтованої межі, але без її порушення.

Алгоритм гарантуючого керування дозволяє зменшити надлишковий тепловий запас, який зазвичай задається в традиційних системах керування. За рахунок цього зменшуються питомі витрати теплової енергії на стерилізацію, знижується перевитрата пари та покращується стабільність ведення технологічного процесу.

Додатковий ефект може бути отриманий за рахунок застосування нейромережевого регулятора. Нейрорегулятор дозволяє враховувати нелінійність об'єкта керування та може забезпечити кращу швидкодію в режимах, де традиційний ПД-регулятор працює недостатньо ефективно. Скорочення тривалості перехідних процесів зменшує час перебування об'єкта в неоптимальному режимі та сприяє більш стабільному веденню стерилізації.

Важливо, що впровадження розроблених алгоритмів не потребує істотної зміни технічної структури САК. Основна модернізація виконується на рівні прикладного програмного забезпечення. Конвертовані програмні модулі імпортуються у проект STEP 7, інтегруються у функціональний блок FB5 та підключаються до НМІ. Це зменшує витрати на впровадження порівняно з варіантом, який потребував би заміни контролера, модулів введення-виведення або виконавчих механізмів.

Очікуваний ефект від впровадження розроблених алгоритмів полягає у:

- зниженні питомих витрат теплової енергії на стерилізацію томатної пасты;
- зменшенні перевитрати пари;
- зниженні ризику перегріву продукту;
- зменшенні ймовірності порушення режиму стерилізації;
- підвищенні стабільності температурного режиму;
- скороченні тривалості перехідних процесів;
- підвищенні інформативності системи для оператора;

– можливості подальшої модернізації САК без зміни апаратної частини.

Орієнтовне зниження питомих витрат енергії на стерилізацію може становити близько 3...3,5 % при збереженні якості та безпечності готової томатної пасти. Такий ефект досягається за рахунок точнішого підтримання температури стерилізації та зменшення надлишкового теплового впливу на продукт.

Таким чином, впровадження алгоритмів гарантуючого керування та нейромережевого регулятора є технічно й економічно доцільним. Воно дозволяє підвищити ефективність автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці переважно за рахунок програмної модернізації існуючої контролерної системи.

5.4 Висновки за розділом 5

1. У розділі розглянуто програмно-технічну структуру системи керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці. Обґрунтовано використання контролера Siemens SIMATIC S7-300, модулів аналогового введення SM 331, аналогового виведення SM 332, дискретних каналів керування та HMI/SCADA для реалізації розробленої САК.

2. Показано, що впровадження розроблених алгоритмів не потребує істотної зміни апаратної структури системи. Алгоритм гарантуючого керування, блоки БРГЗД і БРСО, а також нейромережевий регулятор реалізуються програмно та використовують наявні вимірювальні координати T_c , T_p і керуючу дію U_p .

3. Розроблені в середовищі MATLAB/Simulink моделі алгоритмів керування були підготовлені до реалізації на контролері Siemens SIMATIC S7-300 шляхом автоматизованої генерації SCL-коду засобами Simulink PLC Coder. Такий підхід дозволяє зберегти відповідність між імітаційною моделлю та контролерною реалізацією алгоритму.

4. Виконано підготовку до конвертації цифрового ПІД-регулятора, блоків гарантуючого керування БРГЗД і БРСО, а також нейромережевого регулятора. Для кожної підсистеми виконано налаштування параметрів конвертації, після чого сформовано програмний код для середовища SIMATIC STEP 7 5.4.

5. Показано порядок імпорту отриманих SCL-модулів у проект STEP 7 та їх інтеграції у функціональний блок FB5. У цьому блоці реалізується розрахунок керуючої дії, вибір активного алгоритму керування, обмеження сигналів і передача основних параметрів до HMI.

6. Передбачено використання HMI/SCADA для відображення поточних значень температур T_p і T_c , заданого та гарантованого заданого значення, керуючої дії U_p , режиму роботи алгоритму, параметрів гарантуючого керування та результатів тестування.

7. Проведене тестування конвертованого прикладного програмного забезпечення підтвердило працездатність отриманих програмних модулів і ефективність застосування пакета Simulink PLC Coder для перенесення складних алгоритмів керування з MATLAB/Simulink у середовище програмування контролерів Siemens.

8. Впровадження розроблених алгоритмів керування дозволяє підвищити ефективність процесу стерилізації томатної пасти в потоці, зменшити питомі витрати теплової енергії, підвищити стабільність температурного режиму та знизити ризик порушення технологічного регламенту без істотного ускладнення технічної структури САК.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено науково-технічну задачу підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці шляхом удосконалення структури системи керування, застосування інтелектуальних алгоритмів та реалізації функції гарантуючого керування температурним режимом.

У першому розділі розглянуто технологічний процес стерилізації томатної пасти як об'єкт автоматичного керування. Наведено опис технологічної лінії, параметризовану та параметричну схеми процесу, визначено основні вхідні параметри, керуючі дії, збурення та вихідні координати. Встановлено, що основною регульованою величиною є температура пасти після стерилізатора (T_c), від якої залежить якість, безпечність і енергоефективність процесу стерилізації.

Проведено аналіз відомих систем керування процесами виробництва, підігрівання, випарювання та стерилізації томатної пасти. Встановлено, що більшість відомих рішень орієнтована переважно на стабілізацію окремих параметрів вакуум-випарних установок або підігрівання продукту, тоді як задача підвищення точності підтримання температури пасти після стерилізатора в умовах збурень залишається актуальною. Це обґрунтовує необхідність подальшого удосконалення САК процесом стерилізації.

На основі ідентифікації статичних і динамічних властивостей об'єкта керування побудовано математичну модель процесу стерилізації. Об'єкт подано як послідовний тепловий канал $U_p \rightarrow T_p \rightarrow T_c$, де T_p є проміжною температурною координатою. Встановлено, що модель другого порядку точніше відтворює інерційні властивості об'єкта порівняно з моделлю першого порядку, тому її доцільно використовувати для подальшого синтезу систем керування.

Виконано структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності на основі використання проміжної координати T_p . Порівняльне моделювання показало перевагу запропонованої структури над базовою одноконтурною САР. Максимальне динамічне відхилення зменшилося з 2,96 до 1,15 °C, тривалість перехідного процесу — зі 122 до 55,5 с, а інтегральний критерій якості — з 2663 до 1896. Це підтверджує ефективність використання каскадної

структури для підвищення якості регулювання температури стерилізації.

Досліджено можливість застосування інтелектуальних алгоритмів керування для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання. Розроблено моделі САР з нечітким регулятором та нейромережевим регулятором у середовищі MATLAB/Simulink. Встановлено, що нечіткий регулятор забезпечує працездатність системи, однак за прийнятих налаштувань не перевищує за якістю традиційний ПІД-регулятор. Водночас нейромережевий регулятор показав кращу швидкодію та менше значення інтегрального показника якості порівняно з традиційною САР.

Розроблено та досліджено систему гарантуючого керування температурою стерилізації томатної пасти. Для цього математичну модель об'єкта було доповнено координатними та параметричними збуреннями, що дозволило оцінити роботу САК в умовах, наближених до реальних. Система гарантуючого керування реалізує корекцію заданого значення температури на основі поточних статистичних оцінок процесу та заданої ймовірності дотримання регламенту.

Результати імітаційного моделювання показали, що система гарантуючого керування забезпечує стабільнішу роботу порівняно з базовою стабілізуючою САР в умовах дії випадкових і параметричних збурень. Встановлено, що зі збільшенням заданої ймовірності (P_t) система формує більш обережний режим керування та відводить задане значення температури далі від граничного рівня, що зменшує ймовірність порушення технологічного регламенту.

Розглянуто практичну реалізацію розроблених алгоритмів керування на базі промислового контролера Siemens SIMATIC S7-300. Показано можливість перенесення алгоритмів із середовища MATLAB/Simulink у середовище SIMATIC STEP 7 шляхом генерації SCL-коду засобами Simulink PLC Coder. Розроблені програмні модулі можуть бути інтегровані у функціональний блок контролера та використані для реалізації базового ПІД-регулювання, САР підвищеної динамічної точності, нейромережевого регулятора та системи гарантуючого керування.

Впровадження розроблених алгоритмів керування є технічно доцільним, оскільки не потребує істотної зміни апаратної структури системи. Основна

модернізація виконується на рівні прикладного програмного забезпечення. Очікуваний ефект полягає у підвищенні точності підтримання температурного режиму, зниженні ризику порушення регламенту, зменшенні надлишкового теплового впливу на продукт і скороченні питомих витрат теплової енергії на процес стерилізації.

Таким чином, результати роботи підтверджують доцільність удосконалення САК процесом стерилізації томатної пасти шляхом поєднання каскадної структури регулювання, інтелектуальних алгоритмів та функції гарантуючого керування. Запропоновані рішення дозволяють підвищити якість автоматичного керування, забезпечити дотримання технологічного регламенту в умовах збурень і створюють основу для подальшої практичної реалізації системи на промисловому контролері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
2. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с..
3. Конспект курсу лекцій з дисципліни “ Теорія автоматичного управління ” (частина І)– Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса – 2012 р.
4. Конспект курсу лекцій з дисципліни “ Теорія автоматичного управління ” (частина ІІ)– Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса – 2012 р.
5. Патент України на корисну модель №52976. Спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти / Вовченко В.С., Муратов В.Г. МПК 2009 А23L 2/00. Заявл. 14.12.2009 № u200913018. Опубл. 27.09.2010. Бюл. № 18. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/3-52976-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-virobnictva-tomatno-pasti.html>
6. Патент України на корисну модель №34334. Спосіб автоматичного керування другим корпусом вакуум-випарної установки для виробництва томат-пасти / Муратов В.Г., Васильєв Є.Є. МПК 2008 А23L 2/08. Заявл. 25.02.2008 № u200802379. Опубл. 11.08.2008. Бюл. № 15. - [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/2-34334-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-drugim-korpusom-vakuum-viparno-ustanovki-dlya-virobnictva-tomatu-pasti.html>
7. Патент України на корисну модель №36682. Спосіб автоматичного керування процесом підігрівання подрібненої томатної маси у вакуум-підігрівачі КТП-2 / Левінський В.М., Рябошапко О.В. МПК 2007 F28F 27/00. Заявл. 20.02.2008 № u200802201. Опубл. 10.11.2008. Бюл. № 21. – [Електрон. ресурс]. – Режим

доступу: <https://ua.patents.su/3-36682-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-pidigrivannya-podribneno-tomatno-masi-u-vakuum-pidigrivachi-ktп-2.html>

8. Патент України на корисну модель №44180. Спосіб автоматичного керування першим корпусом вакуум-випарної установки для виробництва томат-пасти / Старичков В.І., Богдан О.М. МПК 2009 A23L 1/00. Заявл. 30.03.2009 № u200902990. Опубл. 25.09.2009. Бюл. № 18. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/2-44180-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-pershim-korpusom-vakuum-viparno-ustanovki-dlya-virobnictva-tomatu-pasti.html>

9. Патент України на корисну модель №42845. Спосіб автоматичного управління процесом парової стерилізації консервів в автоклаві /Файнбурд О.Б., Хобін В.А. МПК 2009 A23L 3/00. Заявл. 12.02.2009 № u200901280. Опубл. 27.07.2009. Бюл. № 14 – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/2-42845-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-parovo-sterilizaci-konserviv-v-avtoklavi.html>

10. Патент України на корисну модель №83879. Спосіб автоматичного управління процесом виробництва томатної пасти / Рудковський П.В. Степанов М.Т. МПК 2013 A23L 1/00. Заявл. 03.05.2012 № u201205476. Опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/4-83879-sposib-avtomatichnogo-upravlinnya-procesom-virobnictva-tomatno-pasti.html>

11. Штучні нейроні мережі [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа

12. Генетичний алгоритм [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Генетичний_алгоритм

13. Нечітка логіка [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нечітка_логіка

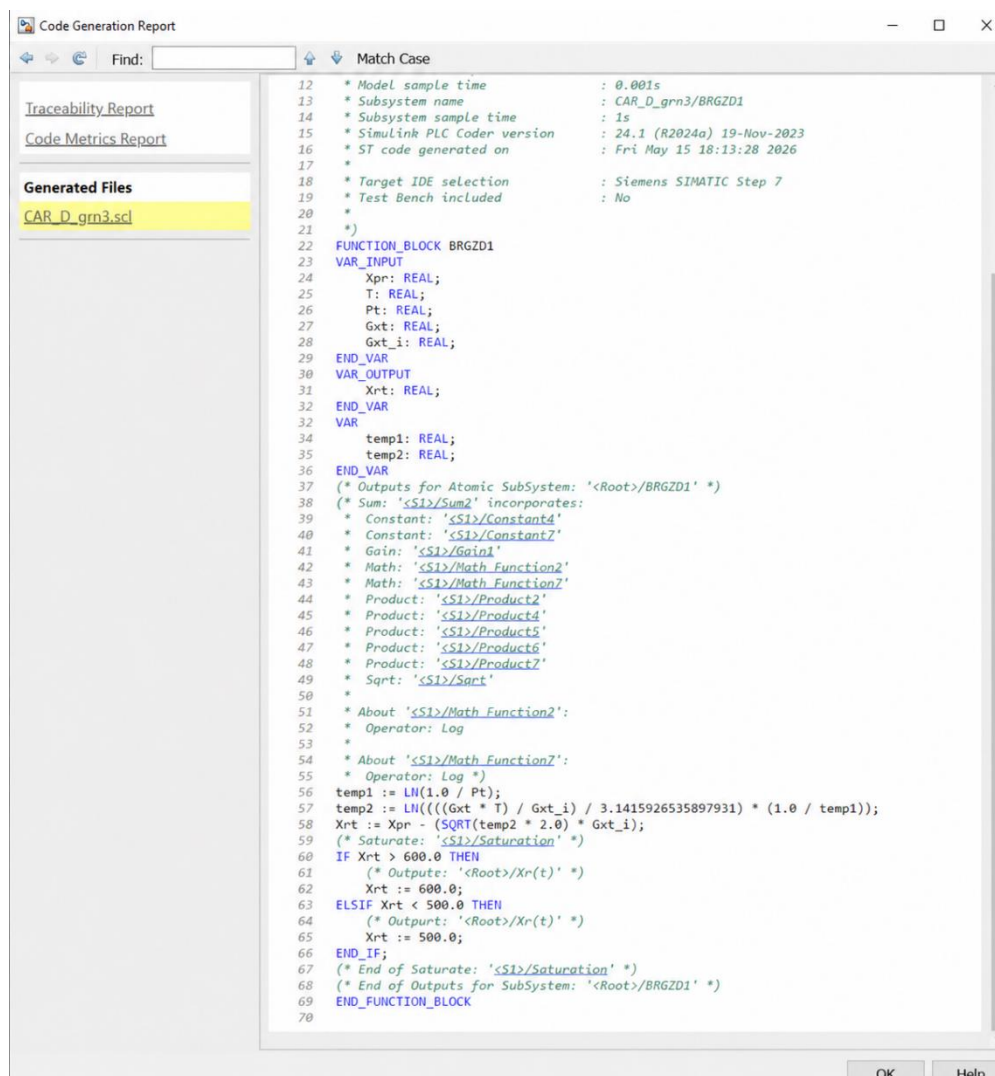
14. Фазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазифікація>

15. Дефазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Дефазифікація>

16. Система нечіткого виведення [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення.
17. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Системи штучного інтелекту [Текст] / Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. – Львів: «Магнолія» – 2010. – 279с.
18. Литвин В.В. Інтелектуальні системи [Текст] / Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. – Львів: «Новий Світ» - 2008. - 406с.
19. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст] / Руденко О.Г., Бодянський Є.В. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.
20. Василюк Т. Ю. та ін. Синтез нейромережевого регулятора для електромеханічної системи з пружними зв'язками в кінематичних передачах //Системи обробки інформації. – 2018. – №. 2. – С. 7-17.
21. Штучні нейронні мережі [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа
22. Нечітка логіка [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нечітка_логіка
23. Фазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазифікація>
24. Дефазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Дефазифікація>
25. Система нечіткого виведення [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення

ДОДАТОК А. ВИХІДНІ КОДИ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ, ЗГЕНЕРОВАНИХ ЗАСОБАМИ SIMULINK PLC CODER ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА SIMATIC STEP 7

А.1 Вихідний текст модуля БРГЗД

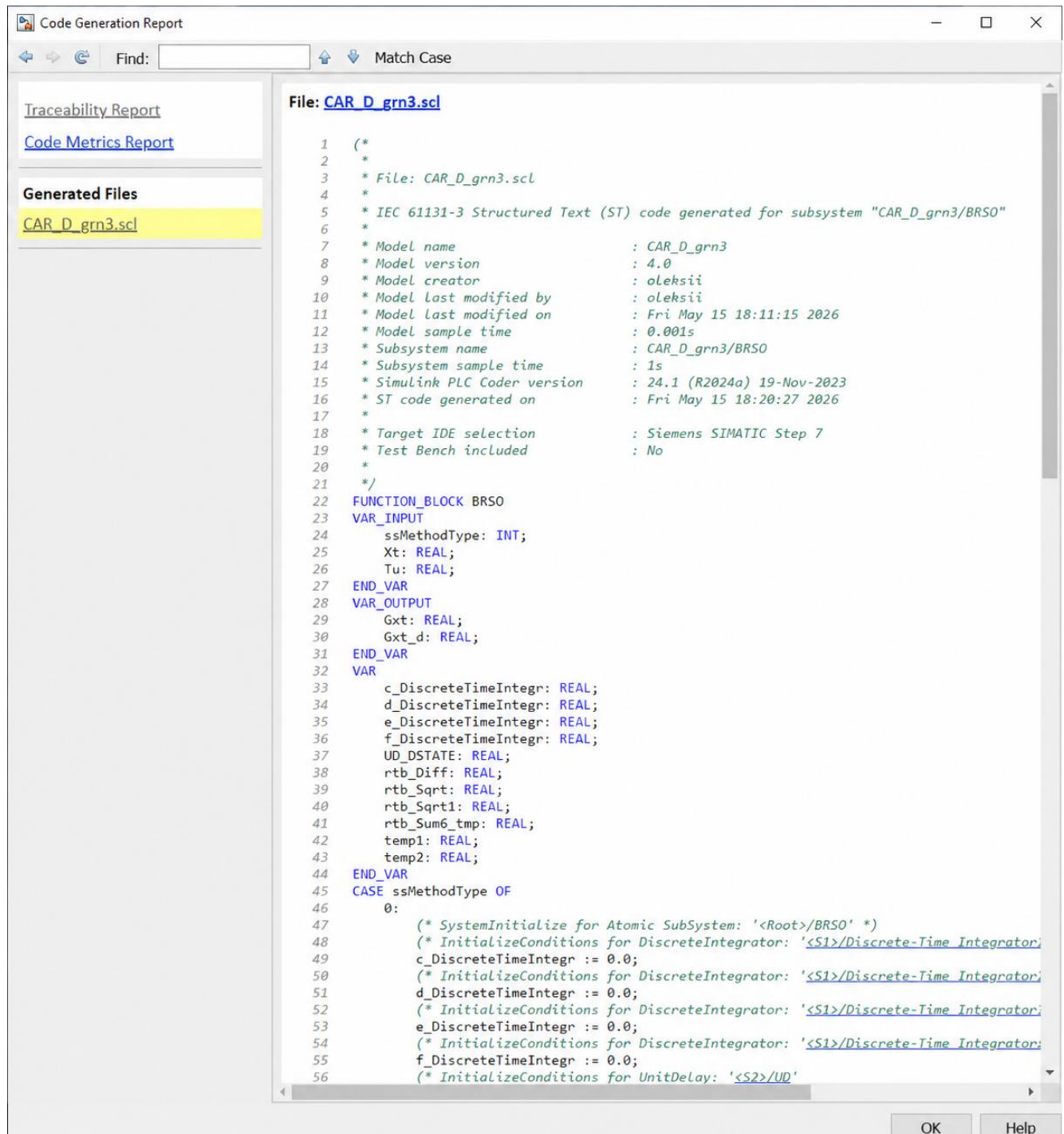


The screenshot displays the 'Code Generation Report' window. On the left, there is a sidebar with links for 'Traceability Report' and 'Code Metrics Report', and a section titled 'Generated Files' containing the file 'CAR_D_grn3.scl'. The main area shows the generated SCL code for the 'FUNCTION_BLOCK BRGZD1'. The code includes variable declarations for inputs (Xpr, T, Pt, Gxt, Gxt_i) and outputs (Xrt), followed by a complex logic block for calculating Xrt based on various mathematical operations and a saturation condition.

```
12 * Model sample time : 0.001s
13 * Subsystem name : CAR_D_grn3/BRGZD1
14 * Subsystem sample time : 1s
15 * Simulink PLC Coder version : 24.1 (R2024a) 19-Nov-2023
16 * ST code generated on : Fri May 15 18:13:28 2026
17 *
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *
21 *)
22 FUNCTION_BLOCK BRGZD1
23 VAR_INPUT
24 Xpr: REAL;
25 T: REAL;
26 Pt: REAL;
27 Gxt: REAL;
28 Gxt_i: REAL;
29 END_VAR
30 VAR_OUTPUT
31 Xrt: REAL;
32 END_VAR
33 VAR
34 temp1: REAL;
35 temp2: REAL;
36 END_VAR
37 (* Outputs for Atomic SubSystem: '<Root>/BRGZD1' *)
38 (* Sum: '<S1>/Sum2' incorporates:
39 * Constant: '<S1>/Constant4'
40 * Constant: '<S1>/ConstantZ'
41 * Gain: '<S1>/Gain1'
42 * Math: '<S1>/Math_Function2'
43 * Math: '<S1>/Math_FunctionZ'
44 * Product: '<S1>/Product2'
45 * Product: '<S1>/Product4'
46 * Product: '<S1>/Product5'
47 * Product: '<S1>/Product6'
48 * Product: '<S1>/ProductZ'
49 * Sqrt: '<S1>/Sqrt'
50 *)
51 * About '<S1>/Math_Function2':
52 * Operator: Log
53 *)
54 * About '<S1>/Math_FunctionZ':
55 * Operator: Log *)
56 temp1 := LN(1.0 / Pt);
57 temp2 := LN((((Gxt * T) / Gxt_i) / 3.1415926535897931) * (1.0 / temp1));
58 Xrt := Xpr - (SQRT(temp2 * 2.0) * Gxt_i);
59 (* Saturate: '<S1>/Saturation' *)
60 IF Xrt > 600.0 THEN
61 (* Output: '<Root>/Xr(t)' *)
62 Xrt := 600.0;
63 ELSIF Xrt < 500.0 THEN
64 (* Output: '<Root>/Xr(t)' *)
65 Xrt := 500.0;
66 END_IF;
67 (* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)
68 (* End of Outputs for SubSystem: '<Root>/BRGZD1' *)
69 END_FUNCTION_BLOCK
70
```

Продовження додатка А

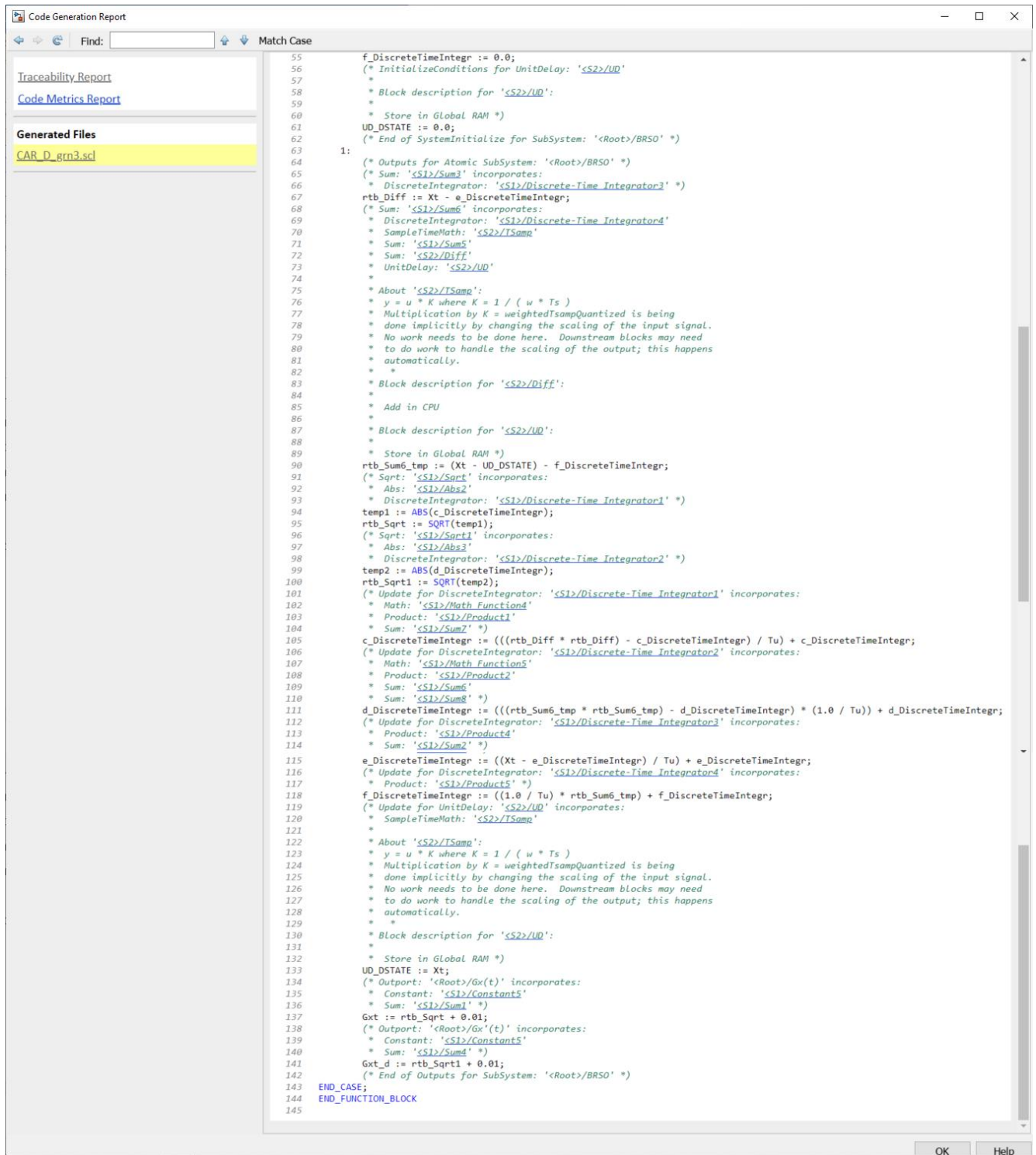
А.2 Вихідний текст модуля БРСО



The screenshot displays the 'Code Generation Report' window. On the left, a sidebar contains links for 'Traceability Report', 'Code Metrics Report', and 'Generated Files'. Under 'Generated Files', the file 'CAR_D_grn3.scl' is highlighted. The main area shows the SCL code for 'File: CAR_D_grn3.scl'. The code includes a header with metadata such as model name, version, creator, and generation date. It defines a function block 'BRSO' with input and output variables, and a case statement for 'ssMethodType'.

```
1  (*
2  *
3  * File: CAR_D_grn3.scl
4  *
5  * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "CAR_D_grn3/BRSO"
6  *
7  * Model name           : CAR_D_grn3
8  * Model version        : 4.0
9  * Model creator        : oleksii
10 * Model last modified by : oleksii
11 * Model last modified on : Fri May 15 18:11:15 2026
12 * Model sample time    : 0.001s
13 * Subsystem name       : CAR_D_grn3/BRSO
14 * Subsystem sample time : 1s
15 * Simulink PLC Coder version : 24.1 (R2024a) 19-Nov-2023
16 * ST code generated on  : Fri May 15 18:20:27 2026
17 *
18 * Target IDE selection   : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included    : No
20 *
21 */
22 FUNCTION_BLOCK BRSO
23 VAR_INPUT
24     ssMethodType: INT;
25     Xt: REAL;
26     Tu: REAL;
27 END_VAR
28 VAR_OUTPUT
29     Gxt: REAL;
30     Gxt_d: REAL;
31 END_VAR
32 VAR
33     c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
34     d_DiscreteTimeIntegr: REAL;
35     e_DiscreteTimeIntegr: REAL;
36     f_DiscreteTimeIntegr: REAL;
37     UD_DSTATE: REAL;
38     rtb_Diff: REAL;
39     rtb_Sqrt: REAL;
40     rtb_Sqrt1: REAL;
41     rtb_Sum6_tmp: REAL;
42     temp1: REAL;
43     temp2: REAL;
44 END_VAR
45 CASE ssMethodType OF
46     0:
47         (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: '<Root>/BRSO' *)
48         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator;'
49         c_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
50         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator;'
51         d_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
52         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator;'
53         e_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
54         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator;'
55         f_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
56         (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'
```

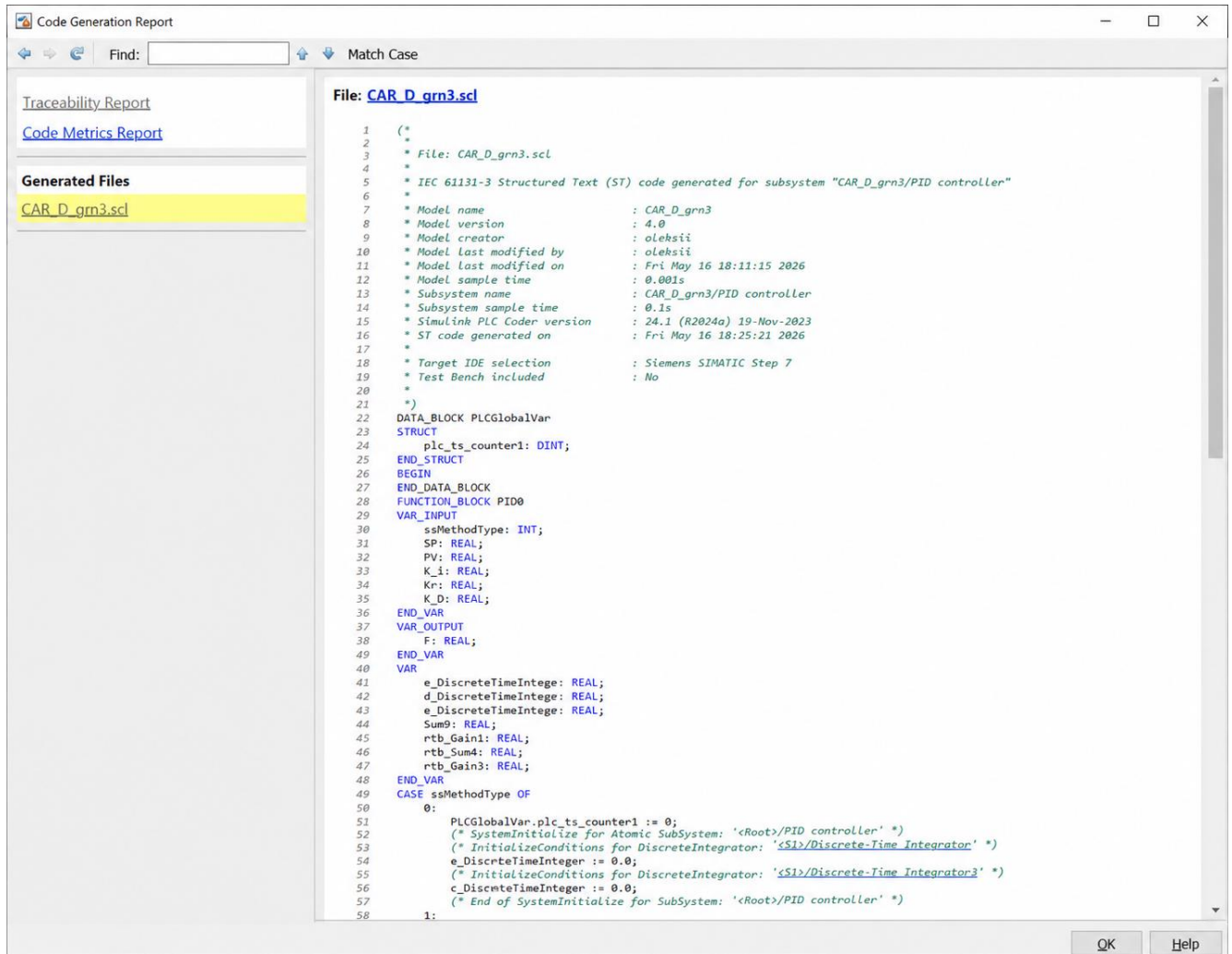
Продовження додатка А



```
55 f_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
56 (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'
57 *
58 * Block description for '<S2>/UD':
59 *
60 * Store in Global RAM *)
61 UD_DSTATE := 0.0;
62 (* End of SystemInitialize for SubSystem: '<Root>/BR50' *)
63
64 1:
65 (* Outputs for Atomic SubSystem: '<Root>/BR50' *)
66 (* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:
67 * DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' *)
68 rtb_Diff := Xt - e_DiscreteTimeIntegr;
69 (* Sum: '<S1>/Sum6' incorporates:
70 * DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator4'
71 * SampleTimeMath: '<S2>/TSamp'
72 * Sum: '<S1>/Sum5'
73 * Sum: '<S2>/Diff'
74 * UnitDelay: '<S2>/UD'
75 *
76 * About '<S2>/TSamp':
77 * y = u * K where K = 1 / ( w * Ts )
78 * Multiplication by K = weightedTsampQuantized is being
79 * done implicitly by changing the scaling of the input signal.
80 * No work needs to be done here. Downstream blocks may need
81 * to do work to handle the scaling of the output; this happens
82 * automatically.
83 *
84 * Block description for '<S2>/Diff':
85 *
86 * Add in CPU
87 *
88 * Block description for '<S2>/UD':
89 *
90 * Store in Global RAM *)
91 rtb_Sum6_tmp := (Xt - UD_DSTATE) - f_DiscreteTimeIntegr;
92 (* Sqrt: '<S1>/Sqrt' incorporates:
93 * Abs: '<S1>/Abs2'
94 * DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)
95 temp1 := ABS(c_DiscreteTimeIntegr);
96 rtb_Sqrt := Sqrt(temp1);
97 (* Sqrt: '<S1>/Sqrt1' incorporates:
98 * Abs: '<S1>/Abs3'
99 * DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2' *)
100 temp2 := ABS(d_DiscreteTimeIntegr);
101 rtb_Sqrt1 := Sqrt(temp2);
102 (* Update for DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' incorporates:
103 * Math: '<S1>/Math Function4'
104 * Product: '<S1>/Product1'
105 * Sum: '<S1>/Sum7' *)
106 c_DiscreteTimeIntegr := (((rtb_Diff * rtb_Diff) - c_DiscreteTimeIntegr) / Tu) + c_DiscreteTimeIntegr;
107 (* Update for DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2' incorporates:
108 * Math: '<S1>/Math Function5'
109 * Product: '<S1>/Product2'
110 * Sum: '<S1>/Sum6'
111 * Sum: '<S1>/Sum8' *)
112 d_DiscreteTimeIntegr := (((rtb_Sum6_tmp * rtb_Sum6_tmp) - d_DiscreteTimeIntegr) * (1.0 / Tu)) + d_DiscreteTimeIntegr;
113 (* Update for DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' incorporates:
114 * Product: '<S1>/Product4'
115 * Sum: '<S1>/Sum2' *)
116 e_DiscreteTimeIntegr := ((Xt - e_DiscreteTimeIntegr) / Tu) + e_DiscreteTimeIntegr;
117 (* Update for DiscreteTimeIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator4' incorporates:
118 * Product: '<S1>/Product5' *)
119 f_DiscreteTimeIntegr := ((1.0 / Tu) * rtb_Sum6_tmp) + f_DiscreteTimeIntegr;
120 (* Update for UnitDelay: '<S2>/UD' incorporates:
121 * SampleTimeMath: '<S2>/TSamp'
122 *
123 * About '<S2>/TSamp':
124 * y = u * K where K = 1 / ( w * Ts )
125 * Multiplication by K = weightedTsampQuantized is being
126 * done implicitly by changing the scaling of the input signal.
127 * No work needs to be done here. Downstream blocks may need
128 * to do work to handle the scaling of the output; this happens
129 * automatically.
130 *
131 * Block description for '<S2>/UD':
132 *
133 * Store in Global RAM *)
134 UD_DSTATE := Xt;
135 (* Output: '<Root>/Gx(t)' incorporates:
136 * Constant: '<S1>/Constant5'
137 * Sum: '<S1>/Sum1' *)
138 Gxt := rtb_Sqrt + 0.01;
139 (* Output: '<Root>/Gx'(t)' incorporates:
140 * Constant: '<S1>/Constant5'
141 * Sum: '<S1>/Sum4' *)
142 Gxt_d := rtb_Sqrt1 + 0.01;
143 (* End of Outputs for SubSystem: '<Root>/BR50' *)
144 END_CASE;
145 END_FUNCTION_BLOCK
```

Продовження додатка А

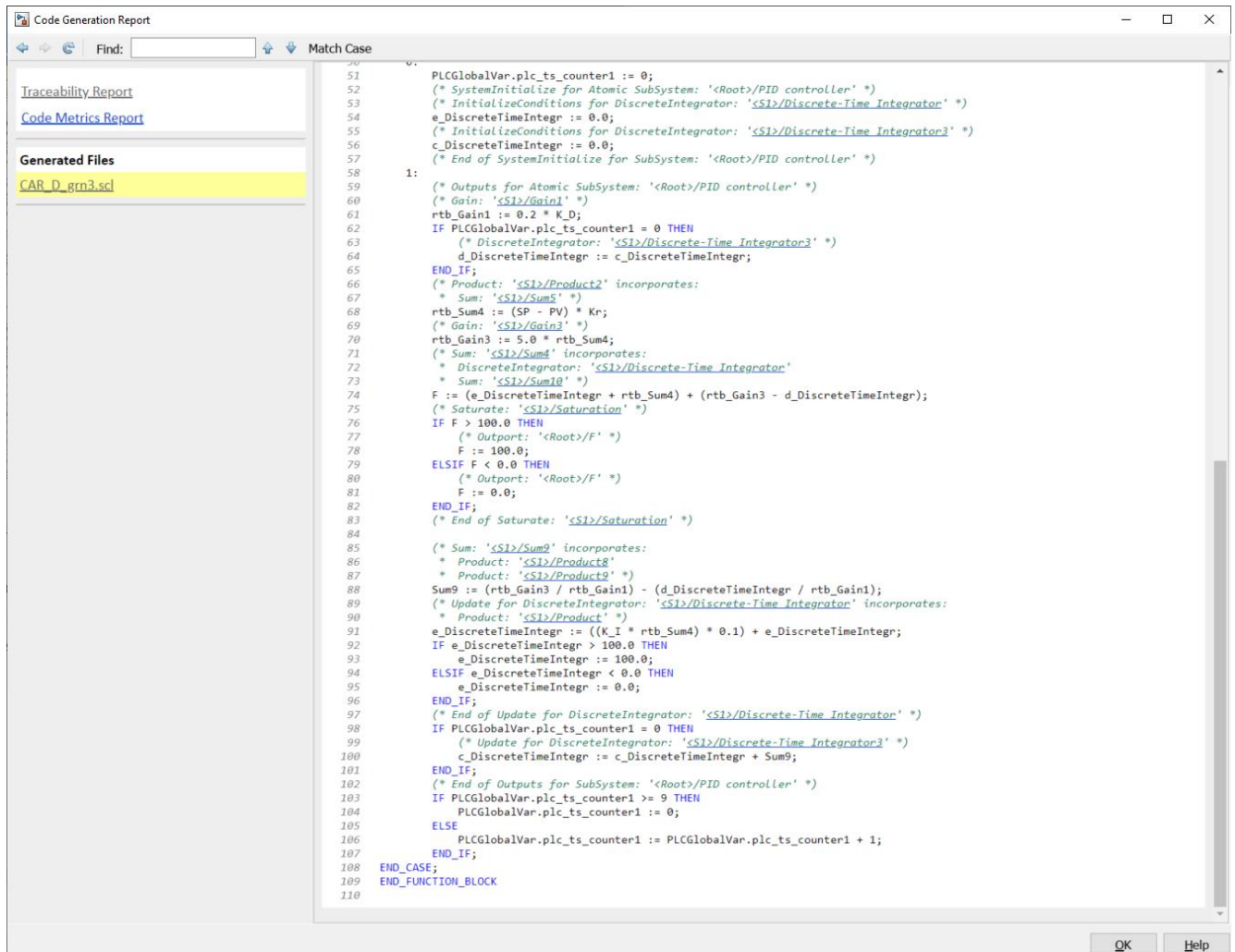
А.3 Вихідний текст модуля ПІД-регулятора



The screenshot displays the 'Code Generation Report' window. On the left, a sidebar contains links for 'Traceability Report', 'Code Metrics Report', and a 'Generated Files' section where 'CAR_D_grn3.scl' is highlighted. The main area shows the SCL code for 'File: CAR_D_grn3.scl'. The code includes a header with model information, a data block for 'PLCGlobalVar', a function block 'PID0', and a case statement for 'ssMethodType'.

```
1  (*
2  *
3  * File: CAR_D_grn3.scl
4  *
5  * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "CAR_D_grn3/PID controller"
6  *
7  * Model name           : CAR_D_grn3
8  * Model version        : 4.0
9  * Model creator        : oleksii
10 * Model last modified by : oleksii
11 * Model last modified on : Fri May 16 18:11:15 2026
12 * Model sample time     : 0.001s
13 * Subsystem name       : CAR_D_grn3/PID controller
14 * Subsystem sample time : 0.1s
15 * Simulink PLC Code version : 24.1 (R2024a) 19-Nov-2023
16 * ST code generated on  : Fri May 16 18:25:21 2026
17 *
18 * Target IDE selection  : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included   : No
20 *
21 *)
22 DATA_BLOCK PLCGlobalVar
23 STRUCT
24   plc_ts_counter1: DINT;
25 END_STRUCT
26 BEGIN
27   END_DATA_BLOCK
28   FUNCTION_BLOCK PID0
29   VAR_INPUT
30     ssMethodType: INT;
31   SP: REAL;
32   PV: REAL;
33   K_i: REAL;
34   K_r: REAL;
35   K_D: REAL;
36   END_VAR
37   VAR_OUTPUT
38     F: REAL;
39   END_VAR
40   VAR
41     e_DiscreteTimeIntege: REAL;
42     d_DiscreteTimeIntege: REAL;
43     e_DiscreteTimeIntege: REAL;
44     Sum9: REAL;
45     rtb_Gain1: REAL;
46     rtb_Sum4: REAL;
47     rtb_Gain3: REAL;
48   END_VAR
49   CASE ssMethodType OF
50     0:
51     PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 := 0;
52     (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: '<Root>/PID controller' *)
53     (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<$1>/Discrete-Time Integrator' *)
54     e_DiscreteTimeInteger := 0.0;
55     (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<$1>/Discrete-Time Integrator3' *)
56     c_DiscreteTimeInteger := 0.0;
57     (* End of SystemInitialize for SubSystem: '<Root>/PID controller' *)
58   1:
```

Продовження додатка А



The screenshot shows a 'Code Generation Report' window. On the left, there is a sidebar with links for 'Traceability Report', 'Code Metrics Report', and 'Generated Files'. Under 'Generated Files', the file 'CAR_D_grn3.scl' is highlighted. The main area displays the generated code, which is a ladder logic function block for a discrete-time integrator. The code includes comments in English and Ukrainian, and uses various PLC data types and functions. The code is organized into sections: initialization, output calculation, saturation, and update logic. The function block is named '1:' and ends with 'END_CASE;' and 'END_FUNCTION_BLOCK'.

```
51 PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 := 0;  
52 (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: '<Root>/PID controller' *)  
53 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)  
54 e_DiscreteTimeIntegr := 0.0;  
55 (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' *)  
56 c_DiscreteTimeIntegr := 0.0;  
57 (* End of SystemInitialize for SubSystem: '<Root>/PID controller' *)  
58  
59 1:  
60 (* Outputs for Atomic SubSystem: '<Root>/PID controller' *)  
61 (* Gain: '<S1>/Gain1' *)  
62 rtb_Gain1 := 0.2 * K_D;  
63 IF PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 = 0 THEN  
64 (* DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' *)  
65 d_DiscreteTimeIntegr := c_DiscreteTimeIntegr;  
66 END_IF;  
67 (* Product: '<S1>/Product2' incorporates:  
68 * Sum: '<S1>/Sum5' *)  
69 rtb_Sum4 := (SP - PV) * Kp;  
70 (* Gain: '<S1>/Gain1' *)  
71 rtb_Gain3 := 5.0 * rtb_Sum4;  
72 (* Sum: '<S1>/Sum4' incorporates:  
73 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'  
74 * Sum: '<S1>/Sum10' *)  
75 F := (e_DiscreteTimeIntegr + rtb_Sum4) + (rtb_Gain3 - d_DiscreteTimeIntegr);  
76 (* Saturate: '<S1>/Saturation' *)  
77 IF F > 100.0 THEN  
78 (* Output: '<Root>/F' *)  
79 F := 100.0;  
80 ELSIF F < 0.0 THEN  
81 (* Output: '<Root>/F' *)  
82 F := 0.0;  
83 END_IF;  
84 (* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)  
85  
86 (* Sum: '<S1>/Sum9' incorporates:  
87 * Product: '<S1>/Product8'  
88 * Product: '<S1>/Product9' *)  
89 Sum9 := (rtb_Gain3 / rtb_Gain1) - (d_DiscreteTimeIntegr / rtb_Gain1);  
90 (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' incorporates:  
91 * Product: '<S1>/Product' *)  
92 e_DiscreteTimeIntegr := ((K_I * rtb_Sum4) * 0.1) + e_DiscreteTimeIntegr;  
93 IF e_DiscreteTimeIntegr > 100.0 THEN  
94 e_DiscreteTimeIntegr := 100.0;  
95 ELSIF e_DiscreteTimeIntegr < 0.0 THEN  
96 e_DiscreteTimeIntegr := 0.0;  
97 END_IF;  
98 (* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)  
99 IF PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 = 0 THEN  
100 (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' *)  
101 c_DiscreteTimeIntegr := c_DiscreteTimeIntegr + Sum9;  
102 END_IF;  
103 (* End of Outputs for SubSystem: '<Root>/PID controller' *)  
104 IF PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 >= 9 THEN  
105 PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 := 0;  
106 ELSE  
107 PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 := PLCGlobalVar.plc_ts_counter1 + 1;  
108 END_IF;  
109 END_CASE;  
110 END_FUNCTION_BLOCK
```

Продовження додатка А

А.4 Вихідний текст модуля нейрорегулятора

```
(*
*
* File: lpcod1.scl
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "lpcod1/Subsystem"
*
* Model name           : lpcod1
* Model version         : 1.2
* Model creator         : R1
* Model last modified by : R1
* Model last modified on : Tue Dec 11 21:08:56 2012
* Model sample time     : 0.1s
* Subsystem name        : lpcod1/Subsystem
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.3 (R2012a) 29-Dec-2011
* ST code generated on   : Tue Dec 11 21:15:00 2012
*
* Target IDE selection   : Siemens SIMATIC Step 7 5.4
* Test Bench included    : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    In1: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: REAL;
END_VAR
VAR
    UnitDelay2_DSTATE: REAL;
    rtb_Gain11: REAL;
    rtb_Product: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:

        (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S1>/Unit Delay2' *)
        UnitDelay2_DSTATE := 0.0;
    1:

        (* Gain: '<S1>/Gain11' incorporates:
        * Inport: '<Root>/In1' *)
        rtb_Gain11 := -1.0001 * In1;
```

Продовження додатка А

(* Sum: '<S1>/Sum28' incorporates:

- * Constant: '<S12>/one'
- * Constant: '<S12>/one1'
- * Constant: '<S13>/one'
- * Constant: '<S13>/one1'
- * Constant: '<S14>/one'
- * Constant: '<S14>/one1'
- * Constant: '<S1>/IW{1,1}(1,:)1'
- * Constant: '<S1>/IW{1,1}(2,:)1'
- * Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)2'
- * Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)3'
- * Constant: '<S1>/b{1}2'
- * Constant: '<S1>/b{1}3'
- * Constant: '<S1>/b{2}1'
- * Gain: '<S12>/Gain'
- * Gain: '<S12>/Gain1'
- * Gain: '<S13>/Gain'
- * Gain: '<S13>/Gain1'
- * Gain: '<S14>/Gain'
- * Gain: '<S14>/Gain1'
- * Math: '<S12>/Exp'
- * Math: '<S12>/Reciprocal'
- * Math: '<S13>/Exp'
- * Math: '<S13>/Reciprocal'
- * Math: '<S14>/Exp'
- * Math: '<S14>/Reciprocal'
- * Product: '<S20>/Product'
- * Product: '<S21>/Product'
- * Product: '<S22>/Product'
- * Product: '<S23>/Product'
- * Sum: '<S12>/Sum'
- * Sum: '<S12>/Sum1'
- * Sum: '<S13>/Sum'
- * Sum: '<S13>/Sum1'
- * Sum: '<S14>/Sum'
- * Sum: '<S14>/Sum1'
- * Sum: '<S1>/netsum3'
- * Sum: '<S1>/netsum4'
- * Sum: '<S1>/netsum5'
- * UnitDelay: '<S1>/Unit Delay2'
 - * About '<S12>/Exp':
- * Operator: exp
- * About '<S12>/Reciprocal':
- * Operator: reciprocal
- *
- * About '<S13>/Exp':
- * Operator: exp

Продовження додатка А

```
* About '<S13>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal
*
* About '<S14>/Exp':
* Operator: exp
*
* About '<S14>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal *)
rtb_Product := (((1.0 / (EXP((((1.0 / (EXP((-0.00025616 * rtb_Gain11) +
0.012860465887807272) * -2.0) + 1.0)) *
2.0) - 1.0) * -2.8942196224549188) + (((1.0 / (EXP((-0.0051755 * rtb_Gain11)
+ 7.4685439831064233) * -2.0) +
1.0)) * 2.0) - 1.0) * -0.76863388370057517)) + 0.80579) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) -
1.0) + UnitDelay2_DSTATE;
(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
* Constant: '<S10>/one'
* Constant: '<S10>/one1'
* Constant: '<S11>/one'
* Constant: '<S11>/one1'
* Constant: '<S15>/one'
* Constant: '<S15>/one1'
* Constant: '<S1>/IW{1,1}(1,:)"
* Constant: '<S1>/IW{1,1}(2,:)"
* Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)"
* Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)1'
* Constant: '<S1>/b{1}'
* Constant: '<S1>/b{1}1'
* Constant: '<S1>/b{2}'
* Gain: '<S10>/Gain'
* Gain: '<S10>/Gain1'
* Gain: '<S11>/Gain'
* Gain: '<S11>/Gain1'
* Gain: '<S15>/Gain'
* Gain: '<S15>/Gain1'
* Gain: '<S1>/Gain10'
* Math: '<S10>/Exp'
* Math: '<S10>/Reciprocal'
* Math: '<S11>/Exp'
* Math: '<S11>/Reciprocal'
* Math: '<S15>/Exp'
* Math: '<S15>/Reciprocal'
* Product: '<S16>/Product'
* Product: '<S17>/Product'
* Product: '<S18>/Product'
* Product: '<S19>/Product'
* Sum: '<S10>/Sum'
* Sum: '<S10>/Sum1'
```

Продовження додатка А

```
* Sum: '<S11>/Sum'
* Sum: '<S11>/Sum1'
* Sum: '<S15>/Sum'
* Sum: '<S15>/Sum1'
* Sum: '<S1>/Sum5'
* Sum: '<S1>/netsum'
* Sum: '<S1>/netsum1'
* Sum: '<S1>/netsum2'
*
* About '<S10>/Exp':
* Operator: exp
*
* About '<S10>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal
*
* About '<S11>/Exp':
* Operator: exp
*
* About '<S11>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal
*
* About '<S15>/Exp':
* Operator: exp
*
* About '<S15>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal *)
Out1 := (((1.0 / (EXP((((1.0 / (EXP((-0.0070825 * rtb_Gain11) +
0.012860465887807272) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) -
1.0) * -2.8942196224549188) + (((1.0 / (EXP((-0.0090912 * rtb_Gain11) +
7.4685439831064233) * -2.0) + 1.0)) *
2.0) - 1.0) * -0.76863388370057517)) + 1.2353) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) - 1.0) *
100.0) + rtb_Product;
(* Update for UnitDelay: '<S1>/Unit Delay2' *)
UnitDelay2_DSTATE := rtb_Product;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
```

ДОДАТОК Б. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ОНТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський національний технологічний університет



ПРОГРАМА

Наукової конференції здобувачів вищої освіти ОНТУ

25 - 28 березня 2025 року

Одеса 2025

Засідання № 2
27 березня 2025 року о 10⁰⁰

Ідентифікатор конференцій: 314-736-7190

Код доступу: 8qyQN3

Наукові керівники – доцент Світий І.М., доцент Муратов В.Г.

Секретар - здобувач СВО «Магістр» Погребной О.О.

1. Підвищення ефективності автоматизованого управління фінансовою діяльністю гравального закладу.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Андрющенко В.П.

Науковий керівник – доц. Жигайло О.М.

2. Підвищення ефективності автоматичного керування вентиляцією цеху дріжджового виробництва.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Ачкасов А.В.

Науковий керівник – доц. Муратов В.Г.

3. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом сушіння цементних блоків.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Корнаєв Д.І.

Науковий керівник – доц. Світий І.М.

4. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом охолодження технологічної води.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Кононов Б.С.

Науковий керівник – доц. Левінський В.М.

5. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в потоці.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Маслов О.А.

Науковий керівник – доц. Мазур О.В.

6. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом швидкого охолодження виноматеріалу.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Мельник О.Р.

Науковий керівник – доц. Левінський В.М.

7. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом витoku зерна з підвагового бункера до лінії завантаження суден.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Михайлов В.О.

Науковий керівник – доц. Світий І.М.

8. Підвищення ефективності автоматичного керування процесу волочіння дроту.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Пуленко Д.Ф.

Науковий керівник – проф. Хобін В.А.

9. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом нагрівання води в промисловому котлоагрегаті.

Здобувач СВО «Магістр» ф-ту АтаР Рудик В.Ю.

Науковий керівник – доц. Світий І.М.

10. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом гарячого водопостачання житлового будинку.

Здобувач СВО «Магістр» ННІ КІАРтаП Шунін А.О.

Науковий керівник – доц. Світий І.М.

**ДОДАТОК В. МАТЕРІАЛИ ЗАЯВКИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ «СПОСІБ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТОМАТНОЇ
ПАСТИ В СТЕРИЛІЗАТОРАХ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ»**

Міністерство освіти і науки України

Одеський національний технологічний університет

Кафедра АТПіРС

**МАКЕТ ЗАЯВКИ ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
з дисципліни «ІВтаП»
на тему: «Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної
пасты в стерилізаторах безперервної дії»**

Виконав
Магістрант групи Ам-10
Маслов О.А.

Перевірила
Доцент Воїнова С.О.

Одеса – 2024

Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії

Корисна модель відноситься до способу автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії і може бути використана у консервній галузі харчової промисловості при виробництві томатної пасти, а саме при її тепловій обробці, а також в молочній промисловості при тепловій обробці молочних продуктів, м'ясній, цукровій промисловості.

Відомий спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти, який містить вимірювання температури, розрідження та рівня у кожному із трьох корпусів вакуум-випарної установки; вимірювання концентрації томатної пасти у третьому корпусі; регулювання тиску - розрідження в цьому корпусі шляхом зміни витрати холодної води в барометричний конденсатор, регулювання рівня томат-пасти в кожному з корпусів шляхом зміни витрати продукту від корпусу до корпусу; регулювання концентрації готового продукту шляхом зміни його витрати на виході третього корпусу, вимірюють тиск гострої пари; коректують розрідження пропорційно відхиленню поточного значення тиску гострої пари, що подають в цей корпус, від заданого значення шляхом зміни подачі пари; коректують співвідношення витрат рециркуляційної томатної пасти та вхідної, що подають у третій корпус із другого, пропорційно відхиленню концентрації в третьому корпусі від заданого; коректують рівень томат-пасти в третьому корпусі пропорційно зміні витрати готового продукту від заданого з цього корпусу [Патент України на корисну модель №52976. Спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасти / Вовченко В.С., Муратов В.Г. МПК 2009 A23L 2/00. Заявл. 14.12.2009 № u200913018. Опубл. 27.09.2010. Бюл. № 18. – URL: <https://ua.patents.su/3-52976-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-virobnictva-tomatno-pasti.html>].

Недоліком даного способу є недостатня якість готового продукту в результаті відсутності регулювання його температури.

Також відомий спосіб автоматичного керування другим корпусом вакуум-випарної установки (ВВУ) для виробництва томат-пасти, який містить вимірювання і регулювання розрідження у другому корпусі ВВУ зміною витрати охолоджувальної води крізь конденсатор, вимірювання і регулювання концентрації томат-пасти на виході з другого корпусу ВВУ зміною витрати продукту з цього корпусу, вимірювання і регулювання рівня в другому корпусі шляхом зміни витрати продукту на цей корпус, вимірюють поточну витрату води крізь конденсатор і пропорційно результату цього вимірювання за допомогою упереджувача Сміта корегують задане значення розрідження в другому корпусі ВВУ, вимірюють витрату томат-пасти, що відбирають з цього корпусу ВВУ, і пропорційно результату цього вимірювання корегують задане значення

концентрації томат-пасту в другому корпусі ВВУ [Патент України на корисну модель №34334. Спосіб автоматичного керування другим корпусом вакуум-випарної установки для виробництва томат-пасту / Муратов В.Г., Васильєв Є.Є. МПК 2008 A23L 2/08. Заявл. 25.02.2008 № u200802379. Опубл. 11.08.2008. Бюл. № 15. - URL: <https://ua.patents.su/2-34334-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-drugim-korpusom-vakuum-viparno-ustanovki-dlya-virobnictva-tomatu-pasti.html>].

Недоліком даного способу є недостатня якість готового продукту в результаті відсутності контролю та регулювання його температури.

Також відомий спосіб автоматичного керування процесом підігрівання подрібненої томатної маси, який містить вимірювання температури подрібненої томатної маси на виході вакуум-підігрівача та її регулювання шляхом зміни витрати пари, яка подається у теплообмінник вакуум-підігрівача, вимірювання розрідження вторинної пари у вакуум-бачку вакуум-підігрівача та її регулювання шляхом зміни витрати охолоджуючої води, яка подається у вакуум-бачок вакуум-підігрівача, для компенсації зовнішніх збурень на об'єкт керування використовують в каналі регулювання температури подрібненої томатної маси блок корекції, для зменшення впливу запізнення в об'єкті по каналу регулювання розрідження вторинної пари використовують упереджувач Сміта [Патент України на корисну модель №36682. Спосіб автоматичного керування процесом підігрівання подрібненої томатної маси у вакуум-підігрівачі КТП-2 / Левінський В.М., Рябошапко О.В. МПК 2007 F28F 27/00. Заявл. 20.02.2008 № u200802201. Опубл. 10.11.2008. Бюл. № 21. - URL: <https://ua.patents.su/3-36682-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-pidigrivannya-podribneno-tomatno-masi-u-vakuum-pidigrivachi-ktp-2.html>].

Недоліком способу є недостатня якість готового продукту через низьку динамічну точність керування в результаті великого запізнення в контурі регулювання.

Також відомий спосіб автоматичного керування першим корпусом вакуум-випарної установки (ВВУ) для виробництва томат-пасту, який містить вимірювання і регулювання розрідження в першому корпусі ВВУ зміною витрат охолоджуючої води крізь конденсатор, вимірювання рівня в першому корпусі шляхом зміни подачі томатної маси в перший корпус, вимірюють поточну витрату води через конденсатор і пропорційно результату цього вимірювання за допомогою упереджувача Сміта коректують значення розрідження в першому корпусі ВВУ, вимірюють рівень томатної маси і регулюють, щоб рівень не вийшов за допустимі межі [Патент України на корисну модель №44180. Спосіб автоматичного керування першим корпусом вакуум-випарної установки для виробництва томат-пасту / Старичков В.І., Богдан О.М. МПК 2009 A23L 1/00. Заявл. 30.03.2009 № u200902990. Опубл. 25.09.2009. Бюл. № 18. - URL: <https://ua.patents.su/2-44180-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-pershim-korpusom-vakuum-viparno-ustanovki-dlya-virobnictva-tomatu-pasti.html>].

Недоліком способу є недостатня якість готового продукту в результаті відсутності контролю та регулювання його температури.

Також відомий спосіб автоматичного керування процесом парової стерилізації консервів в автоклаві, який містить керування в період продування автоклава парою, керування в період нагрівання банок з консервами й відповідним температурі підвищенням тиску в автоклаві за допомогою подавання пари, керування в період стерилізації консервів при їхньому витримуванні при заданій температурі й тиску, що відповідає цій температурі, керування в період охолодження банок з консервами, в період нагрівання й стерилізації тиск в автоклаві регулюють незалежно від температури в автоклаві за рахунок скидання частини пари й повітря з автоклава [Патент України на корисну модель №42845. Спосіб автоматичного управління процесом парової стерилізації консервів в автоклаві / Файнбурд О.Б., Хобін В.А. МПК 2009 A23L 3/00. Заявл. 12.02.2009 № u200901280. Опубл. 27.07.2009. Бюл. № 14 – URL: <https://ua.patents.su/2-42845-sposib-avtomatichnogo-keruvannya-procesom-parovo-sterilizaci-konserviv-v-avtoklavi.html>].

Недоліком даного способу є недостатня якість готового продукту в результаті відсутності контролю та регулювання його температури.

Найбільш близьким до заявленого, обраним за прототип є відомий спосіб автоматичного керування процесом виробництва томатної пасты, який містить регулювання температури томатної пасты шляхом зміни положення регулюючого органу подачі пари в підігрівник [Патент України на корисну модель №83879. Спосіб автоматичного управління процесом виробництва томатної пасты / Рудковський П.В. Степанов М.Т. МПК 2013 A23L 1/00. Заявл. 03.05.2012 № u201205476. Опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. – URL: <https://ua.patents.su/4-83879-sposib-avtomatichnogo-upravlinnya-procesom-virobnictva-tomatno-pasti.html>].

Недоліком даного способу є недостатня якість готового продукту через низьку динамічну точність керування в результаті великого запізнення в контурі регулювання.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення якості готового продукту шляхом підвищення динамічної точності керування за допомогою побудови каскадної системи керування.

Поставлену задачу вирішено в способі автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасты в стерилізаторах безперервної дії, який містить регулювання температури томатної пасты шляхом зміни положення регулюючого органу подачі пари в підігрівник.

Згідно корисної моделі додатково об'єкт керування проміжною точкою розбито на дві частини; головний регулятор каскадної схеми регулювання виробляє керуючий вплив – відсоток ходу регулюючого органу подачі пари в підігрівник, який надходить до допоміжного регулятора, а з його виходу – до частини об'єкта керування за допоміжним каналом керування «температура пасты після підігрівника», а з його виходу сигнал подають на вхід частини об'єкта

керування за каналом «температура пари - температура томатної пасты» головного контуру регулювання.

Приклад можливої реалізації запропонованого способу наведено на фігурі.

Спосіб здійснюється таким чином.

Сигнал поточного значення температури томатної пасты T_c подають на перший вхід суматора 1, на другий вхід якого надходить її задане значення $T_{c\text{зд}}$. Сигнал розузгодження $\Delta T = T_{c\text{зд}} - T_c$ з виходу блока 1 подають на вхід головного регулятора каскадної схеми регулювання 2, який виробляє регулюючу дію (керуючий вплив) u_1 (ходу регулюючого органу подачі пари в підігрівник), яка надходить на вхід суматора 3.

З виходу блока 3 сигнал ΔT_p подають на вхід допоміжного регулятора 4, який виробляє керуючу дію u_2 - % ходу регулюючого органу подачі пари в підігрівник 5 (першу частину об'єкта керування). З блоку 5 коригуючий сигнал T_p подають на другий вхід суматора 3, а також на вхід блоку 6 – передаточну функцію каналу об'єкта керування «температура пари - температура томатної пасты», на виході якої формується сигнал T_c , як коригуючий сигнал надходить на суматор 1.

**Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в
стерилізаторах безперервної дії**



- 1 – суматор
- 2 – головний регулятор
- 3 – суматор
- 4 – допоміжний регулятор
- 5 – частина об'єкта керування з передаточною функцією за допоміжним каналом керування «температура пасти після підігрівника»
- 6 – частина каналу об'єкта керування температура пари - температура томатної пасти, головний контур

Фігура

Формула корисної моделі

Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії, який містить регулювання температури томатної пасти шляхом зміни положення регулюючого органу подачі пари в підігрівник, **який відрізняється тим, що** додатково об'єкт керування проміжною точкою розбито на дві частини; головний регулятор каскадної схеми регулювання виробляє керуючий вплив – відсоток ходу регулюючого органу подачі пари в підігрівник, який надходить до допоміжного регулятора, а з його виходу – до частини об'єкта керування за допоміжним каналом керування «температура пасти після підігрівника», а з його виходу сигнал подають на вхід частини об'єкта керування за каналом «температура пари - температура томатної пасти» головного контуру регулювання.

Заявник та винахідник

Маслов О.А.

Реферат

Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії

Корисна модель відноситься до способу автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії і може бути використана у консервній галузі харчової промисловості при виробництві томатної пасти, а саме при її тепловій обробці, а також в молочній промисловості при тепловій обробці молочних продуктів, м'ясній, цукровій промисловості.

Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасти в стерилізаторах безперервної дії, містить регулювання температури томатної пасти шляхом зміни положення регулюючого органу подачі пари в підігрівник, додатково об'єкт керування проміжною точкою розбито на дві частини; головний регулятор каскадної схеми регулювання виробляє керуючий вплив – відсоток ходу регулюючого органу подачі пари в підігрівник, який надходить до допоміжного регулятора, а з його виходу – до частини об'єкта керування за допоміжним каналом керування «температура пасти після підігрівника», а з його виходу сигнал подають на вхід частини об'єкта керування за каналом «температура пари - температура томатної пасти» головного контуру регулювання.

Імітаційне моделювання запропонованого способу підтвердило його працездатність та підвищення динамічної точності шляхом побудови каскадної систему автоматичного керування.

Порядковий номер заявки, визначений заявником		Дата одержання		
[22] Дата подання заявки	Пріоритет	[51] МПК	ЕВ	[21] Номер заявки
		A23L1/00, A23L 3/00		
Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством, що одержує Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки)				
ЗАЯВА про державну реєстрацію винаходу (корисної моделі)		МІНЕКОНОМІКИ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ" (УКРНОІВІ) вул. Дмитра Голденка, 1 (вул. Глазунова, 1), м. Київ-42, 01601		
Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати патент України на винахід ☒ патент України на корисну модель				
[71] Заявник(и)			Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)	
Маслов Олександр Андрійович				
ється повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом BOIV ST.3. Дані про місце проживання авторів - заявників наводяться за кодом (72)				
Прошу (просимо) встановити пріоритет ☐ заявки ☐ пунктів формули винаходу за заявкою № за датою: подання попередньої (їх) заявки (ок) в державі-учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31),(32),(33) подання до НОІВ попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62) подання до НОІВ попередньої заявки (навести дані за кодом (66))				
[31] Номер попередньої заявки	[32] Дата подання попередньої заявки	[33] Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом BOIV ST.3	[62] Номер та дата подання до НОІВ попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	[66] Номер та дата подання до НОІВ попередньої заявки
[54] Назва винаходу (корисної моделі)				
Спосіб автоматичного керування процесом стерилізації томатної пасты в стерилізаторах безперервної дії				
Адреса для листування, прізвище або найменування адресата вул. Космонавтів, 15, кв. 17, м. Одеса, Україна, UA 65080 Телефон +380958505636 E-mail spector8159@gmail.com Факс				
[74] Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності прізвище або повне ім'я іншої довіреної особи				

☐ Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються	Кількість аркушів	Кількість примірників	Підстави щодо виникнення права на подання заявки і одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є Заявником(ами):
✓ опис винаходу	3	3	☐ є документ про передачу прав винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам) ☐ є документ про право спадкування
✓ формула винаходу	1	3	
✓ креслення та інші ілюстративні матеріали	1	3	
✓ реферат	1	3	
✓ документ про сплату збору за подання заявки	1	1	
☐ документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору			
☐ документ про депонування штаму			
☐ копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет			
☐ переклад заявки українською мовою			
☐ документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)			
Інші документи:			
☐ міжнародний звіт про пошук			

[72] Винахідник(и) Винахідник(и)-заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом BOIB ST.3 (для іноземних осіб – тільки код держави)	Підпис(и) винахідника(ів)- заявника(ів)
Маслов Олексій Андрійович	вул. Космонавтів, д. 15, кв. 17, м. Одеса, Україна UA 65080	

Я (ми)
прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту
Підпис(и) винахідника(ів)

Підпис(и) заявників(ів)

Дата підпису М.П.	Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, яка має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо всі автори виступають заявниками, то їх підписи наводяться за кодом (72)
-------------------	--

ДОДАТОК Г. РУКОПИС СТАТТІ «ШЛЯХИ РОЗВИТКУ СФЕРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ВЕКТОР ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ»

УДК 339.9:339.13.024:681.5.01

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ СФЕРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ВЕКТОР ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ WAYS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF AUTOMATION SPHERE DEVELOPMENT AS A PROMISING VECTOR OF UKRAINE POST-WAR RECOVERY

Маслов О.А.

Maslov O.A.

Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-4539>

E-mail: spector8159@gmail.com

Анотація. У статті наведений огляд сучасного стану промислово-економічного та технологічного комплексів України, здійснений огляд чинників, які зумовлюють негативний вплив, що доповнюється суттєвою «девальвацією» кадрового, науково-технічного, промислового потенціалу країни та призводить до суттєвого посилення розриву між Україною та зарубіжними країнами. Деталізується роль інноваційних технологій як важливого елемента у побудові повоєнної України, а також деталізуються причини, з яких відновлення «попередньої» або «до-воєнної» версії промислового комплексу України може бути менш ефективним у порівнянні зі створенням нової структури, що акцентує увагу на інноваціях, високих технологіях, а також застосуванні результатів технічного та технологічного розвитку людства. Наведено огляд характерних тенденцій, актуальних для автоматизації технологічних процесів, що існують на сьогоднішній день у світі, а також робиться висновок про важливість адаптації зазначених тенденцій до умов України на сучасному етапі та у короткостроковій перспективі – у період післявоєнного відновлення України. У статті наведено базові цілі та задачі автоматизації, ситуативна зміна яких та адаптація яких під «післявоєнні» реалії може надати додаткового імпульсу у відновленні промислового, технологічного, економічного розвитку України, враховуючи глобальні тренди сучасності – підвищення рівня екологічної безпеки інтеграцію високих технологій у життя сучасного суспільства. Також у статті озвучено тезу про необхідність комплексного опрацювання оновленої моделі післявоєнного розвитку України з урахуванням суперечливих тенденцій – природного впливу автоматизації на скорочення робочих місць та необхідності забезпечення працевлаштування для населення України у післявоєнний період. Робиться проміжний висновок щодо важливості розвитку освіти та адаптації програм вищих та середніх навчальних закладів до повоєнних реалій, з пошуком балансу між скороченням робочих місць, довгостроковими цілями держави та збереженням високої конкурентоспроможності українських працівників та кадрового потенціалу загалом. На підставі проведеного аналізу робиться висновок про важливість комплексної адаптації актуальних для світу тенденцій у сфері автоматизації в український промисловий комплекс, включно з інтеграцією програм навчання до військових та післявоєнних реалій. Також робиться висновок, що ігнорування поточних трендів може суттєво обмежити промисловий, технічний та технологічний потенціал України, знизивши темпи відновлення української держави у середньостроковій та довгостроковій перспективі.

Abstract. The article reviews the factors that negatively affect the modern industrial, economic, and technological complex of Ukraine, which is complemented by a significant “devaluation” of Ukraine’s human, scientific, and technical, and industrial potential and leads to a significant increase in the gap between Ukraine and foreign countries. The role of innovative technologies as an important element in building post-war Ukraine is detailed, and the reasons why the restoration of the “previous” or “pre-war” version of Ukraine’s industrial complex may be less effective than the creation of a new structure that focuses on innovation, high technologies, and the adaptation of the results of mankind’s technical and technological development are detailed. An overview of the characteristic trends relevant to the automation of technological processes that exist in the world today is provided, and a conclusion is drawn about the importance of adapting these trends in Ukraine at the present stage and in the short term – during the post-war restoration of Ukraine. The article presents the basic goals and objectives of automation, the situational change of which and the adaptation of which to the “post-war” realities can provide additional impetus in the restoration of industrial, technological, economic development of Ukraine, taking into account the global trends of modernity - ecology, the integration of high technologies into the life of modern society. The article also voiced the thesis about the need for a comprehensive study of the updated model of post-war development of Ukraine, taking into account

contradictory trends - the natural impact of automation on the reduction of jobs and the need to ensure employment for the population of Ukraine in the post-war period. An interim conclusion is made on the importance of the development of education and the adaptation of programs of higher and secondary educational institutions to the post-war realities, with the search for a balance between the reduction of jobs, long-term goals of the state and the preservation of high competitiveness of Ukrainian workers and human resources in general. Based on the analysis, the conclusion is made about the importance of comprehensive adaptation of current world trends in the field of automation to the Ukrainian industrial complex, including the integration of training programs into military and post-war realities. It is also concluded that ignoring current trends can significantly limit the industrial, technical and technological potential of Ukraine, reducing the pace of recovery of the Ukrainian state in the medium and long term.

Ключові слова: автоматизація, технологічні процеси, післявоєнне відновлення України, робототехніка, інновації, промисловість, технології

Keywords: automation, technological processes, post-war reconstruction of Ukraine, robotics, innovations, industry, technologies

Вступ

Сучасна геополітична ситуація продукує для України широкий спектр викликів і загроз, до яких доречно віднести руйнування транспортної, логістичної та промислової інфраструктури, відтік кваліфікованих кадрів та фахівців, що формують промисловий, технологічний та економічний потенціал України, включаючи зниження рівня освіти та підготовки спеціалістів з адаптацією всіх виробничих, технічних спеціальностей до сучасних військових реалій. Природним і, у певному сенсі – логічним результатом зазначеної тенденції є система та фактично незворотна втрата Україною власного промислового, технічного, технологічного потенціалу, відновлення якого у найближчій перспективі може вимагати суттєвих людських, фінансових та інвестиційних ресурсів якими країна не володіє. Характерний пласт складнощів у даному випадку також доповнюється фактичною відсутністю стійкого, стабільного, та, що найважливіше - прогнозованого фінансування – як програм підготовки фахівців, так і доступних державі фінансово-мотиваційних інструментів, що зумовлюють як знецінення поточного кадрового складу, так і істотно обмежують можливості України у залученні іноземної робочої сили, що володіє необхідним рівнем знань, кваліфікації та підготовки.

Водночас, системні кризові явища, що стосуються як освітнього, так і науково-дослідного, промислового, технологічного сегментів життя сучасної України, можуть також позиціонуватися і в якості своєрідної «відліку» нового етапу в післявоєнному розвитку України, які, тим не менш, потребують зосередження на якості, актуальності та оперативності» [2]. Ця концепція пов'язана з розглядом можливості спрямування інвестицій не тільки для відновлення попереднього, перед початком військової агресії Росії проти України, статусу матеріально-технічної та промислової бази, і може реалізуватися через спрямування як внутрішніх ресурсів України, так і зовнішніх запозичень (кредити, гранти від G7, МВФ, прями іноземні інвестиції від США, Франції, Німеччини, Великобританії у рамках безпекової угоди між Україною та Великою Британією [3] та, наприклад п. 4, ст. 1 Декларації про сторічне партнерство між Україною та Сполученим Королівством Великої Британії і Північної Ірландії [4]), у передові та інноваційні галузі, а також в проекти трансформації України в передову промислово-технологічну державу, вироблена продукція в якій буде конкурентоспроможною та перспективною як на внутрішньому, так і на європейському та інших ринках збуту продукції. Зазначена стратегія, у свою чергу, корелює і з довгостроковими геополітичними цілями України, ключовою з яких є підтримка стійких темпів інтеграції до Європейського Союзу, а також послідовне розширення сукупної структури взаємодії України з державами Європейського Союзу у промисловій, технічній, інноваційній, технологічній, освітній, науковій сферах міждержавної та професійної комунікації. Не є винятком із зазначеної тенденції і сфера автоматизації, специфіка та потенціал якої можуть створювати умови для формування сприятливого імпульсу у технологічному та економічному розвитку країни. Аргументом на користь цієї тези виступає природна жага промислового комплексу України до технологічних інновацій, а також збереження, навіть в умовах військової агресії щодо України, достатніх ресурсів для здійснення розробки та можливої інтеграції передових технологій, технічних, технологічних, конструкторських автоматизованих рішень до промислового комплексу сучасної України.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Питання технічного та технологічного розвитку України виходять безпосередньо за період війни і є одним із ключових орієнтирів розвитку української держави фактично на всіх етапах її існування. Прикладом даного підходу виступає затвердження «Стратегії розвитку промислового комплексу України на період до 2025 року» (2018 р.) [5], «Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року» (2019 р.) [6], «Стратегії розвитку оборонно-промислового комплексу» (2021 р.) [7]. Також потрібно особливо відмітити прийняття «Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 року» (2024 р.) [8], в рамках якої констатується, що «новий етап військової агресії», сприяв «поглибленню довгострокової тенденції щодо недостатнього фінансування в наукові досягнення та розробки», що «завдало збитків інфраструктурі та послабило людський капітал». Даний аспект виявиться у знищенні 1443 приміщень (належить 177 науковим організаціям та університетам), що доповнюється знищення інженерної інфраструктури, наукового обладнання, а також ускладняється внутрішньою міграцією науковців (понад 88 тис. осіб) [8].

Зазначена диспозиція обумовлює стратегічну важливість у розробці комплексних заходів, спрямованих на збереження кадрового потенціалу з можливістю його використання в післявоєнний період часу для формування нового імпульсу в галузі технічного і технологічного потенціалу України, з урахуванням факту ідентифікації автоматизації та технологічних процесів як специфічних об'єктів керування [1], що зумовлює специфічні підходи до зазначених комплексних заходів.

Мета і завдання дослідження полягають у огляді та аналізі факторів, зумовлюючих негативні тенденції у економіці та промисловості України, а також інноваційного потенціалу автоматизації технологічних процесів як одного з ключових елементів післявоєнного розвитку України.

Завдання полягають у наступних елементах:

- визначити зовнішніх факторів зумовлюючих зниження промислового та економічного потенціалу України;
- визначення ключових напрямків застосування автоматизації технологічних процесів;
- здійснити огляд потенційних технологій, інтеграція яких буде сприяти посиленню технологічного промислового та економічного потенціалу країни.

Методи і матеріали досліджень

Під час дослідження було використано методи порівняння, аналізу, узагальнення, прогнозування та системного аналізу. Методи порівняння, аналізу та синтезу – з метою деталізації складових факторів, які зумовлюють негативні тенденції у промисловому розвитку України. Метод синтезу використано для узагальнення інформації про перспективні напрями розвитку автоматизації та виявлення загальних закономірностей цього процесу. Метод індукції та дедукції використовувалися для формулювання загальних висновків на основі аналізу конкретних прикладів технологій, зумовлюючих ріст та посилення конкурентоспроможності української економіки, а також для перевірки дослідницьких припущень. Метод прогнозування дає можливість визначити перспективні напрями розвитку автоматизації. Метод системного аналізу пов'язаний з формуванням основи для логічного і послідовного вирішення до проблеми у дослідженні.

Результати досліджень

Військова агресія Росії проти України вимагає оперативного вироблення нових моделей протистояння викликам та загрозам для національної безпеки вже на поточному етапі, з повноцінним залученням та агрегацією фінансових, економічних, людських, інтелектуальних ресурсів. У той же час, сукупний успіх післявоєнного розвитку України пов'язаний з можливістю уряду України, українського бізнесу та українського суспільства спрогнозувати майбутні тенденції розвитку промисловості та технологічного сектору, що дозволить створити умови для превентивного реагування на потенційні тренди з адаптацією промислового та економічного, технологічного комплексу України до нових реалій. У цих умовах перспективним напрямком може виступати автоматизація технологічних процесів, розвиток якої може сприяти створенню нових робочих місць, так і здатен посилити технологічний потенціал України у післявоєнний період.

Зовнішні фактори наділяють автоматизацію статусом одного з потенційних «локомотивів» у повоєнному відновленні України, тоді як природна тяга до інновацій та технологій, що доповнюється прагненням посилити конкурентоспроможність України у повоєнний час, а також у середньостроковій та довгостроковій перспективі держави загалом, формують потенціал для використання сучасних трендів в автоматизації для розбудови української промисловості. Характерні риси цього підходу були сформульовані Президентом України В. Зеленським у Плані внутрішньої стійкості України (2024 р.), у п. 4 якого «Гроші» закріплене прагнення України до «побудови нової економічної політики, яка базуватиметься на підтримці українського підприємництва», «зниженні тиску з боку всіх державних інституцій», результатом чого буде «стійке економічне зростання», «достатній рівень забезпеченості» та «збереження людського капіталу» [9].

Звертаючись до практичного аспекту, насамперед необхідно констатувати, що технологічний та промисловий розвиток України передбачає збереження прихильності української держави у процесі технологічного та економічного оновлення включно зі сферою автоматизації, до базових та ключових цілей автоматизації, до яких віднесено такі елементи:

1. Збільшення обсягів продукції, що випускається – розглянутий аспект також буде актуальним і у післявоєнному розвитку України;
2. Збільшення якості та сукупної ефективності виробничого процесу (з точки зору зниження втрат продукції);
3. Адаптація до інноваційної складової, головним чином – у контексті вибору на користь нових технологій у разі їх доведеної ефективності в довгостроковій перспективі, з відмовою від «сліпого впровадження інновацій» на догоду сучасним трендам;
4. Зниження витрати сировини – актуальність даного елемента також пов'язана з наслідками військової агресії щодо України, що зумовлює втрату доступу до певних енергетичних ресурсів, корисних копалин, що призводить до подорожчання логістики;
5. Забезпечення прагнення підприємств, бізнесу до використання інновацій у сфері автоматизації для посилення адаптивності українських виробництв, зниження їхньої залежності від зовнішніх факторів;
6. Підвищення екологічності та економічності виробництва (відображення сучасних трендів).

У той же час, важливо враховувати, що стратегічною метою автоматизації виступає скорочення чисельності обслуговуючого персоналу – проте, в умовах як військової агресії Росії, так і прогнозуючи

післявоєнні тренди, важливим аспектом роботи держави також виступає пошук балансу між необхідністю створення нових робочих місць, забезпечення зайнятості населення та доступу до працевлаштування, та сильними рисами автоматизації, однією з яких виступає можливість заміщення автоматизованими системами працівників. Характерним виходом із зазначеної диспозиції може бути адаптація та розширення програм підготовки кадрів на базі вищих та середніх освітніх закладів України, з акцентом на вивченні як іноземних мов, так і передового досвіду використання автоматизації (ШІ – штучний інтелект, нейромережі, високі технології), що дозволить зберегти робочі місця, не обмежуючи темпів автоматизації та розвитку української промисловості.

Реалізація зазначеного підходу також може сприяти якісному переосмисленню базових завдань автоматизації та їх вирішення – наприклад, щодо формування нових підходів до використання технологій в автоматизації для поліпшення рівня та якості регулювання, підвищення коефіцієнта готовності обладнання, опрацювання нових методів, що підвищують ергономічність праці.

Вказані аспекти, у свою чергу, можуть бути виражені в адаптації існуючих тенденцій середньострокового та довгострокового характеру, до яких належать такі тенденції:

1. Забезпечення якісної інтеграції ШІ та машинного навчання у сферу автоматизації;
2. Застосування роботизованої автоматизації процесів – за рахунок застосування розробок українських та західних науково-дослідних центрів, університетів у виробництві та промисловості;
3. Облік гіперавтоматизації у виробничих процесах, головним чином – за рахунок інтеграції нових технологій у виробничий процес (роботизована автоматизація процесів, ШІ, машинне навчання), метою якої може виступати формування «скрізної автоматизації процесів» на базі українських виробництв та промислових підприємств;
4. Розвиток в Україні промислового «Інтернету речей» щодо безперерйного обміну даними, інтерпретації, аналітики даних, використання ШІ в аналітиці з подальшою оптимізацією технічного обслуговування, контролю якості та збільшення загальної продуктивності підприємств;
5. Використання протоколів 5G при одночасній підготовці українського бізнесу для впровадження технологій 6G (ширші канали передачі даних – до 1 Тбіт/с, використання ШІ, обробка великих обсягів даних);
6. Посилення уваги до кібербезпеки в автоматизації – у частині захисту промислових систем управління, пристроїв «Інтернету речей», з допомогою інтеграції нових протоколів шифрування, багатофакторної автентифікації, застосування інструментів сегментації мережі (ізоляція критично важливих систем, баз даних інших елементів).

Таким чином, характерні тренди розвитку автоматизації в сучасних умовах пов'язані з широким спектром профільних завдань, до яких належить вирішення проблем та потреб, суть яких полягає не у відновленні поточного промислового потенціалу, а й орієнтоване на якісне, достовірне прогнозування короткострокових трендів розвитку автоматизації, виходячи з майбутніх потреб міжнародної спільноти вже в короткостроковій перспективі.

Ігнорування зазначеного чинника, особливо – в умовах зниження промислового, технічного, технологічного потенціалу України, не дозволить повною мірою компенсувати «розрив» між Україною та країнами Заходу, що збільшується, тоді як вміла адаптація передового досвіду у промисловість України, готовність до інновацій, акцент на якісному, а не формальному відновленні технічного та економічного потенціалу України може сприяти не лише компенсації існуючих диспропорцій, а й дозволить Україні зайняти лідерські позиції на європейських та західних ринках збуту, доповнюючи експорт корисних копалин експортом технологій, науково-технічних знань, передових рішень у сфері автоматизації та у тотожних до автоматизації галузях знань.

Обговорення результатів

Деталізуючи характерні перспективи розвитку автоматизації технологічних процесів та їх впливу на економічний та технологічний потенціал України, необхідно відзначити звіт «GMK Center» [10], за оцінками якого спостерігається зростання місячної динаміки ВВП України на рівні 1.4%, зростання зовнішньої торгівлі товарами на рівні \$9 млрд, а також спостерігається послідовне зростання ділової активності у 2024 р., на рівні 45.9 пунктів. Також необхідно відзначити позицію Ю. Григоренка [10], за оцінками якого зростання економіки України за підсумками 2024 р. становило 3.3%, що зберігає можливість для подальшого зміцнення промислового потенціалу України. Водночас, за оцінками експертів, ігнорування тенденцій, пов'язаних із якісною втратою міцності виробничого та технологічного потенціалу України, може призвести до сповільнення темпів сталого відновлення економіки України, що пов'язано зі зниженням ефективності українських підприємств, можливим зниженням врожайності, руйнацією і неможливістю відбудови критичної інфраструктури, а також загостренням проблеми дефіциту кадрів. Зазначені фактори підкреслюють стратегічну необхідність впровадження нових технологій і нарощування інвестицій у промисловий, технологічний, промислово-технічний потенціал України вже на сучасному етапі.

Висновки

В рамках статті було розглянуто поточні фактори, що негативно впливають на промислово-технологічний, технічний, кадровий, економічний потенціал сучасної України. Системний та негативний вплив зовнішніх факторів зумовлює для України концентрацію зусиль не лише у компенсації втрат, а й у фундаментальному перегляді можливостей розвитку промислового комплексу України у післявоєнний період часу. В рамках даного дослідження було виявлено, що найбільш ефективним інструментом відновлення промислового

потенціалу України виступає забезпечення послідовної та всебічної інтеграції інноваційних передових технологій у промисловий сектор України. Також було виявлено, що вказана тенденція актуальна і в галузі автоматизації технологічних процесів, характерними трендами довгострокового розвитку якої виступають такі чинники як розвиток робототехніки, розвиток «Інтернету речей», акцент як на наявних, так і на перспективних технологіях зв'язку (5G, 6G), що доповнюється високоякісною підготовкою фахівців у сфері автоматизації, з метою створення якісного, стабільного кадрового-дослідницького потенціалу України у середньостроковій та довгостроковій перспективі. Зазначено, що ігнорування означених тенденцій може призвести до суттєвого послаблення позицій України на міжнародних ринках технологій та інновацій, мінімізуючи можливості повоєнного відновлення України.

Література

1. Хобін В.А., Левінський М.В. Оптимізація фільтрів власного руху у самоналаштуванні САР об'єктом технологічного типу / В.А. Хобін, М.В. Левінський // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. – 2016. – №4. – С. 120 – 129. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu_2016_4_17.
2. Воївода С.О. Системний підхід при організації навчального процесу у ЗВО з використанням нових інформаційних технологій / С.О. Воївода // *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції*. – 2021. – №1 – С. 131 – 133. – Режим доступу: <https://ontu.edu.ua/download/konfi/2021/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2021.pdf>
3. Офіційне інтернет-представництво Президента України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/news/ugoda-pro-storichne-partnerstvo-mizh-ukrayinoyu-ta-spoluchen-95461>
4. Офіційне інтернет-представництво Президента України [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.president.gov.ua/storage/j-files-storage/01/36/01/34d2eceb67f712331077c7ee06aa3022_1737033265.pdf
5. Сайт української продуктової IT-компанії «LIGA ZAKON» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/NT4284>
6. Офіційне представництво Верховної Ради України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text>
7. Офіційне інтернет-представництво Президента України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://president.gov.ua/news/glava-derzhavi-zatverdiz-strategiyu-rozvitku-oborono-promis-70185>
8. Офіційне представництво Верховної Ради України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#n14>
9. Офіційне інтернет-представництво Президента України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/news/volodimir-zelenskii-predstaviv-plan-vnutrishnogo-stiikosti-u-94505>
10. Офіційний сайт групи «GМК Center» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gmk.center/infographic/dinamika-razvitiva-ekonomiki-ukrainy-zamedlilas-v-2024-godu>

References

1. Hobin V.A., Levinskii M.V. Optimizatsiya fil'trov vlastnogo rukhu u samonapravleniy SAR ob'yektom tekhnologicheskogo tipu [Optimization of self-motion filters in self-directed ATS by a technological object]. *Radioelektronika, informatika, menedzhment*. - Radio electronics, computer science, management, 4, 120-129. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu_2016_4_17.
2. Voivoda S.O. Sistemnyy podkhod pri organizatsii nachalnogo protsessu v ZVO s uchetom novykh informatsionnykh tekhnologiy [A systematic approach to organizing the initial process in the ZVO taking into account new information technologies]. *Materialy XIV mezhdunarodnoy naukovopraktychnoy konferentsiyi* - Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference, 1, 131-133 [in Ukrainian].
3. Ofitsial'ne internet-predstavitel'stvo Prezidenta Ukrainy [Government site]. president.gov.ua. Retrieved from: <https://www.president.gov.ua/news/ugoda-pro-storichne-partnerstvo-mizh-ukrayinovu-ta-spoluchen-95461> [in Ukrainian].
4. Ofitsial'ne internet-predstavitel'stvo Prezidenta Ukrainy [Site of the publication]. president.gov.ua. Retrieved from: https://www.president.gov.ua/storage/j-files-storage/01/36/01/34d2eceb67f712331077c7ee06aa3022_1737033265.pdf [in Ukrainian].
5. Sait IT-kompanii «LIGA ZAKON» [Company website]. ligazakon.net. Retrieved from: <https://ips.ligazakon.net/document/NT4284> [in Ukrainian].
6. Ofitsial'noye predstavitel'stvo Verkhovnoy Rady Ukrainy [Government site]. rada.gov.ua. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
7. Ofitsial'ne internet-predstavitel'stvo Prezidenta Ukrainy [Government site]. president.gov.ua. Retrieved from: <https://president.gov.ua/news/glava-derzhavi-zatverdiz-strategiyu-rozvitku-oborono-promis-70185> [in Ukrainian].
8. Ofitsial'noye predstavitel'stvo Verkhovnoy Rady Ukrainy [Government site]. rada.gov.ua. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#n14> [in Ukrainian].

9. ~~Ofitsial'ne internet-predstavitel'stvo Prezidenta Ukrainy~~ [Site of the publication]. ~~president.gov.ua~~. Retrieved from: ~~<https://www.president.gov.ua/news/volodimir-zelenskii-predstaviv-plan-vnutrishnovi-stiikosti-u-94505>~~ [in Ukrainian].
10. Sait kompanii «GMK Center» [Company website]. ~~gmk.center~~. Retrieved from: ~~<https://gmk.center/infographic/dinamika-razvitiya-ekonomiki-ukrainy-zamedilas-v-2024-godu>~~ [in Ukrainian].

ДОДАТОК Д. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У XXV ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ «СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський національний технологічний університет
ННІ Комп'ютерної інженерії, автоматизації робототехніки та
програмування ім. П.М.Платонова
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Університет Інформатики і прикладних знань м. Лодзь, Польща

XXV Всеукраїнська науково-технічна конференція
молодих вчених, аспірантів та студентів

«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І
ТЕХНОЛОГІЙ»

Матеріали конференції



Одеса

17-18 квітня 2025 р.

5. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАГРОЗ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОТИБОРСТВА Карпович І., Гладка О., Тимракевич А. (Національний університет водного господарства та природокористування)	43
6. АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНОГО ДОДАТКУ DIA-MUSIC: МУЗИЧНИЙ ПЛЕЄР ДЛЯ ANDROID З ВИКОРИСТАННЯМ JETPACK COMPOSE Лукашов Д., Корнієнко Ю. (Одеський національний технологічний університет)	45
7. ЗАСОБИ ДЛЯ ШИФРУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ Нечипорук М., Лужецький А., Романюк О., Майданюк В. (Вінницький національний технічний університет)	47
8. АНАЛІЗ РОЗРОБКИ WEB-САЙТУ ДЛЯ РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ «ODESA STREET FOOD» У ХАДЖИБЕЙСЬКОМУ РАЙОНІ МІСТА ОДЕСИ Памбук Л., Корнієнко Ю. (Одеський національний технологічний університет)	49
9. АЛГОРИТМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У МЕТРОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ Пановик У., Гідей Р. (Національний університет «Львівська політехніка»)	51
10. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ Суботін О., Новіков Д. (Донбаська державна машинобудівна академія)	53
11. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СКБД POSTGRESQL ТА MONGODB ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ОНЛАЙН-ЧАТУ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОРЕНДОЮ ЖИТЛА Терешко Д., Бабюк К. (Вінницький національний технічний університет)	56
Розділ 3: Нові інформаційні технології освіти	59
1. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ТЕСТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ VBA ТА OPENCV Іванов Ю. (Одеський національний технологічний університет)	60
2. АНАЛІЗ ІНТЕРНЕТ-ЗАЛЕЖНОСТІ СЕРЕД УКРАЇНСЬКОЇ МОЛОДІ: ПОВЕДІНКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ТА КЛАСТЕРНИЙ ПІДХІД Котлик С., Соколова О., Мойсєєва І. (Одеський національний технологічний університет)	62
3. ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК ОСВІТНЬОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД Маслов О. (Одеський національний технологічний університет)	65
4. ЧАТ-БОТИ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СУПРОВОДІ АБІТУРІЄНТІВ ПІД ЧАС ВСТУПНОЇ КАМПАНІЇ Поліщук В., Свинчук О., Колумбет В., Бандурка О. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)	67
5. ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ Тищенко А. (Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)	70
6. ГЕЙМІФІКОВАНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ БАЗ ПРОГРАМУВАННЯ НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ Шит Я., Свинчук О., Бандурка О. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)	72
Розділ 4: Проектування інформаційних систем та програмних комплексів	75
1. DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR RIDE-SHARING ORGANIZATION Amirzhanova S., Kim Y. (Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan)	76

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, 2025 р. – 287 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 ІТ, так і для викладачів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками 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.

Науковий редактор збірника Зосімов В.В.

УДК 378.1:378.14:378.16:37.03:37.08

ВПЛИВ ІНОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК ОСВІТНЬОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

МАСЛОВ О. А.

(spector8159@gmail.com),

Одеській національний технологічний університет

У сучасних умовах економічного та технологічного розвитку людства, також актуалізується потреба у формуванні кадрового потенціалу України, здатного вирішувати комплексні завдання, орієнтовані на зміцнення економічного, промислового, технологічного потенціалу. Досягнення зазначеної мети, з огляду на її довгостроковий характер, орієнтоване на необхідність якісного розвитку системи освіти, з інтеграцією передових та інноваційних технологій, а також передових освітніх практик, які сприятимуть підвищенню рівня та якості спеціалістів, що проходять підготовку у ЗВО. Додатковим вектором діяльності виступає використання програм академічного обміну – як з метою розвитку кадрового потенціалу, так і з метою інтеграції передових практик у підготовці фахівців у науково-технічній, гуманітарній сферах.

Постановка проблеми. Сучасний стан розвитку освітнього процесу в Україні пов'язаний із широким спектром викликів і загроз, ключовою з яких виступає потенційна втрата конкурентоспроможності українських фахівців, що створює ризики для подальшого погіршення технологічного, промислового, економічного потенціалу країни. Ця проблема бачиться критичною як через можливий незворотний характер зазначеної тенденції, так і через суттєве обмеження потенціалу України у післявоєнному відновленні економіки. Це актуалізує потребу у реалізації комплексних заходів, орієнтованих на розвиток кадрового потенціалу України за рахунок поглиблення всебічного розвитку наявних освітньо-наукових програм, а також інтеграції в освітній процес інноваційних технологій та передових систем, потенціал яких може сприяти як нарощуванню кадрового потенціалу України, так і сприятиме гармонізації освітнього процесу. Характерні риси цього підходу були сформульовані Президентом України В. Зеленським у Плані внутрішньої стійкості України (2024 р.), у п. 8 якого «Людський пріоритет» констатована важливість розвитку людського капіталу [1].

Перелік вирішених завдань містить огляд найперспективніших технологій та форматів у сфері освіти, комплексне застосування яких в освітньому процесі, за рахунок розширення технічних і технологічних можливостей закладів вищої освіти, а також освітніх програм, сприятиме якісному розвитку кадрового потенціалу України, даючи змогу створити сприятливу тенденцію в повоєнній відбудові української держави.

Зміст дослідження. Поточні вектори економічного, технічного і технологічного розвитку людства зумовлюють інтеграцію інформаційних, цифрових та інноваційних технологій в усі сфери життєдіяльності. Не є винятком із цієї тенденції освітній процес, суть якого орієнтована на всебічну підготовку кваліфікованих спеціалістів, що утворюють інтелектуальний, промисловий, кадровий базис у діяльності України, існування якої на тлі

екзистенційних кризових явищ актуалізує необхідність комплексного опрацювання та адаптації освітніх програм з метою посилення рівня економічного й технологічного потенціалу та реалізації заходів, зорієнтованих на інтеграцію передових технологій в освітній процес, для здобуття додаткового імпульсу в повоєнному відновленні держави. Реалізація цієї стратегії передбачає діяльність держави за широким спектром напрямів, серед яких:

1. Збереження поточної кількості та орієнтація на підвищення якості вищих навчальних закладів – за рахунок розроблення нових освітніх програм, збільшення фінансування вищих навчальних закладів з метою посилення їхнього технологічного потенціалу;

2. Розвиток системи середньострокових і довгострокових програм академічного та студентського обміну, включно зі стимулюванням академічної мобільності (на базі програми «ERASMUS+»), включно з розвитком грантової роботи із зарубіжними фондами (наприклад – Фонд К. Аденауера, Фонд Розі Люксембург, Фонд Фрідріха Наумана, Фонд Роберта Коха);

3. Концептуальний розвиток адаптивних програм навчання – за рахунок розбудови системи дистанційного навчання [2], розширення наявних платформ, що сприяють здобуттю вищої освіти, а також вивченню іноземної мови, з метою підвищення конкурентоспроможності українських спеціалістів не лише на внутрішньому, а й на зовнішніх ринках праці.

Наступним важливим напрямом виступає інтеграція передових технологій в освітній процес, що дасть змогу не тільки забезпечити комплексний розвиток, але й адаптувати освітні програми до поточних умов і світового ринку праці. До цих технологій слід віднести інтерактивні методи навчання [3], лекції та семінари, використання технологій VR у процесі навчання, використання штучного інтелекту в освіті (персоналізація навчальних програм, систем контролю успішності, систем перевірки знань, виявлення «вузьких місць» у навчанні та виправлення прогалин з метою формування індивідуального підходу до кожного студента, а також оцінці його знань і можливостей, розробки індивідуальної підготовки), стимулювання процесів генерації ідей (емпатія, визначення прогалин і можливостей їх розв'язання, сприяння генеруванню та реалізації творчих ідей, створення проєктів), стимулювання програм навчання, що ґрунтуються на запитах ринку праці (опрацювання конкретних програм підготовки спеціалістів, розвиток технологій проблемного навчання, координація освітнього процесу, пошук рішень для реальних проблем, з посиленням практичного результату в навчанні), використання технологій мікронавчання [4].

Реалізація зазначених підходів, здійснювана на системному підході, за підтримки з боку держави, а також освітніх фондів, зарубіжних організацій, може сприяти комплексному опрацюванню нових програм навчання, що, доповнюючись посиленням технологічного та технологічного потенціалу вищих навчальних закладів створює сприятливі умови для зміцнення кадрового потенціалу України і буде сприяти підвищенню рівня, кваліфікації та конкурентоспроможності українських спеціалістів на внутрішньому та зовнішніх ринках.

Висновки. У рамках проведеного аналізу було розглянуто найперспективніші технології та формати, інтеграція яких в освітній процес сприятиме підвищенню рівня, якості та сукупної конкурентоспроможності кадрового потенціалу України, що має

критичне значення на післявоєнному етапі розвитку держави. Також було виявлено, що комплексна адаптація включає в себе необхідність інтеграції навчальних програм, підвищення технологічної рівня вищих навчальних закладів, включно з можливостями розроблення нових програм підготовки фахівців за програмами бакалаврату та магістратури. Крім того, ігнорування наявних тенденцій може істотно послабити економічний, промисловий, науковий потенціал, призвести до «кадрового голоду», дефіциту кадрів, поповнити які в осяжній для огляду перспективі не вдасться, що призведе до істотного зниження темпів післявоєнної відбудови України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційне інтернет-представництво Президента України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/news/volodimir-zelenskij-predstaviv-plan-vnutrishnoyi-stijkosti-u-94505> Дата звернення: 11 квітня 2025 р.
2. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://osvita.ua/legislation/Dist_osv/2999 Дата звернення: 11 квітня 2025 р.
3. Шакун Н., Кравчук М. Інтерактивне навчання та використання віртуальної реальності в освіті. Наукові інновації та передові технології. 2024. № 1(29). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-1\(29\)-816-830](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-1(29)-816-830) Дата звернення: 11 квітня 2025 р.
4. І. Моргун, «Практикум з використання технології мікронавчання у закладах загальної середньої освіти», Міжнародний науковий журнал "Освіта і наука", 2(33), С.164-169, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://dspace.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/9493> Дата звернення: 11 квітня 2025 р.

УДК 004.738

ЧАТ-БОТИ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СУПРОВОДІ АБІТУРІЄНТІВ ПІД ЧАС ВСТУПНОЇ КАМПАНІЇ

ПОЛІЩУК В.В., СВИНЧУК О.В., КОЛУМБЕТ В.П., БАНДУРКА О.І.
(vickypolishchuk04@gmail.com)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського» (Україна)

У роботі розглянуто актуальність застосування чат-ботів для інформаційного супроводу абітурієнтів під час процесу вступної кампанії в закладах вищої освіти. Проаналізовано основні переваги та обмеження чат-ботів, а також розглянуто напрями їх подальшого розвитку в контексті цифрової трансформації освітнього процесу.

Постановка проблеми. Щороку тисячі абітурієнтів стикаються з необхідністю вибору майбутньої професії та навчального закладу. Цей процес супроводжується великим обсягом

ДОДАТОК Е. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У ІХ МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ
НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ»



IN 94072
від 25.04.2025

СЕРТИФІКАТ

учасника конференції



МАСЛОВ ОЛЕКСІЙ АНДРІЙОВИЧ

ВЗЯВ(-ЛА) УЧАСТЬ У ІХ МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ

25 КВІТНЯ 2025 РІК • М. ТЕРНОПІЛЬ, УКРАЇНА

В рамках участі було опубліковано тези доповіді учасника на тему:

**ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В
ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ
ПЕРІОД**

ДИРЕКТОР МОЛОДІЖНОЇ НАУКОВОЇ ЛІГИ
ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІГОР КОРЕНЮК





МАТЕРІАЛИ ІХ МІЖНАРОДНОЇ
СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ
РОЗВИТКУ НАУКИ**

м. Тернопіль, Україна
25 квітня 2025 рік

Вінниця, Україна
«UKRLOGOS Group»
2025

УДК 082:001
С 89



Голова оргкомітету: Коренюк І.О.

Верстка: Гарасимів М.В.

Дизайн: Бондаренко І.В.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Інституту науково-технічної інтеграції та співпраці. Протокол № 16 від 24.04.2025 року.



Конференцію зареєстровано Державною науковою установою «УкрІНТЕІ» в базі даних науково-технічних заходів України та бюлетені «План проведення наукових, науково-технічних заходів в Україні» (Посвідчення № 73 від 06.01.2025).

Матеріали конференції знаходяться у відкритому доступі на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

С 89

Сучасні аспекти та перспективні напрямки розвитку науки: матеріали IX Міжнародної студентської наукової конференції, м. Тернопіль, 25 квітня, 2025 рік / ГО «Молодіжна наукова ліга». — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025. — 354 с.

ISBN 978-617-8440-72-5

DOI 10.62732/liga-inter-25.04.2025

Викладено матеріали учасників IX Міжнародної мультидисциплінарної студентської наукової конференції «Сучасні аспекти та перспективні напрямки розвитку науки», яка відбулася 25 квітня 2025 року у місті Тернопіль, Україна.

УДК 082:001

ISBN 978-617-8440-72-5

© Колектив учасників конференції, 2025

© ГО «Молодіжна наукова ліга», 2025

© ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025

СЕКЦІЯ 14.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

АНАЛІТИКА ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ІТ-ПРОДУКТУ Смертьяк А. В., Науковий керівник: Колянова Т. В.	119
ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД Маслов О. А.	123
ІНФОРМАЦІЙНА УПРАВЛЯЮЧА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗОВНІШНІХ НОТИФІКАЦІЙ Степаненко М. І., Науковий керівник: Устенко С. В.	126
ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ МЕНЕДЖМЕНТУ МАТЕРІАЛЬНИХ РЕСУРСІВ КОМПАНІЙ Ярцев С. Д.	129
КАНАЛИ НОТИФІКАЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗОВНІШНІХ НОТИФІКАЦІЙ Степаненко М. І., Науковий керівник: Устенко С. В.	131
ПРОГРАМНІ ПРОДУКТИ СТЕГANOГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ Малерик О. П., Науковий керівник: Трифонова К. О.	134
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА - ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ Кучер В. В.	137

СЕКЦІЯ 15.

ТРАНСПОРТ ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ТЕХНОЛОГІЇ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ У МАСОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ АВТОМОБІЛІВ Франчук В. М., Науковий керівник: Самчук Л. М.	139
--	-----

СЕКЦІЯ 16.

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

ЗАДАЧА ПРО ОПИС ПРОЕКТИВНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЦИКЛІЧНОЇ ГРУПИ Молнар О.-П. Б., Науковий керівник: Стойка М. В.	141
МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ У GAMEDEV НА ПРИКЛАДІ СТВОРЕННЯ ГРИ «БІЛЬЯРД» Нестерович Е. Р., Науковий керівник: Коваленко О. М.	143

Маслов Олексій Андрійович, здобувач вищої освіти за програмою магістратури
Одеський національний технологічний університет, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

Стратегічний потенціал інформаційних технологій та їхня інтеграція в життя сучасного суспільства зумовлює потребу в розробці нових заходів, орієнтованих на забезпечення їх інтеграції з метою підвищення рівня та якості освіти. Особлива актуальність цього процесу пов'язана з процесом інтеграції інформаційних технологій в освітній процес України, з метою підвищення рівня та якості підготовки фахівців на базі вищих навчальних закладів в умовах воєнного та післявоєнного періоду розвитку.

Постановка проблеми. Військова агресія щодо України актуалізує потребу у розв'язанні широкого спектра завдань, до яких належить збереження потенціалу закладів вищої освіти, збереження кадрового складу, можливостей ЗВО з підготовки якісних фахівців. Вирішення зазначеної проблеми передбачає роботу, спрямовану на підвищення якості освітніх послуг, що надаються, досягнення чого здійснюється за рахунок інтеграції інноваційних технологій (наприклад, блокчейн, STEM-освіти [1], мікронавчання [2]), в освітньому процесі. Особлива актуальність цієї тенденції пов'язана і з післявоєнним розвитком України, оскільки опора на якісний кадровий склад визначатиме як життєздатність, так і зумовлює темпи післявоєнного розвитку України.

Список вирішених завдань дослідження включає в себе огляд передових практик, інноваційних технологій, інтеграція яких в освітній процес сприятиме підвищенню рівня конкурентоспроможності випускників вищих навчальних закладів України.

Зміст дослідження. В умовах глобалізації, технічного та технологічного розвитку людства спостерігається фактично незворотній процес інтеграції цифрових та інформаційних технологій у життя сучасного суспільства. Не є виключенням з даної тенденції освітній процес, стратегічна важливість якого зумовлена можливістю використання інноваційних технологій у розробці та реалізації програм підготовки спеціалістів, забезпечуючи високу якість підготовки кадрів, і визначаючи, тим самим, сукупний рівень конкурентоспроможності українських спеціалістів на внутрішніх та міжнародних ринках праці. Доповнюється зазначений підхід можливістю позиціонування інноваційних технологій як ключового елемента забезпечення технологічних, технічних, економічних позицій України – як на сучасному етапі, так і в повоєнний період часу. Таким чином, ігнорування факту необхідності інтеграції інноваційних технологій в освітній процес може призвести до суттєвого зниження конкурентоспроможності українських спеціалістів, що призведе в довгостроковій перспективі до суттєвого обмеження як потенціалу України, так і унеможливить експорт освітніх послуг.

Маслов Олексій Андрійович, здобувач вищої освіти за програмою магістратури
Одеський національний технологічний університет, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

Стратегічний потенціал інформаційних технологій та їхня інтеграція в життя сучасного суспільства зумовлює потребу в розробці нових заходів, орієнтованих на забезпечення їх інтеграції з метою підвищення рівня та якості освіти. Особлива актуальність цього процесу пов'язана з процесом інтеграції інформаційних технологій в освітній процес України, з метою підвищення рівня та якості підготовки фахівців на базі вищих навчальних закладів в умовах воєнного та післявоєнного періоду розвитку.

Постановка проблеми. Військова агресія щодо України актуалізує потребу у розв'язанні широкого спектра завдань, до яких належить збереження потенціалу закладів вищої освіти, збереження кадрового складу, можливостей ЗВО з підготовки якісних фахівців. Вирішення зазначеної проблеми передбачає роботу, спрямовану на підвищення якості освітніх послуг, що надаються, досягнення чого здійснюється за рахунок інтеграції інноваційних технологій (наприклад, блокчейн, STEM-освіти [1], мікронавчання [2]), в освітньому процесі. Особлива актуальність цієї тенденції пов'язана і з післявоєнним розвитком України, оскільки опора на якісний кадровий склад визначатиме як життєздатність, так і зумовлює темпи післявоєнного розвитку України.

Список вирішених завдань дослідження включає в себе огляд передових практик, інноваційних технологій, інтеграція яких в освітній процес сприятиме підвищенню рівня конкурентоспроможності випускників вищих навчальних закладів України.

Зміст дослідження. В умовах глобалізації, технічного та технологічного розвитку людства спостерігається фактично незворотній процес інтеграції цифрових та інформаційних технологій у життя сучасного суспільства. Не є виключенням з даної тенденції освітній процес, стратегічна важливість якого зумовлена можливістю використання інноваційних технологій у розробці та реалізації програм підготовки спеціалістів, забезпечуючи високу якість підготовки кадрів, і визначаючи, тим самим, сукупний рівень конкурентоспроможності українських спеціалістів на внутрішніх та міжнародних ринках праці. Доповнюється зазначений підхід можливістю позиціонування інноваційних технологій як ключового елемента забезпечення технологічних, технічних, економічних позицій України – як на сучасному етапі, так і в повоєнний період часу. Таким чином, ігнорування факту необхідності інтеграції інноваційних технологій в освітній процес може призвести до суттєвого зниження конкурентоспроможності українських спеціалістів, що призведе в довгостроковій перспективі до суттєвого обмеження як потенціалу України, так і унеможливить експорт освітніх послуг.

У зазначених умовах, характерний пласт інноваційних технологій, впровадження яких в освітній процес вбачається стратегічно важливим, може бути наданий у вигляді такої системи:

1. Акцент на підсиленні ролі дистанційного навчання, розробка нових програм підготовки кадрів та спеціалістів у технічній, технологічній, промисловій сфері, з метою формування компетенцій, що відповідають потребам ринку праці;

2. Запровадження інноваційних методик навчання, суть яких орієнтована на системне залучення студентів до освітнього процесу;

3. Розробка заходів, спрямованих на розвиток системи дозвілля, при пошуку балансу між традиційними видами активного відпочинку (спорт), цифровими видами дозвілля (показовим прикладом є функціонування на базі ОНТУ серверу з «Minecraft», на якому відтворено у реальному масштабі головний корпус ОНТУ [5]);

4. Розвиток можливостей вищих навчальних закладів у частині застосування інноваційних засобів навчання, при акценті на інформаційній, технологічній, організаційній, комунікаційній складовій.

Водночас важливо враховувати, що інноваційні методи навчання не передбачають винятково акцент на «сліпому» застосуванні передових технологій, і також містять у собі розвиток методів викладання та навчання, при використанні нових стратегій навчання, орієнтованих на учнів.

Враховання цього підходу сприяє створенню умов для активного застосування інноваційних програм, цифрових технологій, стимулюючи інтерес до навчання у студентів.

Базові принципи даного підходу можуть включати в себе заохочення досліджень, розвиток у студентів навичок розв'язання проблем, розвиток критичного мислення, формування індивідуального підходу до отримання обсягів знань (одномоментно), використання «м'яких навичок», стимулювання творчого потенціалу на базі реалізації інтерактивних методів навчання.

Це може бути доповнено використанням технологій VR, зокрема використанням штучного інтелекту в освіті, а також моделей змішаного навчання (використання онлайн-курсів, платформ для дистанційного навчання [3], «хмарних» технологій в освіті та програмах підвищення кваліфікації [4]).

Реалізація зазначеного підходу на базі вищих навчальних закладів України сприятиме підвищенню рівня та якості освіти, створюючи можливості для якісного посилення потенціалу кадрового складу України в середньостроковій та довгостроковій перспективі.

Висновки. У рамках цього дослідження було здійснено огляд загальних тенденцій, які впливають на становлення та розвиток освітнього процесу в Україні.

Було виявлено наявність концептуального взаємозв'язку між здатністю забезпечувати сталу роботу вищих навчальних закладів України, забезпеченні інтеграції інноваційних технологій в освітній процес і рівнем сукупної конкурентоспроможності кадрів, що готуються на базі вищих навчальних закладів.

Також було виокремлено, що інтеграція інноваційних технологій в освітній процес має стратегічну значущість, оскільки від якості та темпів інтеграції в прямій залежності перебувають темпи післявоєнної відбудови України.

Список використаних джерел:

1. Інститут модернізації змісту освіти. STEM-освіта [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://imzo.gov.ua/stemosvita/>
2. Моргун І. О. Практикум з використання технології мікронавчання у закладах загальної середньої освіти. Освіта і наука, 2022. № 2(33). С.164-169.
3. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://osvita.ua/legislation/Dist_osv/2999
4. Клокар Н. І. Методологічні основи запровадження дистанційного навчання в системі підвищення кваліфікації. Шлях освіти. 2012. № 4 (46). С. 38-41.
5. Офіційний сайт Одеського національного технологічного університету [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ksit.ontu.edu.ua/minecraft/>

ДОДАТОК Ж. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IX МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ
НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ»



IN 94074
від 25.04.2025

СЕРТИФІКАТ

учасника конференції



МАСЛОВ ОЛЕКСІЙ АНДРІЙОВИЧ

ВЗЯВ(-ЛА) УЧАСТЬ У IX МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКИ

25 КВІТНЯ 2025 РІК • М. ТЕРНОПІЛЬ, УКРАЇНА

В рамках участі було опубліковано тези доповіді учасника на тему:

**SOFT POWER OF UKRAINE AS A LEADING RESOURCE IN
BUILDING STRATEGIC PRIORITIES OF THE STATE IN THE
EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC SPHERE**

ДИРЕКТОР МОЛОДІЖНОЇ НАУКОВОЇ ЛІГИ
ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІГОР КОРЕНЮК





МАТЕРІАЛИ ІХ МІЖНАРОДНОЇ
СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**СУЧАСНІ АСПЕКТИ ТА
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ
РОЗВИТКУ НАУКИ**

м. Тернопіль, Україна
25 квітня 2025 рік

Вінниця, Україна
«UKRLOGOS Group»
2025

УДК 082:001
С 89



Голова оргкомітету: Коренюк І.О.

Верстка: Гарасимів М.В.

Дизайн: Бондаренко І.В.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Інституту науково-технічної інтеграції та співпраці. Протокол № 16 від 24.04.2025 року.



Конференцію зареєстровано Державною науковою установою «УкрІНТЕІ» в базі даних науково-технічних заходів України та бюлетені «План проведення наукових, науково-технічних заходів в Україні» (Посвідчення № 73 від 06.01.2025).

Матеріали конференції знаходяться у відкритому доступі на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

С 89

.....
Сучасні аспекти та перспективні напрямки розвитку науки: матеріали IX Міжнародної студентської наукової конференції, м. Тернопіль, 25 квітня, 2025 рік / ГО «Молодіжна наукова ліга». — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025. — 354 с.

ISBN 978-617-8440-72-5

DOI 10.62732/liga-inter-25.04.2025

Викладено матеріали учасників IX Міжнародної мультидисциплінарної студентської наукової конференції «Сучасні аспекти та перспективні напрямки розвитку науки», яка відбулася 25 квітня 2025 року у місті Тернопіль, Україна.

УДК 082:001

ISBN 978-617-8440-72-5

© Колектив учасників конференції, 2025

© ГО «Молодіжна наукова ліга», 2025

© ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025

СТРАТЕГІЧНИЙ БРЕНДИНГ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ РИНКІВ Боклаг І. С., Науковий керівник: Дубовик Т. В.	37
---	----

СЕКЦІЯ 5. МЕНЕДЖМЕНТ, ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

РОЛЬ КЕРІВНИКА В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПІДПРИЄМСТВІ Кравченко К. В., Науковий керівник: Яковська В. А.	40
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УКРАЇНІ: СИНТЕЗ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ Ляпін А. В., Науковий керівник: Ткачова С. С.	42
ЦИФРОВІ КОМІНІКАЦІЇ РОЗВИТКУ СУЧАСНОГО СУСПІЛЬСТВА, ЯК НЕВІД'ЄМНА ЧАСТИНА БУДЬ-ЯКОГО БІЗНЕСУ Руденко В. Д., Науковий керівник: Віннікова І. І.	45

СЕКЦІЯ 6. МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ

SOFT POWER OF UKRAINE AS A LEADING RESOURCE IN BUILDING STRATEGIC PRIORITIES OF THE STATE IN THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC SPHERE Maslova A. R., Maslov O. A.	47
ВПЛИВ ІШ НА МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ: НОВИЙ ВИКЛИК ЧИ ІНСТРУМЕНТ? Марунчак К.-М. Б.	50

СЕКЦІЯ 7. ПРАВО ТА МІЖНАРОДНЕ ПРАВО

АДМІНІСТРАТИВНЕ СУДОЧИНСТВО В УМОВАХ ІНТЕГРАЦІЇ В МІЖНАРОДНИЙ ПРОСТІР: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРАВОВИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ І НІМЕЧЧИНИ Мартинюк В. А., Науковий керівник: Суббот А. І.	52
АДМІНІСТРАТИВНІ ПРОЦЕДУРИ ТА ЕЛЕКТРОННЕ ВРЯДУВАННЯ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ Крикун М. О.	55
ДОТРИМАННЯ ПРАВ ЛЮДИНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ Варениця Д. Б.	57

СЕКЦІЯ 6.

МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ

Anzhelika Maslova, master's degree student
Odesa National Technological University, Ukraine

Oleksii Maslov, master's degree student
Odesa National Technological University, Ukraine

SOFT POWER OF UKRAINE AS A LEADING RESOURCE IN BUILDING STRATEGIC PRIORITIES OF THE STATE IN THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC SPHERE

Strengthening the position of the state in the modern system of international relations implies the search for new foreign policy tools that increase the effectiveness of the state's work on the "foreign policy track". One of the most promising directions is the concept of "soft power", the essence of which is focused on the development of a qualitative structure of interaction with foreign target audiences. The use of this tool is especially relevant for Ukraine, because it creates conditions for favorable positioning of the state, creating conditions for increasing the effectiveness of foreign policy activities, in the branding of the state, as well as in the process of creating a positive image of the state in the minds of foreign target audiences.

Problem Statement. The military aggression that Ukraine is currently experiencing has resulted in the need for the "Ukrainian agenda" to be accorded a high specific weight within the global community. This overarching objective underscores the necessity for a comprehensive and methodical utilization of cutting-edge and highly promising instruments within the ambit of foreign policy endeavors. The primary objective of these endeavors is to enhance the effectiveness and the caliber of Ukraine's foreign policy course. Achieving this objective may be facilitated by leveraging "soft power" instruments [1], thereby enhancing the recognizability and appeal of the nation through their utilization in state branding initiatives [2].

The list of tasks to be accomplished consists of a review of the most relevant "soft power" instruments, the use of which will contribute to increasing the effectiveness of Ukraine's foreign policy activities.

Summary of the research. The contemporary evolution of the system of international relations gives rise to a number of challenges and threats for the Ukrainian state. Of paramount importance is the necessity to develop foreign policy instruments with a view to enhancing the overall effectiveness of the implementation of foreign policy.

Conventionally, these instruments comprise diplomacy, diplomatic negotiations and involvement in international organizations. However, the ongoing qualitative advancement in the technical and technological capabilities of humankind has given rise

to the emergence of novel instruments within this domain. Among these, the concept of "soft power", first articulated by the American political scientist and researcher J. Nye, is particularly salient [1]. The concept under discussion is centered on the utilization of natural resources and accumulated assets of the state, which include culture, traditions, history, language, moral principles, values and spiritual guidelines. The employment of these assets in the domain of foreign policy contributes to the cultivation of a favorable image and perception of Ukraine's actions in the minds of foreign target audiences, and establishes the foundations for the advancement of foreign policy instruments of the state. This facilitates comprehensive involvement of third countries and individual citizens of Ukraine in the foreign policy of Ukraine.

Evident in Ukraine's strategic context is the potential of soft power, stemming from the nation's extensive historical development and the establishment of its statehood. This capacity enables the transformation of elements such as Ukrainian history, culture, and language into instruments that serve to advance Ukraine's foreign policy objectives.

The potential effect of implementing these directions is associated with a wide range of possible manifestations of soft power interaction, which is not a strictly regulated sphere, creating conditions for the possible expansion of areas of interaction depending on the current goals of the state, as well as the interests of target audiences in relation to which soft power is realized (politicians, diplomats, experts, opinion leaders, intellectual elites).

The practical value of this concept in comparison to traditional state resources (economic potential and military power, which can be identified as instruments of "hard power") lies in the relatively lower financial costs for the state, as well as an emphasis on creative models of interaction, with the positioning of Ukrainian society as a natural source of soft power for the state [4]. Consequently, use of soft power potential in circumstances of acute economic adversity can serve as a more efficacious means of promoting Ukraine's interests at the foreign policy level. This is due to the fact that it requires comparatively fewer financial resources and concomitantly enables the employment of instruments in creating a favorable image of the state.

It is evident that the following domains of Ukraine's soft power may be indicative of its potential in this regard:

1. Public diplomacy – in terms of the Ukrainian government's efforts to use digital technologies to reflect the European course of Ukraine;
2. Digital diplomacy – in terms of use of digital and information resources to positively portray Ukraine and the Ukrainian community in the perceptions of foreign target audiences;
3. Cultural diplomacy – in terms of the export of Ukrainian culture, traditions, moral values and spiritual guidelines, the development of cooperation between cultural centers of Ukraine and European countries, as well as the establishment of Ukrainian cultural centers in EU countries, Latin America and South-East Asia (language courses, thematic evenings, work with diasporas);
4. Educational diplomacy - in the context of the development of integration of Ukrainian universities into the Western educational space [3], as well as participation in the programs "ERASMUS+", "Horizon Europe" [5], including the activation of cooperation at the level of higher educational institutions of Ukraine and Poland, France, Germany, Italy, the USA [5], including activation of cooperation at the level of higher

educational institutions of Ukraine and Poland, France, Germany, Italy, USA;

5. Development of scientific diplomacy – in terms of activation of grant, scholarship work, providing short, medium and long-term programs of student academic exchange, Ukraine's participation in the creation of Ukrainian-European scientific clusters, technology parks, high-tech spaces, stimulating the development and strengthening of Ukrainian research potential.

Successful implementation of this approach will contribute to increasing Ukraine's recognizability, preserving the "Ukrainian agenda" in the public and political discourse of Western countries, which will ensure the progressive expansion of Ukrainian diplomacy in the medium and long term.

Conclusions. This study analyses the concept of soft power, as well as promising tools, the use of which will contribute to improving the level and quality of foreign policy implementation in the medium and long term. The aforementioned tools encompass the concept of "soft power" and its derivatives, namely public diplomacy, digital diplomacy, science diplomacy, cultural diplomacy and educational diplomacy. It is also important to take into account that this list can be supplemented depending on Ukraine's specific priorities, as well as the specific target audience for which soft power interaction is oriented.

References:

1. Joseph S. Nye, Jr. Soft Power. *Twentieth Anniversary*. 1990. № 80. P. 153-171.
2. Fan Y. Branding the nation: towards a better understanding. *London: Brunel Business School*. 2006. № 2. 11 p.
3. Martynov A. «Soft Power» as a Political Instrument of the European Union (1990s — 2020s). *International connections of Ukraine: scientific rumors and discoveries*. 2020. № 29. C. 113-129.
4. Fesyk O. The Evolution of the category «Soft Power» in international relations research. *Scientific bulletin of ONEU* 2015. № 1. C. 196-209.
5. Official website of Odessa National Technological University [Electronic resource]. Access mode: <https://ontu.edu.ua/inout>

ДОДАТОК И. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У XV МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ»



Львівський науковий форум

СЕРТИФІКАТ

№ 25-1203

Даний сертифікат підтверджує, що

Маслов О.А.

взяв(ла) участь у роботі

XV Міжнародній науково-практичній конференції
«Перспективи розвитку сучасної науки та освіти»
тривалістю 15 годин / 0,5 кредиту ЄКТС



29-30 квітня 2025 року

Голова оргкомітету конференції

В. Бондар

Маслов Олексій Андрійович

здобувач вищої освіти другого рівня

Одеський національний технологічний університет

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-4539>

ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА РОЗВИТОК СИСТЕМИ ОСВІТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Всебічний розвиток людства в цифровій, інформаційній, інноваційній та економічній сфері зумовлює важливість багатогранної та системної інтеграції нових технологій, результатів інтелектуальної діяльності людства в освітній процес, що сприятиме підвищенню рівня та якості економічного, технологічного розвитку держави, створюючи умови для підвищення її сукупної конкурентоспроможності як на міжнародних ринках освіти, так і в сприяючи зміцненню її позицій у ланцюжках руху товарів, робіт, послуг, технологій, робочої сили та інновацій.

Зазначена тенденція загалом є актуальною і для України, однак більш гостро на процес розвитку освітнього процесу української держави зумовлює системний та негативний вплив широкий спектр зовнішніх чинників, ключовими з яких виступає військова агресія з боку росії з 2022 р., пандемія COVID-19, та системні економічні проблеми. Варто уточнити, що зазначений процес продукує широкий спектр негативних чинників, до яких слід віднести системний занепад та фактичну руйнацію освітньої інфраструктури, масовий виїзд молодого покоління (школярі, студенти, аспіранти, працівники системи освіти) за межі країни. Зазначена тенденція продукує два контури подальшого розвитку подій:

1. Спроба збереження участі осіб в українській системі освіти – наприклад за рахунок дистанційної освіти чи редокації не за межі, а у межах України;

2. Можливість інтеграції в зарубіжні освітні системи, що фактично потенційно повністю руйнують освітні зв'язки розглядуваних груп населення з Україною.

Наступний пласт проблем зачіпає економічну та технологічну складову освітнього процесу, головним чином – у частині зниження рівня фінансування освітніх закладів, зниження фактичного інтересу з боку цільових аудиторій (студенти) до української освіти, що істотно обмежує як потенціал української освіти, так і сукупну конкурентоспроможність підготовлюваних за програмами бакалаврату, аспірантури, наукових кадрів і спеціалістів в економічній, промисловій, гуманітарній сферах, створюючи системні складнощі не тільки в забезпеченні життєздатності української держави на поточному етапі, а й особливо гостро – у середньостроковій і довгостроковій перспективі (у повоєнний період часу).

Зазначена диспозиція зумовлює важливість комплексного розвитку потенціалу української освіти з метою недопущення переходу окреслених нами тенденцій у «хронічну стадію». Характерним прикладом такого підходу може виступати інтеграція передових та інноваційних технологій в освітній процес, що дасть змогу розв'язати пласт найактуальніших для України завдань, серед яких:

1. Збереження кадрового та наукового потенціалу України;
2. Підвищення рівня привабливості української освіти як серед місцевих цільових аудиторій, так і з боку зовнішніх цільових аудиторій, створюючи умови для експорту освітніх послуг до країн Близького Сходу, Північної Африки, Південно-Східної Азії, ситуативно - до країн Європейського Союзу [1];
3. Забезпечення фактичної безпеки осіб, які беруть участь в освітньому процесі, за рахунок розвитку дистанційних форматів навчання, адаптації освітніх програм до умов воєнного часу;
4. Створення можливостей для підготовки, за рахунок адаптації програм,

фахівців у найбільш пріоритетних сферах – військових науках, технологіях, цифровій та інноваційній сфері, що дасть змогу задовольнити як потреби українського ринку, так і в перспективі забезпечити експорт технологій, технічних і технологічних рішень у треті країни, зокрема, в Україну та за її межі.

Водночас комплексна інтеграція нових технологій також має здійснюватися на системній основі, що передбачає роботу з боку держави, орієнтовану на якісне сприяння нарощуванню інвестицій в освітній процес.

Результатом зазначеної диспозиції може виступати розвиток системи української освіти на комплексних засадах, у рамках яких основний акцент у розробленні та реалізації освітніх програм залишається за державою, за попутним підвищенням питомої ваги бізнесу (підтримка, опрацювання освітніх програм, реалізація програм фінансування). Характерні тренди в даному випадку можуть бути пов'язані з подальшим розвитком дистанційної освіти, розширенням потенціалу електронних бібліотек, розробкою нових інформаційних продуктів [2], цілі яких пов'язані з комплексним розвитком освітнього процесу (програми вивчення мови).

Другим напрямом може виступати розширення програм короткострокових, середньострокових і довгострокових програм академічного та студентського обміну з вашими навчальними закладами країн Європейського Союзу, що дасть змогу не лише забезпечити якісне нарощування кадрового потенціалу України, а й створить умови для перейняття досвіду з метою подальшої інтеграції технічних і технологічних рішень, передового досвіду в український освітній процес, а також сприятиме підвищенню рівня та якості української освіти, стимулюватиме інтерес до української освіти з боку зарубіжних цільових аудиторій, а також дасть змогу підвищити сукупну конкурентоспроможність українських фахівців на національному та зарубіжних ринках праці.

Своєю чергою, ігнорування зазначених тенденцій може поглибити негативний вплив на розвиток і підтримку цілісності освітнього процесу в

Україні, наслідком чого буде виступати зниження сукупної конкурентоспроможності української освіти та її привабливості, внаслідок чого характерні загрози будуть пов'язані як із подальшим зниженням рівня та якості освіти, так і зі зниженням інвестицій в освітній процес України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Балакірева О. Система внутрішнього забезпечення якості освіти: європейські практики / О. Балакірева // Вища освіта України. – 2022. – № 1. – С. 15–22.
2. Пастушенко В. Інформаційно-комунікаційні технології як засіб забезпечення якості освіти / В. Пастушенко // Інноваційна педагогіка. – 2023. – Вип. 51. – С. 64–69.

ДОДАТОК К. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У IV ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«АДАПТАЦІЯ ДО ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН ТА ВИКЛИКІВ В ЕКОНОМІЦІ,
ТУРИЗМІ, РЕКРЕАЦІЇ ТА ЗАХИСТІ ДОВКІЛЛЯ»

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Івано-Франківськ 8-9 травня 2025 р.

СЕРТИФІКАТ
НПК-081/25



Maslov Oleksii Andriyovich

приймав(-ла) участь у IV Всеукраїнській науково-практичній конференції
здобувачів і молодих вчених «Адаптація до глобальних змін та викликів в
економіці, туризмі, рекреації та захисті довкілля»

30 годин, 1 кредит ECTS

Проректор з наукової
роботи ІФНТУНГ



ОЛЕКСАНДР КОНДРАТ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
 Рада молодих учених ІФНТУНГ
 Міністерство освіти і науки України
 Рада молодих учених при МОН України
 ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
 Державна установа «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАНУ»
 Запорізький національний університет
 Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
 Київський національний університет імені Тараса Шевченка
 Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
 Поліський національний університет
 Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
 Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
 Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
 Карпатський біосферний заповідник
 Департамент економічного розвитку екології та енергозбереження
 Івано-Франківської міської ради
 Департамент інвестиційної політики, проєктів, міжнародних зв'язків, туризму та промоції
 міста Івано-Франківської міської ради
 Івано-Франківська обласна організація
 «Спілки сприяння розвитку сільського зеленого туризму в Україні»
 ВГО «Інноваційний університет»
 ГО «Асоціація готельєрів та власників садиб Яремчанщини»
 ГО «Міжнародна фундація розвитку»
 Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів
 атомної енергетики Національної академії наук України
 Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник

АДАПТАЦІЯ ДО ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН ТА ВИКЛИКІВ В ЕКОНОМІЦІ, ТУРИЗМІ, РЕКРЕАЦІЇ ТА ЗАХИСТІ ДОВКІЛЛЯ

IV ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ ЗДОБУВАЧІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ



8-9 травня 2025 року



**Івано-Франківськ
 2025**

УДК 338.48(06) + 502/504(06)

Адаптація до глобальних змін та викликів в економіці, туризмі, рекреації та захисті довкілля: 2025 рік: Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів і молодих вчених, 8-9 травня 2025 р. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2025. – 520 с.

Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів і молодих вчених «Адаптація до глобальних змін та викликів в економіці, туризмі, рекреації та захисті довкілля» спрямовані на науковий пошук, узагальнення та розроблення рекомендацій щодо можливих шляхів вирішення основних проблем економіки, туризму, рекреації та захисту довкілля в умовах невизначеності. Представлені матеріали носять як практичний, так і теоретичний характер та можуть бути корисними для широкої наукової громадськості, керівників підприємств і організацій, працівників органів державного управління, викладачів закладів вищої освіти, слухачів, докторантів, аспірантів.

Головний редактор: Коробейникова Ярослава, к.геол.н., доц., зав. кафедри туризму, рекреації та регіонального розвитку ІФНТУНГ

Редакційна колегія:

Кондрат Олександр, д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ІФНТУНГ

Побігун Сергій, к.е.н., доц., директор інституту економіки та менеджменту ІФНТУНГ

Король Світлана, к.е.н., доц. доцент кафедри фінансів, обліку та оподаткування ІФНТУНГ

Витвицький Василь, к.т.н., доц., голова ради молодих вчених ІФНТУНГ

Грицуляк Галина, д.с-г.н., доц., зав. кафедри технології захисту навколишнього середовища ІФНТУНГ

Яцишин Теодозія, д.т.н., проф., професор кафедри технології захисту навколишнього середовища ІФНТУНГ

Рецензенти:

Яковишина Т.Ф., д.т.н., проф., професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”.

Зарічняк А.П., к.е.н, зав. кафедри туризмознавства і краєзнавства Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Гречаник Б. В., д. е. н., професор кафедри публічного управління та адміністрування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Матеріалів тез подані в авторській редакції. Відповідальність за точність, достовірність і зміст поданих матеріалів несуть автори

© ІФНТУНГ, 2025

Brynda Vladyslav, Baran Bogdana Comprehensive assessment and optimization of radiation risk management systems	481
Diviziniuk M. M., Farrakhov O. V., Kovach O. V., Zaitsev Ie.O. Regularities of the process of target detection by pulse radar stations	484
Diviziniuk M. M., Farrakhov O. V., Zaporozhets A. O., Khapko Y. B. Classification of radar equipment for unmanned aerial vehicles detection	486
Fomicheva O., Kurylyuk M. Hazard factors of tailings impoundments in the Siversky Donets basin in the zone of armed conflict.....	488
Hablovskyi B. B., Zasytko V. V. Advantages of using excel for geodata processing	490
Hoysan T., Fedorko N. Environmental safety in the development of the pivnichno-dolyna oil and gas field	492
Iatsyshyn A. V., Artemchuk V. O., Skurativskyi I. I., Kutsenko V. O. Features of chemical and radiation monitoring of atmospheric air at Ukrainian NPPS	494
Kotsybynsky O., Herasymenko B. Industry 4.0 in the transformation of the energy sector and enhancement of energy efficiency	496
Lynnyk D., Vavrykiv V., Lopushniak V. I., Hoysan T. I. Comparative analysis of natural sorbents in the processes of bioremediation of oil-contaminated soils	497
Maslov O. A., Mazur O. V. Main provisions of Ukraine's transition to a «green economy»	500
Myndiuk V., Lopushniak V. I., Hoysan T. I. Use of phytoremediation technologies to reduce soil pollution by oil products	502
Vasyliv N. Risk management and environmental monitoring as components of oil and gas industry facilities safety operation	504
Vasyliv N. Air emissions in oil and gas development sector.....	510
Verner T., Hrytsulyak H. M., Lopushniak V. I. Treatment of sawmill wastewater and utilization of water treatment sludge	517
Yaremak I., Yaremak R. Environmental aspects of solar energy in the context of Ukraine's sustainable energy recovery	518

Maslov O.A., second-level higher education student

Odesa National University of Technology

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-4539>

Academic supervisor: **Mazur O.V.**, Ph.D., Associate Professor of the
Department of Technological Processes Automation and Robotic Systems
Odesa National University of Technology

MAIN PROVISIONS OF UKRAINE'S TRANSITION TO A «GREEN ECONOMY»

Integration of “green technologies” into the industrial and economic complex is conditioned by the needs of the Ukrainian state in solving environmental and socio-economic problems - both in the context of ensuring stable production and increasing energy efficiency, clustering of Ukraine's energy system in the conditions of large-scale military aggression by Russia. In turn, the implementation of “green economy” models [1], with further development of “green” industry, will contribute to improving the level and quality of industrial and economic potential of the Ukrainian state [2].

Turning to the origins of this concept, it should be noted that the concept of “Green Economy” was developed on the basis of the UN Environment Program (2008), and was developed with the aim of improving the standard of living and quality of life of all mankind, achieving social equality with a qualitative reduction of negative impact on the environment. An additional factor was to increase energy security - both for humanity as a whole and for individual states - by reducing their dependence on fossil fuels, including reducing the level of negative impact on nature and ecology.

Further development of these principles was associated with the development of the concept of “green industry”, developed on the basis of the UN in industrial development. Within the framework of this program the characteristic accents were connected with the development of long-term models of population protection, protection of ecosystems, including counteraction to climate change.

The logical development of this approach is also the creation of the UN Sustainable Development Goals 2030, (SDGs), the “green agenda” within the framework of which is associated with Goal No. 1 “Alleviate poverty” (access to energy), Goal No. 2 “Alleviate hunger, develop agriculture” (introduction of “green technologies” in agriculture, increasing the contribution to food security), Objective No. 6 “Clean Water and Proper Sanitary Conditions” (environmental factor), Objective No. 7 “Affordable and Clean Energy”, Objective No. 9 “Industry, Innovation and Infrastructure” (integration of “green technologies” into the industrial sector), Objective No. 12 “Responsible Consumption and Production”, Objective No. 13 “Addressing the Impacts of Climate Change”.

As a result, the complex integration of the concept of “green economy” in the industrial, economic sector of Ukraine is associated both with global trends aimed at reducing the level of human impact on the environmental and climatic

sphere, and is associated with the national interests of Ukraine, mainly - in terms of the development and integration of new models to ensure energy, industrial, economic security of the Ukrainian state, educational institutions, industrial enterprises - in the period of martial law, and in the post-martial law period, and in the post-martial law period.

Characteristic tools in this case can be the following directions:

1. Development of models for efficient use of resources by optimizing the consumption of fossil fuels at all stages of production;
2. Introduction of energy-efficient technologies at enterprises;
3. Development of integrated projects of biological water treatment, hydropower, development of solar energy, development of "green ICT", development and implementation of new projects in the field of waste management, including organic waste recovery [4].

Integrated implementation of these approaches in Ukraine, supplemented by the adoption of foreign experience can create conditions for sustainable development of the Ukrainian economy, minimizing both the impact on the environment and reducing the total level of resource depletion in Ukraine.

In addition, the implementation of projects in the green sector can contribute to the decentralization of energy networks, increasing the autonomy of industrial enterprises in Ukraine. A derivative of this direction is the increase in the production of products and goods that can be recycled, recovered or reused (recycling). Also, an important reference point is the general focus of the Ukrainian economy on reducing environmental pollution while increasing the resource efficiency of production, which will contribute to the growth of competitiveness of the Ukrainian economy in European and world markets.

Another important direction is the in-depth application of innovations, while consistently replacing outdated methods of energy production, which traditionally have a high ecological impact on the environment.

Conclusions. The article considered global trends of human development in the economic, environmental and industrial spheres. It was revealed that the transition to a "green economy" is a global trend, the participation of Ukraine in which may contribute to the increase of economic and industrial potential, as well as will contribute to the qualitative growth of competitiveness of the Ukrainian economy in the medium and long term. Also analyzed were characteristic directions of the use of "green technologies", in terms of their positive impact on sustainable development, reducing the rate of resource depletion, including the emergence of a new impetus for the development of economic and industrial potential of Ukraine. In addition, the article identified the relationship between the "green economy" and global goals - mainly the UN Sustainable Development Goals until 2030, which emphasizes the strategic importance of the development and integration of these technologies in the economic, industrial and technological segments of the Ukrainian economy.

References:

1. Global Electricity Review 2025 [Electronic resource]. Access mode: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/>
2. Official website of Odessa National Technological University [Electronic resource]. Access mode: <https://ontu.edu.ua/download/pubinfo/Long-term-Development-Strategy-2027.pdf>
3. Principles of sustainable development of enterprises: A comparative analysis. Economic discourse: International scientific journal. 2017. № 1. C. 33-41.
4. Polinkevych O. Inclusive development of enterprises as a dimension of economic growth. Scientific Notes of the National University of Ostroh Academy. Series 'Economics': scientific journal. Ostroh: NaUoA Publishing House, 2019. №15(43). c. 48-52.

UDC 504.05:631.95:504.062.2

Myndiuk V., student of TK-22-1 group
Lopushniak V. I., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Department of Technology of Protection
of Environmental Protection and Labor Safety,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of Ukraine,
Hoysan T.I., Lecturer at the Department of English Language
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

USE OF PHYTOREMEDIATION TECHNOLOGIES TO REDUCE SOIL POLLUTION BY OIL PRODUCTS

Soil contamination with oil products is one of the most serious environmental problems arising from the intensive activities of oil production, refining and transportation infrastructure. Such contamination causes significant degradation of soil ecosystems, reduction of their fertility, loss of biodiversity, and negative impact on water resources. Traditional methods of soil treatment, including mechanical and chemical methods, are often expensive, require significant resources and can have secondary negative impacts on the environment. Given the current challenges associated with sustainable development, the use of environmentally friendly technologies is of particular importance [1, 3].

Phytoremediation, which is based on the ability of plants to cleanse the soil of contaminants, is a promising alternative to traditional methods. This technology not only effectively reduces pollution, but also helps restore soil structure and biological activity by integrating the principles of nature-based solutions [2, 4].

Phytoremediation involves the use of plants and associated microorganisms to remove, stabilize or degrade pollutants in the soil. The main mechanisms that ensure the cleanup of oil-contaminated soils are absorption of pollutants by plants through the root system with their subsequent translocation to the aboveground;

ДОДАТОК Л. МАТЕРІАЛИ УЧАСТІ У ІХ МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ
НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ
ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СУЧАСНОЇ НАУКИ»



IN 100091
від 13.06.2025

СЕРТИФІКАТ

учасника конференції



МАСЛОВ ОЛЕКСІЙ АНДРІЙОВИЧ

ВЗЯВ(-ЛА) УЧАСТЬ У ІХ МІЖНАРОДНІЙ СТУДЕНТСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ СУЧАСНОЇ НАУКИ

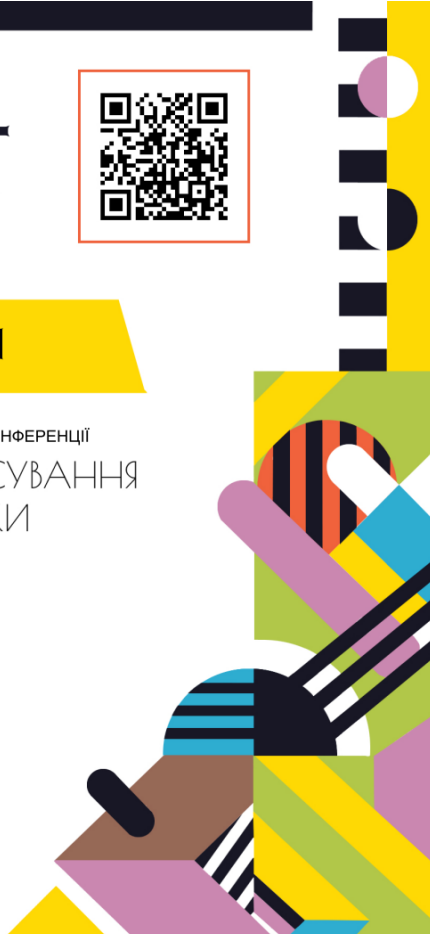
13 ЧЕРВНЯ 2025 РІК • М. УМАНЬ, УКРАЇНА

В рамках участі було опубліковано тези доповіді учасника на тему:

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF
«SOFT POWER» AND ITS ROLE FOR THE DEVELOPMENT
OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN UKRAINE

ДИРЕКТОР МОЛОДІЖНОЇ НАУКОВОЇ ЛІГИ
ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІГОР КОРЕНЮК





МАТЕРІАЛИ ІХ МІЖНАРОДНОЇ
СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

.....

**ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ
ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
СУЧАСНОЇ НАУКИ**

.....

м. Умань, Україна
13 червня 2025 рік

Вінниця, Україна
«UKRLOGOS Group»
2025

УДК 082:001

Т 11



Голова оргкомітету: Коренюк І.О.

Верстка: Гарасимів М.В.

Дизайн: Бондаренко І.В.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Інституту науково-технічної інтеграції та співпраці. Протокол № 23 від 12.06.2025 року.



Конференцію зареєстровано Державною науковою установою «УкрІНТЕІ» в базі даних науково-технічних заходів України та бюлетені «План проведення наукових, науково-технічних заходів в Україні» (Посвідчення № 80 від 06.01.2025).

Матеріали конференції знаходяться у відкритому доступі на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

Т 11

Теоретичне та практичне застосування результатів сучасної науки: матеріали ІХ Міжнародної студентської наукової конференції, м. Умань, 13 червня, 2025 рік / ГО «Молодіжна наукова ліга». — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025. — 472 с.

ISBN 978-617-8312-64-0

DOI 10.62732/liga-inter-13.06.2025

Викладено матеріали учасників ІХ Міжнародної мультидисциплінарної студентської наукової конференції «Теоретичне та практичне застосування результатів сучасної науки», яка відбулася 13 червня 2025 року у місті Умань, Україна.

УДК 082:001

ISBN 978-617-8312-64-0

© Колектив учасників конференції, 2025

© ГО «Молодіжна наукова ліга», 2025

© ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025

ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У МАЛОМУ БІЗНЕСІ Гарнєва Л.В., Науковий керівник: Заднепровська Г.І.	74
РОЗРОБКА НАПРЯМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ ДЕРЖАВНИХ СЛУЖБОВЦІВ Хамзов Р.Р., Науковий керівник: Шумська Г.М.	76
СТРАТЕГІЇ ВИХОДУ КОМПАНІЙ НА МІЖНАРОДНІ РИНКИ Ліхман В.О., Науковий керівник: Фокіна-Мезенцева К.В.	78
УПРАВЛІННЯ СТЕЙКХОЛДЕРАМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ З НИМИ Ліхман В.О., Науковий керівник: Силкіна Ю.О.	81
УЧАСТЬ НАСЕЛЕННЯ У ВИРІШЕННІ ПИТАНЬ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ ЯК ФУНДАМЕНТ ДІЄЗДАТНОСТІ МІСЦЕВОЇ В.И Білоус А.С., Науковий керівник: Заднепровська Г.І.	84
ЦІНІСТНІ ОРІЄНТИРИ СУЧАСНОЇ НАУКИ Мандзюк В.М., Науковий керівник: Кашина Г.С.	88

СЕКЦІЯ 6.

СОЦІАЛЬНА РОБОТА ТА СОЦІАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ДОСВІД ЗАРУБІЖНИХ КРАЇН У СФЕРІ СОЦІАЛЬНО-ПЕДАГОГІЧНОГО СУПРОВОДУ ПРИЙОМНИХ ДІТЕЙ Большак А. С., Науковий керівник: Єгорова К.Г.	90
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СОЦІАЛІЗАЦІЇ ПІДЛІТКІВ Колосова Г.С., Науковий керівник: Єгорова К.Г.	94
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОНЯТЬ «АДИКЦІЯ» ТА «ЗАЛЕЖНІСТЬ» В НАУКОВІЙ ЛІТЕРАТУРІ Кульчицька Н.Ю., Татарінова С.О., Науковий керівник: Татарінова С.О.	97
ТРАНЗИТНЕ ЖИТЛО ДЛЯ МОЛОДІ Стецюра Б.С., Науковий керівник: Путінцева Віта В.	99

СЕКЦІЯ 7.

МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF «SOFT POWER» AND ITS ROLE FOR THE DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN UKRAINE Maslov O.A., Maslova A.R.	101
---	-----

СЕКЦІЯ 7.

МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ

Maslov Oleksii Andriiovych, higher education applicant for the master's program
Odesa National Technological University, Ukraine

Maslova Anzhelika Ruslanivna, higher education applicant for the master's program
Odesa National Technological University, Ukraine

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF «SOFT POWER» AND ITS ROLE FOR THE DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN UKRAINE

The phenomenon of soft power is one of the most demanded and effective tools that contribute to the expansion of the foreign policy arsenal of states, and can be used by Ukraine to develop the educational process.

Problem Statement. The phenomenon of “soft power” actualizes both for the international community as a whole, and for Ukraine, the search for new models of support and development of the educational process. One of the characteristic directions in this case can be the concept of «soft power», individual elements of which can create conditions for positive branding of Ukraine, as well as the expansion of educational ties with the United States and the European Union.

The list of tasks of the study includes an overview of the phenomenon of “soft power”, its characteristic elements, the integration of which into the educational process will help to increase the level of competitiveness of graduates of higher education institutions of Ukraine.

Research Content. Analyzing the phenomenon of soft power, first of all we consider it reasonable to state that at its initial stage this term was derived by the American political scientist and researcher J. Nye in the 90's, XX century [1]. According to the researcher's estimates, the political and ideological vectors of influence of the phenomenon in question are focused on the creation of a favorable image and image of the state, which significantly expands the foreign policy toolkit of Ukraine not only in terms of the implementation of foreign policy activities, but also in terms of explaining the characteristic aspects, specifics of decision-making, providing foreign target audiences with reliable information about the steps taken by the state, as well as forming a loyal pool of target audiences with a positive perception of the state.

In turn, the essence of the conceptual phenomenon of “soft power” is focused on the use of traditional and, in a certain sense, natural (accumulated) resources of the state, which include language, culture, moral-value and spiritual guidelines, lifestyle, history, traditions of the state that create an attractive image of the state in the minds of foreign target audiences.

Thus, the phenomenon of soft power is focused on the “conversion” of the positive image of the state in the processes of involvement of target audiences in the projects of bilateral and multilateral cooperation, which allows to ensure a comprehensive and long-term involvement of third countries and foreign target audiences in the agenda formed by this state - for example, in the fight against terrorism, climate and environmental problems, pandemics, etc. It should be emphasized that the category of “target audiences”, due to the multifaceted nature of soft power, does not have a rigidly fixed character or format - in practice, this thesis implies the possibility of virtually endless segmentation of target audiences depending on the goals, interests, resources, foreign policy vectors in the activities of the state, creating conditions for the development of a “targeted approach” to each of the groups under consideration.

Developing this thesis, we note that in its essence, the target audiences of soft power influence can be the international community as a whole (in terms of creating a global brand of the state as a leading democracy or economic center of the world, «freedom fighter», «fighter for the principles of equal and peaceful coexistence»), regional level (the object of soft power influence can be specific regions - for example, the European Union for the United States, ASEAN and Southeast Asia for China), national level (targeting individual countries - for example, in the framework of soft power interaction between Ukraine and Poland), local level (targeting individual groups of population - politicians, experts, diplomats, intellectual elites, students, young generation, opinion leaders), as well as at the individual level (for example, political elites, specific politicians, participants of educational, scientific programs, etc.).

Thus, within the framework of this paper it is necessary to state that the option of broad detailing of target audiences of soft power influence can act as one of the distinctive and strong characteristics of the soft power of the state, especially in the construction of a positive national brand [2], because these tools allow, unlike propaganda and actually ultimatum promotion of separate narratives, to carry out the study of goals, interests, needs of specific target audiences, with the development of understandable images and narratives for them, which are conveyed through existing soft power programs and allow to form a positive perception of the state, with further monitoring of the response and the possibility of adjusting programs.

This aspect also makes possible the simultaneous realization of a virtually infinite number of cooperation models - for example, within the framework of global impact and creation of a positive image of the state, interaction with individual regions (for example, for China - ASEAN and Central Asian countries, in a more global dimension - the Asia-Pacific region as a whole), individual countries (strengthening the image of Ukraine as a developed and democratic state), individual population groups, individual politicians, experts, opinion leaders, etc.

In other words, it is reasonable to note a rather widespread and partly formulaic, but nevertheless relevant and appropriate statement that soft power tools can be identified as a «two-way street» [3], within which not only the identification of target audiences takes place, with further elaboration and delivery of certain narratives, but also receiving feedback from these target audiences, which allows to adjust educational and scientific programs in accordance with the most relevant needs of these audiences, achieving an unprecedented inherently unprecedented level, quality and depth of interaction.

Developing this thesis, we will also note the characteristic tools of soft power at the present stage [4], with the caveat that in this case we can also trace the principle associated with the absence of rigid templates or models of interaction:

1. Public diplomacy - in terms of interaction of politicians, experts with foreign target audiences, in order to form a sustainable communication, to deliver current and relevant information regarding political events in Ukraine, to form a positive image of the state in the minds of foreign target audiences - both in the countries of the European Union and in the countries of Asia, Africa, Latin America;

2. Educational and scientific diplomacy - in terms of developing cooperation between educational and research institutions, activating grant and scholarship activities, creating conditions for short-, medium- and long-term student and academic exchanges, stimulating student mobility, knowledge and technology transfer (relevant models for Ukraine may be the creation of high-tech clusters, technoparks, technoclusters on the basis of educational institutions – ONTU [5], Lviv Polytechnic, Kyiv National University of T. Shevchenko, Kharkiv National University of V. N. Karazin.);

4. Sports diplomacy - in terms of using the factor of holding major sporting events as a place of concentration of political elites, opinion leaders, etc. This type of diplomacy is also associated with a significant activation of tourist flows, which allows to “open the country to the world”, as well as to support sustainable formats of political interaction (for example, the final stages of the FIFA World Cup, the UEFA European Championship similar to Euro 2012, the UEFA Champions League Final 2018.). It should be specified that the construction of sports infrastructure can be an integral part of this type of diplomacy, which implies the conjugation of sports diplomacy and economic interests, as well as the use of students and the young generation in volunteering;

5. Cultural diplomacy - in terms of the influence of Ukraine's high culture (architecture, art, theater, cultural heritage, reliance on the country's contribution to the cultural and civilizational development of mankind throughout history) and mass culture (with relatively little reliance on the country's “cultural baggage” at the previous stage and a stronger emphasis on the ability to set trends of interest to the international community at the current stage - for example, in terms of fast food, cinema, music, theater, clothing, media, technology, etc.);

As a result, it is necessary to state that there is a fairly wide range of manifestations of soft power influence, while realizing the long-term nature of each tool. It should be specified that the strengthening of Ukraine's educational potential may include such elements as culinary diplomacy, gunboat diplomacy, energy diplomacy and other types of diplomacy, indicating both the open nature of soft power and the possibility of supplementing the soft power toolkit depending on the specific goals, resources of the state, as well as the needs of foreign target audiences.

Conclusions. Thus, summarizing the intermediate results of this chapter and this paragraph of the paper it should be stated that the phenomenon of soft power is one of the most demanded and effective tools that contribute to the expansion of the foreign policy arsenal of states, forming a high potential for Ukraine to use.

We have identified that the key resources of soft power are natural and accumulated by the state elements - language, culture, traditions, moral and value and spiritual guidelines, lifestyle, supplemented by economic factors that allow to ensure the long-term sustainability of the implemented programs and the ability of Ukraine to

respond to the existing requests of target audiences (for example, in terms of medical diplomacy).

It was also revealed that the open nature of soft power gives Ukraine the opportunity to develop new areas of interaction, each of which, in turn, is focused on creating a positive image of Ukraine in the minds of foreign target audiences, making soft power one of the most effective tools to influence third countries at the present stage, as well as an effective tool to promote foreign policy narratives favorable to the state, a tool to engage the international community in the emerging state of Ukraine.

References:

1. Joseph S. Nye, Jr. Soft Power. *Twentieth Anniversary*. 1990. № 80. P. 153-171.
2. Fan Y. Branding the nation: towards a better understanding. *London: Brunel Business School*. 2006. № 2. 11 p.
3. Martynov A. «Soft Power» as a Political Instrument of the European Union (1990s — 2020s). *International connections of Ukraine: scientific rumors and discoveries*. 2020. № 29. C. 113-129.
4. Fesyk O. The Evolution of the category «Soft Power» in international relations research. *Scientific bulletin of ONEU* 2015. № 1. C. 196-209.
5. Official website of Odessa National Technological University [Electronic resource]. Access mode: <https://ontu.edu.ua/inout>