

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»
(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Віталій ЦАПАР
«___» _____ 20__ р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації»

з спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора

Виконала: студентка 4 курсу, групи ЛА-13
(шифр групи)

Мулявичк Максим Русланович
(прізвище, ім'я, по-батькові) _____ (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Жученко О.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант Охорона праці доц, к.т.н. Ковтун А.І.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань
Студент _____
(підпис)

Київ - 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Віталій ЦАПАР
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Мулявчик Максим Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора

керівник проекту к.т.н., доц. Жученко О.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту Система керування має забезпечувати перерегулювання не більше 30%, час перехідного процесу не більше 350 секунд; параметри які підлягають керуванню: витрата, температура.

4. Зміст пояснювальної записки Загальна характеристика процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора; Моделювання процесу охолодження; налаштування та вибір регулятора для об'єкта; оптимізація процесу охолодження; розробка схеми автоматизації; охорона праці;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації технологічного процесу;

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6. Охорона праці	ст.викл., к.т.н. Ковтун А. І.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Ознайомлення з теоретичним матеріалом	26.04.2025	
2	Створення математичної моделі об'єкта	05.05.2025	
3	Синтез системи керування	15.05.2025	
4	Статична оптимізація	20.05.2025	
5	Проектування схеми автоматизації	25.05.2025	
6	Проектування схеми керування електромоторами	30.05.2025	

Студент

(підпис)

Мулявичк М.Р.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Жученко О.А.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить пояснювальну записку об'ємом 57 сторінок, 41 рисуноків, 8 таблиць, 1 креслення, 1 додаток і 16 літературних джерел.

Метою проекту є розробка системи автоматизації хіміко технологічної схеми риформінгу з рухомим шаром каталізатора, для забезпечення найменшого втручання людини в роботу схеми, також збільшення ефективності використання сировини та енергії та підвищення якості продукції.

У дипломному проекті розроблено схему автоматизації з технологічною сигналізацією та схему дистанційного керування електродвигунами.

Одним з основних апаратів, що забезпечує якість вихідного продукту та впливає на економічні показники, є холодильник, для якого розроблена модель статичного та динамічного режимів роботи й побудовані відповідні статичні й динамічні характеристики за каналами керування та збурення.

Для технологічного об'єкта керування другого порядку зроблено синтез системи з регулятором методами М-кола і *PID Tuner* в середовищі *MatLab*, а також за допомогою інтерактивного середовища *SISOTool*, вбудованих у пакет прикладних програм *MatLab*, й обрано оптимальний регулятор методом, що забезпечив найкращі показники якості регулювання. А також застосовані методи статичної оптимізації для мінімізації витрат сировини.

Розроблено заходи з техніки безпеки із врахуванням шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Ключові слова: платформінг, каталізатор, нафта, холодильник, об'єкт керування, схема автоматизації, математична модель, статична характеристика, передавальна функція, перехідна характеристика, канал керування, канал збурення, статична оптимізація, критерій оптимальності, регулятор.

ABSTRACT

The diploma project includes an explanatory note of 57 pages, 41 figures, 8 tables, 1 drawing, 1 appendix, and 16 references.

The goal of the project is to develop an automation system for the chemical-technological scheme of reforming with a moving catalyst bed, aimed at minimizing human intervention in the operation of the system, increasing the efficiency of raw material and energy usage, and improving product quality.

The diploma project presents an automation scheme with process signaling and a remote control system for electric motors.

One of the main units that determines the quality of the final product and affects economic performance is the heat exchanger (cooler), for which both static and dynamic operation models have been developed. Corresponding static and dynamic characteristics for control and disturbance channels have been constructed.

For the second-order control object, a control system was synthesized using the M-circle method and PID Tuner in the MatLab environment, as well as through the SISOTool interactive environment, which is part of the MatLab application package. The optimal controller was selected using the method that ensured the best quality of control. Methods of static optimization were also applied to minimize raw material consumption.

Occupational safety measures were developed taking into account harmful and hazardous production factors.

Keywords: platforming, catalyst, oil, cooler, control object, automation scheme, mathematical model, static characteristic, transfer function, transient response, control channel, disturbance channel, static optimization, optimality criterion, controller.

ЗМІСТ

ФОРМА № Н-9.02.....	7
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ РИФОРМІНГУ З РУХОМИМ ШАРОМ КАТАЛІЗАТОРА	9
1.1. АНАЛІЗ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ.....	9
1.2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА ПРОЦЕСУ РИФОРМІНГУ З РУХОМИМ ШАРОМ КАТАЛІЗАТОРА.....	11
1.3. ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ.	13
1.4. ПОСТАНОВКА КОМПЛЕКСУ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.	14
2. РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	16
2.1. РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	16
2.2. РОЗРОБКА СХЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОТОРАМИ	18
3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ	20
3.1. МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНОГО РЕЖИМУ	20
3.2. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ	23
4. НАЛАШТУВАННЯ ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБ'ЄКТА	27
4.1. НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ М-КОЛА.	27
4.2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМ КЕРУВАННЯ В MATLAB CONTROL SYSTEM TOOLBOX.	31
4.3. НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ PIDTUNING TOOLBOX.....	35
4.4. ПОРІВНЯННЯ ОТРИМАНИХ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.	37
5. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ.....	40
5.1. КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ.....	40
5.2. ОБМЕЖЕННЯ КЕРУВАННЯ.....	40
5.3. МОДЕЛЬ.....	40
5.4. ПАРАМЕТРИ.....	40
5.5. РОЗРАХУНОК ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ	41
5.6. РОЗВ'ЯЗОК ПОСЛІДОВНОЇ КВАДРАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ.	47
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	57

					<i>ДПЛА13.24.00.000ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		<i>Мулявчик М.Р.</i>			Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.		<i>Жученко О.А.</i>						57
						<i>НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ</i>		
Н. Контр.		<i>Кваско Е.М.</i>						
Затв.		<i>Жученко А.І.</i>						

Вступ

Світова нафтопереробна промисловість є стратегічно важливою галуззю економіки, оскільки забезпечує потреби транспорту, промисловості та енергетики в моторних паливних компонентах. Одним із ключових напрямів глибокої переробки нафти є риформінг легких бензинових фракцій, що дозволяє отримувати продукти з високими експлуатаційними властивостями — зокрема стабільний каталізат, який є основним джерелом високооктанових компонентів для моторного бензину.

Актуальність цього дослідження зумовлена потребою в підвищенні ефективності та енергоощадності сучасних риформінгових установок, особливо в умовах зростаючих вимог до якості пального та екологічної безпеки. Процес риформінгу з рухомим шаром каталізатора забезпечує стабільну роботу реакторного блоку при одночасній безперервній регенерації каталізатора, що дозволяє покращити показники виходу і чистоти цільового продукту.

У межах дипломного проєкту основну увагу зосереджено на аналізі роботи холодильника, який є одним з критичних апаратів у схемі установки. Дослідження спрямоване на моделювання динамічного режиму цього обладнання з метою налаштування ефективного контролера та оптимізації теплових потоків. Результати таких розрахунків дозволяють зменшити енергоспоживання, підвищити точність регулювання температури та покращити загальну стабільність роботи процесу.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ РИФОРМІНГУ З РУХОМИМ ШАРОМ КАТАЛІЗАТОРА

1.1. Аналіз природного газу та процесу отримання

Розглянута схема стосується процесу платформінгу — одного з ключових методів глибокої переробки нафтової сировини, спрямованого на підвищення октанового числа бензинових фракцій шляхом ароматизації, ізомеризації та дегідроциклізації вуглеводнів у присутності платиновмісного каталізатора. Процес відбувається з використанням рухомого каталізатора, який циркулює між реакторним блоком та вузлом регенерації.

У результаті реакцій, що протікають у трисекційному реакторі з різними зонами, основним цільовим продуктом є стабільний каталізат — високооктановий компонент моторного бензину. Склад каталізату представлений переважно ароматичними вуглеводнями (толуол, бензол, ксилоли), які забезпечують високу антидетонаційну стійкість бензину.

Процес має кілька етапів:

- Попередній нагрів сировини та водневмісного газу;
- Поетапне проходження сировини через реакторні зони з проміжним підігріванням;
- Відділення продуктів реакції від водню та розділення на газову та рідку фази;
- Стабілізація каталізату — видалення легких фракцій у колоні, після чого отриманий продукт виводиться з установки.

Застосування:

Стабільний каталізат широко застосовується як:

- компонент для моторних бензинів, що не вимагає подальшого додавання тетраетилсвинцю або інших шкідливих октанопідвищуючих добавок;

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- сировина для нафтохімічної промисловості, зокрема для виділення ароматичних вуглеводнів — бензолу, толуолу, ксилолів;
- джерело ароматичних вуглеводнів для синтезу полімерів, розчинників, барвників та вибухових речовин.

Актуальність:

Сучасні вимоги до якості моторних палив передбачають високе октанове число, низький вміст сірки та шкідливих домішок, що робить платформінг особливо актуальним:

- Він дозволяє ефективно переробляти легкі нафтопродукти в бензинову фракцію з покращеними експлуатаційними характеристиками;
- Платиновмісні каталізатори в умовах низького тиску забезпечують високу селективність і вихід цільового продукту;
- Циркуляційна схема з водневмісним газом сприяє мінімізації утворення коксу та стабільній роботі установки;
- Можливість безперервної регенерації каталізатора забезпечує гнучкість та економічну ефективність процесу.

У цілому, технологія платформінгу залишається ключовою ланкою у виробництві високоякісних палив і глибокій переробці нафти, а описана схема відповідає сучасним вимогам до ефективності та екологічності виробництва.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2. Аналіз технологічної схеми та процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора

На рисунку 1.1 зображено технологічну схему риформінгу з рухомим шаром каталізатора [1].

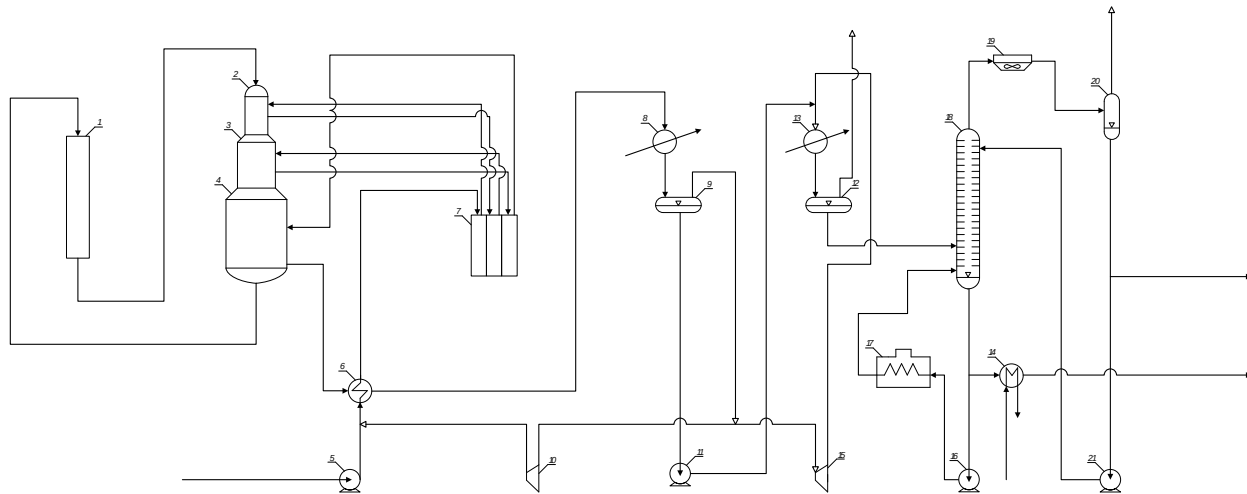


Рис 1.1 Технологічна схема процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора.

1 – секція регенерації; 2-4 – реактори платформінгу; 5, 11, 16, 21 – насоси;
6, 14 – теплообмінники; 7 – багатосекційна піч; 8, 13 – холодильники;
9, 12 – газосепаратори низького та високого тиску; 10, 15 – компресори;
18 – стабілізаційна колона; 17 – трубчаста піч; 19 – апарат повітряного охолодження; 20 – газосепаратор

Для здійснення процесу платформінгу з циркулюючим рухомим каталізатором, який переміщується між реактором і регенератором, використовують три реакційні зони, розміщені вертикально одна над одною в колонному апараті зі змінним діаметром по висоті. Каталізатор послідовно переходить згори вниз: спершу з верхнього реактора до середнього, потім — до нижнього. Із нижнього реактора каталізатор направляється до регенератора [1]. Технологічна схема установки представлена на рисунку 1.6. Сировина за допомогою насоса 5 подається до продуктового теплообмінника 6, де попередньо змішується з циркуляційним водневмісним газом, після чого надходить у змішувик

першої секції багатосекційної печі 7. Підігріта до температури 520 °С газосировинна суміш подається до реактора 2.

На рисунку 1.6 зображено технологічну схему установки. Сировина за допомогою насоса 5 подається до продуктового теплообмінника 6, де попередньо змішується з циркуляційним водневмісним газом. Далі суміш надходить у змійовик першої секції багатосекційної печі 7. Після нагрівання до 520 °С газосировинна суміш подається в реактор 2.

Проміжне підігрівання реакційної суміші здійснюється у змійовиках наступних секцій печі 7. Після виходу з реактора 4 продукти реакції проходять через систему рекуперації тепла, яка включає теплообмінник 6 і водяний холодильник 8.

На відміну від типових схем, розділення газової та рідкої фаз у цій установці здійснюється в газосепараторі 9 низького тиску (1 МПа). Газ із цього апарата компримується компресором 15 до 1,5 МПа, після чого змішується з рідкою фазою, поданою насосом 11. Суміш охолоджується в холодильнику 13 і спрямовується до газосепаратора високого тиску 12. Така схема сепарації, зумовлена низьким тиском у зоні реакції, сприяє зменшенню втрат бензинової фракції з водневмісним газом і забезпечує підвищений вміст водню в циркуляційному газі [1].

Водневмісний газ компресором 10 подається на гідроочищення сировини (не відображено на схемі) і частково — на рециркуляцію до змішувача перед теплообмінником 6. Надлишкова кількість водневмісного газу виводиться з системи.

Стабілізація каталізату відбувається в колоні 18. Основна фракція після охолодження і конденсації в апараті 19 надходить у газосепаратор 20, де розділяється на сухий газ і рідку фазу. Остання подається насосом 21 для зрошення стабілізатора 18, а її надлишок виводиться з установки. Для забезпечення теплопостачання нижньої частини колони використовується трубчаста піч 17. Нижній продукт колони — стабільний каталізат — видаляється через апарат 14.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Весь об'єм відпрацьованого каталізатора з нижньої частини реактора 4 подається до секції регенерації 1. Тут послідовно відбувається спалювання коксу, оксихлорування (для подрібнення кристалів платини) і додавання хлоридів (як промоторів). Після охолодження відновлений каталізатор повертається у верхню частину реактора 2 [1].

Водень, який використовується як транспортний газ, також виконує функцію відновника каталізатора після перебування останнього в окисному середовищі регенератора. За потреби систему регенерації можна відключити від реакційного блоку без зупинки всієї установки.

Режим роботи реакторів:

Температура, °C 490–520;
 Тиск, МПа 1,2–1,3;
 Об'ємна швидкість подачі сировини, год⁻¹ 1,5–2,0;
 Кратність циркуляції водневмісного газу, м³/м³ сировини.....1500–1800;
 Розподіл каталізатора по реакторах.....1 : 2 : 4.

1.3. Основне обладнання.

У даній дипломній роботі об'єктом детального розгляду обрано холодильник, що входить до складу установки риформінгу з рухомим шаром каталізатора. Такий вибір зумовлений важливою функціональною роллю цього апарата у забезпеченні стабільної роботи всього технологічного комплексу. Зокрема, холодильник відповідає за зниження температури продуктів реакції після виходу з реактора, що дозволяє ефективно здійснити подальше газорідинне розділення компонентів у сепараційних блоках [6].

Крім того, холодильник є критичним елементом теплового балансу процесу, оскільки забезпечує часткову рекуперацію тепла та сприяє зменшенню загальних енергетичних витрат установки. Завдяки охолодженню газової суміші до необхідних параметрів, досягається термодинамічна стабільність середовища, що

особливо важливо для оптимального функціонування компресорного обладнання та систем очищення [11].

Таким чином, вибір саме холодильника як об'єкта аналізу дозволяє глибше дослідити енергоефективність технологічного процесу, якість поділу фаз та вплив теплових режимів на загальну стабільність і надійність роботи установки платформінгу.

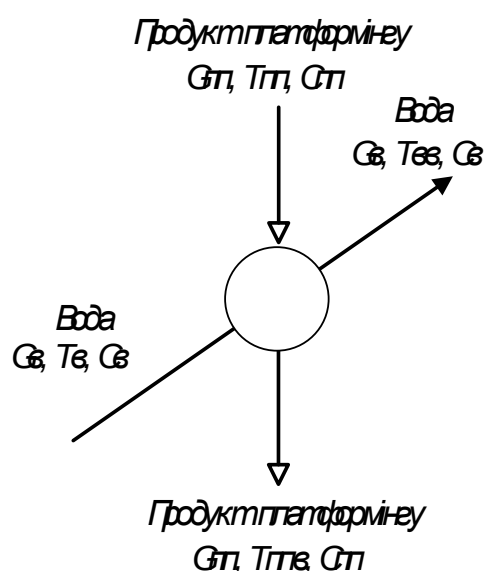


Рис. 1.2 Розрахункова схема горизонтального теплообмінника

G_{nn} – витрата продукту платформінгу; T_{nn} – температура продукту платформінгу; C_{nn} – теплоємність продукту платформінгу; $T_{nnв}$ – температура продукту платформінгу на виході; G_v – витрата води; T_v – температура води; C_v – теплоємність води; T_{vv} – температура води на виході.

1.4. Постановка комплексу задач дослідження.

Прагненням цього проекту є розробка системи керування та оптимізація процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора. В складі в тому числі розробка математичної моделі, налаштування системи керування, статична оптимізація процесу та створення схеми автоматизації.

Система автоматизації даного проекту повинна забезпечити:

- Підтримку заданого рівня режимних параметрів;

- Сигналізацію у разі відхилення параметрів від заданого діапазону;
- Отримання продукції відмінної якості, зменшення людського фактору.

Система автоматичного керування холодильником повинна покривати:

- Підтримку заданої температури продукту платформінгу;
- Оптимальне керування об'єктом;
- Зменшення витрат.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2. РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розроблено схему автоматизації для контролю, регулювання та сигналізації параметрів виробництва. Ця схема дозволила автоматизувати весь цикл риформінгу з рухомим шаром каталізатора.

2.1. Розробка схеми автоматизації

Для автоматизації процесу риформінгу з рухомим шаром каталізатора були спроектовано такі контури [7]:

Для регулювання і контролю витрати фракції, що надходить до насоса 5, який має в собі прилад для виміру витрати (1А), регулятор витрати (1Б), та регулювальний клапан (1В).

Для сигналізації температури на виході з теплообмінника 6, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (2А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (2Б) з сигнальними лампочками (НL1, НL2).

Для контролю і регулювання рівня каталізатора на регенерацію в реакторі платформінгу 4, що містить вимірювач рівня який має уніфікований сигнал (3А), регулятор рівня (3Б) та регулювальний клапан (3В).

Для сигналізації концентрації в регенованому каталізаторі на виході з секції регенерації 1, який містить прилад для вимірювання концентрації (4А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (4Б) з сигнальними лампочками (НL3, НL4).

Для регулювання і контролю температури в багатосекційній печі 7, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (5А), регулятор температури (5Б) та клапан, що розташований на трубопроводі що надходить до печі (5В).

Для регулювання і контролю температури в багатосекційній печі 7, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (6А), регулятор температури (6Б) та клапан, що розташований на трубопроводі що надходить до печі (6В).

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для регулювання і контролю температури на виході з холодильника 8, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (7А), регулятор температури (7Б) та клапан, що розташований на трубопроводі що надходить до холодильника (7В).

Для контролю і регулювання рівня в газосепараторі низького та високого тиску 9, що містить вимірювач рівня який має уніфікований сигнал (8А), регулятор рівня (8Б) та регулювальний клапан розташований на виході з газосепаратора (8В).

Для регулювання і контролю температури на виході з холодильника 13, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (9А), регулятор температури (9Б) та клапан, що розташований на трубопроводі що надходить до холодильника (9В).

Для контролю і регулювання рівня в газосепараторі низького та високого тиску 12, що містить вимірювач рівня який має уніфікований сигнал (10А), регулятор рівня (10Б) та регулювальний клапан розташований на виході з газосепаратора (10В).

Для сигналізації концентрації в водневмісному газі на виході з газосепаратора низького та високого тиску 12, який містить прилад для вимірювання концентрації (11А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (11Б) з сигнальними лампочками (НЛ5, НЛ6).

Для сигналізації тиску в стабілізаційній колоні 18, який містить перетворювач тиску (12А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (12Б) з сигнальними лампочками (НЛ7, НЛ8).

Для регулювання і контролю температури в стабілізаційній колоні 18, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (13А), регулятор температури (13Б) та клапан, що розташований на трубопроводі що надходить до печі (13В).

Для контролю і регулювання рівня в стабілізаційній колоні 18, що містить вимірювач рівня який має уніфікований сигнал (14А), регулятор рівня (14Б) та регулювальний клапан розташований на виході з газосепаратора (14В).

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Для сигналізації температури в трубчастій печі 17, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (15А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (15Б) з сигнальними лампочками (HL9, HL10).

Для регулювання і контролю температури стабільного каталізату на виході з теплообмінника 14, який включає в себе вимірювач температури який має уніфікований сигнал (16А), регулятор температури (16Б) та клапан, що розсташований на трубопроводі що надходить до печі (16В).

Для сигналізації концентрації в сухому газі на виході з газосепаратора 20, який містить прилад для вимірювання концентрації (17А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (17Б) з сигнальними лампочками (HL11, HL12).

Для сигналізації концентрації в головній фракції на виході з газосепаратора 20, який містить прилад для вимірювання концентрації (18А), та сигнальний прилад з індикацією та реєстрацією (18Б) з сигнальними лампочками (HL13, HL14).

2.2. Розробка схеми дистанційного керування електромоторами

Обрана схема автоматизації використовує трифазний електродвигун для приводу насоса та обертання рухомих частин змішувача. Розроблено електричну схему для дистанційного керування електродвигуном.

Схема включає такі частини:

- FP1 і FP2 – автоматичні вимикачі
- SA1 – кнопка аварійного вимикання
- FU1 – плавкий запобіжник
- SB1 – кнопка увімкнення електромоторів
- SB2 – кнопка вимкнення електромоторів
- HL15 – лампочка сигналізації увімкнення живлення електромотора
- HL16 – лампочка сигналізації вимкнення живлення електромотора
- МП1 – магнітний пускач

Принцип роботи схеми на прикладі мотору М1

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для зупинки двигуна слід знову натиснути кнопку SB1. Це призводить до розмикання пускача, повернення усіх контактів у початкове положення та ввімкнення лампи HL16, яка сигналізує про вимкнення двигуна.

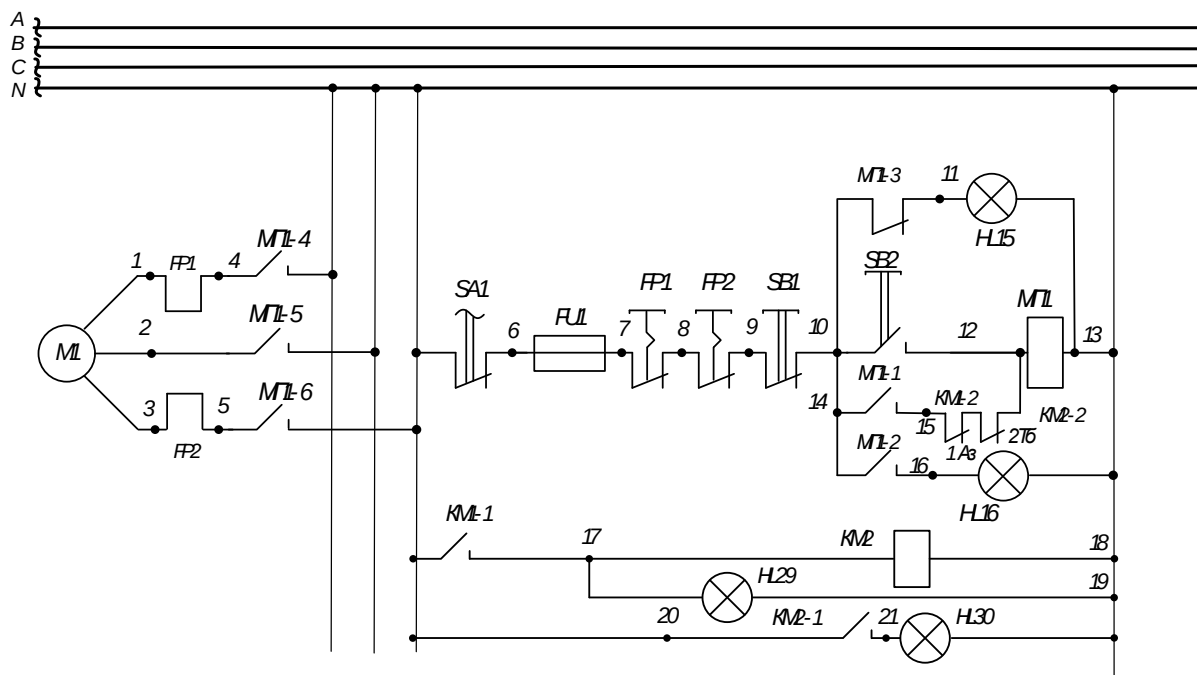


Рис. 2.1 - Приклад принципової схеми керування електромотором

3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ

3.1. Моделювання статичного режиму

Для підвищення ефективності роботи системи автоматизації запропоновано використовувати холодильник пластинчастого типу замість традиційного кожухотрубного. Такий апарат має вищу тепловіддачу, менші габарити, спрощене очищення та монтаж, а також забезпечує швидке охолодження продуктів реакції. Завдяки можливості підбору пластин за матеріалом і формою, холодильник можна оптимально адаптувати до конкретних умов процесу. [11].

Для моделювання статичного режиму необхідно розробити розрахункову схему (рис.3.1), та структурну схему апарату, яку зображено на рис. 3.2.

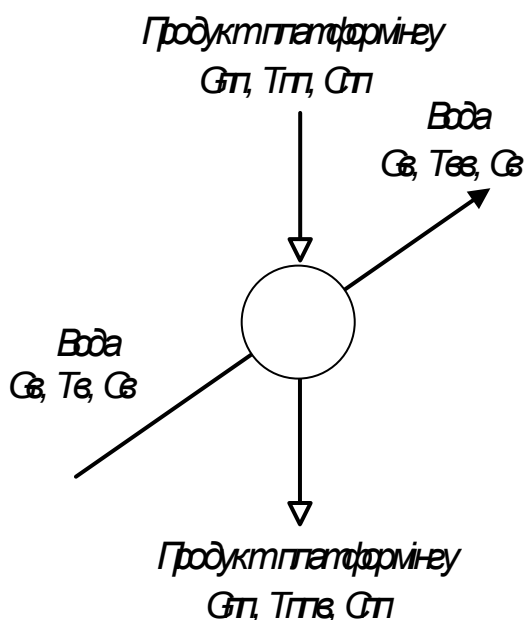


Рис. 3.1 Розрахункова схема горизонтального теплообмінника

G_{nn} – витрата продукту платформінгу; T_{nn} – температура продукту платформінгу;

C_{nn} – теплоємність продукту платформінгу; T_{nne} – температура продукту платформінгу на виході;

G_v – витрата води; T_v – температура води; C_v –

теплоємність води;

T_{ve} – температура води на виході.

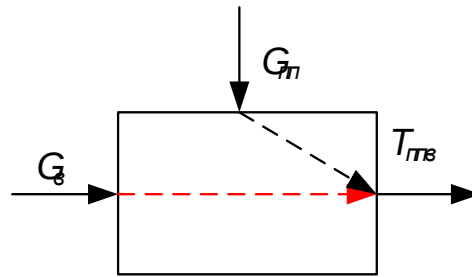


Рис. 3.2 Структурно-параметрична схема холодильника:

G_w – витрата води; G_{nn} – витрата продукту платформінгу;

T_{nne} – температура продукту платформінгу на виході.

Розглянемо процеси, пов'язані з роботою холодильника. В даному апараті здійснюється охолодження продукту платформінгу, який надходить із сепаратора, за допомогою охолоджувальної води. У процесі теплозаміщення холод передається від води до продукту, що охолоджується, внаслідок чого відбувається теплообмін.

Основним вихідним параметром, тобто регульованою величиною, є температура продукту платформінгу на виході з холодильника — позначимо її як T_{nne} .

Вхідним параметром, або керувальною дією, є витрата охолоджувальної води — позначається G_w .

Отже, канал керування: «витрата води $G_w \rightarrow$ температура продукту платформінгу на виході з холодильника T_{nne} » (скорочено будемо писати « $G_w \rightarrow T_{nne}$ »). G_{nn} T_{nne}

Збуренням у системі є зміна витрати продукту платформінгу, що надходить із сепаратора G_{nn} . Ця зміна витрати впливає на температуру продукту платформінгу на виході з холодильника T_{nne} . Таким чином, канал збурення можна коротко позначити як « $G_{nn} \rightarrow T_{nne}$ ».

Далі в таблиці 3.1 будуть наведені значення параметрів апарату в статичному режимі.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 3.1. Значення параметрів апарату в статичному режимі

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
1	Теплоємність продукту платформінгу	C_{nn}	$Дж / (кг \cdot K)$	2400
2	Теплоємність води	$C_{\text{в}}$	$Дж / (кг \cdot K)$	4200
3	Температура продукту платформінгу	T_{nn}	K	333
4	Температура води	$T_{\text{в}}$	K	293
5	Температура продукту платформінгу на виході	$T_{nn\text{в}}$	K	308
6	Температура води на виході	$T_{\text{вв}}$	K	313
7	Витрата продукту платформінгу	G_{nn}	$кг / с$	1
8	Витрата води	$G_{\text{в}}$	$кг / с$	12
9	Об'єм продукту платформінгу	V_{nn}	$м^3$	1.3
10	Густина продукту платформінгу	ρ_{nn}	$кг / м^3$	8
11	Об'єм води	$V_{\text{в}}$	$м^3$	0.7
12	Густина води	$\rho_{\text{в}}$	$кг / м^3$	1000
13	Коефіцієнт теплопередачі	K	$Вт / (м^2 \cdot K)$	800
14	Площа поверхні теплообміну	S	$м^2$	80

Для моделювання роботи холодильника в статичному та динамічному режимах вводяться наступні припущення:

1. Теплоємність і витрата речовин є сталими.
2. Об'єкт (холодильник) розглядається як система з зосередженими параметрами.
3. Далі будуть складені рівняння теплових балансів, починаючи з продукту платформінгу.

Для продукту платформінгу:

$$G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn\text{в}} - K \cdot S \cdot (T_{nn\text{в}} - T_{\text{вв}}) = 0 \quad (3.1)$$

Для води:

$$G_v \cdot C_v \cdot T_v - G_v \cdot C_v \cdot T_{vv} + K \cdot S \cdot (T_{nn} - T_{vv}) = 0 \quad (3.2)$$

Визначимо з рівняння (3.2) вираз для T_{vv} :

$$T_{vv} = \frac{G_v \cdot C_v \cdot T_v + K \cdot S \cdot T_{nn}}{G_v \cdot C_v + K \cdot S} \quad (3.3)$$

Підставимо отриманий вираз (3.3) в (3.1):

$$G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv} - K \cdot S \cdot \left(T_{nnv} - \frac{G_v \cdot C_v \cdot T_v + K \cdot S \cdot T_{nn}}{G_v \cdot C_v + K \cdot S} \right) = 0 \quad (3.4)$$

Отримаємо залежність температури продукту платформінгу на виході з холодильника від витрати води:

$$T_{nnv}(G_v) = \frac{G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} + G_v \cdot C_v \cdot T_v - G_v \cdot C_v \cdot T_{vv}}{G_{nn} \cdot C_{nn}} \quad (3.5)$$

З моделі статички холодильника (3.5) побудуємо графік статичної характеристики (рис.3.3) за каналом керування.

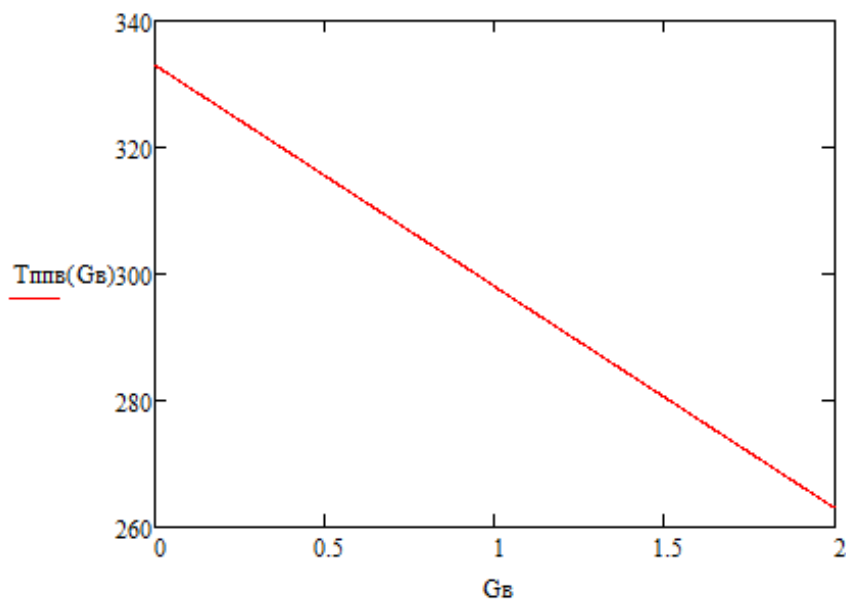


Рис. 3.3 Статична характеристика за каналом керування $G_v \rightarrow T_{nnv}$

3.2. Моделювання динамічного режиму

Нижче показано рівняння динаміки для продукту платформінгу:

$$G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv} - K \cdot S \cdot (T_{nnv} - T_{vv}) =$$

$$= C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \frac{dT_{nnv}}{dt} \quad (3.6)$$

Рівняння динаміки для води:

$$G_v \cdot C_v \cdot T_v - G_v \cdot C_v \cdot T_{vv} + K \cdot S \cdot (T_{nnv} - T_{vv}) =$$

$$= C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \frac{dT_{vv}}{dt} \quad (3.7)$$

Лінеаризація рівняння динаміки для продукту платформінгу:

$$\Delta G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot \Delta T_{nn} - \Delta G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot \Delta T_{nnv} -$$

$$- K \cdot S \cdot (T_{nnv} - T_{vv}) = C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \frac{dT_{nnv}}{dt} \quad (3.8)$$

Лінеаризація рівняння динаміки води:

$$\Delta G_v \cdot C_v \cdot T_v + G_v \cdot C_v \cdot \Delta T_v + K \cdot S \cdot (T_{nnv} - T_{vv}) -$$

$$- \Delta G_v \cdot C_v \cdot T_{vv} - G_v \cdot C_v \cdot \Delta T_{vv} = C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \frac{dT_{vv}}{dt} \quad (3.9)$$

Виконаємо перетворення за Лапласом для циркуляційного газу 1 (3.10) та циркуляційного газу 2 (3.11):

$$C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot p \cdot T_{nnv}(p) + G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv}(p) + K \cdot S \cdot T_{nnv}(p) =$$

$$= G_{nn}(p) \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn}(p) \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv}(p) + K \cdot S \cdot T_{vv}(p) \quad (3.10)$$

$$C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot p \cdot T_{vv}(p) + G_v \cdot C_v \cdot T_{vv}(p) +$$

$$+ K \cdot S \cdot T_{vv}(p) = G_v(p) \cdot C_v \cdot T_v + G_v \cdot C_v \cdot T_{vv}(p) +$$

$$+ K \cdot S \cdot T_{nnv}(p) - G_v(p) \cdot C_v \cdot T_{vv} \quad (3.11)$$

Виразимо з рівняння (3.11) вихідну температуру продукту платформінгу:

$$T_{nnv}(p) = \frac{G_v(p) \cdot C_v \cdot T_v + G_v \cdot C_v \cdot T_{vv}(p) + K \cdot S \cdot T_{vv}(p) - G_v(p) \cdot C_v \cdot T_{vv}}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot p + G_v \cdot C_v + K \cdot S} \quad (3.12)$$

Підставимо отриманий вираз (3.12) в (3.10):

$$C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot p \cdot T_{nnv}(p) + G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv}(p) + K \cdot S \cdot T_{nnv}(p) =$$

$$= G_{nn}(p) \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} - G_{nn}(p) \cdot C_{nn} \cdot T_{nnv}(p) +$$

$$+ K \cdot S \cdot \frac{G_v(p) \cdot C_v \cdot T_v + G_v \cdot C_v \cdot T_{vv}(p) + K \cdot S \cdot T_{vv}(p) - G_v(p) \cdot C_v \cdot T_{vv}}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot p + G_v \cdot C_v + K \cdot S} \quad (3.13)$$

Оскільки каналом керування в нашому випадку є $G_e \rightarrow T_{nnv}$ до розгляду буде взято рівняння динаміки, яке відповідає даному каналу, в спрощеній формі:

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\begin{aligned}
& C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot p^2 \cdot T_{nne}(p) + \\
& + [C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot (G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) + \\
& + (G_v \cdot C_v + K \cdot S) \cdot C_v \cdot V_v \cdot \rho_v] \cdot p \cdot T_{nne}(p) + \\
& + [(G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) \cdot (G_v \cdot C_v + K \cdot S) - K^2 \cdot S^2] \cdot T_{nne}(p) = \\
& = K \cdot S (C_v \cdot T_v - C_v \cdot T_{vv})
\end{aligned} \tag{3.14}$$

Запишемо рівняння (3.14) з введеними позначеннями і зведемо до канонічної форми:

$$A = \frac{C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}{(G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) \cdot (G_v \cdot C_v + K \cdot S) - K^2 \cdot S^2} \tag{3.15}$$

$$B = \frac{C_{nn} \cdot V_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot (G_v \cdot C_v + K \cdot S) + (G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) \cdot C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}{(G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) \cdot (G_v \cdot C_v + K \cdot S) - K^2 \cdot S^2} \tag{3.16}$$

$$T = \frac{K \cdot S \cdot (T_v \cdot C_v - T_{vv} \cdot C_v)}{(G_{nn} \cdot C_{nn} + K \cdot S) \cdot (G_v \cdot C_v + K \cdot S) - K^2 \cdot S^2} \tag{3.17}$$

Таким чином передатна функція за каналом керування $G_s \rightarrow T_{nne}$ має наступний вигляд:

$$W_{G_s \rightarrow T_{nne}}(p) = \frac{T}{Ap^2 + Bp + 1}$$

$$W_{G_s \rightarrow T_{nne}}(p) = \frac{-1.536}{20.965p^2 + 56.589p + 1}$$

Після виконання оберненого перетворення Лапласа, отримано перехідну характеристику для каналу керування, яку можна побачити на рисунку 3.4.

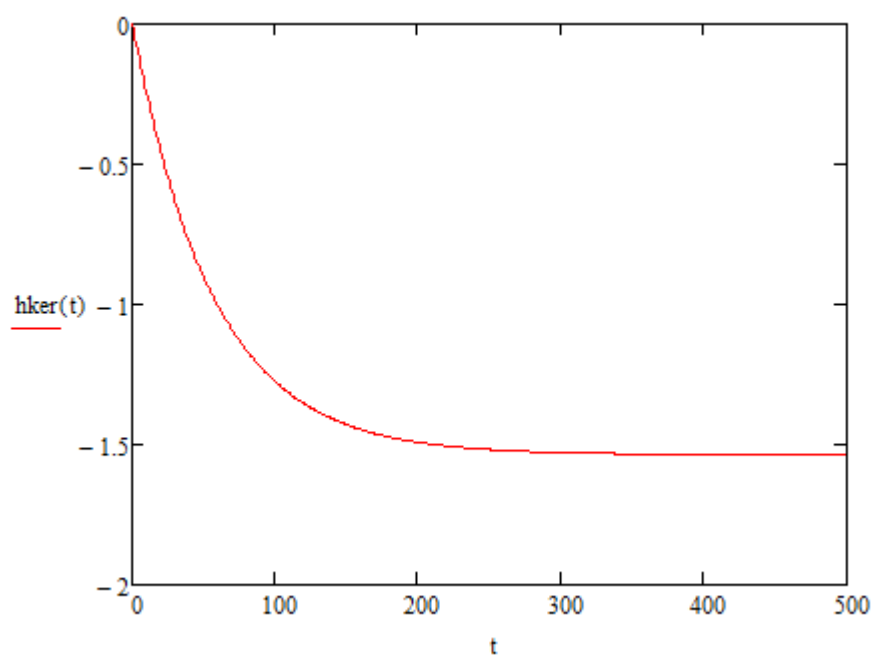


Рис. 3.4 Динамічна характеристика за каналом керування $G_{\varepsilon} \rightarrow T_{nne}$

4. НАЛАШТУВАННЯ ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБ'ЄКТА

У попередньому розділі було розроблено математичну модель холодильника. Ця модель представлена у вигляді передаточної функції для каналу керування, яка показує зв'язок між витратою води та температурою продукту платформінгу на виході.

$$W_{G_e \rightarrow T_{\text{mte}}}(p) = \frac{-1.536}{20.965p^2 + 56.589p + 1} \quad (4.1)$$

4.1. Налаштування регуляторів за допомогою М-кола.

Метод М-кола застосовується для того, щоб графік амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) замкненої системи лише торкався, а не перетинав графік М-кола [11]. Цей метод дозволяє налаштувати параметри системи керування (регуляторів) таким чином, щоб система мала необхідний запас стійкості. Простіше кажучи, це означає, що коливання замкненої системи будуть утримуватися в межах заданого діапазону, який визначається до початку застосування керування [8].

Центр та радіус М кола:

$$C = \frac{M^2}{M^2 - 1}; \quad (4.2)$$

$$R = \frac{M}{M^2 - 1}; \quad (4.3)$$

$$M = \frac{A_{\text{max}}}{A_0}; \quad (4.4)$$

Для цього конкретного об'єкта був обраний показник коливності, що дорівнює 1.5.

Реалізація в Matlab:

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

```

1 function Wreg = kolo(Wo, Kp, Ti)
2     Wreg = pid(Kp, 1/Ti, 0, 0, 0);
3     W = Wo*Wreg;
4     M = 1.5;
5     y = 0;
6     x = -(M^2/(M^2-1));
7     r = M/(M^2-1);
8     th = 0:pi/50:2*pi;
9     xunit = r * cos(th) + x;
10    yunit = r * sin(th) + y;
11    F = logspace(-3, 1, 1000);
12    W = frd(W, F);
13    Wdata = squeeze(frddata(W));
14    plot(real(Wdata), imag(Wdata), xunit, yunit, 0, 1);
15    line([-1.8 0.2], [0 0], 'Color', 'black', 'LineStyle', '--');
16    line([0 0], [-1.5 1], 'Color', 'black', 'LineStyle', '--');
17    xlim([x 0.2]);
18    ylim([-1.5 0.2]);
19 end

```

Рис. 4.1 Код програми побудови М-кола ПІ-реуглятора

```

1 function Wreg = kolopid(Wo, Kp, Ti, Kd)
2     Wreg = pid(Kp, 1/Ti, Kd, 1, 0);
3     W = Wo*Wreg;
4     M = 1.5;
5     y = 0;
6     x = -(M^2/(M^2-1));
7     r = M/(M^2-1);
8     th = 0:pi/50:2*pi;
9     xunit = r * cos(th) + x;
10    yunit = r * sin(th) + y;
11    F = logspace(-3, 1, 1000);
12    W = frd(W, F);
13    Wdata = squeeze(frddata(W));
14    plot(real(Wdata), imag(Wdata), xunit, yunit, 0, 1);
15    line([-1.8 0.2], [0 0], 'Color', 'black', 'LineStyle', '--');
16    line([0 0], [-1.5 1], 'Color', 'black', 'LineStyle', '--');
17    xlim([x 0.2]);
18    ylim([-1.5 0.2]);
19 end

```

Рис. 4.2 Код програми побудови М-кола ПІД-реуглятора

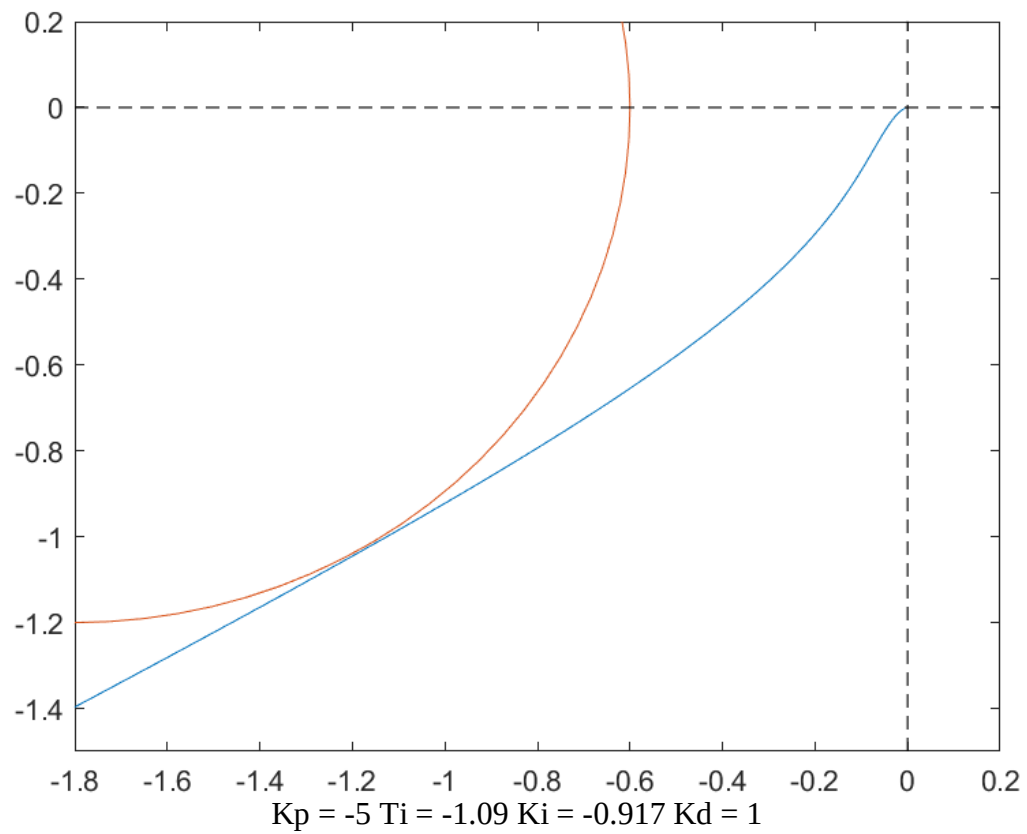


Рис. 4.3 М-коло ПД-регулятора

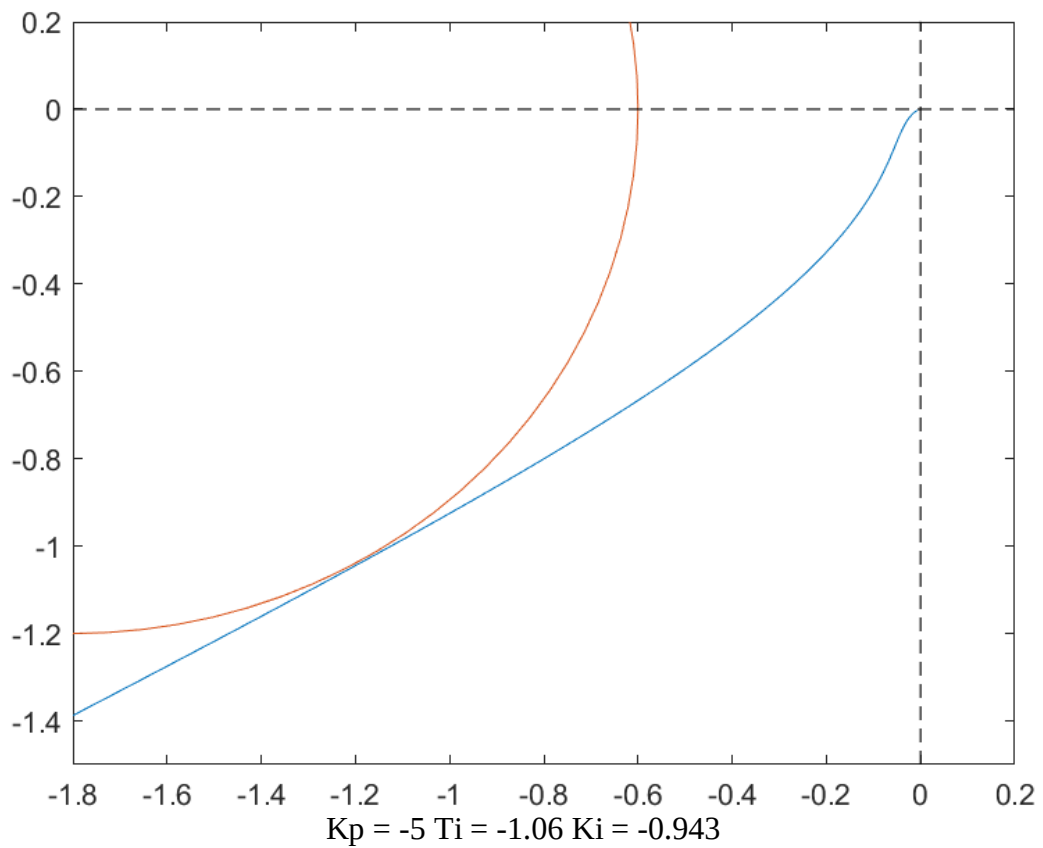


Рис. 4.4 М-кола ПІ-регулятора

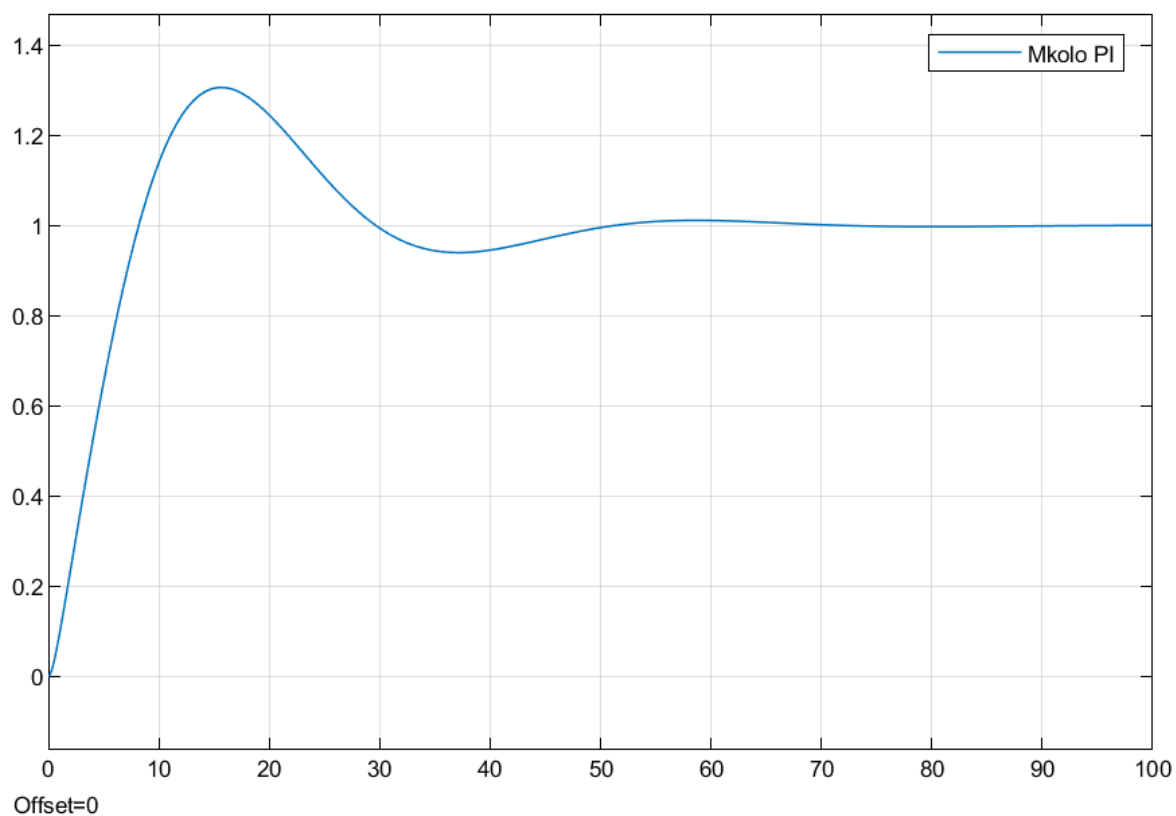


Рис. 4.5 Перехідна характеристика налаштування ПІ-регулятора

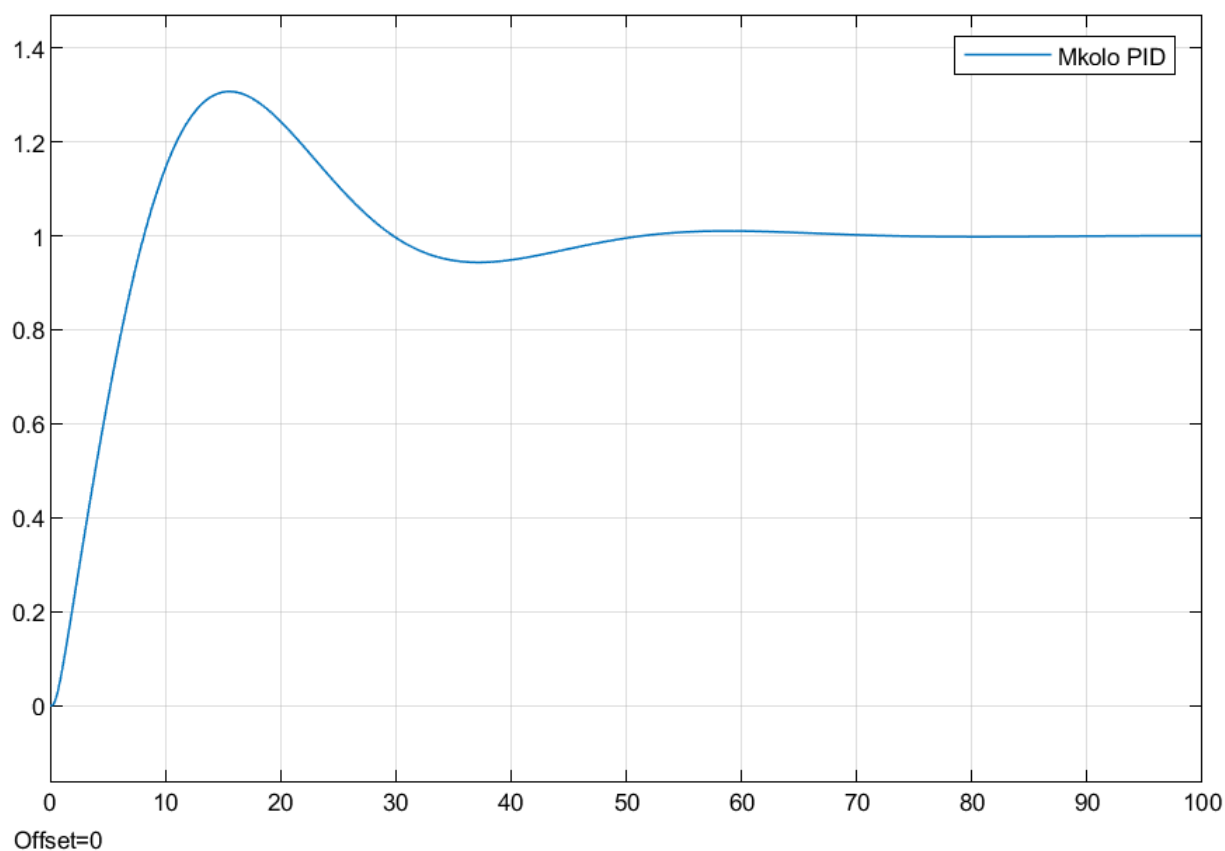


Рис. 4.6 Перехідна характеристика налаштування ПІД-регулятора

Таблиця 4.1 Порівняльна таблиця

Регулятор	Перерегулювання	Час виходу на усталене значення
ПІ	28%	93 сек
ПІД	28%	95 сек

4.2. Розрахунок систем керування в Matlab Control System Toolbox

Control System Toolbox (CST) — це програмне забезпечення, призначене для розробки систем керування. Воно дозволяє моделювати системи за допомогою передаточних функцій, моделей простору станів, моделей нульового підсилення та моделей частотних характеристик [8].

Це програмне забезпечення пропонує інтерактивні методи для налаштування параметрів компенсаторів, такі як формування петлі Боде та метод кореневого локусу [11]. Крім того, CST автоматично налаштовує компенсаційні ланки як для систем з одним входом і одним виходом (SISO), так і для систем з багатьма входами та багатьма виходами (MIMO), включаючи ПІД-контролери.

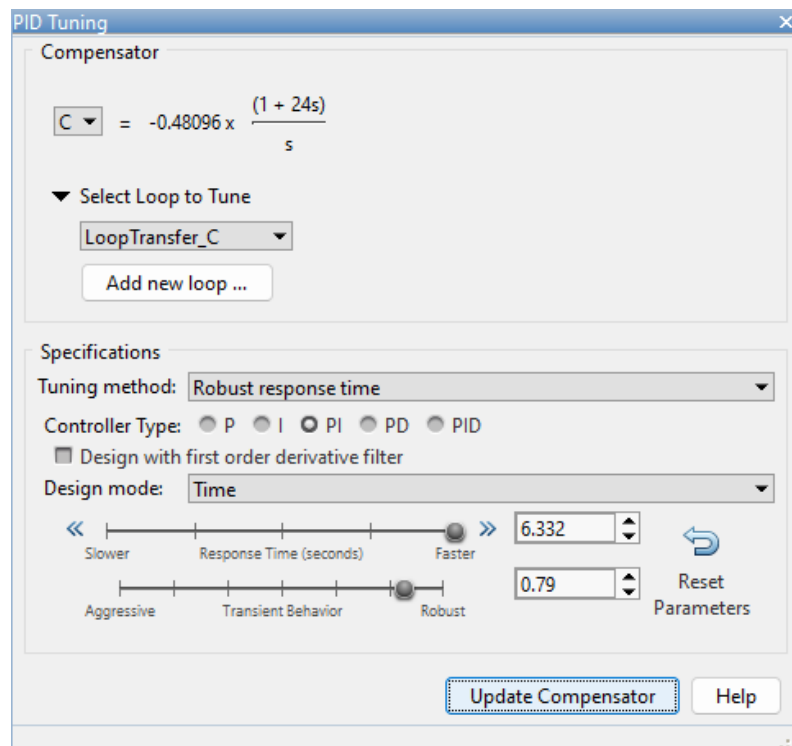


Рис. 4.7 Компенсаційна ланка ПІ-регулятора

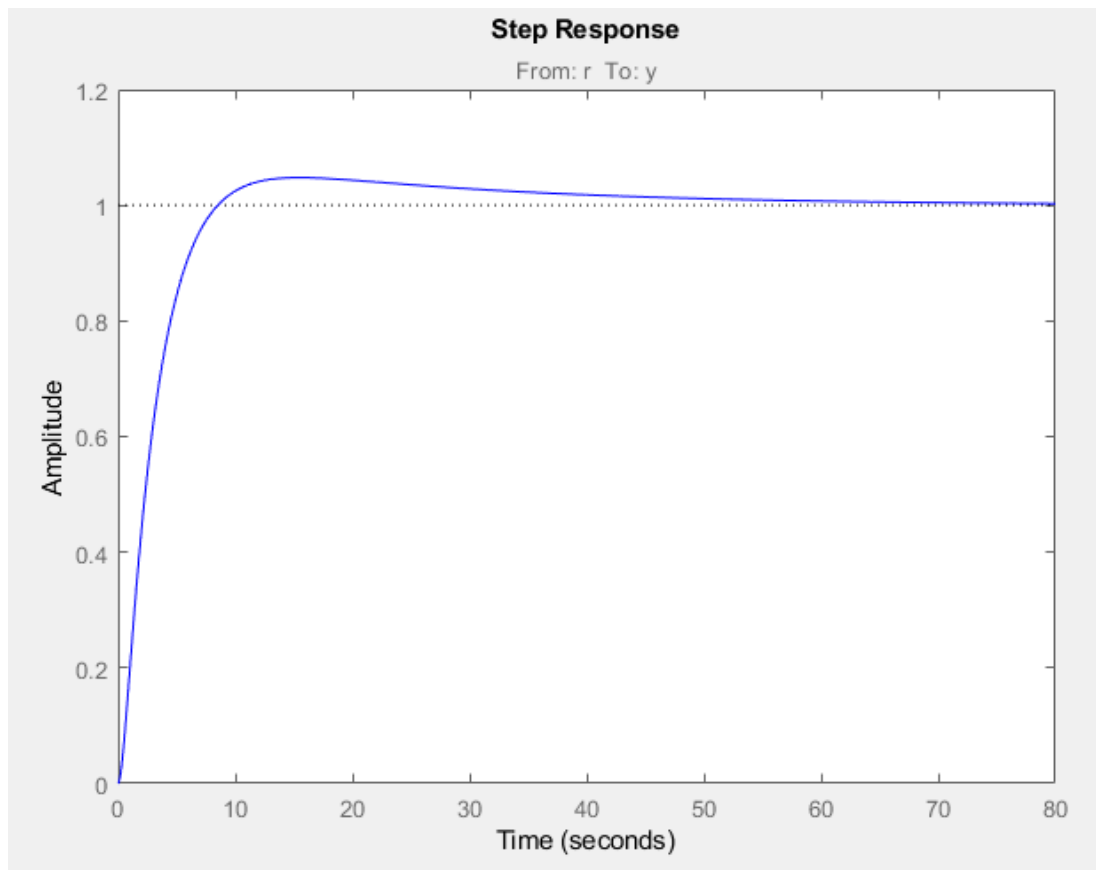


Рис. 4.8 Налаштування CST ПІ-регулятора

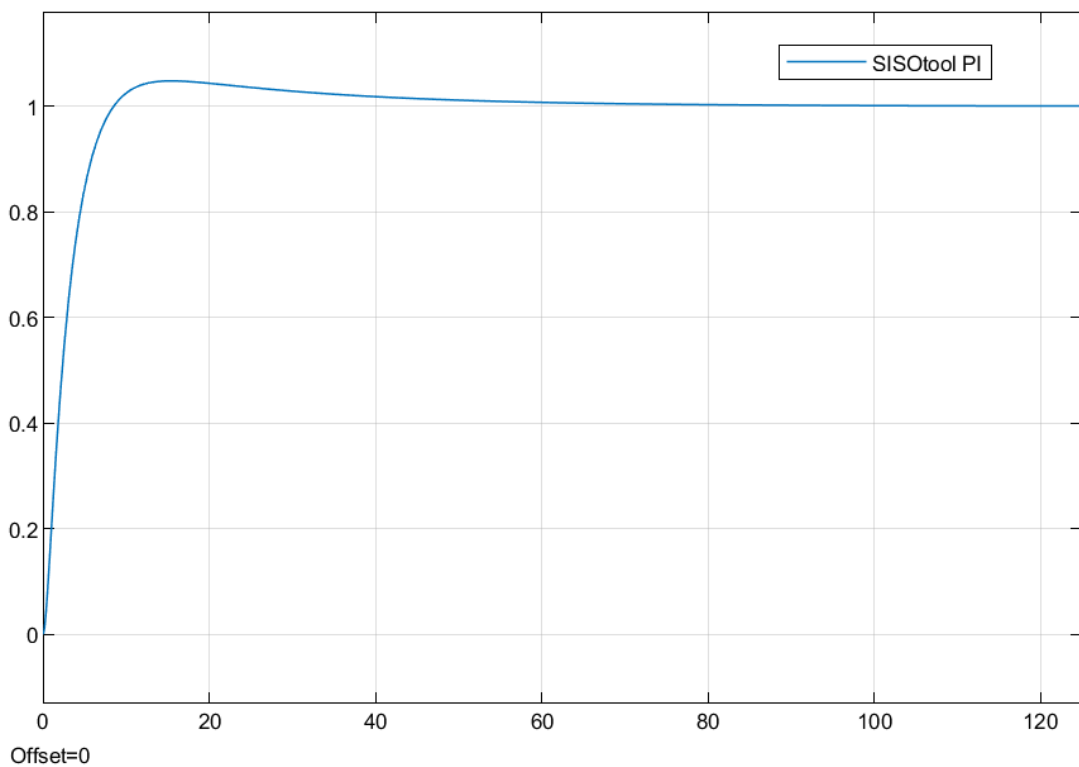


Рис. 4.9 Перехідна характеристика налаштування ПІ-регулятора

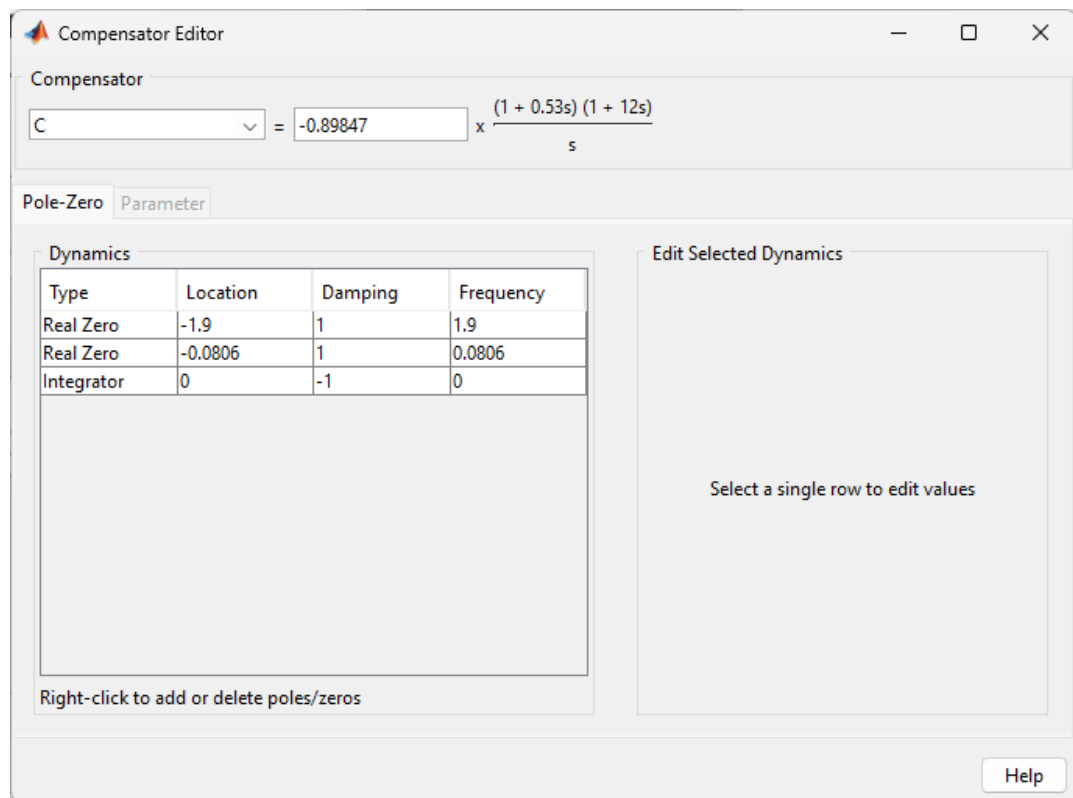


Рис. 4.10 Компенсаційна ланка ПД-регулятора

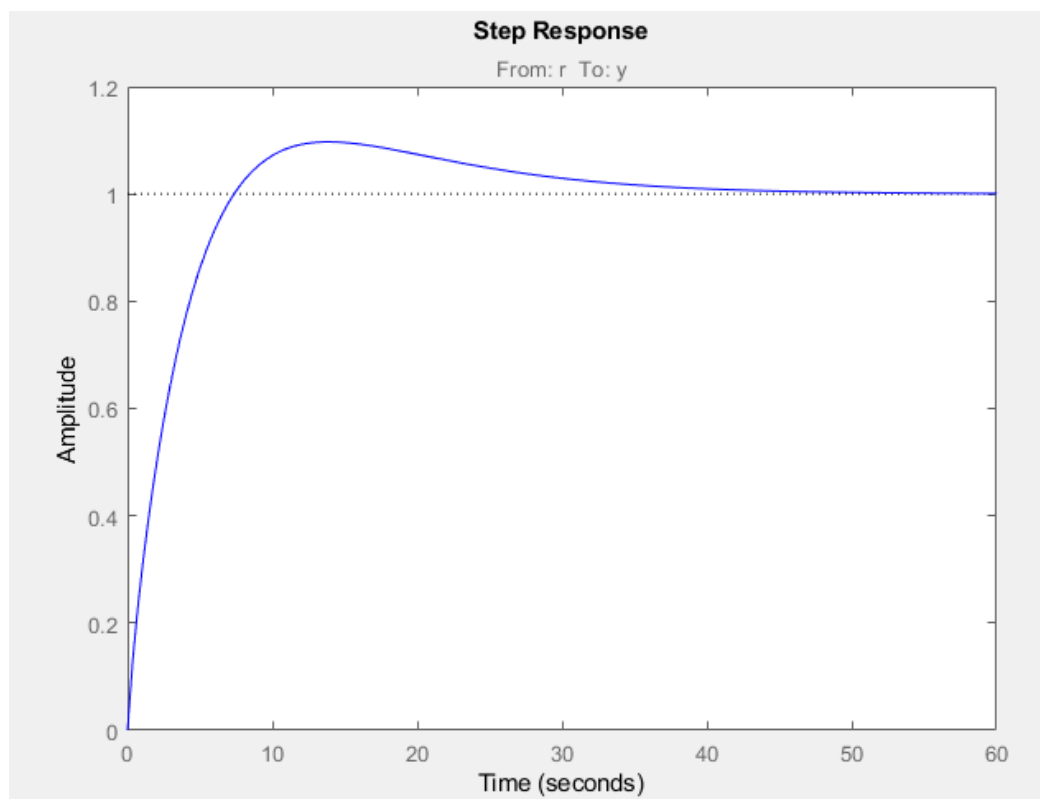


Рис. 4.11 Налаштування CST ПД-регулятора

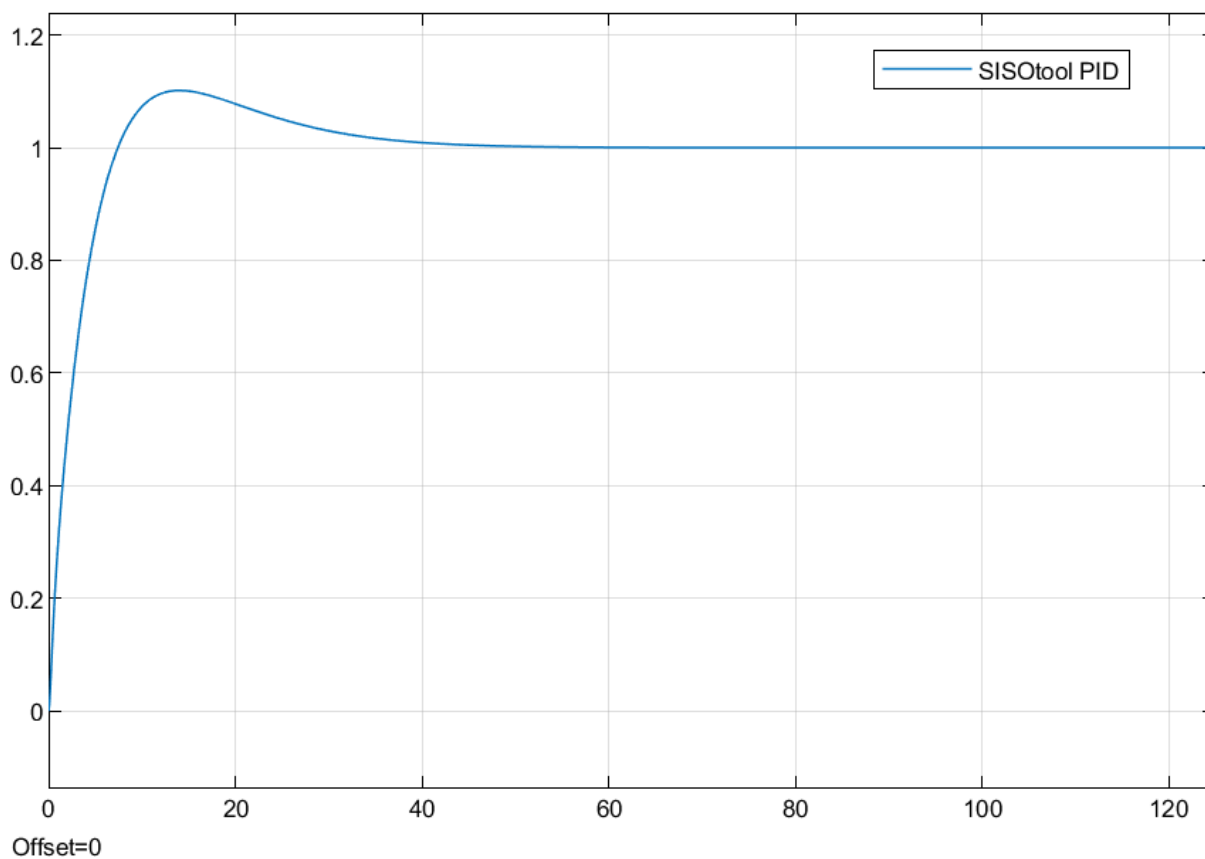


Рис. 4.12 Перехідна характеристика налаштування ПІД-регулятора

Таблиця 4.2 Порівняльна таблиця

Регулятор	Перерегулювання	Час виходу на усталене значення
ПІ	2 %	120 сек
ПІД	9 %	62 сек

4.3. Налаштування регулятора за допомогою PIDTuning Toolbox

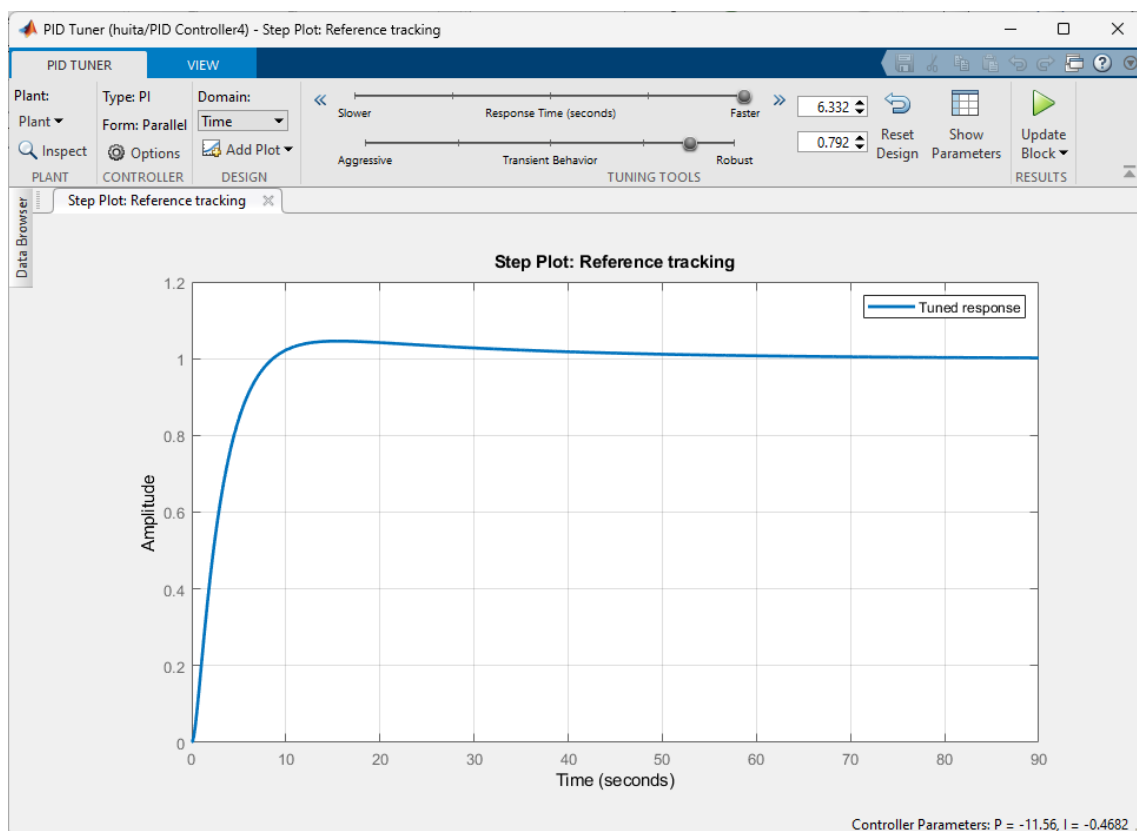


Рис. 4.13 Налаштування ПІ-регулятора в PIDTuner

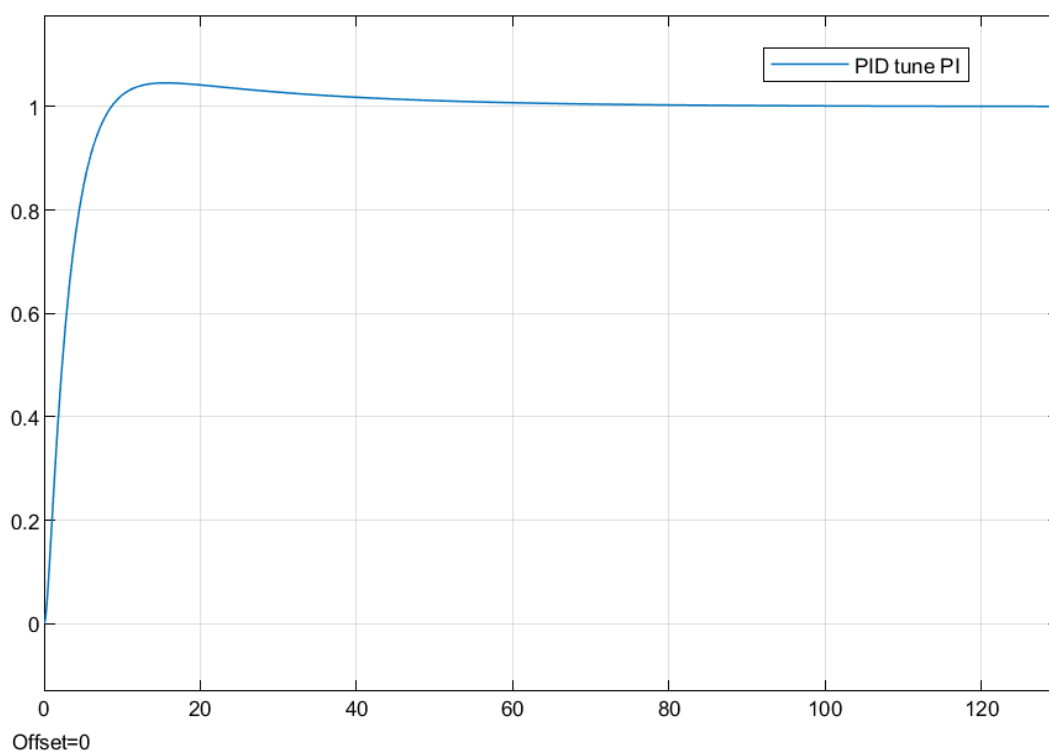


Рис. 4.14 Перехідна характеристика налаштування ПІ-регулятора.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк.

35

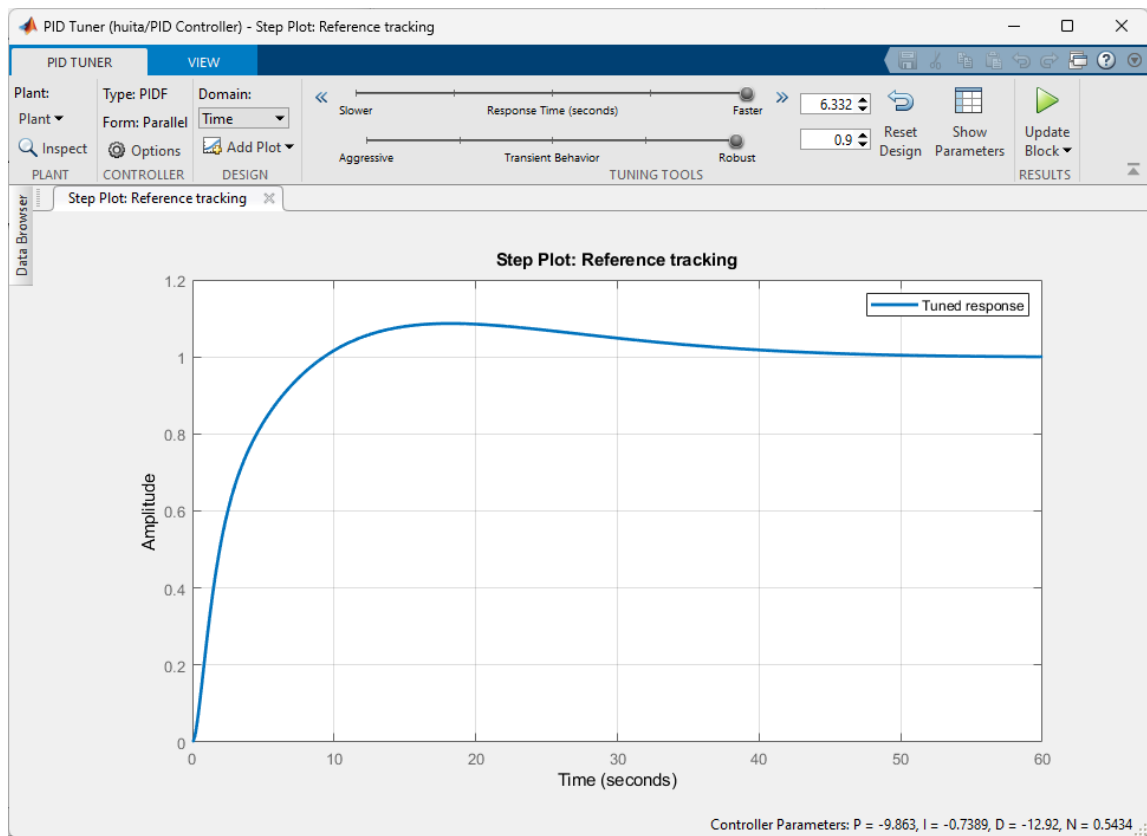


Рис. 4.15 Налаштування ПІД-регулятора в PIDTuner

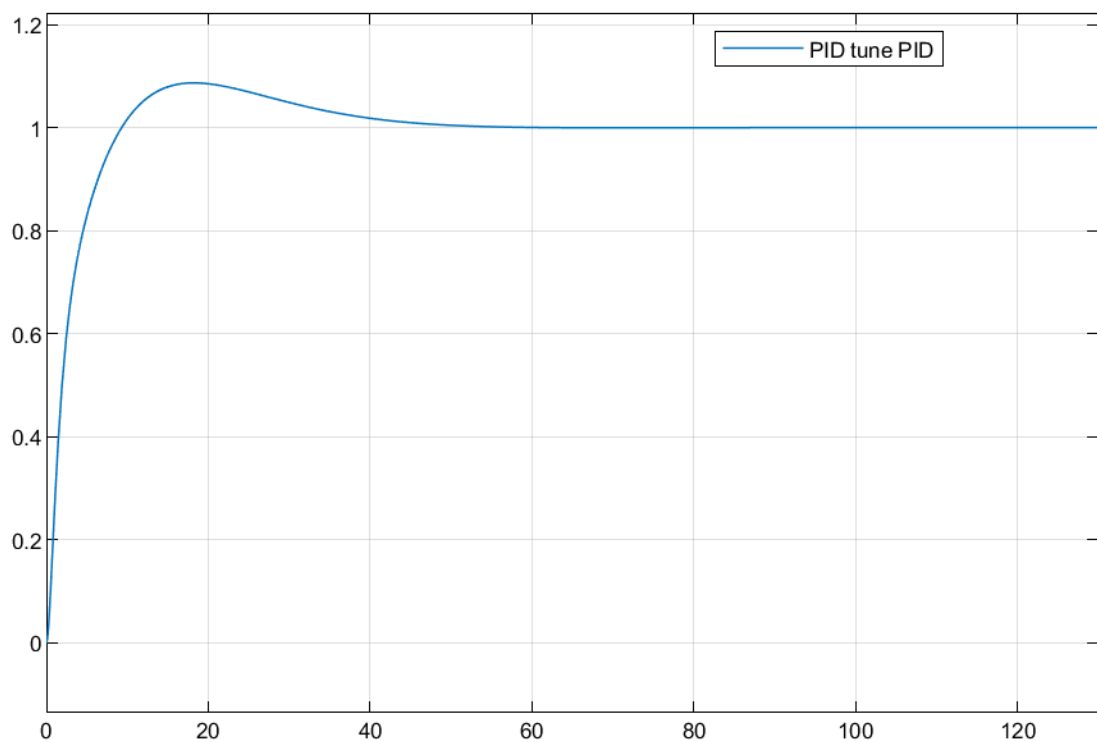


Рис. 4.16 Перехідна характеристика налаштування ПІД-регулятора

Таблиця 4.3 Порівняльна таблиця

Регулятор	Перерегулювання	Час виходу на усталене значення
ПІ	3 %	122 сек
ПІД	8 %	100 сек

4.4. Порівняння отриманих перехідних характеристик.

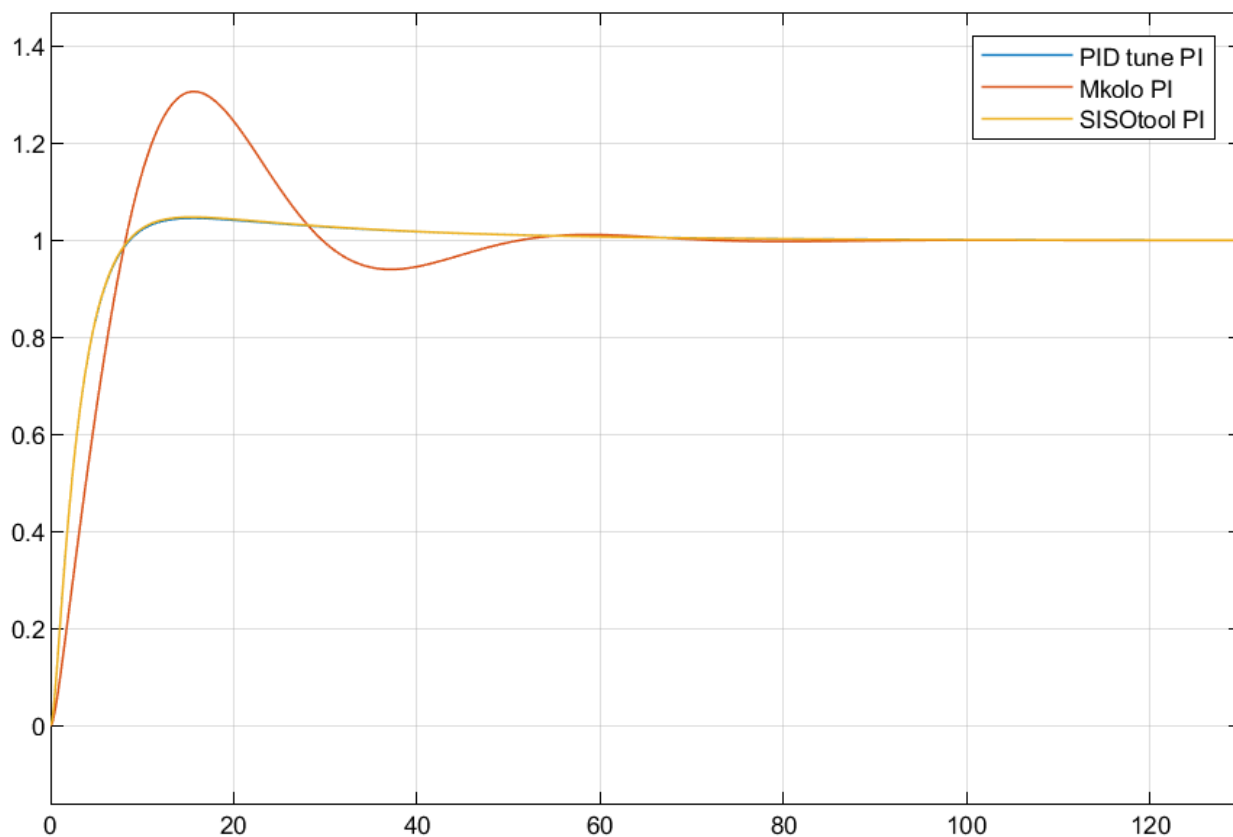


Рис. 4.17 Перехідні характеристики для ПІ-регулятора

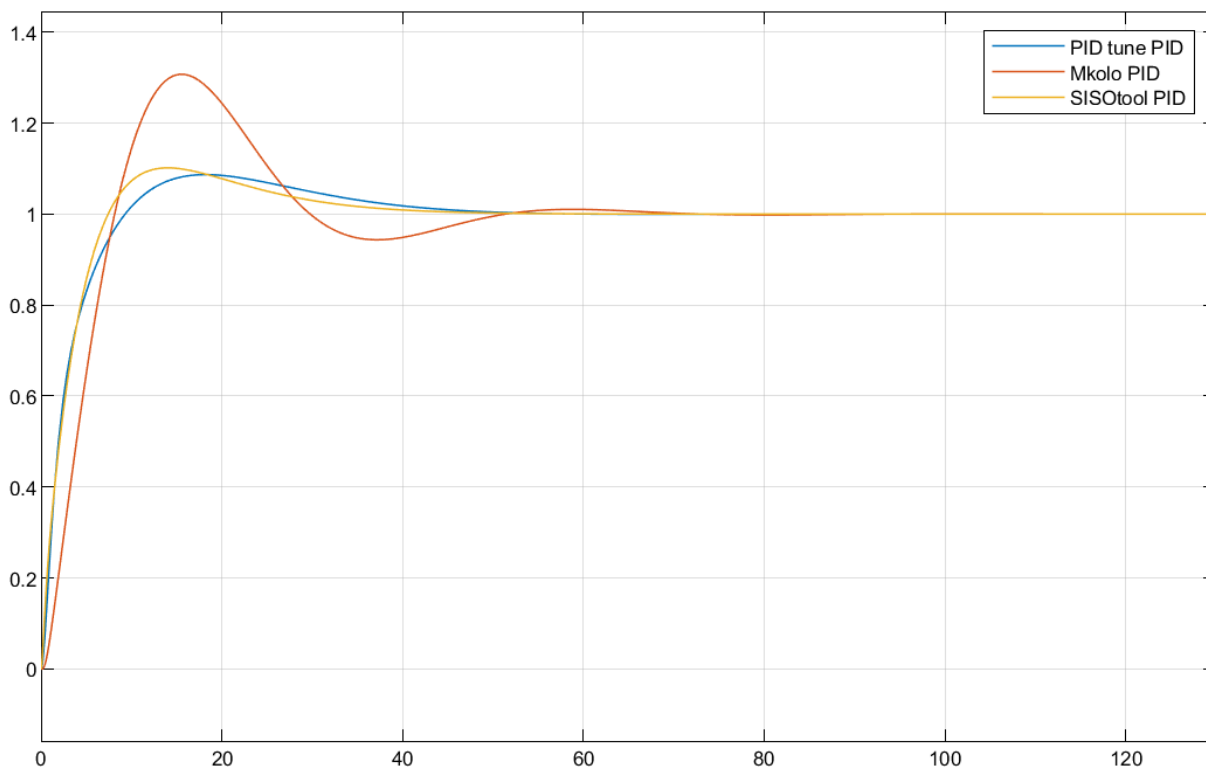


Рис. 4.18 Перехідні характеристики для ПІД-регулятора

Таблиця 4.4 Порівняльна таблиця систем керування з ПІ-регулятором

Метод налаштування	Перерегулювання	Час перехідного процесу
М-коло	28%	93 сек
CST	2 %	120 сек
PIDTune	3 %	122 сек

Після аналізу налаштувань ПІ-регулятора за допомогою різних методів, характеристики системи керування було узагальнено в таблиці. Отримані результати показують, що найшвидша характеристика була досягнута при налаштуванні регулятора за допомогою інструменту CST.

Отже, для холодильника оптимальним виявилось налаштування ПІ-регулятора методом CST, оскільки цей метод забезпечує найвищу швидкість реакції та мінімальне перерегулювання.

Таблиця 4.5 Порівняльна таблиця систем керування з ПІД-регулятором

Метод налаштування	Перерегулювання	Час перехідного процесу
М-коло	28%	95 сек
CST	9 %	62 сек
PIDTune	8 %	100 сек

У результаті дослідження різних методів налаштування ПІД-регулятора була складена таблиця з характеристиками системи керування. Аналіз цих даних показав, що для досягнення максимальної швидкодії найкращим варіантом є використання налаштувань регулятора за допомогою інструментів CST. З іншого боку, регулятор з найменшим перерегулюванням був налаштований за допомогою методу PIDTime.

Висновок: Аналіз систем керування з ПІ- та ПІД-регуляторами, налаштованими різними способами для холодильника, продемонстрував, що найкраще керування процесом досягається за допомогою ПІД-регуляторів, налаштованих інструментами CST. Незважаючи на те, що цей метод не забезпечує найменшого перерегулювання, для нашого процесу пріоритетною є максимальна швидкість реакції.

5. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Основною метою процесу охолодження є підтримання бажаної температури продукту платформінгу на виході з теплообмінника. Отже, температура продукту платформінгу повинна бути включена до критерію оптимальності.

5.1. Критерій оптимальності

Для вирішення цієї задачі було обрано квадратичний критерій оптимальності [9]:

$$I = \frac{1}{2} \cdot q(T_{nn} - T_{nn,зав})^2 + \frac{1}{2} \cdot r \cdot F_{\epsilon}^2 \quad (5.1)$$

5.2. Обмеження керування

Оскільки неможливо змінювати керуючий вплив у будь-якому діапазоні, було вирішено встановити проміжок від 0 до 2 м³/год.

$$F_{\min} < F_{\epsilon} < F_{\max} \quad (5.2)$$

$$0 < F_{\epsilon} < 2.5 \quad (4.3)$$

Далі для спрощення розрахунків F_{ϵ} буде позначено як u

5.3. Модель

В розділі 3 було отримано модель ТОК у вигляді рівнянь статички

$$T_{nn\epsilon}(G_{\epsilon}) = \frac{G_{nn} \cdot C_{nn} \cdot T_{nn} + G_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon} \cdot T_{\epsilon} - G_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon} \cdot T_{\epsilon\epsilon}}{G_{nn} \cdot C_{nn}} \quad (5.4)$$

5.4. Параметри

Тут і далі для спрощення розрахунків введено позначення:

u – керуюча дія (F_{ϵ}),

y – керований параметр ($T_{nn\epsilon}$),

Завдання

$$y_{\text{task}} = 308 \quad (5.5)$$

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Штрафний коефіцієнт

$$k = 1 \quad (5.6)$$

Матеріальний баланс об'єкта керування із підстановкою числового значення.

$$84000u + 2400y - 799200 = 0 \quad (5.7)$$

Вагові коефіцієнти

$$r = 1$$

$$q = 1$$

Штрафна функція для врахування обмежень за керуванням

$$G = \frac{1}{2-u} + \frac{1}{u} \quad (5.8)$$

Функція Лагранжа

$$l(84000u + 2400y - 799200) + \frac{u^2}{2} + \frac{(y-308)^2}{2} + \frac{1}{2-u} + \frac{1}{u} \quad (5.9)$$

Необхідні умови оптимальності

$$L = \frac{u^2}{2} + \frac{(25-35u)^2}{2} + \frac{1}{2-u} + \frac{1}{u} \quad (5.10)$$

$$\frac{\delta L}{\delta u} = 1226u - 875 + \frac{1}{(2-u)^2} - \frac{1}{u^2} = 0 \quad (5.11)$$

$$u^{(k+1)} = u^{(k)} - k \cdot \frac{\delta L}{\delta u^{(k)}} \quad (5.12)$$

5.5. Розрахунок за допомогою градієнтного методу

Градiєнтний метод використовується для знаходження мінімального значення цільової функції. У цьому методі ітеративні кроки виконуються в напрямку, що забезпечує найшвидше зменшення цільової функції, прискорюючи таким чином процес пошуку [9].

Градiєнт цільової функції в будь-якій точці є вектором, який вказує напрямок максимального локального зростання функції. Отже, для знаходження мінімуму цільової функції необхідно рухатися в напрямку, протилежному градієнту.

Градiєнтний перехiд

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} - \frac{\lambda^{(k)} \nabla f(X^{(k)})}{X^{(k)}} - \lambda \cdot \nabla f(X^{(k)}) \quad (5.14)$$

Де $X^{(k)}$ - початкова точка,

$\nabla f(X^{(k)})$ - градиєнт цiльової функції в початковій точці,

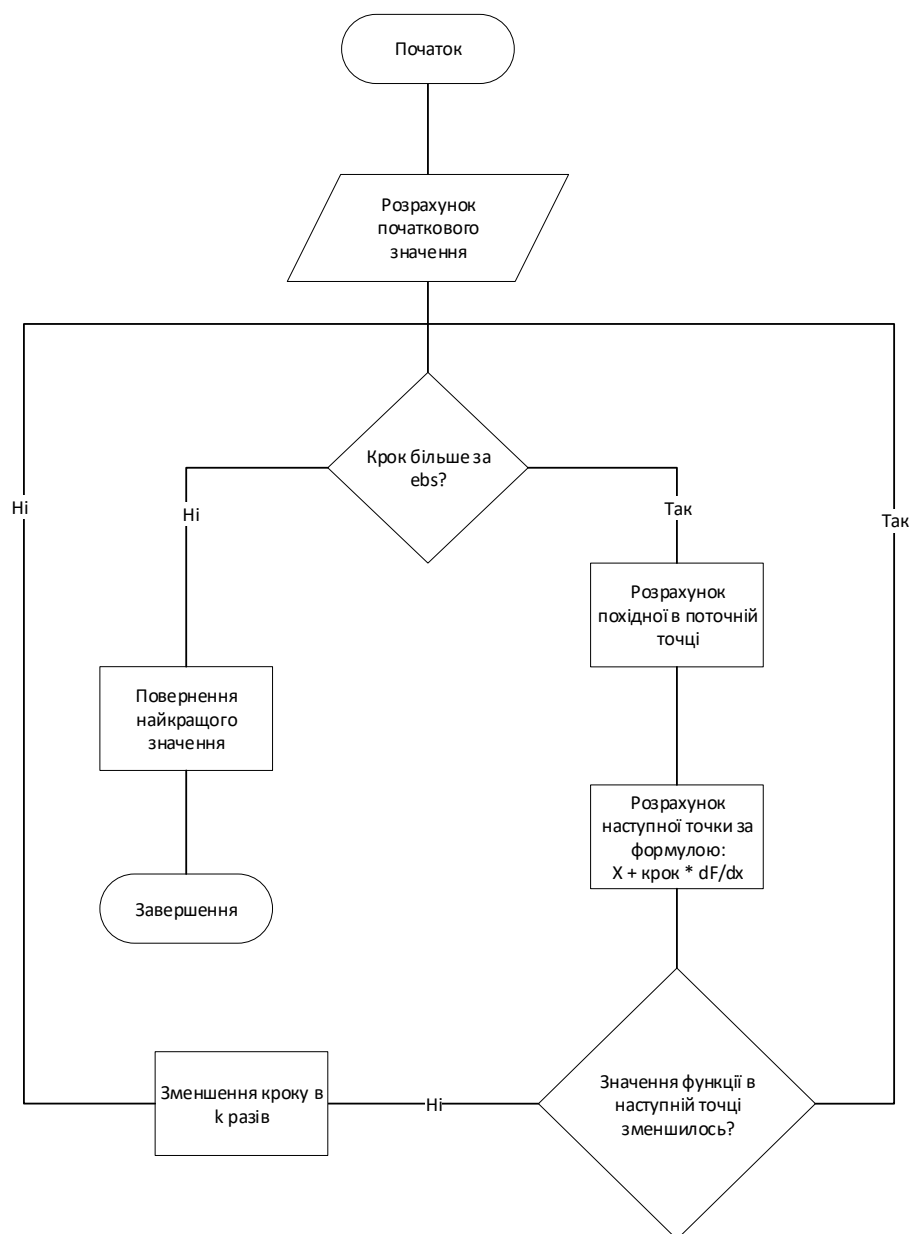


Рис 5.1 Блок схема алгоритму градиєнтного метода

```
[ ] def grad_method(y, x, start_point, h = 0.00002, k = 1.5, ebs = 0.00001):
    """
    Градієнтний метод оптимізації для рівняння однієї змінної
    """
    point = start_point# Присвоєння змінній початкового значення
    diff_i = diff(y, x)# Похідна
    yield float(point)
    while h > ebs:
        grad_i = diff_i.subs(x, point)# Розрахунок значення похідної в заданій точці
        next_point = point - h*(grad_i)# Рух в напрямку зворотньому до напрямку градієнта
        if y.subs(x,next_point) < y.subs(x,point):# Перевірка правильності кроку
            point = next_point# Присвоєння змінній вдалого значення
            yield float(point)# Повернення вдалого значення
        else:
            h /= k# Зменшення кроку
    return
```

Рис 5.2 Реалізація градієнтного методу

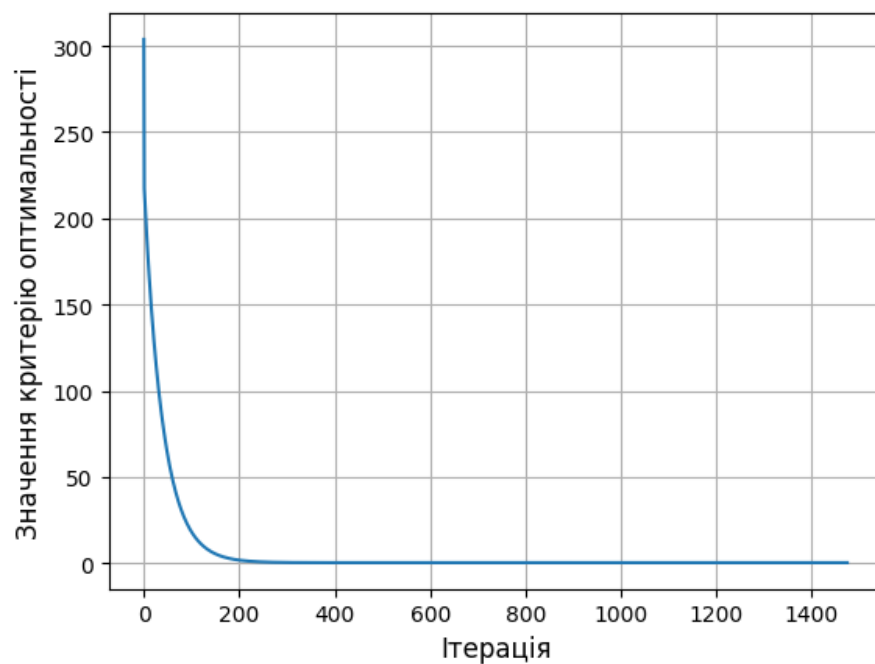


Рис 5.3 Графік критерію оптимальності в залежності від ітерації
 $(r = 1, q = 1)$
 $I = 0.255993514122982$

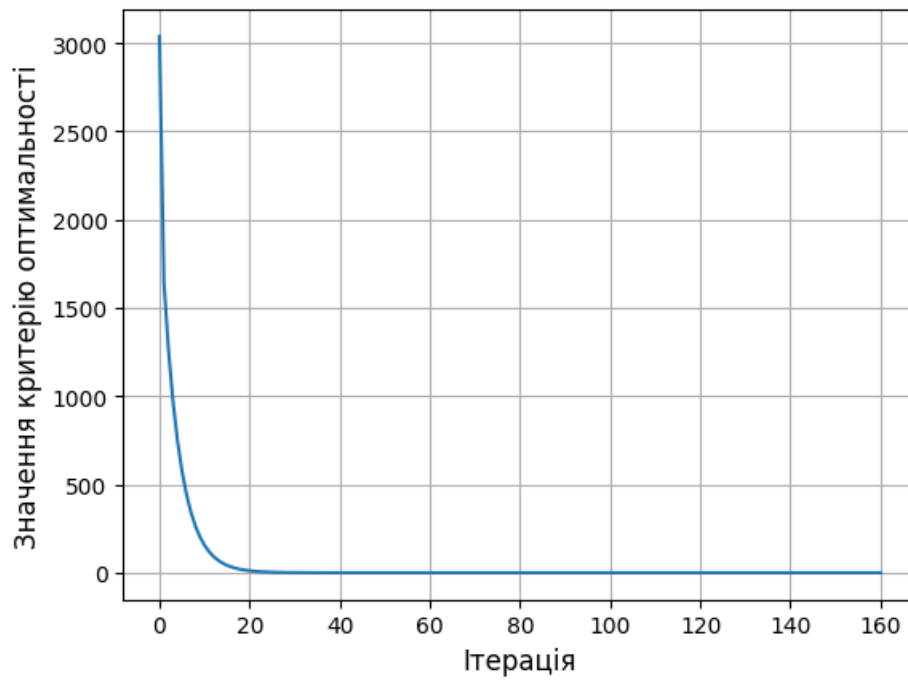


Рис 5.4 Графік критерію оптимальності в залежності від ітерації

($r = 1$, $q = 10$)

$I = 0.255191786451832$

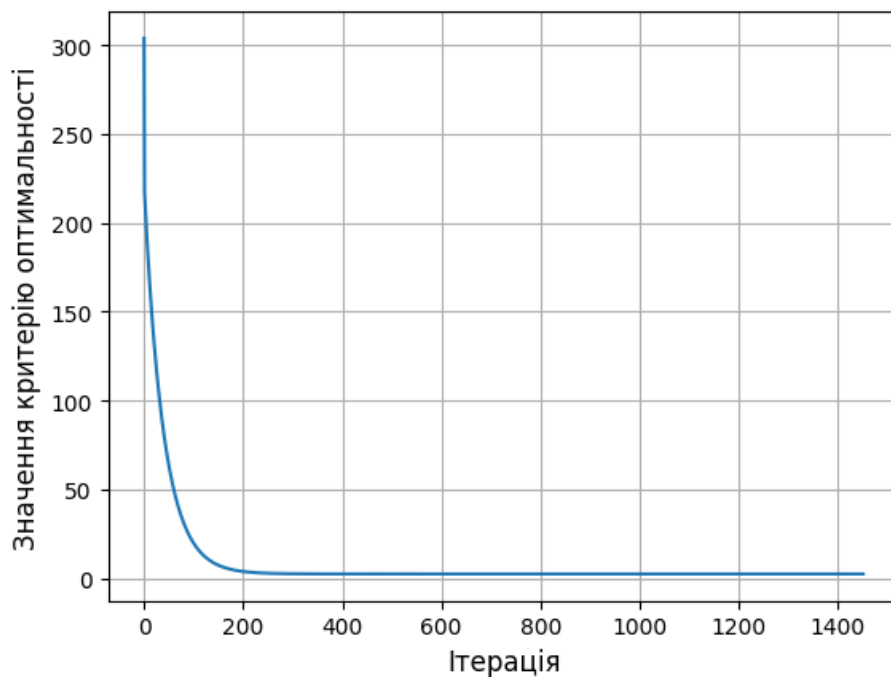


Рис 5.5 Графік критерію оптимальності в залежності від ітерації

($r = 10$, $q = 1$)

$I = 2.53149683374015$

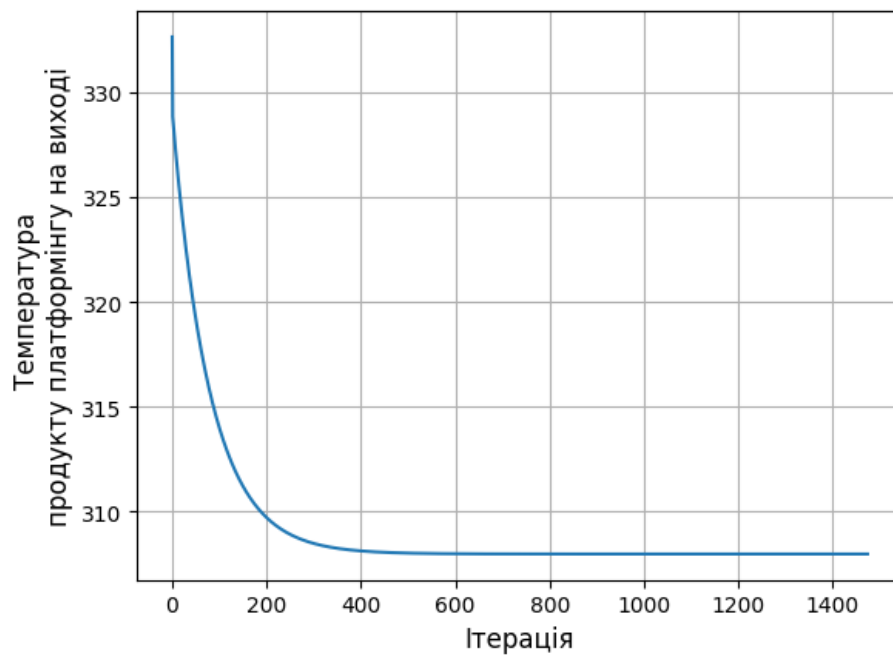


Рис 5.6 Графік температури продукту платформінгу в залежності від ітерації
($r = 1$, $q = 1$)

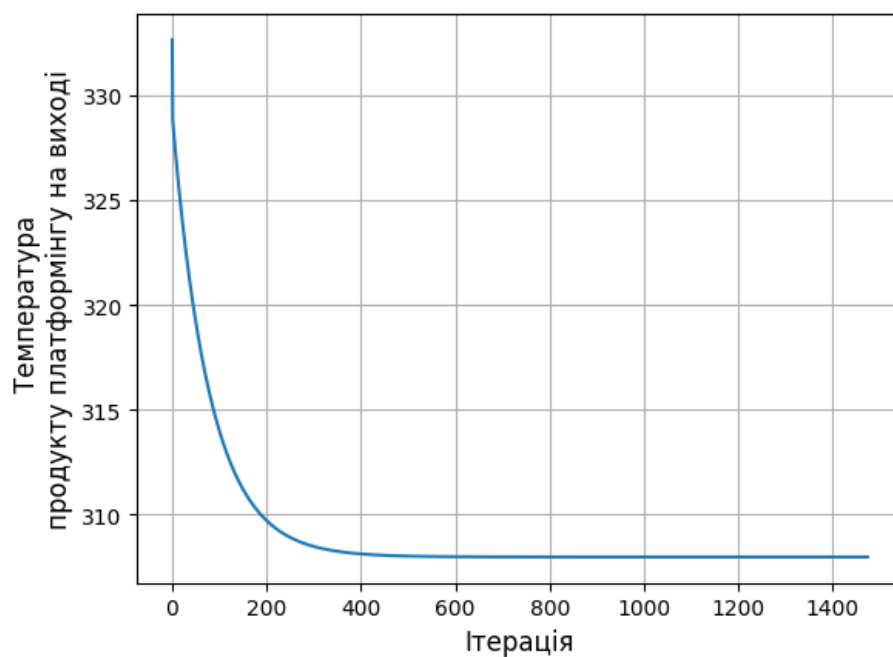


Рис 5.7 Графік температури продукту платформінгу в залежності від ітерації
($r = 1$, $q = 10$)

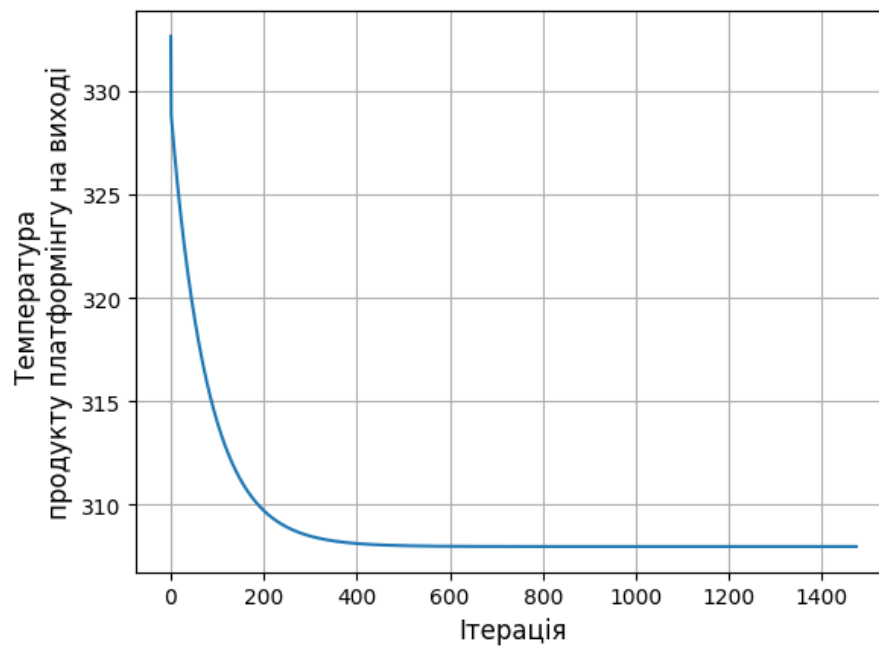


Рис 5.8 Графік температури продукту платформінгу в залежності від ітерації
($r = 10$, $q = 1$)

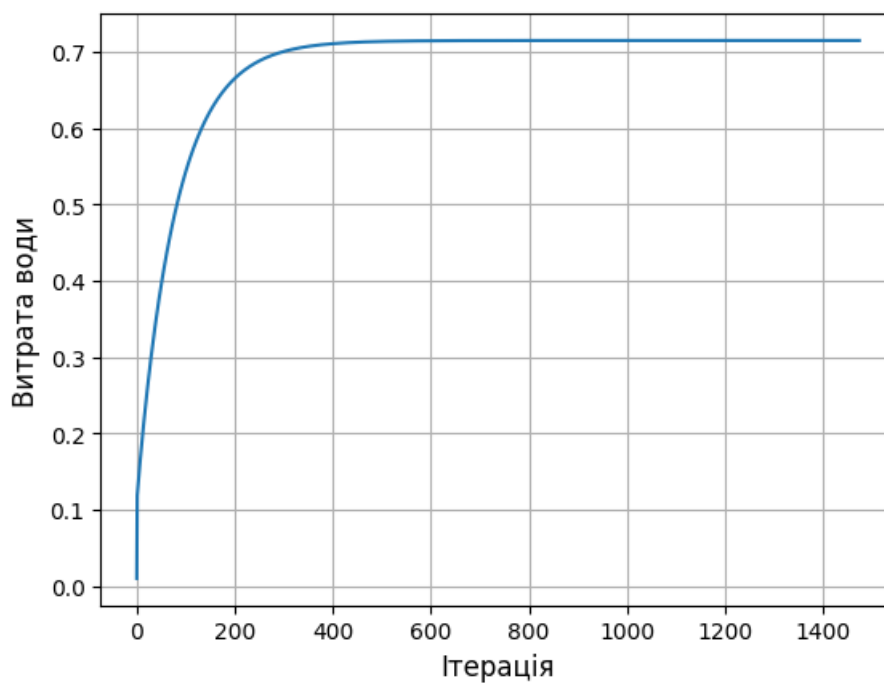


Рис 5.9 Графік витрати води в залежності від ітерації
($r = 1$, $q = 1$)

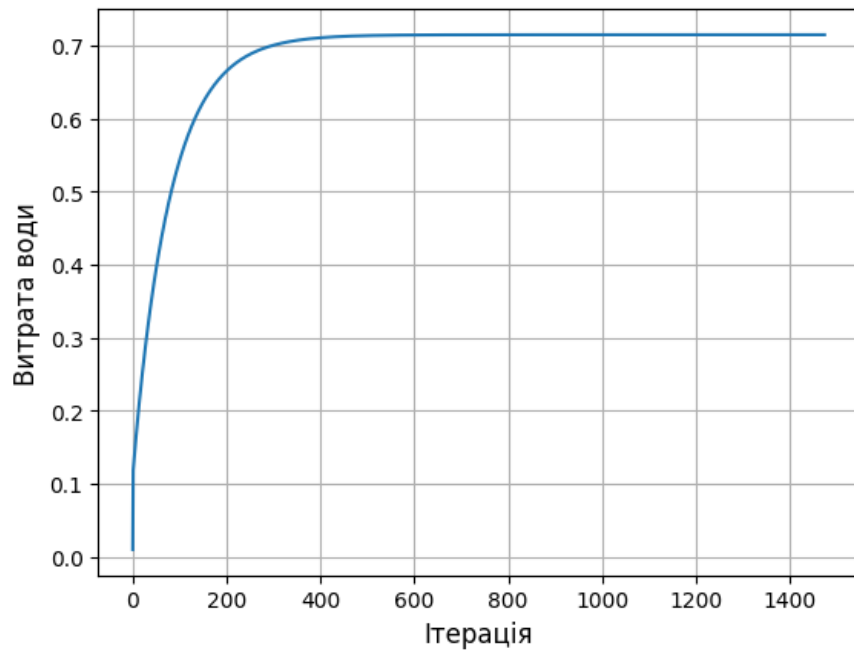


Рис 5.10 Графік витрати води в залежності від ітерації
($r = 1$, $q = 10$)

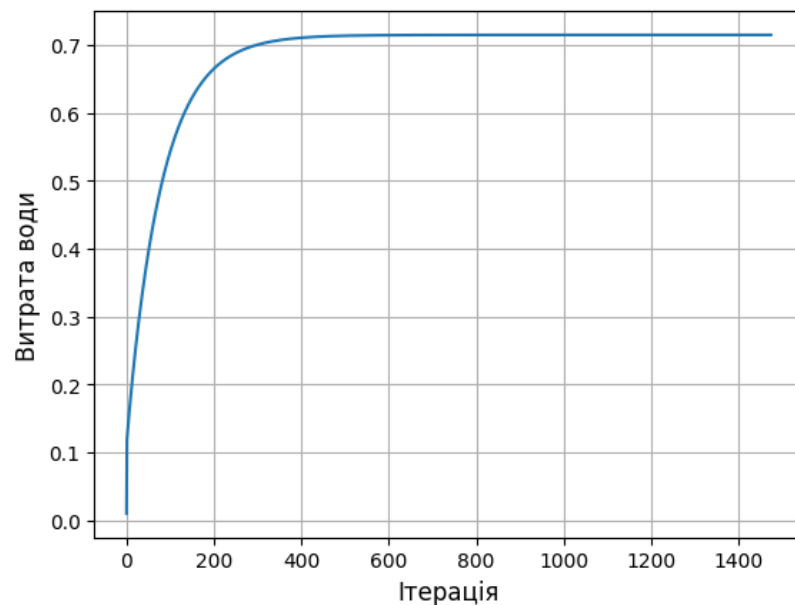


Рис 5.11 Графік витрати води в залежності від ітерації
($r = 10$, $q = 1$)

5.6. Розв'язок послідовної квадратичної задачі.

Цей метод ґрунтується на стратегії активного перебору та розділяє розв'язання задачі на два етапи. На першому етапі визначається найбільш імовірна точка. На

другому етапі генерується послідовність точок, які з високою ймовірністю збігаються до шуканого розв'язку [9].

Реалізація послідовного квадратичного програмування передбачає наступні кроки:

Реалізація цього методу передбачає виконання таких кроків:

- Корекція Гессіану для функції Лагранжа.
- Вирішення задачі послідовного квадратичного програмування.
- Обчислення функції вигоди та лінійного пошуку.

Цей метод реалізовано в мові програмування Python у пакеті SciPy, як функція *minimize()*.

Реалізація розв'язку послідовної квадратичної задачі:

```
[72] func = lambda x: ((x[1]-y_task)**2)/2 + (x[0]**2)/2
      bnds = ((u_min, u_max), (None, None))
      cons = (
        {'type': 'eq', 'fun': lambda x: 8400*x[0]+2400.0*x[1]-799200},
      )

[73] def callbackF(x, state):
      global u_arr
      global y_arr
      global I_arr
      u_arr.append(x[0])
      y_arr.append(x[1])
      I_arr.append(state.fun)
      print('{}{}{}{}{}{}{}'.format(state['niter'], state['nfev'], func(x), state['optimality'], x[0], x[1]))

Nfeval = 1
u_arr = []
y_arr = []
I_arr = []
print('{}{}{}{}{}{}{}'.format('Iter', 'F-count', 'F(x)', 'optimality', 'u', 'y'))

res = minimize(func, [0.01, 333], method='trust-constr', bounds=bnds,
              constraints=cons, callback=callbackF, options={'initial_constr_penalty': 100, 'gtol': 5e-5, 'finite_diff_rel_step': [1e-15, 1e-12]})
res
```

Рис 5.12 Реалізація квадратичної задачі

Таблиця 5.1 Результати оптимізації

Iter	F-count	F(x)	optimality	u	y
1	3	312.50005	24.959880772969	0.01	333.0
2	6	291.272750963	24.047974430900	0.024686663358737718	332.13596678185
3	9	146.999355100	17.068408217871	0.2244309247559057	325.1449217251
4	12	0.25511962615	0.01986372611327	0.7143098341701437	307.9991555412
5	12	0.25511962615	0.02174427213395	0.7143098341701437	307.9991555412

6	15	0.25489410402	0.00002740581718	0.7136879919042479	308.020920283
---	----	---------------	------------------	--------------------	---------------

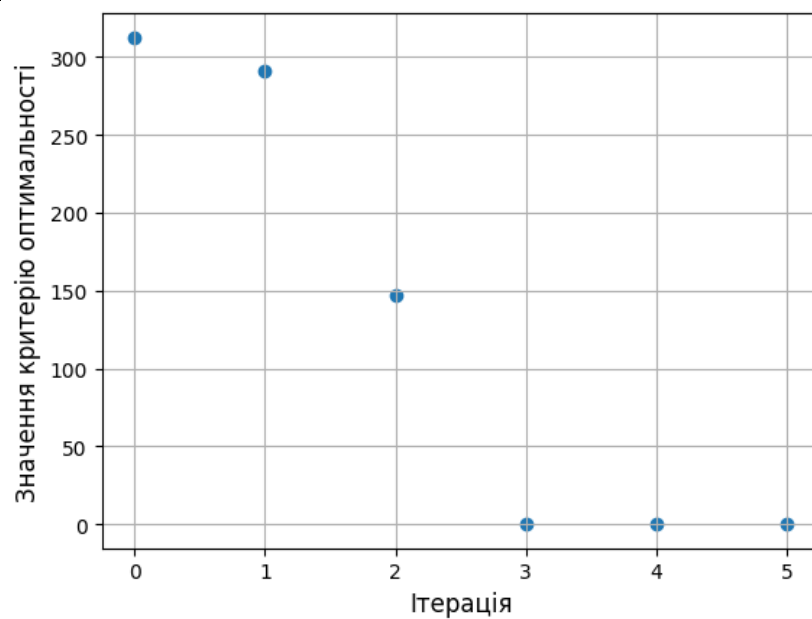


Рис 5.11. Графік критерію оптимальності в залежності від ітерації

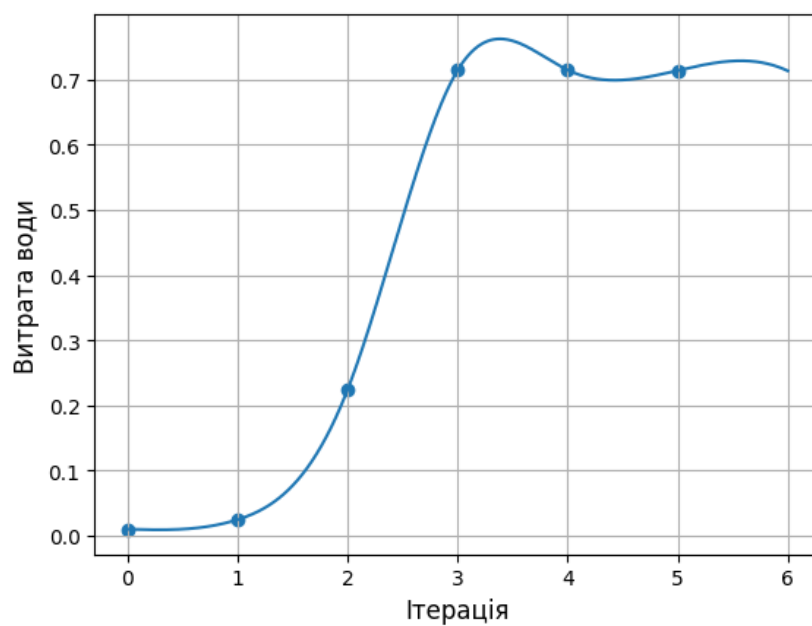


Рис 5.12. Графік витрати води в залежності від ітерації

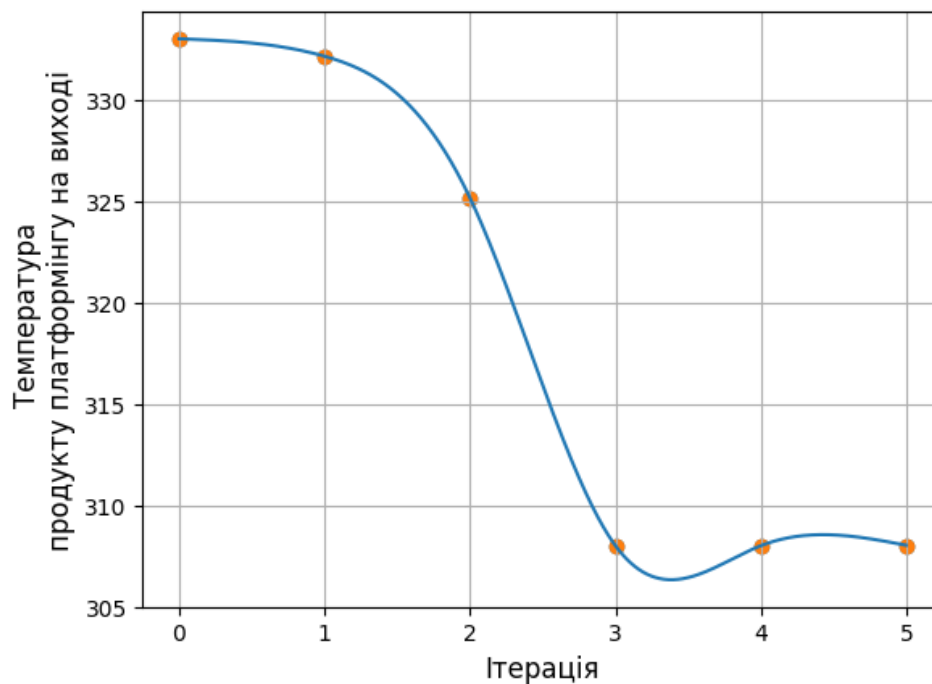


Рис 5.13. Графік температури продукту платформінгу в залежності від ітерації

Висновок: У цьому розділі була виконана статична оптимізація об'єкта керування за допомогою методів градієнтного та квадратичного програмування.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правил та заходів по забезпеченню збереження здоров'я, життя та працездатності людини у процесі трудов діяльності.

Тема проекту - «Риформінг з рухомим шаром каталізатора». Даний процес має такі особливості: наявність шкідливих (хлор, дихлоретан) хімічних речовин, які знаходяться під тиском. Для забезпечення безпеки необхідно дотримуватися заданого режиму та не залишати апаратуру без нагляду.

При обслуговуванні системи по автоматизації даного технологічного процесу, оператор знаходиться в операторській, площа якої становить 13 м², а об'єм – 33 м³. На робочому місці оператора наявні такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- мікроклімат робочої зони;
- електробезпека;
- пожежна безпека.

6.1 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат виробничих приміщень – це умови внутрішнього середовища даних приміщень, які впливають на теплообмін працюючих з оточенням шляхом кондукції, конвекції, випаровування вологи та теплового випромінювання.

Характеристика мікрокліматичних умов виробничих приміщень здійснюється за такими показниками:

- відносна вологість повітря,
- температура повітря,
- швидкість руху повітря.

Мікрокліматичні умови за ступенем свого впливу на тепловий стан людини бувають оптимальні та допустимі. Для робочих зон виробничих приміщень встановлюються допустимі та оптимальні мікрокліматичні умови, що враховують

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

важкість роботи, що виконується та період року. У випадку коли в одній робочій зоні одночасно виконуються роботи різної категорії важкості, то рівні показників мікроклімату мають встановлюватись із урахуванням найчисельнішої групи працівників.

Робота оператора, яка контролює процес виробництва, відноситься до легких робіт. Якщо точніше, то категорія роботи «І б», що передбачає в загальному енерговитрати організму людини у розмірі 121-150 ккал/год. Така робота виконується переважно сидячи, інколи стоячи або пов'язана з ходінням та супроводжується незначним фізичним напруженням.

Допустимі та оптимальні величини температури, відносної вологості повітря й швидкості руху повітря у робочій зоні для виробничих приміщень показано у таблиці 6.1. (Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99).

Таблиця 6.1 Оптимальні та допустимі метеорологічні умови в операторській

	Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Допустимі метеорологічні умови	Холодний період року	20-24	75	Не більше 0,2
	Теплий період року	21-28	60	0,3-0,1
Оптимальні метеорологічні умови	Холодний період року	21-23	60-40	0,1
	Теплий період року	22-24	60-40	0,2

Під час проектуванні технологічних процесів та устаткування треба ставити вимоги до обмеження вмісту шкідливих речовин за санітарними нормами у повітрі робочої зони.

Вміст шкідливих речовин регламентується значенням ГДК (гранично допустимих концентрацій), мг/м³ (ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007).

ГДК шкідливих речовин у повітрі - це концентрації, які при щоденній (окрім вихідних днів) роботі впродовж 8 годин або іншої тривалості, при цьому не більше 40 годин на тиждень, впродовж усього робочого стажу не викликають захворювань чи відхилень у стані здоров'я, що виявляються за допомогою сучасних методів досліджень, у процесі роботи або у віддалений період життя нинішнього і майбутнього поколінь.

Гранично допустимі концентрації речовин, що є шкідливими, у повітрі робочої зони являються обов'язковими санітарними нормативами, що необхідно використовувати під час проектування технологічних процесів та вентиляції. ГДК встановлюються на основі даних медико-біологічних досліджень, які проводять на тваринах. Для низьколетких речовин, які активно проникають крізь шкіру, мають бути встановлені тести експозиції.

У таблиці 6.2 наведено ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони у відповідності до технологічного процесу за ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007.

Таблиця 6.2. ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Особливості дії
Дихлоретан	10	2	Наркотична та канцерогенна дія
Хлор	1	2	Подразнення слизових оболонок, верхніх дихальних шляхів

Засоби індивідуального захисту – це міра захисту працівників від дії факторів, що шкодять. Для захисту дихальних шляхів використовуються респіратори-напівмаски 3М 6200 та 3М 7502. Для захисту очей використовуються захисні окуляри.

6.2 Електробезпека

Електробезпека — це система організаційних та технічних заходів та засобів по забезпеченню захисту людей від шкідливої й небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, поля і статичної електрики (ДСТУ 7237:2011).

Згідно з правилами встановлення електроустановок, цех виробничого приміщення за небезпекою електротравм відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки. У даному випадку у робочій зоні застосовують електромережу з напругою 380 В.

Виділяють такі три системи засобів та заходів для забезпечення електробезпеки:

- система технічних заходів і засобів (застосовування малих напруг; ізоляція частин, що ведуть струм (робоча, посилена, подвійна, додаткова); забезпечення недосяжності до неізольованих частин, що ведуть струм; захисне заземлення; вирівнювання потенціалів; занулення та захисне відключення; електричне розділення мереж; огорожувальні улаштування; компенсація струмів замикання на землю; попереджувальна сигналізація; знаки безпеки; блокування; засоби для захисту, запобіжні пристосування та ін.);

- система електрозахисних засобів відповідно до ДНАОП 1.1.10-1.07-01 (ізолюючі штанги, діелектричні рукавички та рукавиці, кліщі, діелектричні боти і калоші; ізолюючі килимки, доріжки та ізолюючі підставки, струмовимірювальні кліщі, покажчики напруги, переносні заземлення, монтерський інструмент, окуляри);

- система організаційних та технічних заходів і засобів, регламентованих ДНАОП 0.00-1.21-98 (призначення відповідальної особи за справний стан та безпечну експлуатацію електроустановок (тобто відповідальний за електрогосподарство); створення й укомплектування, з урахуванням потреб електротехнічної служби; розробка й затвердження посадових інструкцій

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

працівників електротехнічних служб й інструкції по безпечному виконанню робіт в електроустановках, із урахуванням їх особливостей; створення на підприємствах таких умов, аби працівники, як зобов'язані обслуговувати електроустановки, згідно з чинними вимогами, своєчасно виконували їх огляд, профілактичні, приймально-здавальні та протиаварійні випробування; забезпечення своєчасного навчання та перевірки знань працівників із питань електробезпеки).

Технічні заходи і засоби з електробезпеки реалізуються в конструкціях електроустановок під їх розробки, виготовлення і монтажу згідно з чинними нормативами.

За функціями технічні заходи і засоби забезпечення по електробезпеці поділяються на такі дві групи:

- технічні заходи і засоби по забезпеченню електробезпеки під час нормального режиму роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби по забезпеченню електробезпеки під час аварійних режимів роботи електроустановок.

6.3 Пожежна безпека

Дане виробництво за пожежною та вибухонебезпечною небезпекою належить до категорії В – пожежонебезпечні за ДСТУ Б В.1.1-36:2016, так як в ньому знаходяться горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини. Ступінь вогнестійкості будівлі II відповідно до ДБН В.1.1-7-2016, оскільки стіни приміщення кабінету є цегляними. Приміщення відповідає П-ІІа класу пожежонебезпечної зони згідно з ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання).

Попередження утворення пожежі забезпечується такими загальними заходами:

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- підтримування відповідного значення температури й тиску середовища, при яких поширення полум'я виключене;
- максимальна механізованість та автоматизація технологічних процесів;
- видалення пожежонебезпечних відходів виробництва;
- використання машин та механізмів, устаткування та пристроїв, під час експлуатації яких не будуть утворюватися джерела загоряння;
- використання швидкодійних засобів для захисного відключення можливих джерел займання полум'я;
- використання технологічних процесів та устаткування, яке задовольнятиме вимоги по статичній іскробезпеці;
- температури нагріву поверхонь машин, устаткування, пристроїв, речовин та матеріалів, що можуть увійти в контакт із горючим середовищем, мають підтримуватися нижче гранично допустимої, що не має перевищувати 80% від температури самозаймання горючого середовища;
- використання інструментів, робочого одягу і взуття, що не викликають іскроутворення при виконанні робіт;
- виконання вимог чинних норм, стандартів та правил пожежобезпеки;
- використання електроустаткування, яке відповідає пожежонебезпечним та вибухонебезпечним зонам за своїм виконанням, категоріям і групам вибухонебезпечних сумішей;
- використання засобів пожежогасіння: 1 переносний вогнегасник із зарядом вогнегасної речовини 5 кг ВП-5.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Список використаної літератури

1. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.
2. Жученко А. І., Ярощук Л. Д., Попович Н. В., Попович О. В. Задачі автоматизації технологічних процесів при створенні системи ISO // Вісник національного технічного університету «КПІ» серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження» – 2020. – №3 (19). С. 42 – 51.
3. Zhulynskiy, A.A. Ladieva, L.R. Korniyenko, B.Y. Parametric identification of the process of contact membrane distillation ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 14, Issue 17, September 2019, Pages 3108-3112
4. Жученко А.І. Ладієва Л.Р.,Дубік Р.М. Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK Київ, СПД Моляр, 2010 230 С.
5. A. Zhulinskyi, Ladieva, L. Burban A. An Optimization of static operating modes of the installation of contact membrane distillation Contemporary Engineering Sciences, Vol. 10, 2017, no. 9, 439 - 446 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2017.7332>
6. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк; Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т». – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
7. Проектування систем керування: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології»/ М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 342 с.
8. Автоматизація технологічних процесів галузі – 2. Розрахунок параметрів регуляторів: Метод. вказівки до викон. лабор. робіт для студ. напр.

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

„Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” // Уклад.: Д.О. Ковалюк, В.С. Цапар, О.О. Ковалюк – К. : НТУУ ”КПІ”, 2015. – 33 с.

9. Ладієва Л. Р. Оптимальне керування системами.: Навчальний посібник.- К.:НМЦ ВО, 2000. - 187с. – Библиогр.: с. 7–12. – ISBN 966-622-026-1

10. Автоматизовані хіміко-технологічні комплекси-1. Технологічні об'єкти керування: Метод. вказівки до практ. та лаб. занять для студ. напрямку підготовки: 6.050202 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / Уклад.: З.Я.Козаневич,– К. : НТУУ ”КПІ ім. Ігоря Сікорського“, 2017. – 56 с.

11. Бакалаврський дипломний проєкт. Вимоги та рекомендації до виконання . Навчальний посібник. Реєстр. № НП 22/23-423. Обсяг 5,3 авт. арк. Укладач: Жученко А.І, доктор техн. наук, професор Жураковський Я.Ю., старший викладач Ковалюк Д.О., канд. техн. наук, доцент Коржик М.В., канд. техн. наук, доцент Ладієва Л.Р., канд. техн. наук, доцент Лукінюк М.В., старший викладач Плашихін С.В., канд. техн. наук, доцент Складанний Д.М., канд. техн. наук, доцент

					ДПЛА13.24.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Специфікація устаткування

Додаток 1

Позиція на схемі	Технологічний параметр	Середовище і місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль витрати								
1А	Витрата	Трубопровід речовини	-	Трубопровід	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{\max} = 0,4$ МПа, температура $5 \dots 50$ °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5; 0(4) \dots 20$ мА	«Сапфир»-22-Д-2430	1	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
1Б	Витрата	Трубопровід речовини	-	Пульт керування	Мікропроцесорний регулятор, плата комутації КБЗ-28К-11, вихід АО1 = $4 \dots 20$ мА	МІК-21	1	ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол»
1В	Витрата	Трубопровід речовини	-	Трубопровід	Регулювальний клапан, вхідний сигнал $4 \dots 20$ мА, живлення 230 В	РУСТ-410	1	ООО «СОВТЕК», ООО КСК-АВТОМАТИЗАЦІЯ (02660), м. Київ, вул. М. Раскової 4-б

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

65

Контроль температури

2A 5A 6A 7A 9A 13A 15A 16A	Температура	Температура	-	Трубопро від і апарати	Термoeлектричний перетворювач, НСХ А-1, діапазон вимірювання 0...2200 (2500) °С, захисна арматура – оксид берилію, довжина монтажної частини 500 мм; діаметр захисної арматури 10 мм; умовний тиск – атмосферний або вакуум; інерційність 30 с; клас допуску 2	ТВР- 3488	8	НВО «Електротермія» , Приладобудів- ний 3-д, м. Луцьк
5Б 6Б 7Б 9Б 13Б 16Б	Температура	Температура	-	Пульт керуванн я	Мікропроцесорний регулятор, плата комутації КБ3-28К-11, вихід АО1 = 4...20мА	МІК-21	6	ТОВ МІКРОЛ, м. Івано- Франківськ, вул. Автолітмашевсь ка, 5, ООО «Мікрол»
2Б 15Б	Температура	-	-	Щит керуванн я	Індикатор технологічний мікропроцесорний однокана- льний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термoeлектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація	ІТМ-11	2	«Мікрол» м. Івано- Франківськ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

66

5В 6В 7В 9В 13В 16В	Температура	Температура	-	Трубопро від	Регулювальний клапан, вхідний сигнал 4...20мА, живлення 230 В	РУСТ- 410	6	ООО «СОВТЕК», ООО КСК- АВТОМАТИЗА ЦІЯ (02660), м. Київ, вул. М. Раскової 4-б
Контроль якості								
4А 11А 17А 18А	Концентрація	Трубопровід	-	Трубопро від	Вимірювальний модуль, з чотирьохрозрядним 8-ми сигментним індикатором. Потужність 2,5 Вт. Виход 4- 20мА, RS485, протокол MODBUS RTU	СЕНСОН -СВ- 5021-СН- ТК	4	ТОВ «Промприлад», м.Харків
4Б 11Б 17Б 18Б	Концентрація	-	-	Щит керуванн я	Індикатор технологічний мікропроцесорний однокана- льний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація	ІТМ-11	4	«Мікрол» м. Івано- Франківськ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

67

Контроль рівня

3А 8А 10А 14А	Рівень	Рівень в апаратах	-	-	Радарний рівнемір, FMCW-радар (8,5-9,9 ГГц), рідина/сипучі матеріали, 0...40 м, температура до 250 °С, тиск до 400 бар	ВМ 70-Р	4	м. Київ, вул. Васильківська, 1, офіс 210, «КАНЕКС КРОНЕ»
3Б 8Б 10Б 14Б	Рівень	Рівень в апаратах	-	Пульт керування	Мікропроцесорний регулятор, плата комутації КБЗ-28К-11, вихід АО1 = 4...20мА	МІК-21	4	ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол»
3В 8В 10В 14В	Рівень	Рівень в апаратах	-	Трубопровод	Регулювальний клапан, вхідний сигнал 4...20мА, живлення 230 В	РУСТ-410	4	ООО «СОВТЕК», ООО КСК-АВТОМАТИЗАЦІЯ (02660), м. Київ, вул. М. Раскової 4-б

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

68

Контроль тиску

12А 19А 20А 21А 22А	Тиск	Трубопровід на виході із насоса	-	Трубопро від	Вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків, $\Delta P_{\max} = 2,5$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 06ХН28МДТ; клас точності 0,25; $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА	Сафір- М-2160	5	ТОВ «Промприлад», м.Харків
12Б 19Б 20Б 21Б 12Б	Тиск	-	-	Щит керуванн я	Індикатор технологічний мікропроцесорний однокана- льний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація	ІТМ-11	5	«Мікрол» м. Івано- Франківськ

Електроапарати

SB1-14				Пульт керуван ня	Кнопковий пост керування	КУ-92- 1EXD11 BT5	14	ВАТ «Промприлад», м. Івано- Франківськ
МП1-7				Місцевий	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-3А	7	ВАТ «Промприлад», м. Івано- Франківськ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

69

SA1-7				Місцевий	Кнопка запобіжного відмикання	КМЕ-5111У	7	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
HL1-36				Пульт керування	Лампа сигнальна світлодіодна із червоним індикатором $U_{\text{жив}} = 220 \text{ В}$, 50/60 Гц, $d = 27 \text{ мм}$, сила світла 20 мКд	СКЛ-11-Ж-2-220	36	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПЛА13.24.00.000ПЗ

Арк

70