

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій ЦАПАР

« _____ » _____ 20__

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

**зі спеціальності 174 – Автоматизація , комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка**

(код і назва)

**на тему: «Оптимальне керування та дослідження процесу виробництва оцтової
кислоти шляхом окислення ацетальдегіду»** _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ЛК-42мп

(шифр групи)

Шевчук Єгор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник

доцент, к.ф.-м.н., доцент Дунаєва Т. А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

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 – другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Віталій ЦАΠΑР

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шевчук Єгор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Оптимальне керування та дослідження процесу
виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду» _____

науковий керівник дисертації _____ доцент, к.ф.-м.н., доцент Дунаєва Т. А. _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2025 р. №4744-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження процес виробництва оцтової кислоти шляхом
окислення ацетальдегіду _____

4. Вихідні дані: технологічна схема процесу; літературні джерела

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розробка математичної моделі та синтез оптимального керування; Розробка системи керування процесом виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду засобами програми RSLogix; Розробка схеми автоматизації та креслень щита, сигналізації, живлення і керування двигунами; Розробка стартап-проєкту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Принципова електрична схема технологічної сигналізації контрольованих параметрів; Принципові схеми керування електродвигунами М1 і М4; Схема автоматизації; Схема з'єднань зовнішніх проводок; Схема щита автоматики

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту.	кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

9. Дата видачі завдання 30.10.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду	16.09.2025	
2	Розробка математичної моделі та синтез оптимального керування	17.10.2025	
3	Розробка системи керування процесом виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду засобами програми RSLogix	28.10.2025	
4	Розробка схеми автоматизації та креслень щита, сигналізації, живлення і керування двигунами	11.11.2025	
5	Розробка стартап проєкту	4.12.2025	

Студент
Науковий керівник дисертації

Єгор, ШЕВЧУК
Тамара, ДУНАЄВА

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Реферат

Тема магістерської дисертації – «Оптимальне керування та дослідження процесу виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду». Містить 94 сторінки, 31 рисунок, 23 таблиці, 6 літературних джерел, додатки.

Об'єктом дослідження магістерської дисертації процес виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду.

Предмет дослідження – окислювальна колона у процесі виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду.

В першому розділі пояснювальної записки проаналізовані властивості оцтової кислоти, процесу її виготовлення і окислювальної колони.

В другому розділі розроблено математичну модель та синтезовано оптимальне керування для системи

В третьому розділі розроблено систему керування процесом засобами програми RSLOGIX

В четвертому розроблено схеми автоматизації, сигналізації, керування і живлення

В п'ятому розділі представлено стартап проект.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: оцтова кислота, окислення, модель, моделювання, система керування, автоматизація, стартап.

Abstract

The master's thesis is devoted to the topic "Optimal Control and Investigation of the Acetic Acid Production Process by Acetaldehyde Oxidation." The explanatory note comprises 94 pages and includes 31 figures, 23 tables, 6 references, and appendices.

The object of the research is the acetic acid production process based on acetaldehyde oxidation, while the subject of the study is the oxidation column used in this process.

The first section examines the physicochemical properties of acetic acid, the technological features of its production, and the design and operation of the oxidation column. The second section presents the development of a mathematical model of the process and the synthesis of an optimal control strategy. In the third section, a process control system is designed and implemented using the RSLogix software. The fourth section focuses on the development of automation, signaling, control, and power supply schemes. The fifth section outlines a startup project related to the proposed technical solutions.

Keywords: acetic acid, oxidation, mathematical model, process modeling, control system, automation, startup project.

Зміст

Вступ.....	8
1.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ШЛЯХОМ ОКИСЛЕННЯ АЦЕТАЛЬДЕГІДУ.....	9
1.1. Опис продукту.....	9
1.2. Аналіз технологічного процесу	9
1.3. Аналіз технологічної схеми окислювальної колони.....	11
1.4. Постановка задачі для дослідження.....	12
2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ	13
2.1. Аналіз об'єкту керування	13
2.2. Моделювання статичного режиму.....	13
2.3. Моделювання динамічного режиму роботи об'єкта.....	14
2.4. Вибір критерію оптимальності.....	20
2.5. Введення необхідних умов оптимальності.....	20
2.6. Розрахунок оптимального програмного керування.....	22
2.7. Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора.....	26
2.8. Лінійно-квадратичний регулятор з інтегральною складовою.....	31
2.9. Застосування градієнтних методів для задач оптимального керування.....	35
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМИ RSLOGIX.....	39
3.1. Опис програми.....	39
3.2. Етап START.....	40
3.3. Етап PRERUN.....	44
3.4. Етап OXIDATION.....	45
3.5. Етап POSTRUN.....	47
4.РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ, СИГНАЛІЗАЦІЇ, КЕРУВАННЯ І ЖИВЛЕННЯ.....	49
4.1 Постановка задачі.....	49
4.2 Розробка схеми автоматизації.....	50
4.3 Блокування, сигналізація, аварійний захист.....	51
4.4.Опис електричної принципової схеми сигналізації.....	52
4.5. Опис електричної принципової схеми керування.....	56
4.6. Опис електричної принципової схеми живлення.....	57

4.7. Опис схеми з'єднань та підключень.....	58
4.8 Опис щита автоматики.....	59
5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	61
5.1 Опис ідеї проекту.....	61
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	63
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	69
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	71
5.6 Висновки.....	74
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	77
Додатки.....	78

ВСТУП

Виробництво оцтової кислоти належить до важливих галузей хімічної технології, оскільки цей продукт широко використовується в хімічній, харчовій, фармацевтичній та інших промисловостях. Процес окиснення ацетальдегіду є багатопараметричним, нелінійним і чутливим до змін режимних параметрів, що ускладнює його керування та потребує застосування сучасних методів математичного моделювання й оптимального керування.

Темою роботи є «Оптимальне керування та дослідження процесу виробництва оцтової кислоти шляхом окиснення ацетальдегіду»

Метою роботи є аналіз властивостей оцтової кислоти, процесу її виготовлення і окислювальної колони, розроблення математичної моделі та синтез оптимального керування для системи, розроблення системи керування процесом засобами програми RSLOGIX, розроблення схем автоматизації, сигналізації, керування і живлення і створення стартап-проекту.

Отримані результати даної роботи можуть служити основою та допомогою для автоматизації даного процесу.

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ШЛЯХОМ ОКИСЛЕННЯ АЦЕТАЛЬДЕГІДУ

1.1 Опис продукту

Оцтова кислота — це проста органічна сполука з формулою CH_3COOH , що має характерний різкий запах і кислий смак; у водних розчинах вона відома як оцет і широко використовується в побуті і харчовій промисловості[1].

В харчовому виробництві оцтова кислота виступає як регулятор кислотності, консервант і ароматична добавка (харчова добавка E260), зокрема для маринування продуктів та покращення їхнього смаку і терміну зберігання.

Промислово вона є важливим хімічним реагентом і вихідною сировиною для синтезу багатьох сполук: ацетатних ефірів, ацетату вінілу, ацетату целюлози та інших похідних, що застосовуються у виробництві полімерів, клеїв, фарб, текстильних волокон, плівок і розчинників. Крім того, оцтова кислота використовується в фармацевтичній, сільськогосподарській та лабораторній сферах як проміжний продукт, розчинник або реагент у різних синтезах і процесах[2].

1.2 Аналіз технологічного процесу

Тех. процес має таку послідовність:

- ацетальдегід окислюється,
- непрореагований ацетальдегід виділяється з парогазу,
- готовий продукт виділяється з суміші, яка потім надходить на ректифікацію 4:10

Розчини ацетальдегіду та каталізатора зі змішувачів 1 і 2 подаються в нижню зону реактора 3. Стабільність температури в апараті забезпечується системою змішувачів, по яких циркулює охолоджувальна вода. Кисень під тиском $4 \cdot 10^5$ Па вводиться в реактор через кілька трубопроводів і барботує через рідину, що знаходиться в колоні.

Парогазова суміш разом із продуктами реакції відводиться з реактора 3 через бризкоуловлювач 4 та надходить у конденсатор 5, де охолоджується

розсоллом. Після конденсації суміш оцтової кислоти й ацетальдегіду повертається у процес, тоді як неконденсовані гази промиваються водою та виводяться в атмосферу.

З метою запобігання утворенню вибухонебезпечних сумішей газовий потік на виході з колони розбавляється азотом, який подається до бризкоуловлювача 4. Оцтова кислота, що виходить з реактора 3, поділяється на два потоки: рециркуляційний, який спрямовується до змішувачів 1 і 2 для приготування вихідних розчинів, та потік, що направляється на очищення в колону 7 для отримання товарного продукту.

З колони відводиться кубовий залишок — розчин каталізатора, який надалі підлягає регенерації. Готовим продуктом є оцтова кислота з масовою часткою 97,5–98,5%. Вихід процесу 92%, а ступінь перетворення ацетальдегіду 0,98.

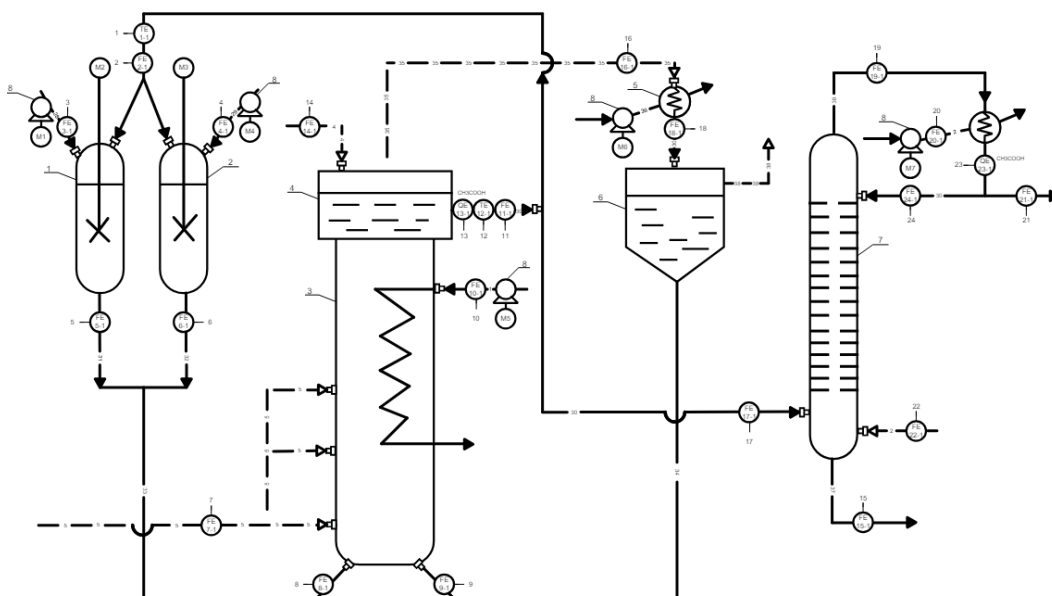


Рисунок 1.2.1— Технологічна схема виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду

1.3 Аналіз технологічної схеми окислювальної колони

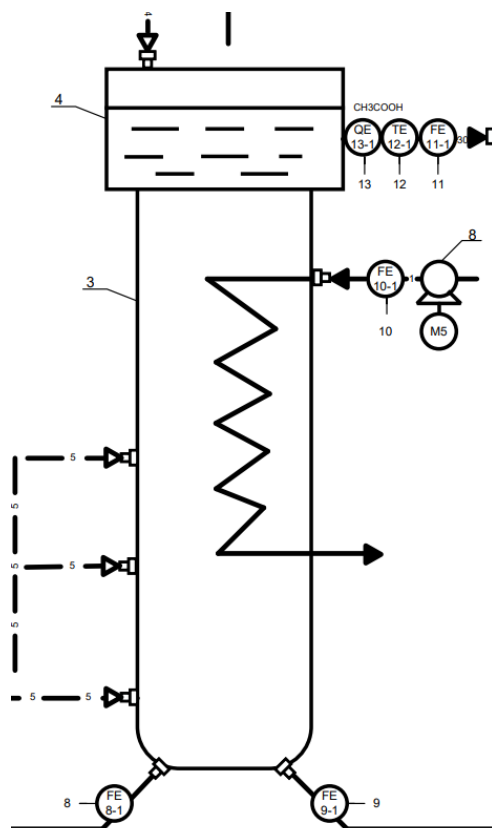


Рисунок 1.3.1— Технологічна схема окислювальної колони

Окремої уваги потребує головний апарат технологічної схеми — окислювальна колона. Вона являє собою циліндричну конструкцію з розширенням у верху, яке виконує функцію бризкоуловлювача. Висота колони становить 12 м, а її діаметр — 1 м. Апарат виготовляється з алюмінію або хромонікелевої сталі, стійкої до корозії.

Усередині колони розташовані полиці, між якими встановлені окисні змійовикові холодильники, призначені для відведення тепла реакції та підтримання сталого температурного режиму в межах 65–70 °С. Крім того, в апараті передбачено кілька трубопроводів для подачі кисню.

1.4 Постановка задачі для дослідження

Розглядатися буде як сам процес виробництва загалом, так і окремо окислювальна колона, адже саме вона є ключовим елементом технологічної схеми.

Метою дослідження було обрано розв'язання таких завдань:

1. Розробка математичної моделі та синтез оптимального керування
2. Розробка системи керування процесом виробництва оцтової кислоти шляхом окислення ацетальдегіду засобами програми RSLogix
3. Розробка схеми автоматизації та креслень щита, сигналізації, живлення і керування двигунами
4. Розробка стартап проекту.

2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ

2.1. Аналіз об'єкту керування

Об'єктом керування взята окислювальна колона. Керуванням буде час контакту реагентів (τ), а збуренням— константа швидкості реакції (k). На виході буде концентрація готового продукту ($C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$)

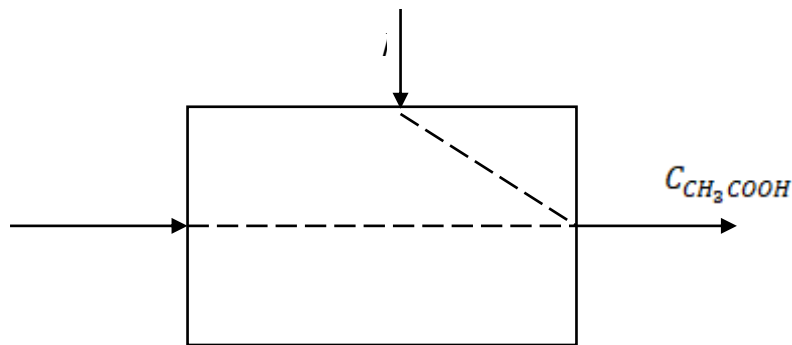


Рисунок 2.2.1— Структурна схема

Керування— час контакту реагентів (τ)

Збурення— константа швидкості реакції (k)

Вихід— концентрація оцтової кислоти ($C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$)

2.2. Моделювання статичного режиму

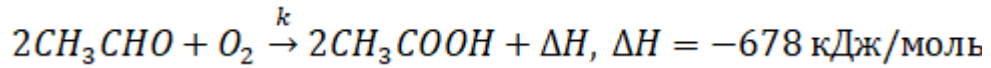
Кисень взаємодіє з ацетальдегідом:

$$\begin{aligned} H_{2\text{CH}_3\text{CHO}} &= 2(4H_{\text{C-H}} + H_{\text{C-C}} + H_{\text{C=O}}) = 2(4 \cdot 413 + 347 + 745) \\ &= 5488 \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

$$H_{\text{O}_2} = H_{\text{O-O}} = 146 \text{ кДж/моль}$$

$$H_{2C_2H_3COOH} = 2(3H_{C-H} + H_{C-C} + H_{C=O} + H_{C-O} + H_{O-H}) \\ = 2(3 \cdot 413 + 347 + 745 + 358 + 467) = 6312 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H = H_{2C_2H_3CHO} + H_{O_2} - H_{2C_2H_3COOH} = 5488 + 146 - 6312 \\ = -678 \text{ кДж/моль}$$



$$Q = \Delta H = -678 \text{ кДж/моль}$$

$\Delta H < 0$, отже, в ході реакції вихдить тепло

$$\omega = kC_{C_2H_3CHO}^2 C_{O_2}$$

$$G = G_{C_2H_3CHO} + G_{O_2}$$

1-3— матеріальний баланс, 4— тепловий

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\tau} (C_{C_2H_3CHO}^{вх} - C_{C_2H_3CHO}) = 2\omega \\ \frac{1}{\tau} (C_{O_2}^{вх} - C_{O_2}) = \omega \\ \frac{1}{\tau} (C_{C_2H_3COOH}^{вх} - C_{C_2H_3COOH}) = -2\omega \\ \frac{1}{\tau} (T_{вх} - T) = -\frac{\omega Q}{\rho C_p} \end{array} \right.$$

Ст характеристика:

$$C_{C_2H_3COOH} = C_{C_2H_3COOH}^{вх} + 2kC_{C_2H_3CHO}^2 C_{O_2}$$

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці вимірювання
Об'єм реактора	V	9.4248	м ³
Витрата ацетальдегіду	$G_{\text{СН}_3\text{СНО}}$	0.0016	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
Витрата кисню	G_{O_2}	0.6295	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
Концентрація оцтової кислоти	$C_{\text{СН}_3\text{СООН}}$	0.0169	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Концентрація ацетальдегіду	$C_{\text{СН}_3\text{СНО}}$	0.0178	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Концентрація кисню	C_{O_2}	8.9312e-5	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Константа швидкості реакції	k	19996	с ⁻¹

Таблиця 2.2.1

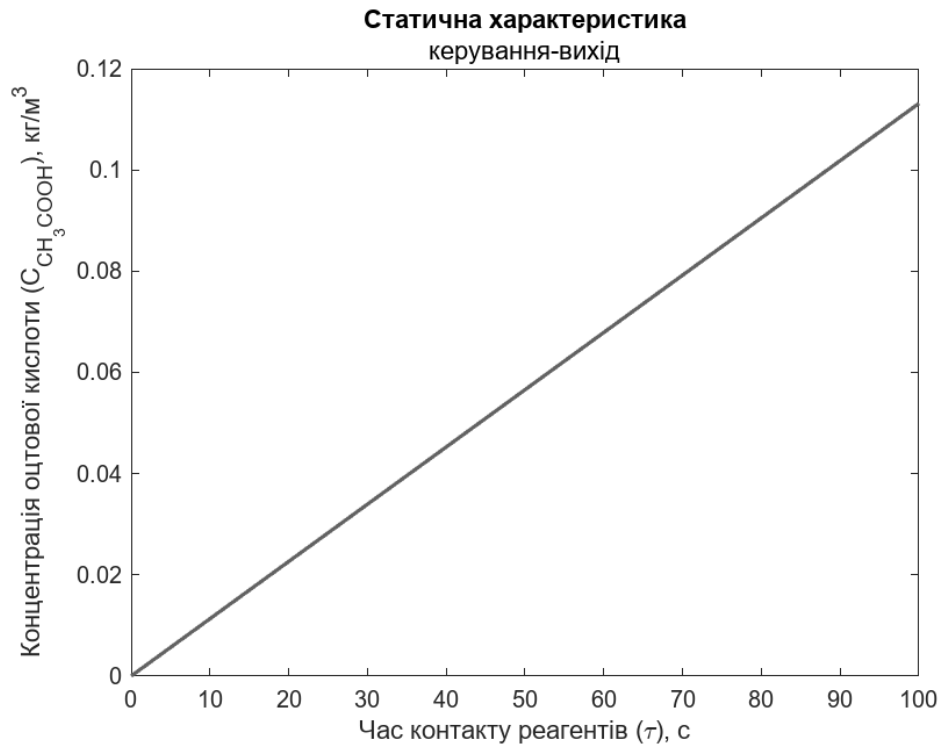


Рисунок 2.2.1— Статична характеристика

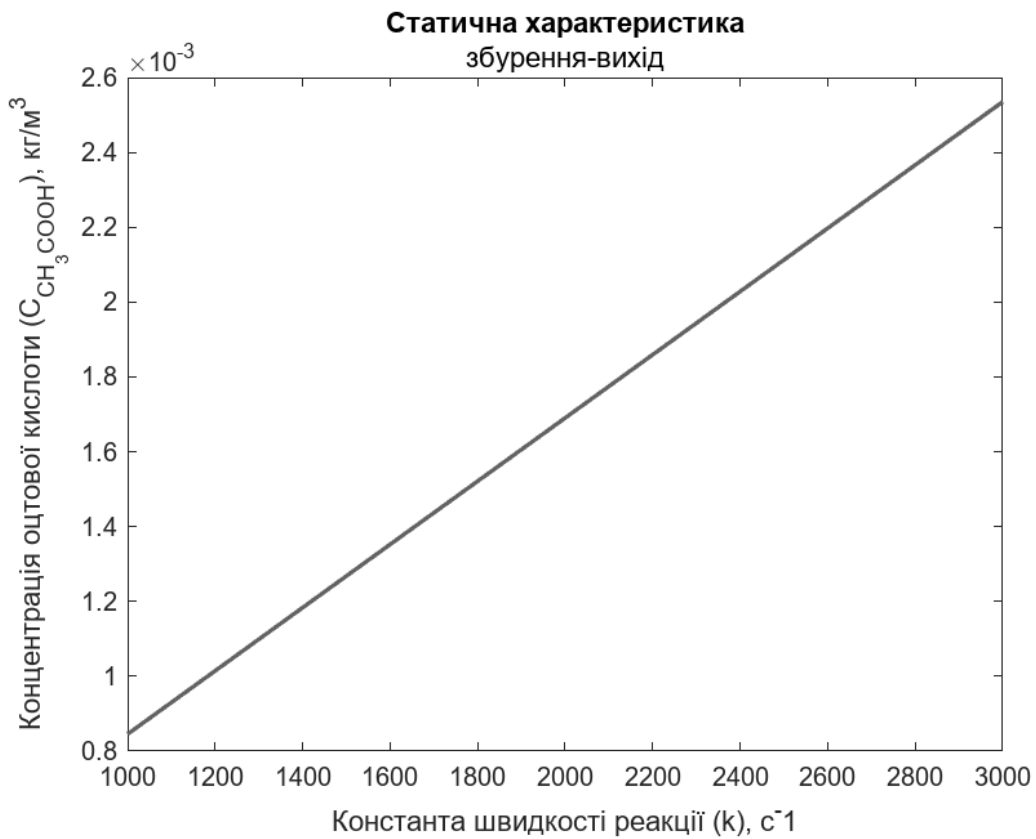


Рисунок 2.2.2— Статична характеристика

2.3. Моделювання динамічного режиму роботи об'єкта

Рівняння балансу в динамічному режимі:

$$\begin{cases} \frac{dC_{\text{CH}_3\text{CHO}}}{dt} = \frac{1}{\tau} (C_{\text{CH}_3\text{CHO}}^{\text{вх}} - C_{\text{CH}_3\text{CHO}}) - 2\omega \\ \frac{dC_{\text{O}_2}}{dt} = \frac{1}{\tau} (C_{\text{O}_2}^{\text{вх}} - C_{\text{O}_2}) - \omega \\ \frac{dC_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{dt} = \frac{1}{\tau} (C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}) + 2\omega \\ \frac{dT}{dt} = \frac{1}{\tau} (T_{\text{вх}} - T) + \frac{\omega Q}{pC_p} \end{cases}$$

Змінні, що підлягають лінеаризації: $\tau, k, C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{\text{ст}} + \Delta\tau \\ k &= k_{\text{ст}} + \Delta k \\ C_{\text{CH}_3\text{COOH}} &= C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{ст}} + \Delta C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \\ \frac{dC_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{dt} &= \frac{1}{\tau} (C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}) + 2\omega \\ \frac{dC_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{dt} &= \frac{1}{\tau} (C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}) + 2kC_{\text{CH}_3\text{CHO}}^2 C_{\text{O}_2} \end{aligned}$$

Лінеаризоване рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \Delta C_{\text{CH}_3\text{COOH}}(t) + \frac{1}{\tau} \Delta C_{\text{CH}_3\text{COOH}}(t) \\ = \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}}}{\tau^2} \Delta\tau(t) + C_{\text{CH}_3\text{CHO}}^2 C_{\text{O}_2} \Delta k(t) \end{aligned}$$

Рівняння в безрозмірному вигляді змінних:

$$\begin{aligned} C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \frac{d}{dt} y(t) + \frac{1}{\tau} C_{\text{CH}_3\text{COOH}} y(t) \\ = \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}}}{\tau} u(t) + C_{\text{CH}_3\text{CHO}}^2 C_{\text{O}_2} k f(t) \end{aligned}$$

Перетворення за Лапласом

$$\begin{aligned} & \left(C_{\text{CH}_3\text{COOH}}s + \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{\tau} \right) y(s) \\ &= \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}}}{\tau} u(s) + C_{\text{CH}_3\text{CHO}}^2 C_{\text{O}_2} k f(s) \end{aligned}$$

Позначення:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}} - C_{\text{CH}_3\text{COOH}}^{\text{вх}}}{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}} \\ K_2 &= \frac{\tau C_{\text{CH}_3\text{CHO}}^2 C_{\text{O}_2} k}{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}} \\ T &= \tau \end{aligned}$$

Канонічна форма рівняння:

$$(Ts + 1)y(s) = K_1 u(s) + K_2 f(s)$$

Передатні функції:

Керування-вихід:

$$W_u(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K_1}{Ts + 1}$$

Збурення-вихід:

$$W_f(s) = \frac{y(s)}{f(s)} = \frac{K_2}{Ts + 1}$$

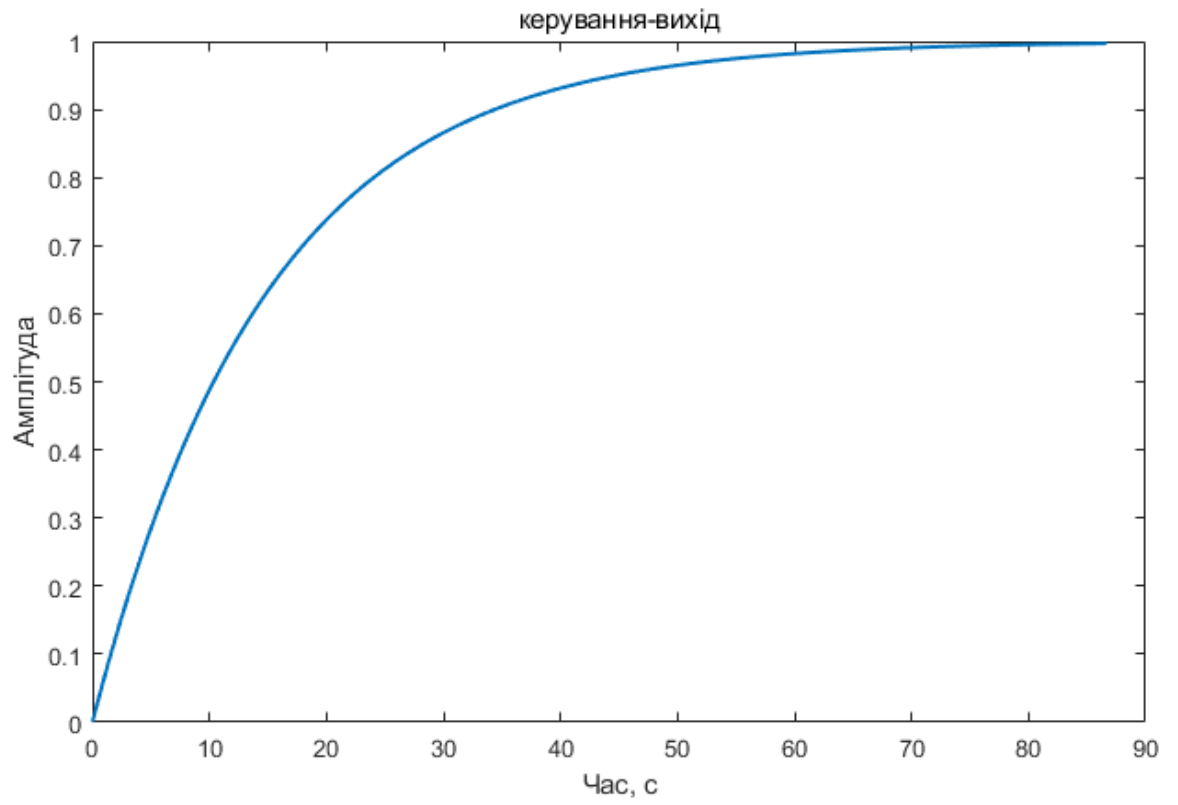


Рисунок 2.3.1— Перехідна характеристика

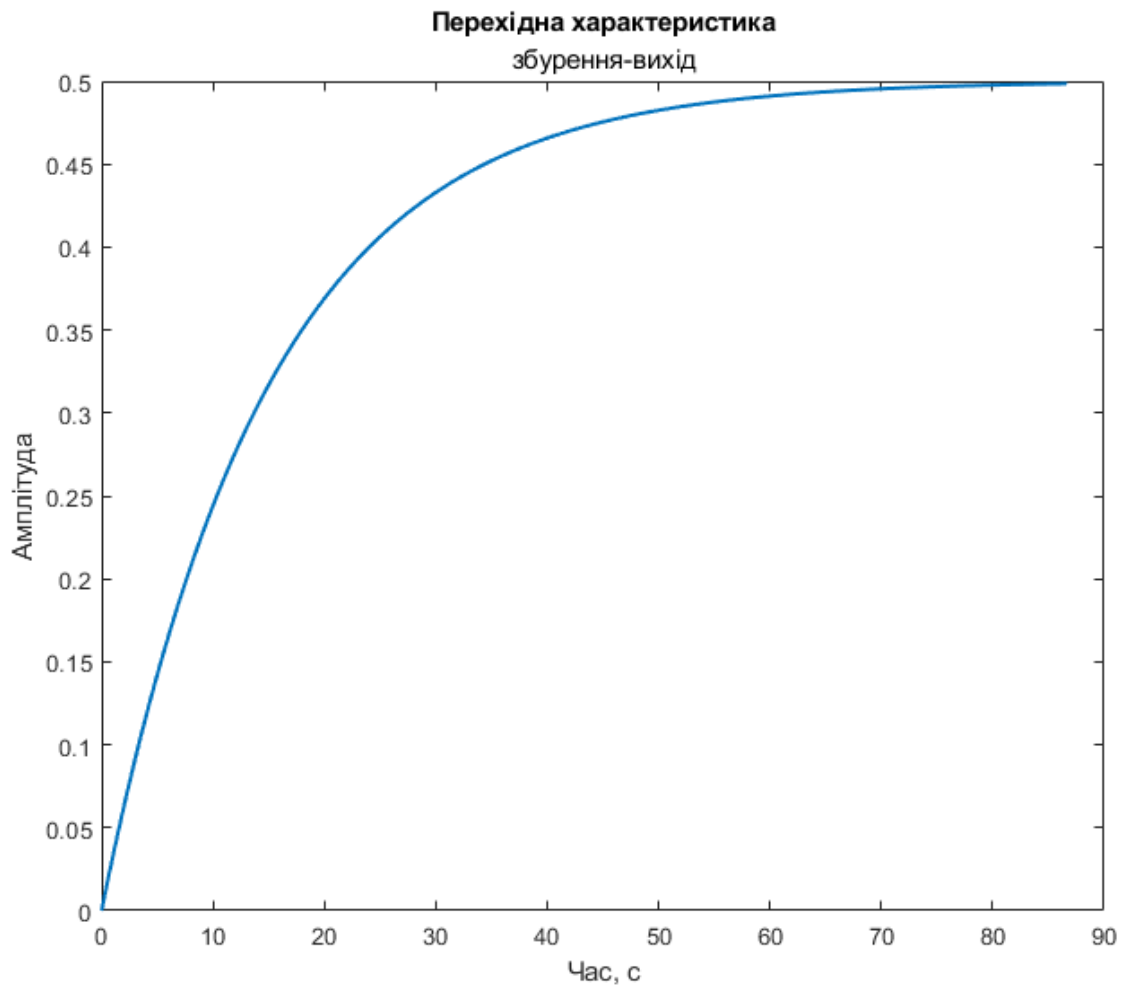


Рисунок 2.3.2— Перехідна характеристика

2.4. Вибір критерію оптимальності

Виберемо інтегральний критерій якості. Включаємо до критерію оптимальності час контакту реагентів і концентрацію оцтової кислоти:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left(q_{11} (\tau_{s.vuh} - \tau_{s.vuh}^{зд})^2 + q_{22} (C_{s.vuh} - C_{s.vuh}^{зд})^2 + rU^2 \right) dt \rightarrow \min$$

2.5 Введення необхідних умов оптимальності

$$\begin{cases} \frac{d(x_1)}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u_1 \\ \frac{d(x_2)}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2u_2 \end{cases}$$

Новий вигляд передатної функції системи:

$$W_{Gp-\Theta vuh}(p) = \frac{1,82}{2,15p + 1}$$

```
W = tf([1.825 1],[2.15 1]);  
[A, B, C, D] = ssdata(W)
```

A =

$$\begin{array}{cc} -0.9302 & -0.4651 \\ 1.0000 & 0 \end{array}$$

B =

$$\begin{array}{c} 1 \\ 0 \end{array}$$

C =

$$\begin{array}{cc} 0.8465 & 0.6977 \end{array}$$

D =

$$0$$

Система в просторі станів:

$$\begin{cases} \frac{d(x_1)}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u_1 \\ \frac{d(x_2)}{dt} = a_{21}x_1 \end{cases}$$

Функція Гамільтона:

$$H(X, U, \lambda, t) = \frac{1}{2} \left[q_{11}(x_1 - x_1^{task})^2 + q_{22}(x_2 - x_2^{task})^2 + r_1 u_1^2 \right] + \\ + \lambda_1 (a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u_1) + \lambda_2 a_{21}x_1$$

Спряжені рівняння:

$$\begin{cases} \lambda'_1 = -\frac{dH}{dx_1} = -q_{11}(x_1 - x_1^{task}) - \lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21} \\ \lambda'_2 = -\frac{dH}{dx_2} = -q_{22}(x_2 - x_2^{task}) - \lambda_1 a_{12} \end{cases}$$

Рівняння зв'язку:

$$\begin{cases} \frac{dH}{du_1} = r_1 u_1 + \lambda_1 b_1 \\ \frac{dH}{du_2} = 0 \end{cases}$$

Умови трансверсальності:

$$\lambda_1(t_f) = 0$$

$$\lambda_2(t_f) = 0$$

2.6 Розрахунок оптимального програмного керування

Первинні умови задачі:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

$$q_n = 1$$

$$r_1 = 1$$

$$\tau = 0,001$$

Щоб виконати розрахунок у прямому часі потрібно представити похідні у нашій системі як «різницю вперед»:

$$\begin{cases} \frac{x_{1_{v+1}} - x_{1_v}}{\tau} = a_{11}x_{1_v} + a_{12}x_{2_v} + b_1 u_{1_v} \\ \frac{x_{2_{v+1}} - x_{2_v}}{\tau} = a_{21}x_{1_v} \end{cases}$$

Розрахуємо відносно $x_{n_{v+1}}$, де $n = 1, 2$:

$$\begin{cases} x_{1_{v+1}} = x_{1_v} + \tau(a_{11}x_{1_v} + a_{12}x_{2_v} + b_1 u_{1_v}) \\ x_{2_{v+1}} = x_{2_v} + \tau a_{21}x_{1_v} \end{cases}$$

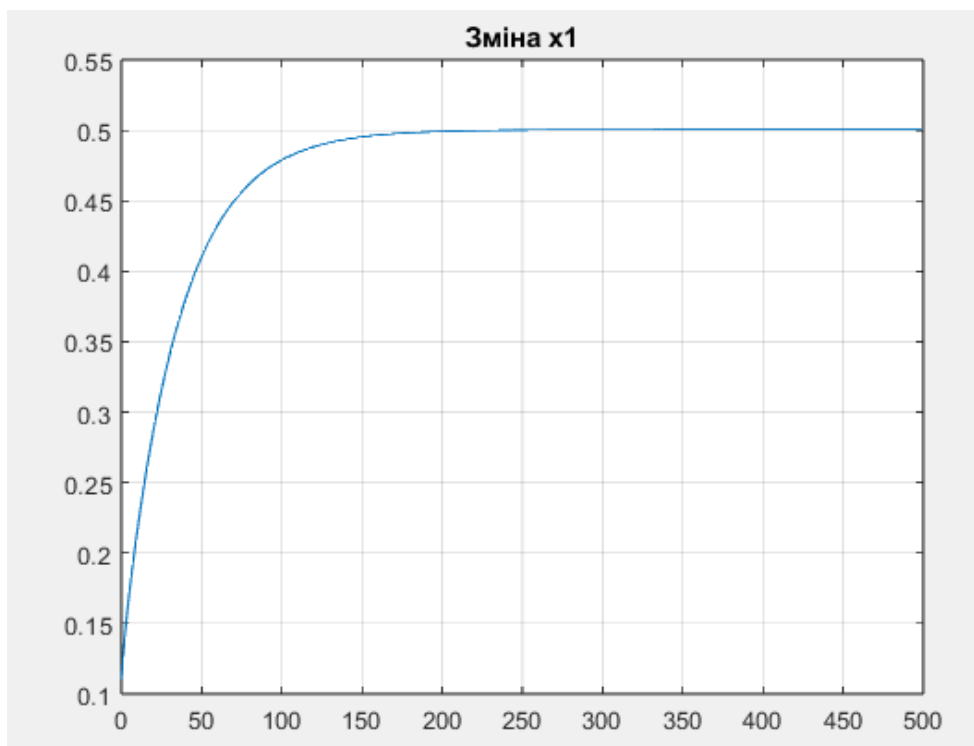


Рисунок 2.6.1— Зміна змінної x_1

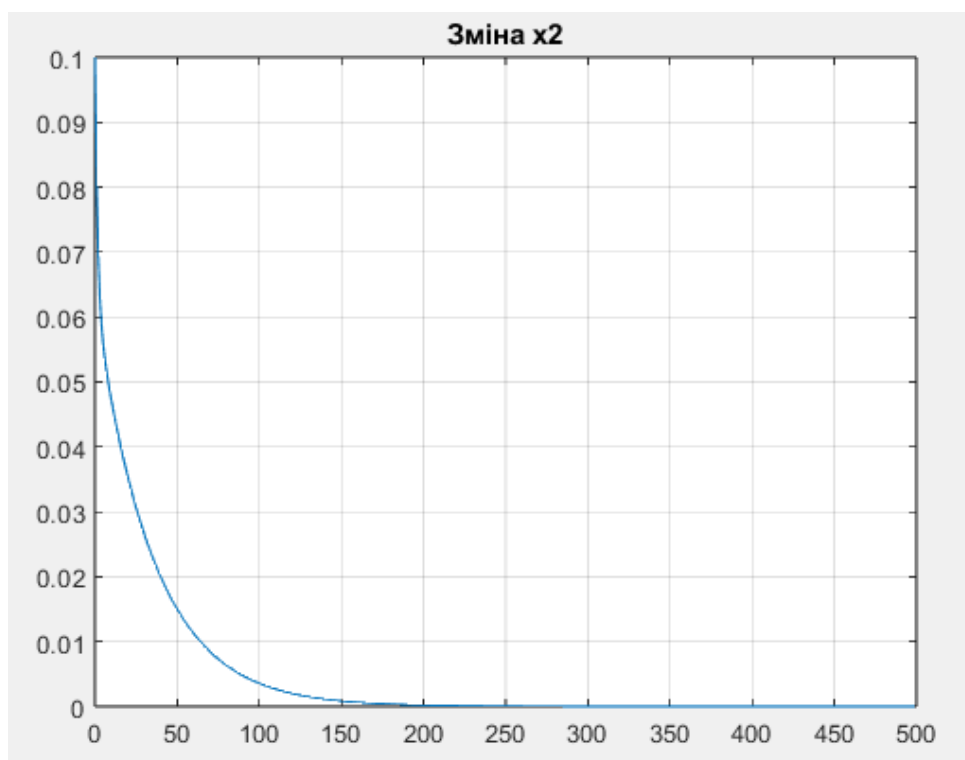


Рисунок 2.6.2— Зміна змінної x_2

В зворотньому часі:

$$\begin{cases} \frac{\lambda_{1v} - \lambda_{1v-1}}{\tau} = -q_{11}(x_{1v} - x_{1v}^{task}) - \lambda_{1v}a_{11} - \lambda_{2v}a_{21} \\ \frac{\lambda_{2v} - \lambda_{2v-1}}{\tau} = -q_{22}(x_{2v} - x_{2v}^{task}) - \lambda_{1v}a_{12} \end{cases}$$

Відносно λ_{n_v-1} , де $n = 1, 2$:

$$\begin{cases} \lambda_{1v-1} = \lambda_{1v} + \tau(q_{11}(x_{1v} - x_{1v}^{task}) + \lambda_{1v}a_{11} + \lambda_{2v}a_{21}) \\ \lambda_{2v-1} = \lambda_{2v} + \tau(q_{22}(x_{2v} - x_{2v}^{task}) + \lambda_{1v}a_{12}) \end{cases}$$

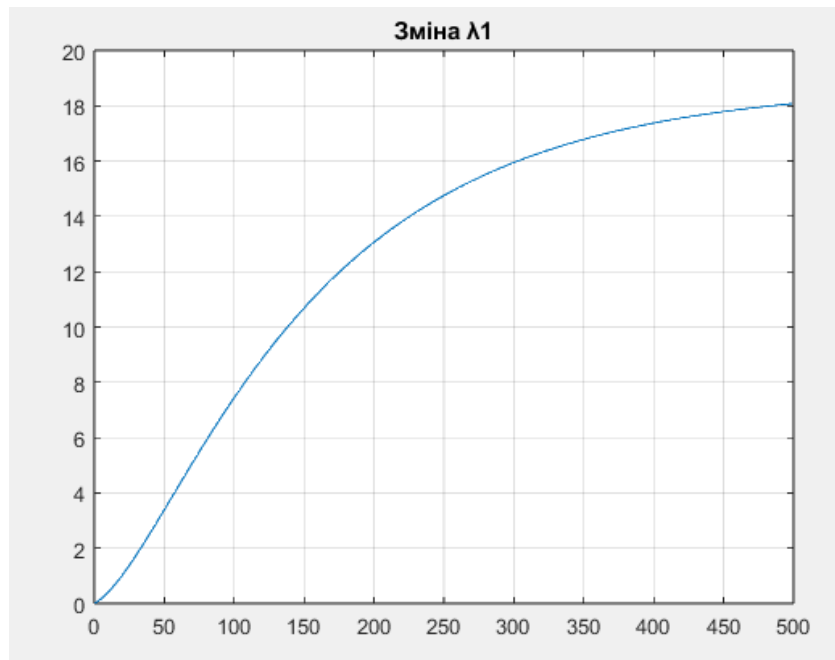


Рисунок 2.6.3— Зміна змінної λ_1

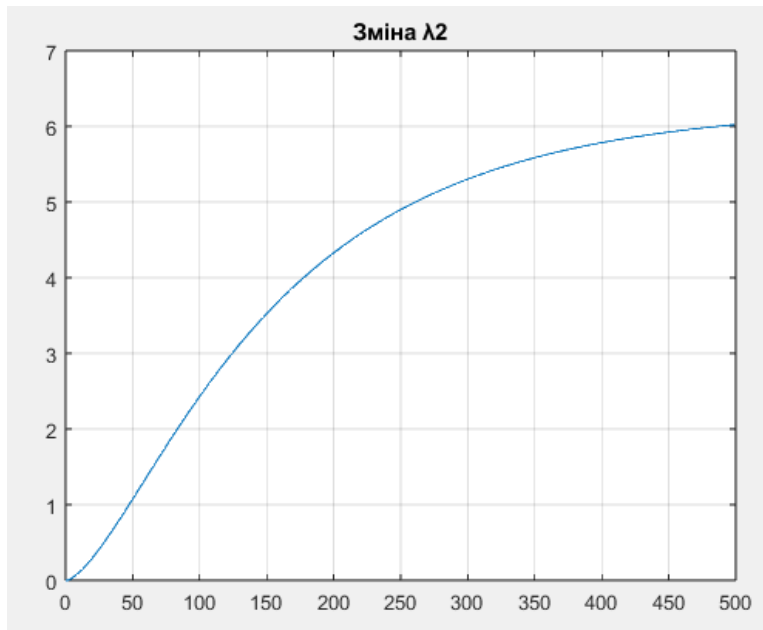


Рисунок 2.6.4— Зміна змінної λ_2

Розрахуємо оптимальне керування:

$$\begin{cases} u_{1v} = -\frac{\lambda_1 b_1}{r_1} \\ u_{2v} = 0 \end{cases}$$

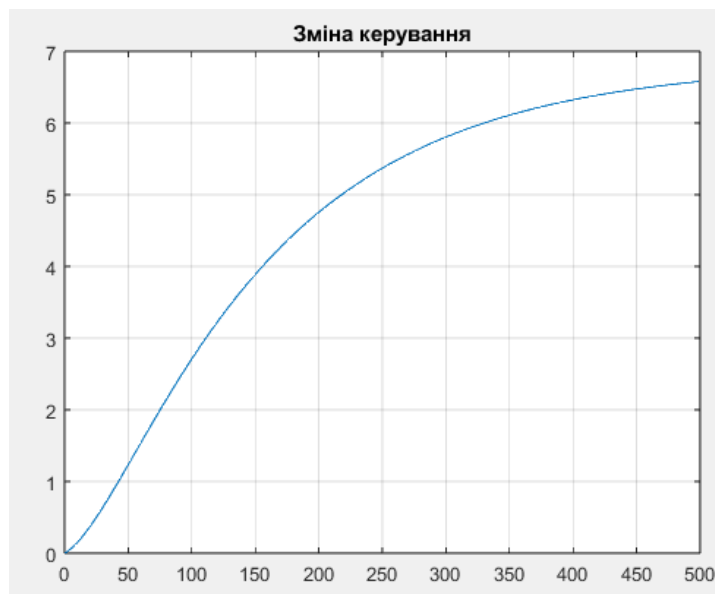


Рисунок 2.6.5— Зміна оптимального керування u_1

2.7. Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора

Лінійний-квадратичний регулятор з м. к. підсилення K мінімізує критерій на траєкторіях системи і також:

1. Визначення М.к. підсилення K поза контуром керування.

2. При постійних A, B, R, Q і при $t \rightarrow \infty$, P йде до усталеного, що знаходиться за цим рівнянням

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0$$

Через це м.к. підсилення K є сталим.

Критерій якості:

$$J = 1/2 X(t_f)^T S_f X(t_f) + 1/2 \int_0^{t_f} (X^T Q X + U^T R U + 2 X^T N U) dt$$

$$K = R^{-1}(B^T P - N^T).$$

Вимоги до наявності регулятора:

1. Повністю керовані $[A, B]$;
2. Виконуються $R > 0, Q - N R^{-1} N^T \geq 0$;
3. $[Q - N R^{-1} N^T, A - B R^{-1} N^T]$ не має спостережуваних мод

Критерій якості:

$$J = \int_0^{\infty} ((X - Xd)^T Q (X - Xd) + (U - Ud)^T R (U - Ud)) dt$$

Проведемо синтез лінійного-квадратичного регулятора

Результат виконання програми:

A =

```
      0      1.0000
-0.0840 -1.9860
```

Матриця B:

B =

```
      0
0.0250
```

Матриця Q:

Q =

```
0.5000      0
      0      0.5000
```

Матриця R:

R =

```
2
```

Матриця N:

N =

```
[]
```

Вектор початкових умов:

$x_0 =$

413.0000
0.1000

Вектор заданих значень відхилень X_d :

$x_d =$

448.0000
0.3200

Вектор заданих значень відхилень керування U_d :

$u_d =$

0.3000

Час спостереження t_f :

$t_f =$

400

Довжина кроку dt :

$dt =$

0.0100

Кількість кроків n :

$n =$

40000

Матриця зворотнього зв'язку K :

$K =$

0.0370 0.0202

Розв'язок рівняння Рікати P:

P =

6.0156	2.9599
2.9599	1.6161

Власні значення замкненої системи E:

E =

-0.0437
-1.9428

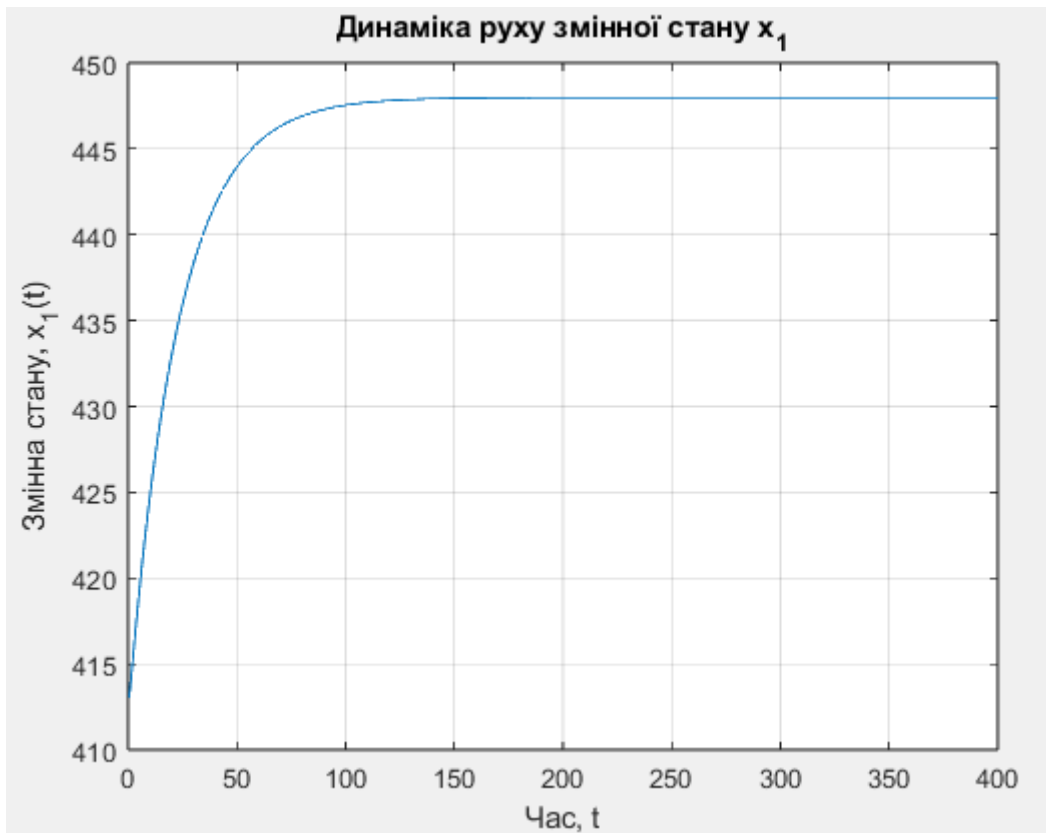


Рисунок 2.7.1—Динаміка руху змінної стану x_1

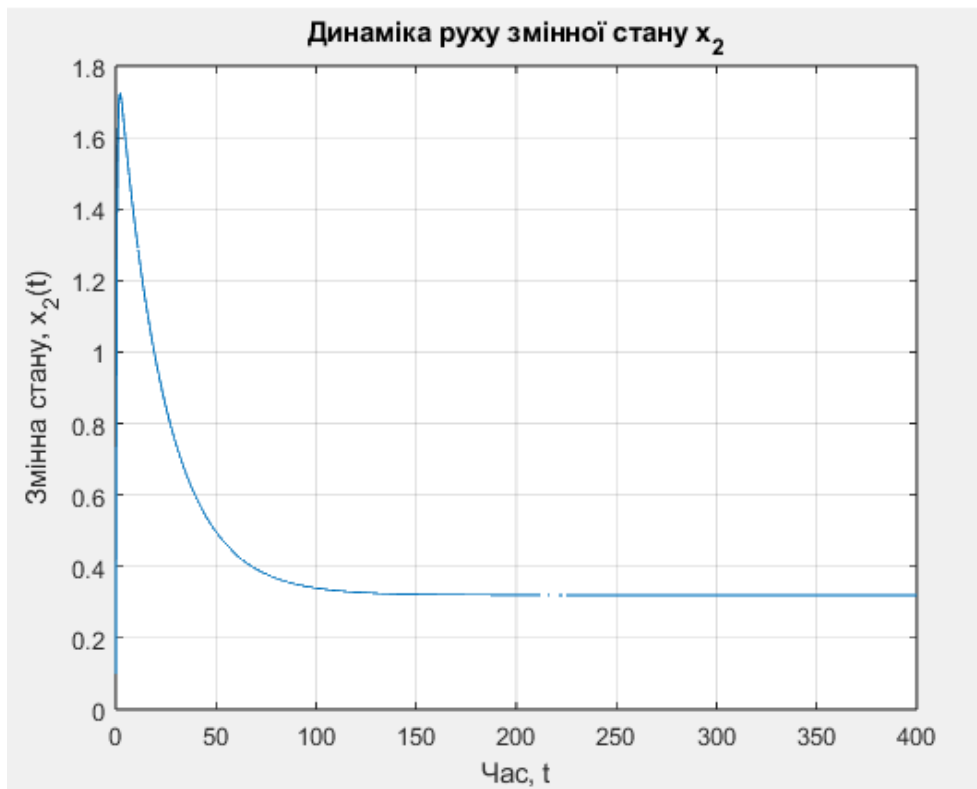


Рисунок 2.7.1—Динаміка руху змінної стану x_2

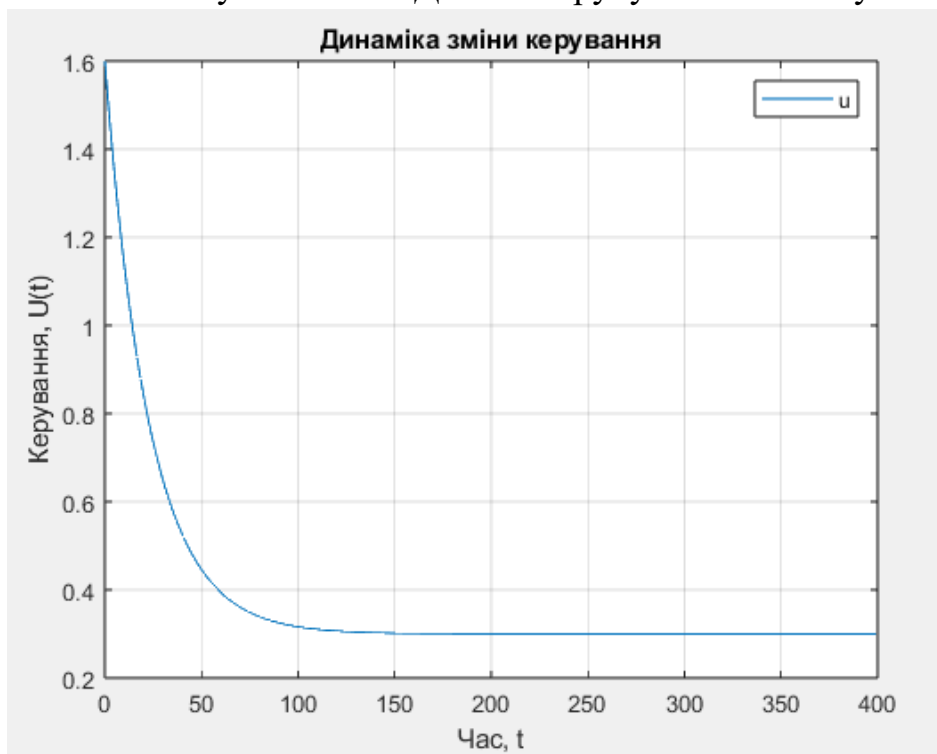


Рисунок 2.7.3—Динаміка зміни керування

2.8. Лінійно-квадратичний регулятор з інтегральною складовою

Спроекуємо лінійно-квадратичний регулятор з інтегральною складовою.

Переформулюємо задачу, щоб була наявна інтегральна складова.

К. критерій:

$$J = \int_0^{\infty} \left((X - Xd)^T Q (X - Xd) + \left(\frac{dU}{dt} \right)^T R \left(\frac{dU}{dt} \right) \right) dt$$

Вектор початкових умов X0:

x0 =

413.0000
0.0001

Вектор заданих значень відхилень Xd:

xd =

448.0000
0.3200

Вектор заданих значень відхилень керування Ud:

ud =

0.3000

Час спостереження tf:

tf =

20

Довжина кроку dt:

dt =

0.0100

Кількість кроків n:

n =

2000

Матриця A1:

A1 =

0	0	1.0000	0
0	0	0	1.0000
1.0000	0	0	1.0000
0	1.0000	-0.0840	-1.9860

Матриця B1:

B1 =

0
0
0
0.0250

Матриця Q1:

Q1 =

1.0e-05 *

0.5000	0	0	0
0	0.5000	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Матриця зворотнього зв'язку:

K =

383.0972	-0.0000	379.7520	112.1086
----------	---------	----------	----------

Розв'язок рівняння Ріккати:

P =

1.0e+04 *			
3.6826	-0.7595	3.6691	0.7662
-0.7595	0.5420	-0.7662	-0.0000
3.6691	-0.7662	3.6559	0.7595
0.7662	-0.0000	0.7595	0.2242

Власні значення замкненої системи:

E =

-0.4227
-0.9786
-1.0219
-2.3655

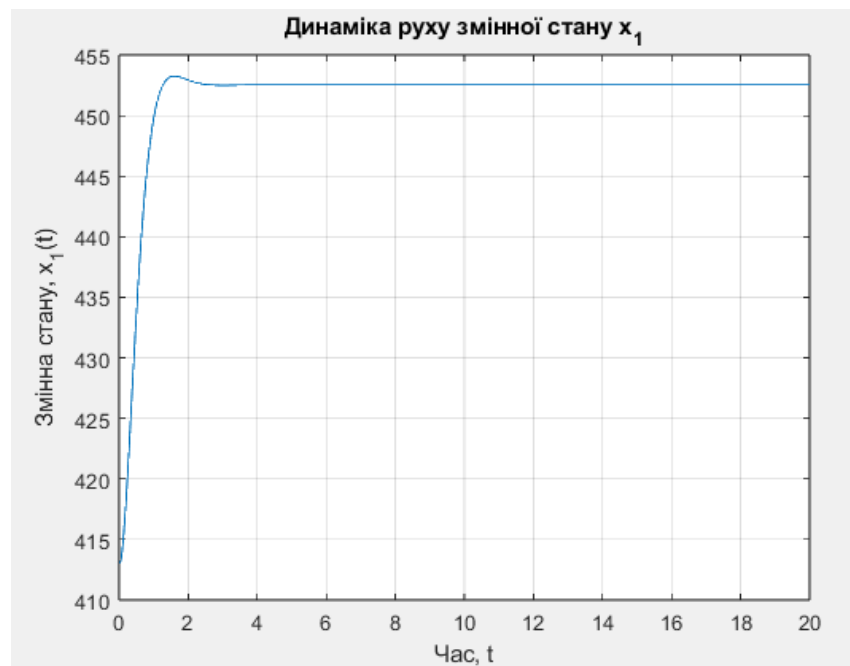


Рисунок 2.8.1—Динаміка руху змінної стану x_1

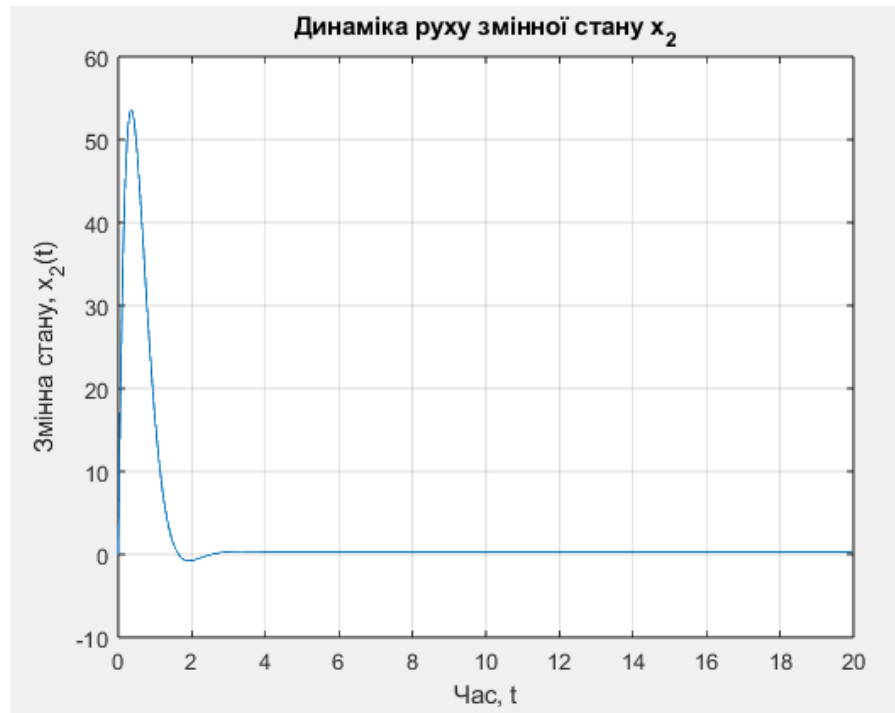


Рисунок 2.8.2—Динаміка руху змінної стану x_2

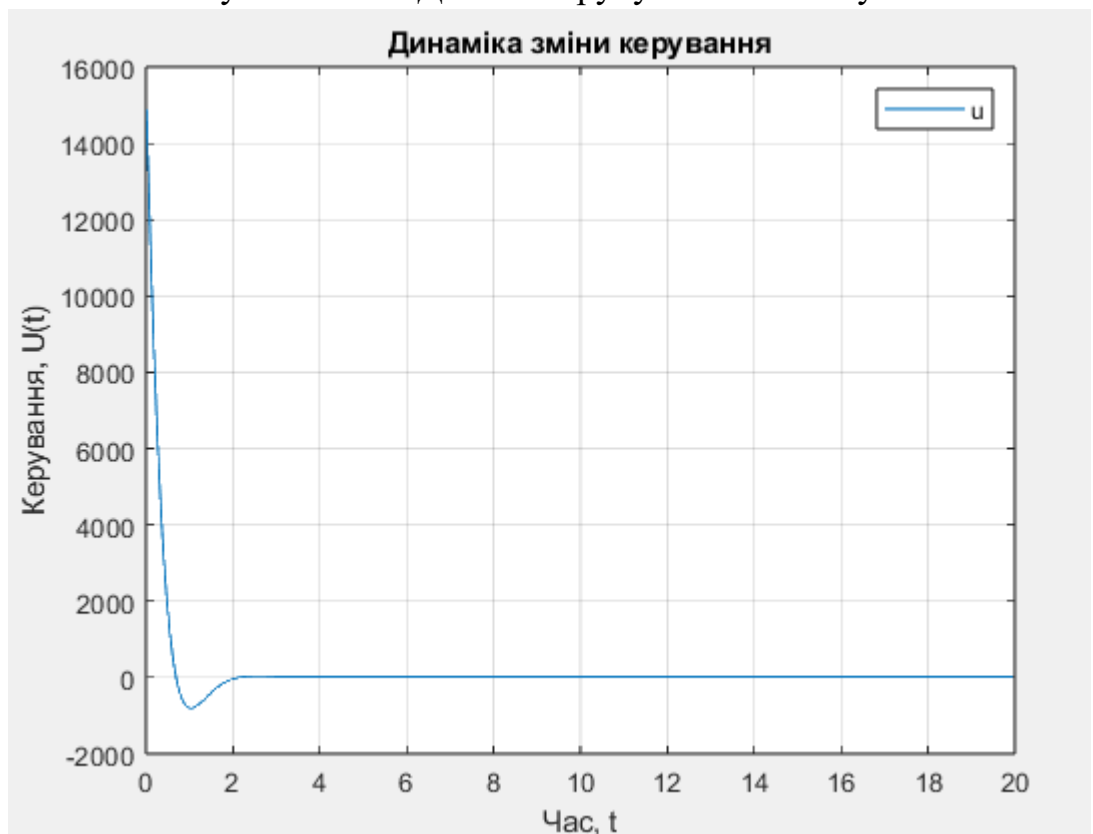


Рисунок 2.8.3—Динаміка зміни керування

2.9 Застосування градієнтних методів для задач оптимального керування

Визначимо час переключення

К. оптимальності:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left(q_{11} (\tau_{s.vuh} - \tau_{s.vuh}^{зд})^2 + q_{22} (C_{s.vuh} - C_{s.vuh}^{зд})^2 + rU^2 \right) dt \rightarrow \min$$

$$I = \frac{1}{2} q_{11} [\tau_{s.vuh}(t_f) - \tau_{s.vuh}^{зд}]^2 + \frac{1}{2} q_{22} [C_{s.vuh}(t_f) - C_{s.vuh}^{зд}]^2 + t_f$$

Обмежимо C_a :

$$E_a^{min} \leq E_a \leq E_a^{max}$$

$$E_a^{max} - E_a \geq 0$$

$$E_a - E_a^{min} \geq 0$$

Новий вигляд критерію:

$$I = q_{11} [\tau_{s.vuh}(t_f) - \tau_{s.vuh}^{зд}]^2 + \frac{1}{2} q_{22} [C_{s.vuh}(t_f) - C_{s.vuh}^{зд}]^2 + t_f +$$

$$+ \int [Q(E_a^{max} - E_a)(E_a - E_a^{min})H(g_1 g_2)] dt$$

Ф. Гамільтона:

$$H = QQ(E_a^{max} - E_a)(E_a - E_a^{min})H(g_1 g_2) + \lambda_1 (a_{11}\omega + a_{12}T + b_1 u_1) +$$

$$+ \lambda_2 a_{21}\omega$$

Умови оптимальності:

$$\begin{cases} \lambda'_1 = -\frac{\partial H}{\partial \omega} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21} \\ \lambda'_2 = -\frac{\partial H}{\partial T} = -\lambda_1 a_{12} \end{cases}$$

$$\frac{\partial H}{\partial U} = -2QG_a H(g_1 g_2) + QE_a^{max} E_a H(g_1 g_2) + QE_a^{min} E_a H(g_1 g_2) + \lambda_1 E_a$$

$$\begin{cases} \lambda_1(t_f) = q_{11} [\tau_{s.vuh}(t_f) - \tau_{s.vuh}^{3D}]^2 \\ \lambda_2(t_f) = q_{22} [C_{s.vuh}(t_f) - C_{s.vuh}^{3D}]^2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial t_f} = & 1 + q_{11} [\tau_{s.vuh}(t_f) - \tau_{s.vuh}^{3D}] \tau_{s.vuh}'(t_f) \\ & + q_{22} [C_{s.vuh}(t_f) - C_{s.vuh}^{3D}] C_{s.vuh}'(t_f) \\ & + Q(E_a^{max} - E_a)(E_a - E_a^{min}) H(g_1 g_2) = 0 \end{aligned}$$

Переключення керування виглядає так:

$$\zeta(\tau) = \int_0^r e^{-A(\tau-p)} b \operatorname{sign}[\lambda^T(t_f) e^{Apb}] dt$$

де $[\lambda^T(t_f) e^{Apb}] = 0$ - точ переключення.

$$\tau_s = -\frac{\lambda_2(t_f)}{\lambda_1(t_f)} = -\frac{q_{22} [C_{s.vuh}(t_f) - C_{s.vuh}^{3D}]}{q_{11} [\tau_{s.vuh}(t_f) - \tau_{s.vuh}^{3D}]}$$

Ч. і лінія переключення

$$q_{11} = 1 \cdot 10^{-12}; q_{22} = 1 \cdot 10^{-12}$$

$$Q = 1; N = 100$$

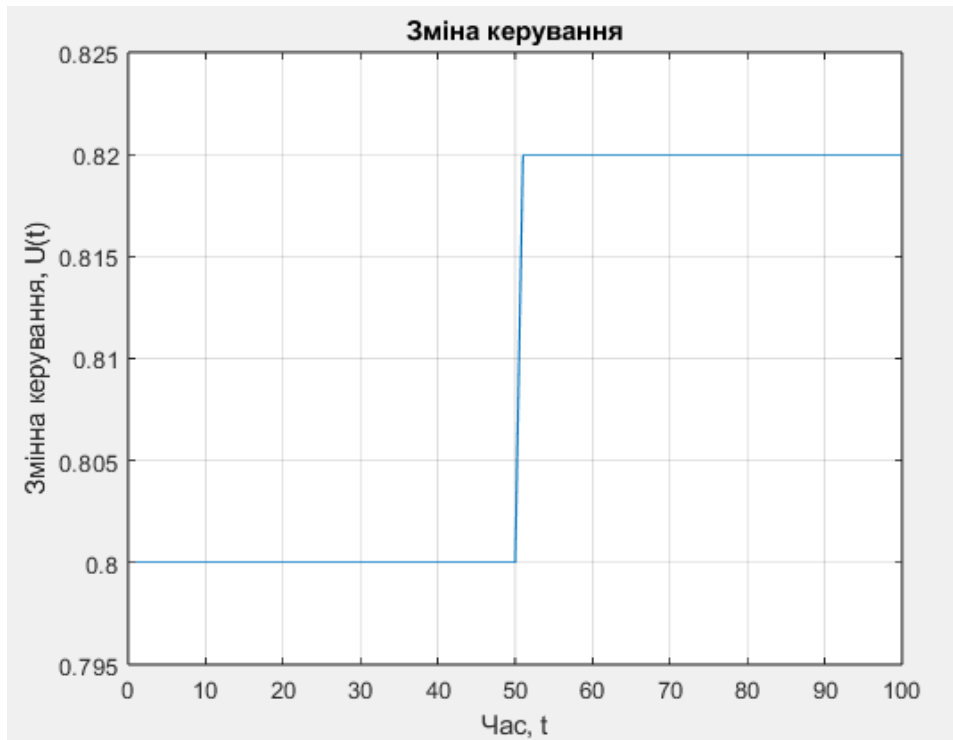


Рисунок 2.9.1 – Лінія переключення для першої ітерації

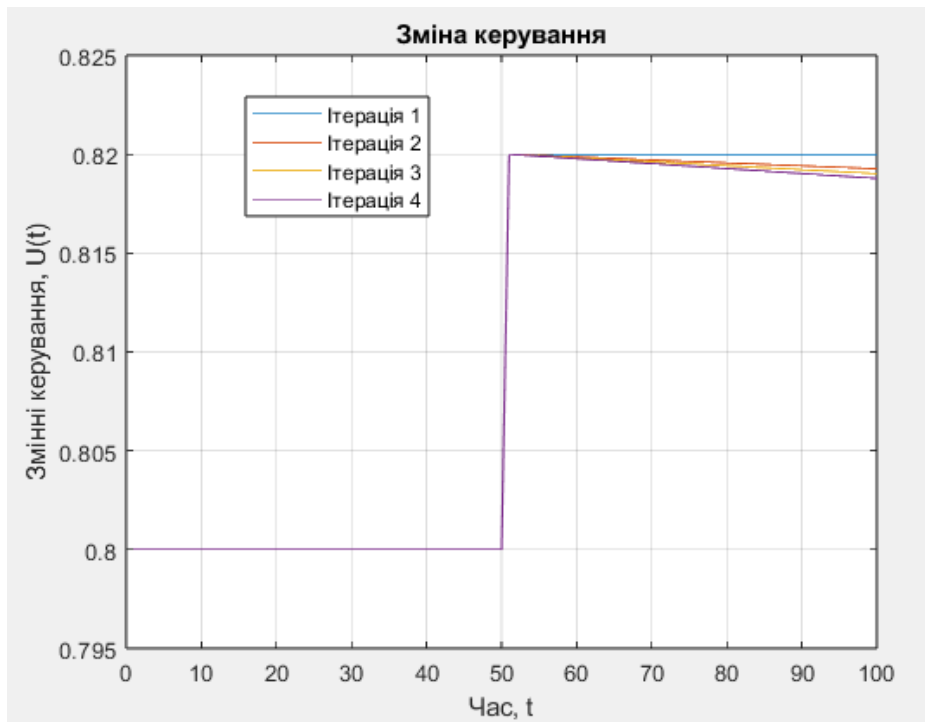


Рисунок 2.9.2 – Лінії переключення для всіх ітерацій

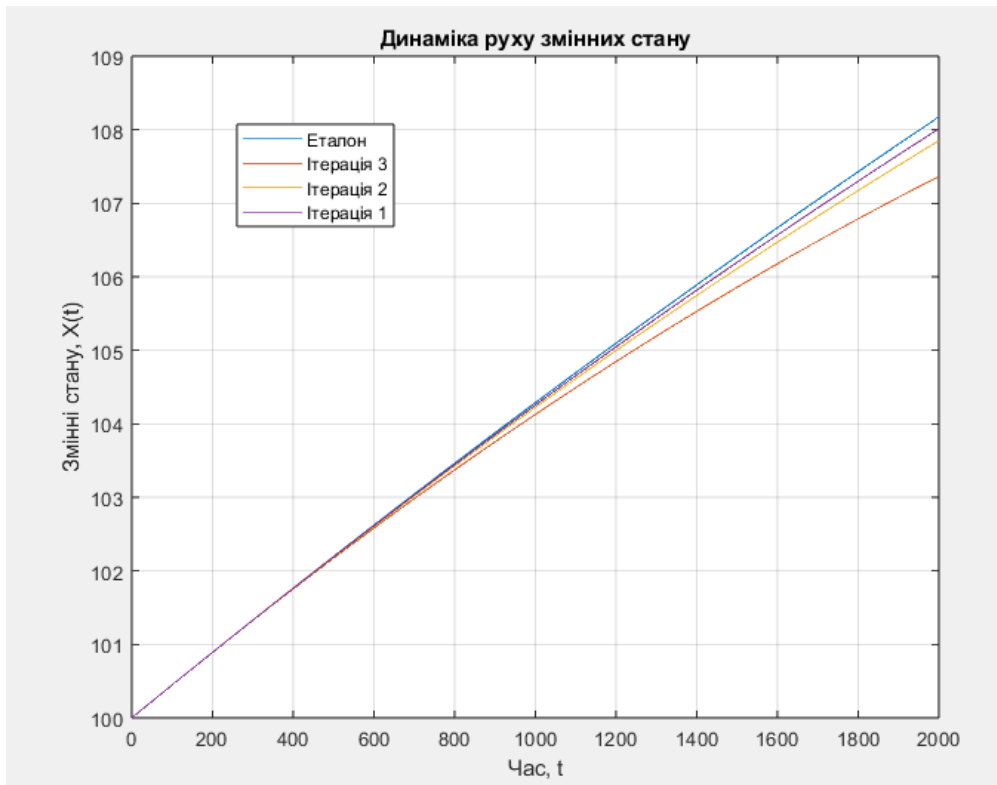


Рисунок 2.9.3

Код виконання для програми MATLAB наведено у додатках.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМИ RSLOGIX

3.1. Опис програми

У цьому розділі розглядається програма керування процесом для контролера, написана засобами програми RSLogix

Програмна структура системи організована за допомогою інструкцій JSR та RET, що забезпечують модульність та зручність підтримки коду. Програмування виконувалося у середовищі RSLogix Micro мовою LAD (Ladder Diagram) для контролерів Allen-Bradley. Розроблена система забезпечує точний контроль параметрів температури та концентрації в реальному часі, що гарантує високу якість оцтової кислоти на всіх етапах виробництва.

Загалом виробничий процес можна поділити на чотири основні етапи:

Старт (START),

Підготовка реагентів і подача кисню (PRERUN),

Окислення та сепарація (OXIDATION),

Очищення та завершення процесу (POSTRUN).

У системі реалізовано ПІД-регулювання температури в реакторі, що є ключовим параметром для забезпечення максимальної продуктивності, стабільного виходу та рівня перетворення ацетальдегіду. Це гарантує стабільність хімічного процесу та відповідність якості готової продукції вимогам технічного регламенту.

3.2. Етап START

На початковому етапі START встановлюються початкові умови для роботи програми. Відповідний код для цього етапу наведено на рисунках 1 і 2.

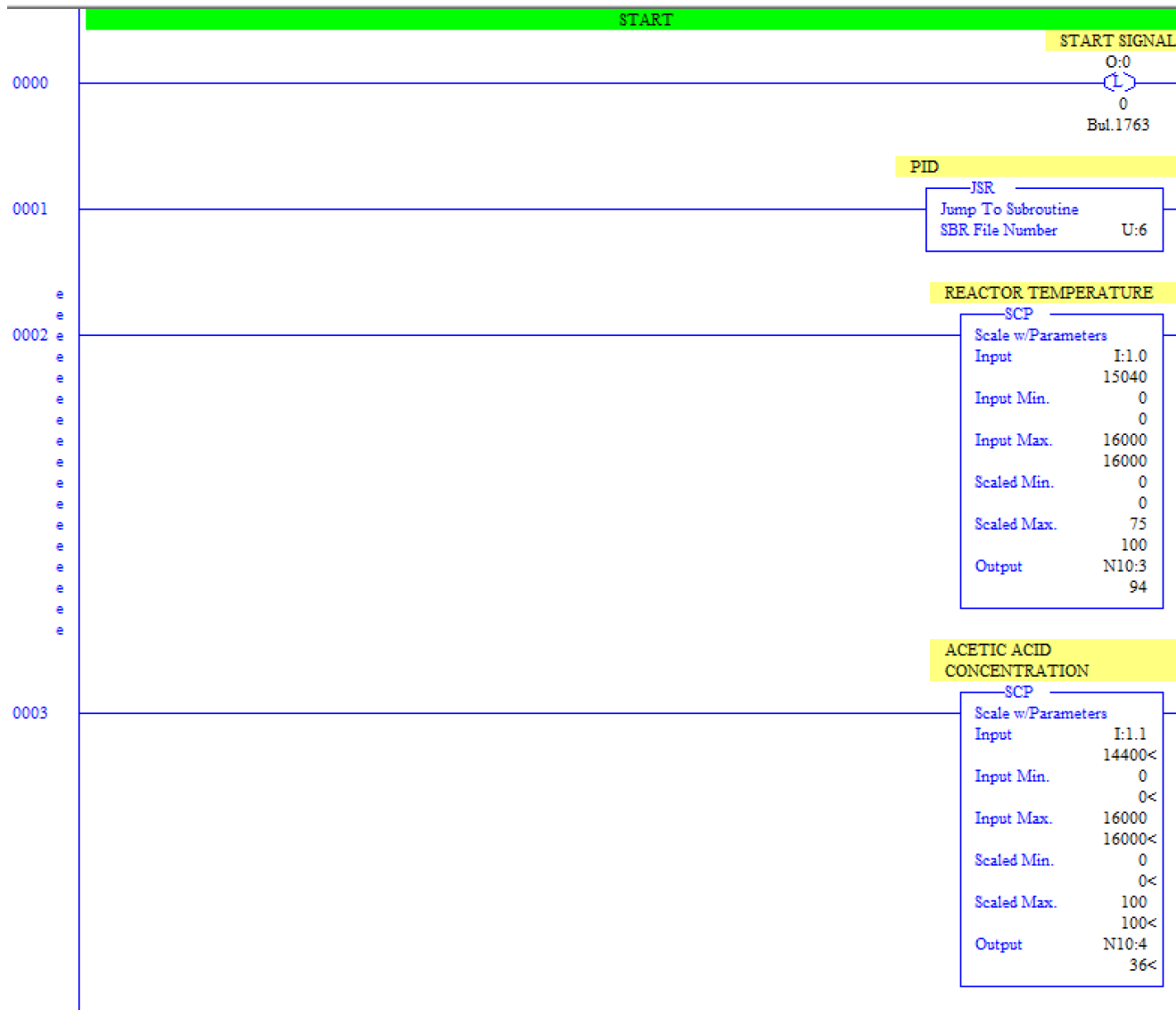


Рисунок 3.2.1 – Код етапу START

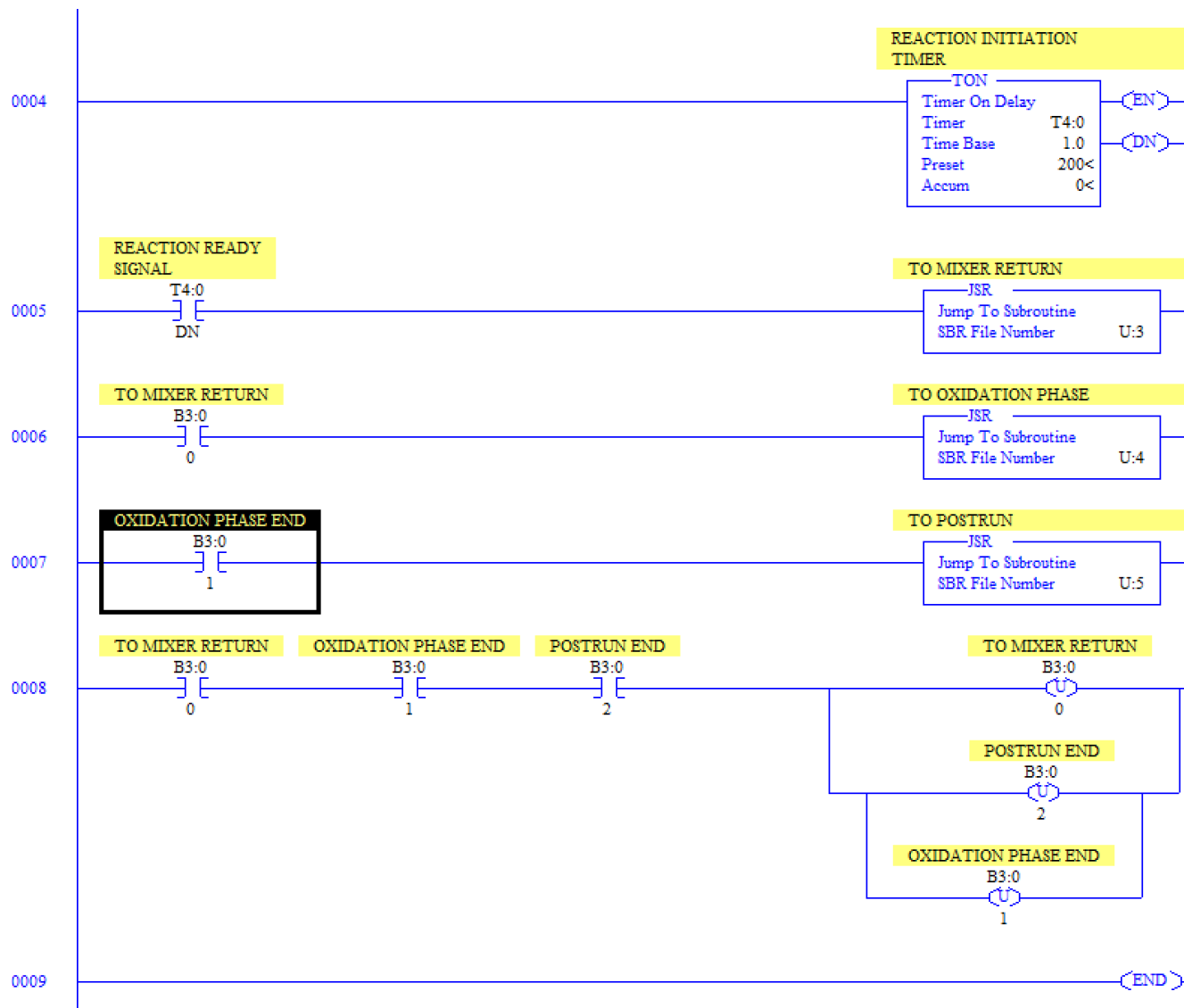


Рисунок 3.2.2 – Код етапу START(продовження)

Також введено ПД-регулятор

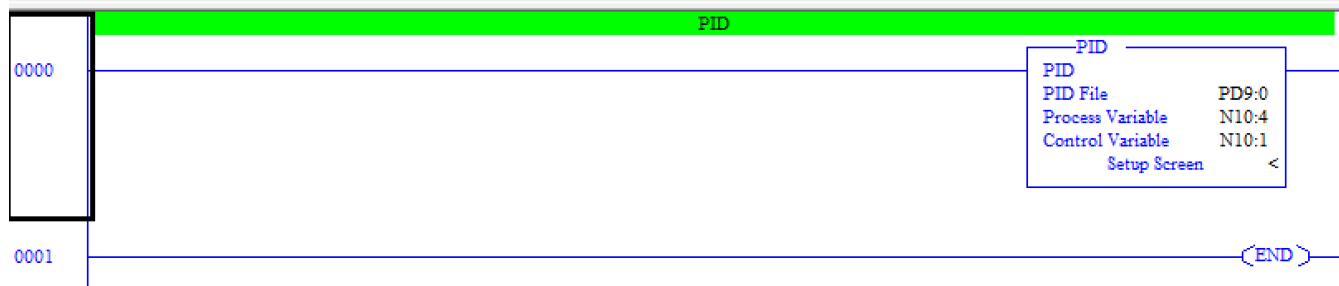


Рисунок 3.2.3 – Код сторінки з ПД-регулятором

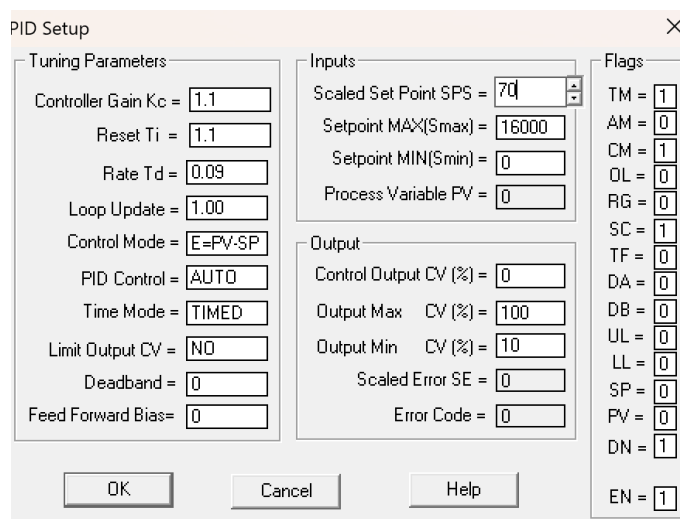


Рисунок 3.2.4 – Налаштування ПІД-регулятора

Ця LAD-сторінка реалізує автоматизоване керування основними етапами процесу виробництва оцтової кислоти. До ПІД-регулятора подаються реальні значення температури в реакторі (**REACTOR TEMPERATURE**) та концентрації оцтової кислоти (**ACETIC ACID CONCENTRATION**), які зчитуються з відповідних аналогових датчиків. Ці параметри використовуються у контурі керування типу «температура – концентрація», що забезпечує стабільність хімічної реакції та якість кінцевого продукту.

Після подачі **сигналу запуску (START SIGNAL)** активується **таймер ініціації реакції (REACTION INITIATION TIMER)**, який відраховує 300 секунд — час, необхідний для досягнення робочої температури в реакторі. По завершенню цього часу програма переходить до фази **підготовки/циркуляції реагентів (JSR TO MIXER RETURN)**, де забезпечується стабілізація температури за допомогою ПІД-регулятора. На цьому ж етапі підтримується необхідна концентрація каталізатора та оцтової кислоти в системі.

Після завершення підготовки система переходить до основної технологічної стадії — **фази окислення (TO OXIDATION PHASE)**. У цій

фазі в реактор подається кисень під тиском, і відбувається інтенсивне окислення ацетальдегіду. ПІД-регулятор у реальному часі регулює температуру в реакторі, щоб забезпечити стабільність реакції, мінімізувати побічні продукти та досягти максимального ступеня перетворення.

Після завершення реакції активується **фаза очищення продукту (TO PURIFICATION PHASE)**, в якій суміш подається до ректифікаційної колони для відділення оцтової кислоти товарної концентрації (97,5–98,5 %). Залишки каталізатора направляються на регенерацію, а непрореагований ацетальдегід і кислота повертаються в цикл через змішувачі.

У фіналі система продувається, закриваються усі клапани, і програма переходить у режим готовності до наступного виробничого циклу. Такий підхід забезпечує стабільність процесу, високу якість продукції та безпеку експлуатації установки.

3.3. Етап PRERUN

Нижче на рисунку 5 зображено код етапу PRERUN, що відповідає за підготовку системи до окислення ацетальдегіду в оцтову кислоту.

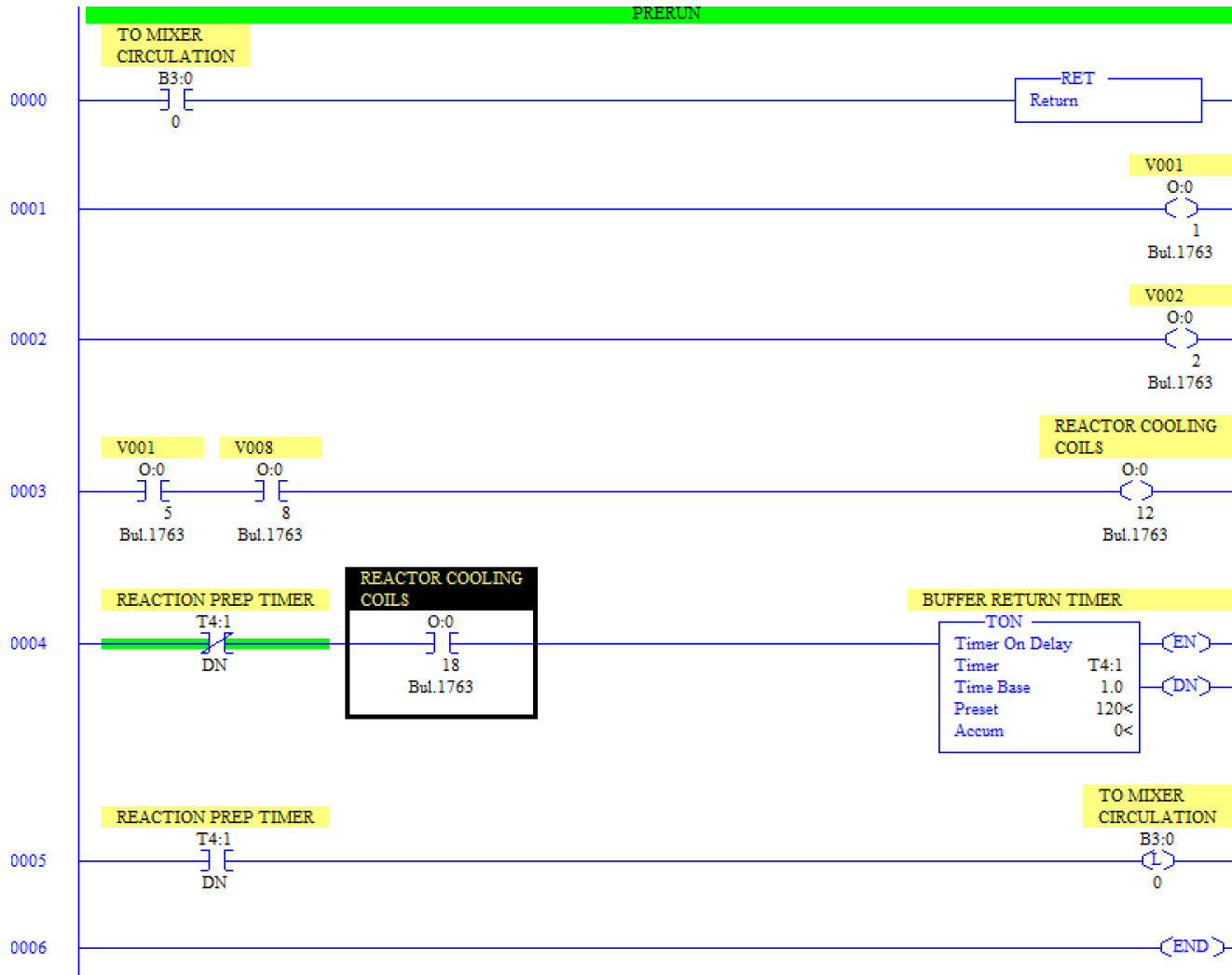


Рисунок 3.3.1 – Код етапу PRERUN

Для підігріву хімічного реагенту, необхідно, щоб клапани V-001 і V-002 залишались відкритими протягом 150 секунд. Після завершення цього часу на таймері система автоматично повертається до кроку START.

3.4. Етап OXIDATION

Цей етап відповідає за контрольований процес окислення ацетальдегіду в реакторі з підтриманням стабільної температури та концентрації оцтової кислоти.

Нижче на рисунку 6 наведено код даного етапу.

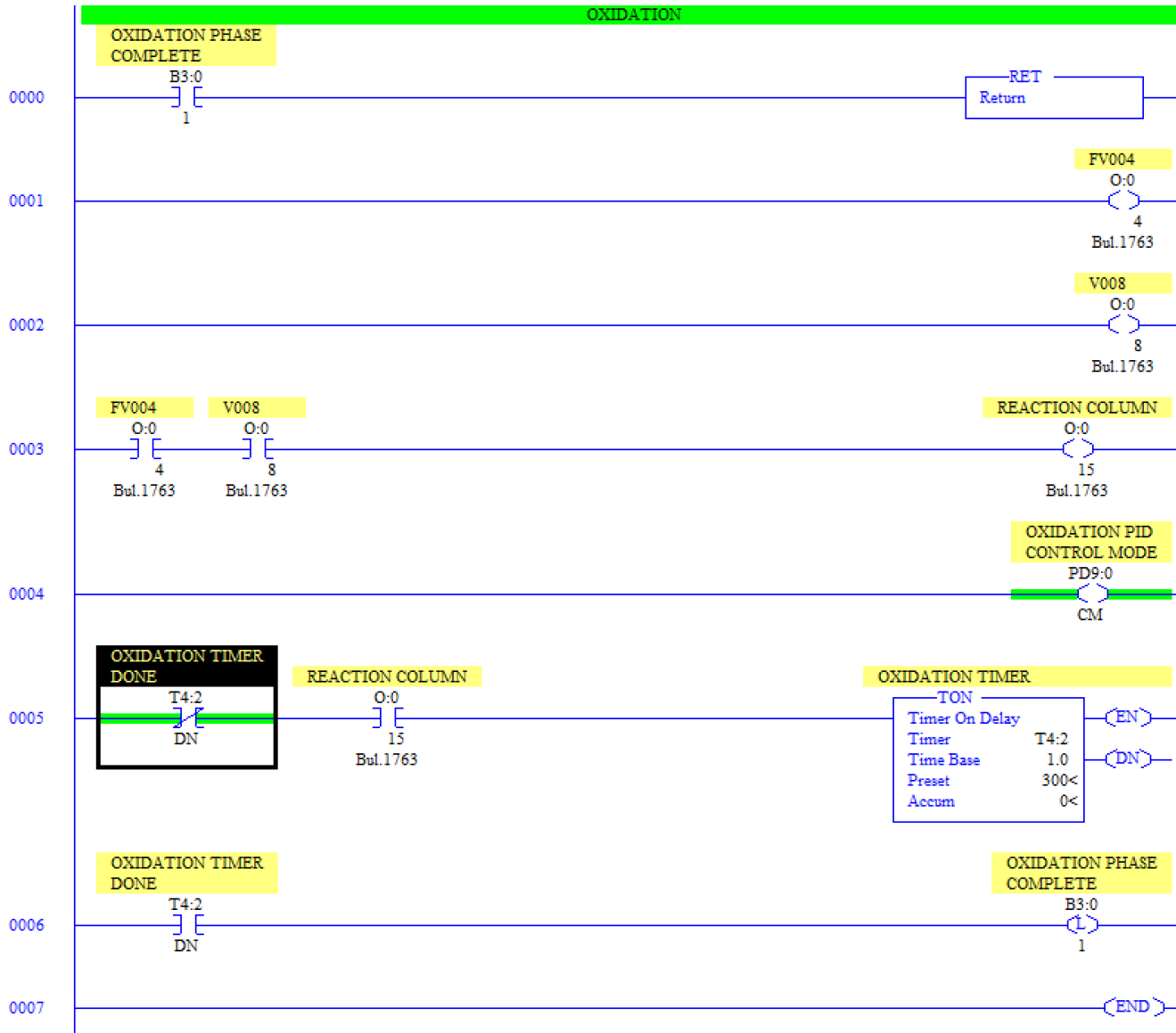


Рисунок 3.4.1— Код етапу OXIDATION

Для успішного перебігу процесу окислення ацетальдегіду необхідно, щоб клапан V-004 був відкритий для подачі охолоджуючої води в змішувач реакційної колони, а клапан V-008 — для зворотного відведення нагрітої

рідини. Основну роль у стабілізації хімічного процесу відіграє ПІД-регулятор, який забезпечує динамічний зв'язок між температурою всередині реактора та концентрацією утвореної оцтової кислоти. Це дозволяє точно підтримувати оптимальні температурні умови для максимальної глибини перетворення ацетальдегіду.

Регулювання температури та концентрації відбувається протягом 300 секунд, під час яких охолоджуюча система ефективно відводить надлишкове тепло реакції, забезпечуючи необхідні умови для стабільного перебігу окислення. У результаті досягається задана концентрація оцтової кислоти (97,5–98,5%), і реакційна суміш спрямовується на подальшу очистку в ректифікаційній колоні.

Надлишки реагентів та неперетвореного ацетальдегіду повертаються до змішувачів через клапан V-008, що дозволяє підтримувати постійний баланс речовин у системі та стабільність виробничого циклу.

3.5. Етап POSTRUN

Останній крок відповідає за вихід готового реагенту після досягнення необхідної температури та концентрації. Код цього етапу зображено на рисунку 7.

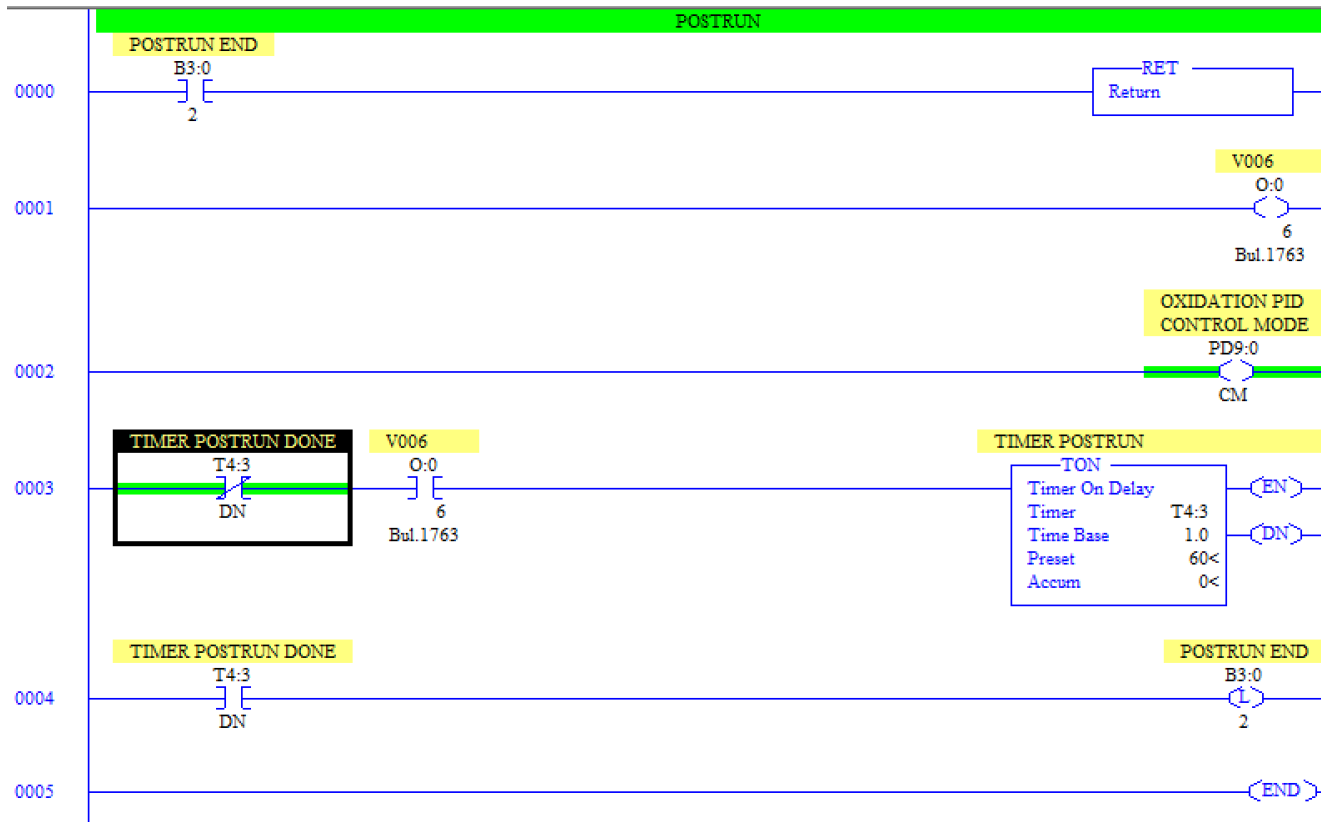


Рисунок 3.5.1 – Код етапу POSTRUN

Після завершення етапу розливу на виході необхідно отримати готовий реагент із стабільною концентрацією активної речовини, що становить 95%. За подачу готового продукту відповідає клапан V-006, який відкривається на фінальному етапі для виведення реагенту. Контроль забезпечує ПІД-регулятор, що підтримує оптимальні параметри температури та концентрації активної речовини. Тривалість цього етапу становить 60 секунд, протягом яких здійснюється подача концентрованого продукту. Після завершення всіх технологічних стадій реагент надходить до

теплообмінника для подальшої обробки, що забезпечує отримання кінцевого продукту відповідно до встановлених технічних вимог.

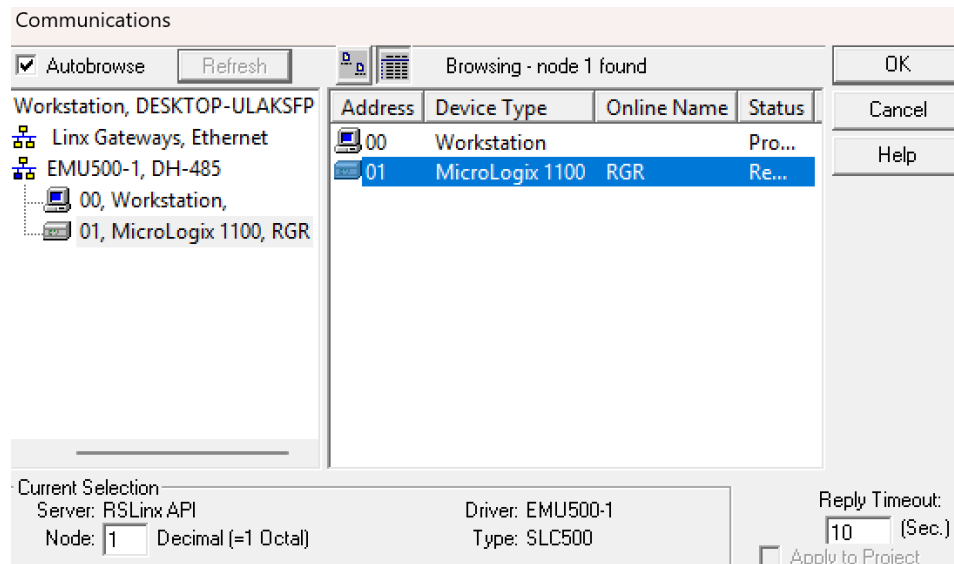


Рисунок 3.5.2 – Підключення програми

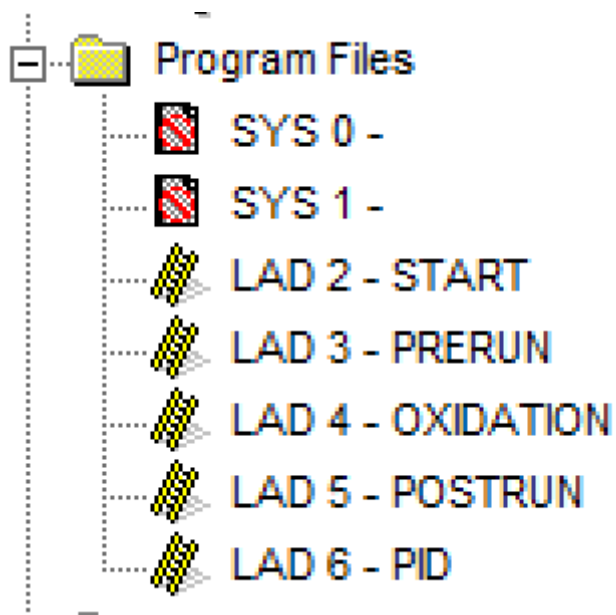


Рисунок 3.5.3 – Файли програми

4. РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ, СИГНАЛІЗАЦІЇ, КЕРУВАННЯ І ЖИВЛЕННЯ

4.1 Постановка задачі

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного виробництва оцтової кислоти потрібно передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- витрата кислоти, що йде до змішувачів 1 і 2;
- витрата каталізатору, що йде до змішувачу 1;
- витрата ацетальдегіду, що йде до змішувачу 2;
- витрата розчину, що йде до реактора 3;
- витрата ацетальдегіда, що йде до реактора 3;
- витрата суміші що йде до реактора 3;
- витрата кисню що йде до реактора 3;
- витрата води що йде до реактора 3;
- витрата азоту що йде до реактора 3;
- витрата суміші оцтової кислоти і ацетальдегіду на вході до 3;
- витрата парогазового розчину, що йде до приладу 5;
- витрата охолодженого парогазового розчину, що йде до сепаратору 6;
- витрата потоку циркулюючої, що йде до приладів 1,2 і 7;
- витрата потоку циркулюючої оцтової кислоти, що йде до колонни 7;
- витрата пари, що йде до колонни 7;
- витрата потоку оцтової кислоти, що йде з ректифікаційної колонни 7;
- витрата води, що йде до конденсатору;
- витрата готового продукту;
- температура кислоти в трубопроводі;
- температура кислоти, що йде в трубопровід;
- концентрація оцтової кислоти, що надходить в трубопровід;
- концентрація готового продукту;

4.2 Розробка схеми автоматизації

Наведемо опису контурів нижче.

Контур 1 відповідає за температуру кислоти, потрапляючої до змішувачів 1 і 2. До цього контуру входить перетворювач нормувальний 1Б. Також лампи HL1 та HL2.

Контур 2 відповідає за витрату кислоти, що йде до змішувачів 1 та 2 має діафрагму 2А; тензоперетворювач тиску 2Б; прилад 2В.

Контур 3 відповідає за контроль витрату каталізатору, що йде до змішувача 1. До нього входить діафрагма 3А, тензоперетворювач тиску 3Б, прилад 3В.

Контур 4 відповідає за витрату ацетальдегіду, що йде до змішувача 2. До нього входить діафрагма 4А, тензоперетворювач тиску 4Б, прилад 4В.

Контур 5 відповідає за витрату розчину каталізатора, що йде до 3. До нього входить діафрагма 5А, тензоперетворювач тиску 5Б, який подає сигнал на вторинний прилад 5В.

Контур 6 відповідає за витрату розчину ацетальдегіду, що йде до реактора 3. До нього входить діафрагма 6А, тензоперетворювач тиску 6Б, який подає сигнал на вторинний прилад 6В.

Контур 7 відповідає за витрату суміші розчинів, що надходять до реактора 3. До нього входить діафрагма 8А, тензоперетворювач тиску 8Б, який подає сигнал на вторинний прилад 7В.

Контур 8 призначений для контролю витрати кисню, що йде до реактора 3. До нього входить діафрагма 7А, тензоперетворювач тиску 7Б, який подає сигнал на вторинний прилад 8В.

Контур 9 відповідає за витрату конденсату оцтової кислоти і ацетальдегіду, що йде до реактора 3. До нього входить діафрагма 9А, тензоперетворювач тиску 9Б, який подає сигнал на вторинний прилад 9В.

Контур 10 відповідає за витрату води, що йде до реактора 3. До нього входить діафрагма 10А, тензоперетворювач тиску 10Б, який подає сигнал на вторинний прилад 10В.

Контур 11 відповідає за витрату циркулюючої оцтової кислоти, що йде до приладів 1,2 і 7. До нього входить діафрагма 11А, тензоперетворювач тиску 11Б, прилад 11В.

Контур 12 відповідає за контроль і сигналізацію температури циркулюючої оцтової кислоти, що йде до приладів 1,2 і 7. До нього входять — термоперетворювач 12А; автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад 12Б; HL3, HL4 – лампи електричні.

Контур 13 відповідає за контролю і сигналізацію концентрації циркулюючої оцтової кислоти, що йде до приладів 1,2 і 7. Даний контур включає первинний кондуктометричного аналізатора рідини 13А; Вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини 13Б; автоматичний показувальний і реєструвальний прилад 13В. HL5, HL6 – лампи електричні.

Контур 14 відповідає за витрату азоту, що йде до бризкоуловлювача 4. До нього входить діафрагма 14А, тензоперетворювач тиску 14Б, який подає сигнал на вторинний прилад 14В.

Контур 15 відповідає за витрати залишку розчину каталізатора. До нього входить діафрагма 15А, тензоперетворювач тиску 15Б, що

передає сигнал на вторинний прилад 15В.

Контур 16 відповідає за витрату парогазового розчину, що йде до розсільного конденсатора 5. До нього входить діафрагма 16А, тензоперетворювач тиску 16Б, прилад 16В.

Контур 17 відповідає за витрату циркулюючої оцтової кислоти, що йде до ректифікаційної колонни 7. До нього входить діафрагма 17А, тензоперетворювач тиску 17Б, прилад 17В.

Контур 18 відповідає за витрату оцтової кислоти, що йде до ректифікаційної колонни 7. Контур включає діафрагму камерну 18А, тензоперетворювач тиску 18Б, прилад 18В.

Контур 19 відповідає за витрату оцтової кислоти. До нього входить діафрагма 19А, тензоперетворювач тиску 19Б, прилад 19В.

Контур 20 відповідає за витрату води. До нього входить діафрагма 20А, тензоперетворювач тиску 20Б, прилад 20В.

Контур 21 відповідає за витрату готової оцтової кислоти. До нього входить діафрагма 21А, тензоперетворювач тиску 21Б, прилад 21В.

Контур 22 відповідає за витрату пари, що йде до ректифікаційної колонни 7. До нього входить діафрагма 22А, тензоперетворювач 22Б, прилад 22В.

Контур 23 відповідає за контроль і сигналізацію концентрації готової оцтової кислоти. До нього входить аналізатора рідини 23А, вторинний прилад аналізатора 23Б, який подає сигнал на автоматичний показувальний і реєструвальний прилад 23В, лампи електричні HL7 та HL8.

Контур 24 відповідає за витрату оцтової кислоти, що йде до

ректифікаційної колонни 7. До нього входить діафрагма 24А, тензоперетворювач тиску з квадратичною функцією перетворення 24Б, прилад 24В.

4.3 Блокування, сигналізація, аварійний захист

Система автоматизації процесу містить сигналізацію температури, витрати та тиску.

Контур 1 забезпечує сигналізацію температури циркулюючої оцтової кислоти. HL1 – лампа електрична жовта, HL2 – лампа електрична червона.

Контур 12 забезпечує сигналізацію температури оцтової кислоти на виході з бризкоуловлювача 5. Сигнальними пристроями виступають: HL3 – лампа електрична жовта, HL4 – лампа електрична червона.

Контур 13 забезпечує концентрації оцтової кислоти на виході з бризкоуловлювача 5. Сигнальними пристроями виступають: HL5 – лампа електрична жовта, HL6 – лампа електрична червона.

Контур 23 забезпечує сигналізацію концентрації готового продукту. HL7 – лампа електрична жовта.

Контур 33 забезпечує сигналізацію тиску на виході електромотору 1. HL23 – лампа електрична жовта, HL24 – лампа електрична червона.

Контур 34 забезпечує сигналізацію тиску на виході електромотору 4. HL25 – лампа електрична жовта, HL26 – лампа електрична червона.

Контур 35 забезпечує сигналізацію тиску на виході електромотору 5. HL27 – лампа електрична жовта, HL28 – лампа електрична червона.

Контур 36 забезпечує сигналізацію тиску на виході електромотору 6. HL29 – лампа електрична жовта, HL30 – лампа електрична червона.

Контур 37 забезпечує сигналізацію тиску на виході електромотору 7. HL31 – лампа електрична жовта, HL32 – лампа електрична червона.

Аварійний захист активується у випадку досягнення гранично допустимого максимального або мінімального значення контрольованого параметра — тиску в трубопроводі після насосів М1. При цьому в приладі замикається контакт, унаслідок чого формується замкнуте коло живлення електромагніта КМ1.

Після спрацювання реле КМ відбувається перемикання його контактів: контакт КМ1-1, який у нормальному стані є замкненим, розмикається, що призводить до вимкнення сигнальної лампи HL23, тоді як контакт КМ1-2, нормально розімкнутий, замикається і вмикає лампу HL24.

Після стабілізації тиску в реакторі контакт у приладі розмикається, унаслідок чого коло живлення електромагніта КМ1 розривається. Реле повертається у вихідний стан, а його контакти перемикаються назад. У наведеному описі розглянуто аварійний захист насоса М1; за аналогічним принципом функціонує захист і для інших насосів.

У схемі автоматизації передбачені як системи аварійного захисту, так і технологічні блокування. У разі виникнення аварійної ситуації у відцентровому насосі або електродвигуні та формування відповідного сигналу аварійного захисту електропривода спрацьовує система технологічних блокувань. Вона забезпечує відключення вихідного сигналу регулятора, внаслідок чого регулювальні клапани повністю перекривають трубопроводи.

4.4.Опис електричної принципової схеми сигналізації

На основі функціональної схеми автоматизації процесу розроблена принципова електрична схема технологічної сигналізації контрольованих параметрів.

Схему створено для відображення стану окремих технологічних параметрів і сповіщення про порушення у одному з процесів (при виході значень за припустимі межі), на основі ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75. з урахуванням ГОСТ 2.747-68, ГОСТ 2.710-81, ГОСТ 2.721-74

В схемі кнопка SB1 призначена для контролю справності сигнальних ламп HL23, HL24, а також звукової сигналізації. Діоди VD1 і VD3 застосовуються для запобігання подачі напруги на інші реле у разі замикання одного з виносних контактів, наприклад 17а. Діоди VD2 та VD4, у свою чергу, забезпечують спрацювання проміжних реле.

У момент спрацювання одного з виносних контактів датчика 12В.1 на котушки реле KV1 подається напруга. При цьому контакти KV1.1, розмикаючись, відключають сигнальну лампу HL33 від шини перевірки ламп; контакт KV1.2, замикаючись, вмикає сирену HA1; а контакти KV1.4, замикаючись, здійснюють підготовку кола живлення реле KC1.

Унаслідок цього через контакти KV1.2 і KV1.3 вмикаються HL23 та HA1. Для зв. сигналу потрібно натиснути SB1, у результаті чого замикаються контакти KC1.1. Реле KC1 переходить у режим самоблокування, а його контакт KC1.2 розриває коло живлення сирени HA1.

При цьому лампа HL23 та реле KC1 увімкнені до того моменту, доки контрольовані параметри, пов'язані з контактами 12В.1, не повернуться до нормального значення. У разі замикання контакту 12В.2 схема працює за

аналогічним принципом.

HL33 використовується для контролю стану системи сигналізації: за умови її ввімкнення лампа світиться зеленим кольором.

4.5. Опис електричної принципової схеми керування

На схемі відображено керування реверсивними двигунами M1 та M4. Передбачено прямий та зворотній ходи двигуна. Також передбачене електричне блокування з метою запобігання одномоментного замикання обох контакторів, тобто короткого замикання.

Електродвигуни M1 і M4 підключені до трифазного живлення L11, L21, L31 і L12, L22, L32 відповідно до входів 4, 5, 6. Провідники L15, L25, L35 підключено до M1, провідники L18, L28, L38 підключено до M2. Задля захисту двигунів встановлено теплові реле на L11, L13, L21, L23, L31, L33 KK1, на провідниках L12, L16, L22, L26, L32, L36 KK2. На провідниках 801-1, 801-4 встановлено контакти теплових реле KK1 та KK2, що розмикаються у разі перенавантаження. Ще слугують захистом нормально-розімкнені автоматичні вимикачі-роз'єднувачі QF1 і QF2, що замикаються оператором та розмикаються в разі аварійного струму.

Для пуску електродвигуна M1 необхідно натиснути кнопку SB2 з самоповерненням і нормально розімкненим контактом, яка з'єднує провідники 2 і 3 та подає напругу на магнітний пускач KM1. У результаті пускач замикає нормально розімкнену трифазну контактну групу KM1.1, розташовану на провідниках L14, L15, L24, L25, L34 і L35, що забезпечує живлення електродвигуна, а також контакт KM1.2 на провідниках 2 і 3, який підтримує самопідхоплення пускача.

Одночасно замикається контакт KM1.3 з нормально розімкненим станом, підключений до провідників 6–7, завдяки чому вводиться в

роботу електродвигун М4. Під час пуску двигуна загоряється НЛ2.

Для зупинки електродвигуна М1 слід натиснути кнопку SB1 з самоповерненням і нормально замкненим контактом. При цьому розривається коло живлення магнітного пускача КМ1, його контакти розмикаються, а сигнальна лампа гасне, що свідчить про зупинку двигуна М1.

Система керування електродвигуном М4 за принципом дії практично аналогічна системі для двигуна М1, однак має додаткову незалежну кнопку станцію, призначену для пуску та зупинки двигуна. Крім того, в схемі передбачено автоматичне вимкнення М4 за сигналами технологічних шляхових контактів SQ1 і SQ3, підключених відповідно до провідників 4–5 та 5–6.

Під час пуску електродвигуна М4 лампа НЛ3, яка вказує на його вимкнений стан, гасне. Це реалізується за допомогою проміжного реле КМ3 (провідники 10–L–): його нормально замкнений контакт, розташований на провідниках 801–11, розмикається одразу після подачі напруги на реле.

Для контролю коректності роботи схеми необхідно, щоб у знеструмленому стані електродвигунів була ввімкнена лампа НЛ3, усі кнопки перебували у справному стані, а також було перевірено спрацювання захисних пристроїв і стан контактів магнітного пускача.

Під час роботи електродвигунів слід проконтролювати споживану потужність, ККД, співвідношення пускового та номінального струмів (I_p / I_n), частоту обертання, а також функціонування сигнальної лампи НЛ2. У разі виявлення несправностей обладнання необхідно передати до відповідної ремонтної служби, відповідальної за усунення конкретної проблеми.

4.6. Опис електричної принципової схеми живлення

Принципова електрична схема відображає систему електроживлення, у складі якої передбачено апарат керування, зокрема вимикачі та перемикачі, елементи захисту у вигляді запобіжників, освітлювальний прилад, штепсельне гніздо, а також вузли автоматичного резервного живлення і електричні з'єднання між усіма пристроями.

У нижній частині схеми наведено зведену таблицю, де перелічені всі споживачі електроенергії, підключені до щита. Для кожного з них зазначено позиційне позначення відповідно до специфікації приладів та обладнання, величину споживаної потужності, робочу напругу та місце встановлення.

Параметри входу жив: $P=1,51$ кВт, $U=220$ В. В щиті присутнє освітлення, розетка і захисні пристрої.

4.7. Опис схеми з'єднань та підключень

На кресленні зображена схема з'єднання зовнішніх проводок.

На схемі наявна таблиця, в якій наведено контрольований параметр, місце відбору імпульсу та позиційне позначення приладу відповідно до специфікації засобів вимірювання й автоматизації. Також подано аналогічну відомість про виконавчий механізм і наведено умовні зображення первинних датчиків, виконавчих пристроїв і кабельних ліній, за допомогою яких вони з'єднуються зі щитом керування.

Терморезистивні датчики підключаються кабелем типу КВВГ 4×1,0, який містить один резервний провід. Довжини кабельних трас визначені з урахуванням фактичного розміщення технологічного обладнання. Підключення до щита керування здійснюється не безпосередньо, а через проміжну клемну колодку типу КСК-8.

4.8 Опис щита автоматики

Щит автоматики використовується для нагляду за обладнанням технологічної лінії отримання оцтової кислоти, зокрема для забезпечення пуску, зупинки та контролю роботи електродвигунів М1 і М4. Ключовим елементом щита є ПЛК, який виконує функції централізованого збору, оброблення та аналізу сигналів про поточний стан технологічного обладнання.

У режимах автоматичної та напіваавтоматичної експлуатації всі етапи та підтвердження виконання технологічних операцій здійснюються безпосередньо через щит керування. Для можливості локального керування на щиті встановлені кнопкові органи, що дозволяють оператору здійснювати ручне управління окремими елементами лінії.

На кресленні, виконаному в масштабі 1:10, наведено зображення лицьової панелі компактного щита керування із розташуванням органів керування електроприводами, світлової індикації стану двигунів та технологічних параметрів. Також показано місця встановлення інформаційних табличок з позначеннями, розшифрування яких наведено в окремому пояснювальному документі

5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту



Рисунок 5.1.1— Логотип проекту

EnerLogic — поєднання слів energy та logic, що підкреслює розумне керування енергоспоживанням у промисловості.

Стартап-проект задовольняє ключові потреби цільової аудиторії: зменшення витрачених на енергоресурси коштів, покращення енергоефективності та дотримання вимог екологічного регулювання.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
EnerLogic — система автоматизованого моніторингу та керування енергоспоживанням у промислових підприємствах з використанням IoT та машинного навчання	1. Промислові підприємства	1. Зниження видатків на енергоресурси
	2. Середній і великий бізнес	2. Автоматичний контроль у реальному часі
	3. Логістичні та складські комплекси	3. Прозорість і прогнозованість витрат
	4. Комунальні та інфраструктурні об'єкти	4. Скорочення операційних ризиків

Таблиця 5.1.1— Опис ідеї стартап-проекту

Для запуску стартапу потрібні кошти на кілька основних статей витрат: розробка програмного забезпечення та алгоритмів машинного навчання, закупівля і тестування апаратних сенсорів та контролерів, створення

інфраструктури для збору та обробки даних (сервери, хмарні послуги), маркетинг і продажі (просування, участь у виставках, пілотні проєкти), а також операційні витрати — зарплати команди, юридичні послуги і адміністративні витрати. Джерелами фінансування плануємо залучення грантів на інновації, інвестиції від венчурних фондів

На початку у команду повинні вийти: проектний менеджер, розробники, інженер-апаратник, спеціаліст з IoT, маркетолог, менеджер з продажів, фінансист, консультант з енергоефективності.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	товари конкурентів				W	N	S
		EnerLogic	Siemens	Schneider	ABB			
1.	Рівень автоматизації	Високий	Високий	Високий	Високий		+	
2.	Робота в реальному часі	Так	Так	Так	Так		+	
3.	Гнучкість налаштування	Висока	Середня	Середня	Середня			+
4.	Простота запуску	Висока	Низька	Низька	Середня			+
5.	Вартість впровадження	Низька	Висока	Висока	Висока			+
6.	Масштабованість	Середня	Висока	Висока	Висока	+		
7.	Впізнаваність бренду	низька	Висока	Висока	Висока	+		

Таблиця 5.1.2 Визначення характеристик ідеї проєкту

Конкурентна перевага стартапу полягає в гнучкості модульної платформи, яка легко адаптується під специфіку кожного підприємства, інтегрує передові технології IoT та штучного інтелекту для точного аналізу в реальному часі, а також пропонує вигідну модель підписки з підтримкою та консалтингом.

Слабкими ж є впізнаваність бренду та масштабованість.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

№ п/п	Ідея	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність
1	Продукт створюється на IoT, хмарних технологій, аналітики bigdata та машинного навчання. Апаратна частина включає енергетичні сенсори та контролери, програмна — хмарну платформу збору, обробки й візуалізації даних.	IoT-сенсори для вимірювання електроенергії, промислові контролери	Так	Так
2		Програмне забезпечення	Потрібно розробити	Так
3		Машинне навчання для виявлення аномалій та прогнозування	Потрібно розробити	Так
4		Хмарні технології	Так	Так
5		Шифрування даних	Так	Так
6		API для інтеграції з ERP, BMS, SCADA	Потрібно розробити	Так
Обрана технологія реалізації: все зі списку				

Таблиця 5.2.1— Здійсненність ідеї проекту

З таблиці видно, що усі обрані технології є доступними. Самі технології не є новими, розробки вони потребують для конкретних технічних рішень у стартапі.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість гравців, од	10-15
2	Загальний обсяг, грн/ум.од	на національному рівні — сотні мільйонів грн
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Обмеження для входу	Технологічна складність, потреба у довірі клієнтів, довгі цикли продажів B2B
5	Специфічні вимоги	Необхідність відповідності ISO 50001, ISO 14001 , стандартам кібербезпеки, промисловим протоколам
6	Середня рентабельність по ринку, %	15-30%

Таблиця 5.3.1— Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Ринок у цій сфері зростає, але потрібно бути готовим до довгих циклів продажів.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільові сегменти	Відмінності у поведінці різних груп клієнтів	Вимоги споживачів
1	Зниження витрат на енергоресурси	Середні та великі промислові підприємства	Орієнтація на економічний ефект і термін окупності	Висока точність даних, аналітика,
2	Автоматизація енергоконтролю	Комерційні об'єкти, бізнес-центри	Очікування простого впровадження	Інтеграція з наявними системами
3	Підвищення керованості процесів	Малі та середні підприємства	Чутливість до ціни та гнучких умов оплати	Модульність і підтримка
4	Контроль і прозорість споживання	Міжнародні та експортно-орієнтовані компанії	Акцент на звітність і відповідність стандартам	Автоматичні ESG-звіти, надійність, безпека даних

Таблиця 5.3.2— Характеристика потенційних клієнтів

Як видно з таблиці, потенційними клієнтами стартапу може бути досить широкий список підприємств.

Нижче наведено список потенційних загроз і можливостей в сучасних умовах ринку.

№ п/п	Фактор	Загроза	Реакція компанії(можлива)
1	Конкуренція з боку великих брендів	Клієнти віддають перевагу відомим міжнародним компаніям	Фокус на ніші середнього бізнесу, нижча ціна, швидке впровадження
2	Довгий цикл B2B-продажів	Відтермінування контрактів і повільне масштабування	Пілотні проекти, безкоштовні аудити, демонстрація ROI
3	Технічна складність інтеграції	Несумісність із застарілими системами клієнтів	Використання універсальних протоколів, модульна архітектура
4	Обмежені бюджети клієнтів	Відмова від впровадження через високу початкову вартість	SaaS-модель, поетапне впровадження, підписка

Таблиця 5.3.3— Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Можливість	Реакція компанії(можлива)
1	Зростання цін на енергоресурси	Бізнес шукає способи зменшення енергетичних витрат	Акцент на швидку окупність та економію у маркетингу
2	Цифровізація промисловості	Компанії впроваджують IoT та аналітику	Інтеграція з ERP, SCADA, BMS
3	Поширення cloud сервісів	Зниження витратів на інфраструктуру	SaaS-модель та масштабування платформи
4	Збільшений попит на автоматизацію	Перехід від ручного контролю до цифрових систем	Розробка plug-and-play рішень

Таблиця 5.3.4— Фактори можливостей

Ринкове середовище для стартапу EnerLogic характеризується наявністю значних можливостей, зумовлених зростанням цін на енергоресурси, посиленням вимог до енергоефективності та активною

цифровізацією бізнесу. Це створює стійкий попит на автоматизовані рішення енергоменеджменту. Водночас основними загрозами є висока конкуренція зі сторони великих брендів і тривалі цикли прийняття рішень у B2B-сегменті.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на підприємство
1. Тип конкуренції: Олігополія	обмежена кількість великих міжнародних компаній з сильними брендами.	EnerLogic змушений шукати вузьку нішу, конкурувати гнучкістю, сервісом і швидкістю впровадження, а не масштабом.
2. національний та міжнародний рівнем конкурентної боротьби	одночасна присутність локальних і глобальних компаній.	підприємство має адаптувати продукт до локальних умов і стандартів, зберігаючи можливість масштабування.
3. За галуззю: міжгалузєва	конкуренція як з енергетичними компаніями, так і з ІТ- та автоматизаційними фірмами.	потреба в міждисциплінарній команді та інтегрованих рішеннях.
4. Конкуренція: товарно-видова	клієнт обирає між різними способами контролю енергії (автоматизація, ручний облік, відмова від змін).	важливо доводити економічну доцільність і практичну користь продукту.
5. За конкурентними перевагами: нецінова	клієнти оцінюють функціональність, аналітику, сервіс і лише потім ціну.	підприємство інвестує у розвиток продукту, UX та підтримку клієнтів.
6. За інтенсивністю марочна	значна роль бренду, довіри та репутації постачальника.	необхідність формування іміджу надійного партнера через кейси, пілотні проєкти та відгуки.

Таблиця 5.3.5— Аналіз конкуренції

Конкуренція є інтенсивною, переважно нецінковою, з акцентом на функціональність, надійність і бренд. Водночас на ринку зберігається попит на більш гнучкі та доступні рішення, що створює можливості для входу стартапів.

Конкурентні позиції EnerLogic формуються за рахунок інноваційності, нижчої вартості впровадження та клієнтоорієнтованого підходу, що дозволяє ефективно конкурувати у вибраних ринкових сегмента

Складові	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Замінники
	Міжнародні та локальні компанії з енергоменеджменту та автоматизації (Siemens, Schneider Electric)	ІТ-компанії, інтегратори, стартапи у сфері IoT та AI	стартапи у сфері IoT та AI Постачальники IoT-сенсорів, хмарних сервісів, ПЗ	Підприємства, бізнес-центри, промислові компанії	Ручний енергооблік, базові системи моніторингу, енергоаудит без автоматизації
Висновки :	Висока інтенсивність конкурентної боротьби через сильні бренди та широкий функціонал	Вхід у ринок можливий, але потребує технологічної експертизи та довіри клієнтів; строки виходу — 6–12 міс	Сила постачальників в помірній; умови диктують хмарні платформи та виробники обладнання	Клієнти мають сильну позицію через вибір альтернатив і чутливість до ціни	Замінники створюють обмеження, але поступаються за ефективністю та автоматизацією

Таблиця 5.3.6— Аналіз конкуренції за М. Портером

Конкурентне середовище показує, що ринок для стартапу EnerLogic є конкурентним, але відкритим для нових гравців. Найбільше на проект мають вплив прямі конкуренти та клієнти, які визначають високі вимоги до ціни, функціональності й надійності продукту. Потенційні конкуренти та постачальники чинять помірний тиск, а товари-замінники обмежують ринок лише частково.

№ п/п	Фактор	Обґрунтування
1	Ціна	Споживачі шукають найвигіднішу пропозицію, порівнюючи ціни різних постачальників.
2	Функціональність	Споживачі обирають продукт/послугу, яка пропонує їм необхідні функції та можливості.
3	Надійність	Споживачі хочуть бути впевнені, що продукт/послуга буде працювати безперебійно та надійно.
4	Обслуговування клієнтів	Споживачі цінують високий рівень обслуговування клієнтів, що включає швидку та ефективну підтримку.
5	Інновації	Споживачі віддають перевагу продуктам/послугам, які

		пропонують новітні технології та рішення.
6	Бренд	Сильний бренд може дати споживачам відчуття впевненості та довіри.
7	Доступність	Споживачі хочуть мати можливість легко придбати та використовувати продукт/послугу.

Таблиця 5.3.7— Обґрунтування факторів

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з EnerLogic							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Ціна	17	+							
2	Функціональність	16		+						
3	Надійність	15						+		
4	Обслуговування клієнтів	16						+		
5	Інновації	19		+						
6	Бренд	12								+
7	Доступність	18			+					

Таблиця 5.3.8— Сильні і слабкі сторони проекту порівняно з конкурентами EnerLogic має сильні позиції за ціною, інноваціями, доступністю та сервісом, що забезпечує конкурентну перевагу на ринку. Основною слабкою стороною залишається бренд, однак це компенсується гнучкістю та швидкістю впровадження.

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> Інноваційна IoT-платформа з адаптацією під конкретне підприємство Підвищення якості продукції завдяки точній регуляції процесів. Підтримка сталого розвитку та зменшення впливу на довкілля завдяки економії енергоресурсів та зниження викидів.. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> Висока початкова вартість розробки і запуску. Недостатня впізнаваність бренду на початковому етапі Залежність від зовнішніх інвесторів або грантів
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> Зростаючий попит на енергоефективні рішення в промисловості Можливість участі у державних та міжнародних програмах «зеленого» переходу Партнерства з виробничими асоціаціями та технопарками 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> Конкуренція з боку великих міжнародних гравців Невизначеність щодо регулювання та стандартизації Потенційні кіберзагрози та непередбачувані ситуації на виробництві, які можуть стати причиною аварій та простоїв у роботі

Таблиця 5.3.9— SWOT- аналіз стартап-проекту

Стартап має вагомі сильні сторони — технологічну інноваційність, адаптивність до клієнта та гнучку модель монетизації, що дозволяє ефективно увійти на ринок. Водночас необхідно враховувати слабкі місця: брак ресурсів на старті, низьку впізнаваність бренду та фінансову залежність. Потенціал зростання високий завдяки актуальності енергоефективності, державній підтримці та можливим стратегічним партнерствам. Проте існують серйозні загрози — сильна конкуренція, економічні ризики та кібербезпека. Успіх проєкту залежатиме від здатності швидко масштабуватись і вибудувати довіру серед промислових клієнтів.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Фокус на середній бізнес: пілотні проєкти, демонстрація економії, індивідуальні рішення	Висока	3–6 місяців
2	SaaS-модель підписки з поетапним впровадженням	Висока	3–9 місяців
3	Партнерство з енергосервісними та ІТ-компаніями	Середня	6–12 місяців
4	Вихід на міжнародні ринки через пілотні кейси	Низька	12–24 місяці

Таблиця 5.3.10— Альтернативи впровадження стартапу на ринку

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит цільової групи	Конкуренція в сегменті	Простота входу в сегмент
	Хімічні підприємства малого та середнього розміру	Висока	Високий	Середня	Середня
	Нафтопереробні заводи	Середня	Середній	Висока	Складна
	Сільські господарства середнього і великого розміру	Середня	Середній	Висока	Складна
	Підприємства харчової промисловості	Низька	Низький	Середня	Середня
	Фармацевтичні компанії	Висока	Високий	Середня	Складна
Обрані групи споживачів: Хімічні підприємства і сільські господарства					

Таблиця 5.4.1— Вибір цільових груп

Потенційними споживачами скоріш за все будуть хімічні підприємства і сільські господарства через розвиток ринку в Україні та за її межами.

№ п/п	Альтернатива розвитку	Стратегія охоплення	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія*
	Фокус на автоматизовані рішення енергоменеджменту для середнього бізнесу	Сегментована	Інноваційність, гнучкість рішення, швидке впровадження, доступна ціна, клієнтоорієнтований сервіс	Диференціація

Таблиця 5.4.2— Вибір базової стратегії розвитку

Стратегія диференціації є доцільною для стартапу, так як конкуренція у сфері має олігополістичний характер і ґрунтується не лише на ціні, а передусім на функціональності, надійності та інноваціях. Пряме цінове суперництво з великими міжнародними компаніями є малоефективним через їхні масштаби та бренд.

EnerLogic відрізняється від конкурентів за рахунок інноваційного підходу, гнучкої архітектури, швидкого впровадження, клієнтоорієнтованого сервісу та доступності для середнього бізнесу. Саме ці унікальні характеристики формують інтерес споживачів і дозволяють уникнути прямої цінової конкуренції.

№ п/п	Чи є стартап «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару?	Стратегія конкурентної поведінки*
	ні	так	<ul style="list-style-type: none"> - базовий енергомоніторинг - збір даних із лічильників та сенсорів; - візуалізація споживання у вигляді дашбордів; - формування стандартних звітів; 	Зайняття певної ніші

Таблиця 5.4.3— Вибір стратегії конкурентної поведінки

Зайняття конкурентної ніші є більш ефективною стратегією для стартапу, ніж вихід на масовий ринок, оскільки галузь характеризується домінуванням великих міжнародних компаній. У таких умовах новому підприємству складно конкурувати за масштабом, фінансовими ресурсами та впізнаваністю бренду.

№ п/п	Вимоги до товару у аудиторії	стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції	Вибір асоціацій
	Зменшення енергетичних витрат, простота у використанні	Диференціація	Доступна ціна, швидке впровадження, вимірюваний економічний ефект	Економія – Ефективність – Контроль

Таблиця 5.4.4—Визначення стратегії позиціонування

Позиціонування EnerLogic базується на стратегії диференціації, що дозволяє сформувавши чіткий образ інноваційного, доступного та надійного рішення для автоматизованого енергоменеджменту, орієнтованого на конкретні потреби цільової аудиторії.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Переваги перед конкурентами
1	Автоматизація моніторингу та керування енергоспоживанням	Зниження витрат, підвищення ефективності енергоспоживання	- Інноваційна система на основі machine learning - Гарантійне обслуговування обладнання
2	Індивідуальні рішення	Розробка рішень під конкретні потреби	- Глибоке розуміння роботи підприємств - Досвідчена команда фахівців - Широкий спектр послуг
3	Надійність	Безперебійна робота обладнання та мінімальні простой	- Використання високоякісних комплектуючих - Регулярне техобслуговування обладнання - Доступ до цілодобової технічної підтримки

Таблиця 5.5.1— Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Ключовими перевагами є автоматизований контроль енергоспоживання з індивідуальними налаштуваннями та високим рівнем надійності системи.

Рівні товару	Сутність
1	2
1. За задумом	<p>Базова потреба споживача: Автоматизація моніторингу та керування енергоспоживанням на малих і середніх підприємствах.</p> <p>Основна функціональна вигода: Зниження витрат, підвищення енергоефективності</p>
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	<ol style="list-style-type: none"> 1) інноваційна система автоматизації на основі machine learning; 2) індивідуальна розробка рішень під потреби; 3) гарантійне обслуговування обладнання; 4) висока якість та надійність; 5) широкий спектр послуг; 6) доступ до цілодобової технічної підтримки
3. Товар із підкріпленням	До продажу
	<ol style="list-style-type: none"> 1) консультації з питань автоматизації виробництва; 2) розробка технічного завдання; 3) підготовка кошторису проекту
	Після продажу
	<ol style="list-style-type: none"> 1) навчання персоналу; 2) техобслуговування обладнання; 3) оновлення програмного забезпечення; 4) гарантійне обслуговування обладнання; 5) доступ до цілодобової технічної підтримки
	<p>За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент на інноваційну систему автоматизованого моніторингу та керування енергоспоживанням; ноу-хау в розробці та впровадженні систем моніторингу; висока кваліфікація команди фахівців; Репутація компанії на ринку</p>

Таблиця 5.5.2—Опис рівнів моделі товару

№ п/п	Ціни на замітники	Ціни на аналоги	Доходи споживачів	Межі ціни на продукт
1	Низький (100 000 - 500 000 грн)	Середній (500 000 - 1 000 000 грн)	Середній (50 000 - 200 000 грн)	200 000 грн - 600 000 грн
2	Середній (500 000 - 1 000 000 грн)	Високий (1 000 000 - 2 000 000 грн)	Високий (200 000 - 500 000 грн)	400 000 грн - 1 200 000 грн
3	Високий (1 000 000 - 2 000 000 грн)	Дуже високий (> 2 000 000 грн)	Дуже високий (> 500 000 грн)	800 000 грн - 2 000 000 грн

Таблиця 5.5.3— Межі встановлення ціни

№ п/п	Закупівельна Поведінка цільових клієнтів	Функції збуту	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Потреба в індивідуальному підході і технічній консультації	Інформування, продаж, післяпродажне обслуговування	1	Власна збутова команда
2	Масовий сегмент з типово повторюваними потребами	Стандартизований продаж, обробка замовлень	1-2	Залучення регіональних дилерів
3	Географічно розкидані підприємства з різним рівнем техпідготовки	Демонстрація, підтримка впровадження, навчання	1-2	Гібридна система: власні + партнери

Таблиця 5.5.4— Формування системи збуту

З метою розширення ринку будуть залучені регіональні дилери та посередники.

№ п/п	поведінка цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Позиціонування	Завдання маркетингу	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на зниження витрат, дотримання норм ESG	Сайти галузевих новин, LinkedIn, YouTube, профільні виставки	Інноваційність, ефективність, відповідність екостандартам	Продемонструвати вигоди від автоматизації енергоспоживання	«Контролюй витрати — керуй енергією розумно!»
2	Шукають рішення з швидкою окупністю та техпідтримкою	Google-пошук, галузеві форуми, консультації з постачальниками	Гнучкість впровадження, локальна підтримка	Переконати у простоті інтеграції системи	«Мінімум зусиль — максимум результату»
3	Прагнуть впроваджувати новітні технології у виробництво	Вебінари, професійні подкасти, бізнес-зустрічі, LinkedIn	Лідерство в цифровій трансформації, аналітика в реальному часі	Підкреслити технологічну перевагу рішення	«Майбутнє енергії — вже сьогодні у вашому виробництві»

Таблиця 5.5.5— Концепція маркетингу

Комунікаційна стратегія орієнтована на потреби промислових клієнтів у зниженні витрат, простоті впровадження та технологічному розвитку. Поєднання цифрових каналів і професійних контактів дозволяє донести цінність рішень, підкреслити їхню ефективність, відповідність стандартам та інноваційність. Рекламні повідомлення формують довіру до продукту, акцентують на практичних вигодах і створюють образ сучасного технологічного партнера для підприємств.

5.6 Висновки

Стартап має високий потенціал успіху, оскільки вирішує актуальну проблему підприємств — зниження енергетичних витрат і підвищення ефективності виробництва в умовах зростання цін на енергію та вимог ESG. Інноваційність рішення, використання штучного інтелекту, комплексний сервіс і орієнтація малий та середній бізнес створюють сильну конкурентну позицію. За умови ефективного збуту, якісного впровадження та довгострокової підтримки клієнтів стартап може стати конкурентоспроможним і стабільно успішним на ринку.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проаналізовано кінцевий продукт та процес його отримання, змодельовано окислювальну колону та синтезовано оптимальне керування для неї.

Також було розроблено систему керування процесом засобами програми RSLogix. В результаті було отримано програму мовою мовою LAD для контролерів Allen-Bradley, що може керувати перебігом повного процесу виробництва оцтової кислоти.

Було створено схеми автоматизації, сигналізації, керування і живлення моторів для виробничого процесу, також для схем було створено специфікації, перераховані у додатках.

Було запропоновано проект стартапу керування енергоспоживанням у промисловості на основі машинного навчання та Інтернету речей. Був проведений технічний аудит та аналіз проекту, на основі чого був отриманий висновок про його здійсненність та перспективи у майбутньому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hintermann L, Labonne A. "Catalytic Hydration of Alkynes and Its Application in Synthesis", 2007. — 251с.
2. Armarego WL, Chai C. Purification of Laboratory Chemicals (6th ed.), 2009 - 146 с.
3. Комп'ютерне моделювання процесів і систем - 2. Математичне моделювання технологічних об'єктів і систем: Метод. вказівки до практ. занять для студ. напрямку підготовки: 6.050202 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / Уклад.: З.Я.Козаневич, – К. : НТУУ ”КПІ ім. Ігоря Сікорського“, 2017. – 57 с.
5. Проектування систем керування: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. навч. закл. /М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленський. - К.: НТУУ “КПІ”, 2014 — 344 с. ISBN 978-966-2425-32-1
6. Лукінюк М.В. 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

ДОДАТКИ

Додаток А. Лістинг програми

```
W = tf([1.82 1.5],[2.15 2 1]);
[A, B, C, D] = ssdata(W)
x1 = [];
x2 = [];
x1(1) = 0.11;
x2(1) = 0.1;
N = 500;
a11 = 0.2;
a12 = 1.7;
a21 = -0.8;
a22 = -5.1;
b11 = 0;
b12 = 0.364;
F1 = 1.1;
TAU = 0.1;
t = 0:N-1;

for s = 1:N-1
    x1(s+1) = x1(s) + TAU*a12*x2(s);
    x2(s+1) = x2(s) + TAU*(a21*x1(s) + a22*x2(s) + b12*F1);
end

lam1(N) = x1(N);
lam2(N) = x2(N);
q11 = 2.5;
q22 = 1;

for s = 1:N-1
    lam1(s+1) = lam1(s) - TAU*(-q11*x1(s) - a11*lam1(s) - a21*lam2(s));
    lam2(s+1) = lam2(s) - TAU*(-a12*lam1(s) - a22*lam2(s));
end

r=1;
for i = 1:N
    U_opt(i) = (r^-1)*b12*lam1(i);
end

f1 = figure;
f2 = figure;
f3 = figure;
f4 = figure;
f5 = figure;
```

```

plot(t,x1 )
title('Зміна x1');
grid on;
figure(f1)
plot(t,x2)
title('Зміна x2');
grid on;
figure(f2)
plot(t,lam1)
title('Зміна λ1');
grid on;
figure(f3)
plot(t,lam2)
title('Зміна λ2');
grid on;
figure(f4)
plot(t,U_opt)
title('Зміна керування');
grid on;
figure(f5)

function kursova4()
disp('Матриця A:')
A = [0 1; -0.084 -1.986]
disp('Матриця B:')
B = [0; 0.025]

disp('Матриця Q:')
Q = 0.5*eye(2)
disp('Матриця R:')
R = 2
disp('Матриця N:')
N = []

SA = size(A); SA = SA(1); SB = size(B); SB = SB(2);

x(:,1) = x0;

for i=1:n-1,
    u(:,i) = ud-K*(x(:,i)-xd);
    x(:,i+1) = (A*(x(:,i)-xd)+B*(u(:,i)-ud))*dt+x(:,i);
end

t = 0:dt:tf-dt;

figure(1)
plot(t, x(1,:)),

figure(2)
plot(t, x(2,:)),
xlabel('Час, t');

```

```

ylabel('Змінна стану, x_2(t)');

figure(3)
plot(dt:dt:tf-dt,u),
ylabel ('Керування, U(t)');
legend('u')

function kursova5
disp('Матриця A:')
A = [0 1; -0.084 -1.986]
disp('Матриця B:')
B = [0; 0.025]

disp('Матриця Q:')
Q = (1/200000)*eye(2)
disp('Матриця R:')
R = 1/2
disp('Матриця N:')
N = []
disp('Вектор початкових умов X0:')
x0 = [413 0.0001]'

disp('Довжина кроку dt:')
dt = 0.01
n = tf/dt
disp('Матриця A1:')
A1 = [zeros(2) eye(2); eye(2) A]
disp('Матриця B1:')
B1 = [zeros(2,1); B]
disp('Матриця Q1:')
Q1 = [Q zeros(2); zeros(2) zeros(2)]

[K P E] = lqr(A1,B1,Q1,R,N);

disp('Матриця зворотнього з'язку:'); K

x = zeros(SA,n); u = zeros(SB,n-1); v = zeros(SA,n);

x(:,1) = x0;

for i=SK/2:SK,
K2(i) = K(i);
end
for i=1:SK/2,
K1(i) = K(i);
K2(1) = [];
end

for i=1:n-1,
v(:,i) = v(:,i)+K1*x(:,i)*dt;
u(:,i) = ud-K2*(x(:,i)-xd)+v(i);

```

```

x(:,i+1) = (A*(x(:,i)-xd)+B*(u(:,i)-ud))*dt+x(:,i);

end

t = 0:dt:tf-dt;

figure(1)
plot(t, x(1,:)),
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінна стану, x_1(t)');

figure(2)
plot(t, x(2,:)),
ylabel('Змінна стану, x_2(t)');

figure(3)
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid on
title('Динаміка зміни керування');
xlabel('Час, t');
ylabel ('Керування, U(t)');
legend('u')

W = tf([1.82 1.5],[2.15 2 1]);
[A, B, C, D] = ssdata(W);

tau = 0.0001; t_f = 100; t_s = (1:t_f);
x_zad = [100; 2.4];
u_max = 0.82; u_min = 0.8; Q = 1; s = 1*10^(-12);
S = [s 0; 0 s];
syms u t p;
l = sym('l',[1 length(A)]);
x = sym('x',[length(A) 1]);
H = Q*(u_max - u)*(u - u_min) + l*(A*(x_zad-x) + B*u);
syms u_grad(u,l1,l2)
u_grad(u, l(1), l(2)) = diff(H, u);
for i = 1:length(A)
    M_l(i) = l(i) + diff(H, x(i))*tau;
end
syms next_l(x1,x2,l1,l2)
next_l(x1,x2,l1,l2) = M_l(:)';
for i = 1:t_f
    if i < 51
        U(i) = u_min;
    else
        U(i) = u_max;
    end
end
end
X(:,1) = [0; 0];
Y(:,1) = C*X(:, 1);

```

```

for i=1:t_f-1
    X(:, i+1) = X(:, i) + (A*X(:, i) + B*U(i))*tau;
    Y(:, i+1) = C*X(:, i+1);
end
l_i(t_f, :) = S*(X(:,end)-x_zad);
for i = 1:length(A)
    M_l(i) = l(i) + diff(H, x(i))*tau;
End

syms next_l(x1,x2,l1,l2)
next_l(x1,x2,l1,l2) = M_l(:)';
U1 = U; X1 = X; Y1 = Y;
U2 = U; X2 = X; Y2 = Y;
U3 = U; X3 = X; Y3 = Y;
U4 = U; X4 = X; Y4 = Y;

for i=t_f:-1:51
    e_x1 = num2cell(X1(:, i)); e_l1 = num2cell(l_i(i,:));
    l_i(i-1, :) = next_l(e_l1{:}, e_x1{:});
    e_x2 = num2cell(X2(:, i)); e_l2 = num2cell(l_i(i,:));
    l_i(i-1, :) = next_l(e_l2{:}, e_x2{:});
    e_x3 = num2cell(X3(:, i)); e_l3 = num2cell(l_i(i,:));
    l_i(i-1, :) = next_l(e_l3{:}, e_x3{:});
    e_x4 = num2cell(X4(:, i)); e_l4 = num2cell(l_i(i,:));
    l_i(i-1, :) = next_l(e_l4{:}, e_x4{:});
end
k = 2.7e-4;
for i=52:t_f
    e_l1 = num2cell(l_i(i-1,:));
    e_l2 = num2cell(l_i(i-1,:));
    e_l3 = num2cell(l_i(i-1,:));
    e_l4 = num2cell(l_i(i-1,:));
    U1(i) = U1(i-1)+k*u_grad(U1(i-1), e_l1{:})*tau;
    U2(i) = U2(i-1)+k*u_grad(U2(i-1), e_l2{:})*tau - 0.000015;
    U3(i) = U3(i-1)+k*u_grad(U3(i-1), e_l3{:})*tau - 0.000020;
    U4(i) = U4(i-1)+k*u_grad(U4(i-1), e_l4{:})*tau - 0.000025;
    X1(:, i) = X1(:, i-1) + (A*(X1(:, i-1)) + B*U1(i-1))*tau;
    X2(:, i) = X2(:, i-1) + (A*(X2(:, i-1)) + B*U2(i-1))*tau;
    X3(:, i) = X3(:, i-1) + (A*(X3(:, i-1)) + B*U3(i-1))*tau;
    X4(:, i) = X4(:, i-1) + (A*(X4(:, i-1)) + B*U4(i-1))*tau;
    Y1(i) = C*X1(:, i);
    Y2(i) = C*X2(:, i);
    Y3(i) = C*X3(:, i);
    Y4(i) = C*X4(:, i);
    j = j+1;
end

f1 = figure;
f2 = figure;
f3 = figure;
f4 = figure;

```

```

plot(t_s,U1)
title('Зміна керування');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінна керування, U(t)');
grid on;
xlim([0 100])
ylim([0.795 0.825])
figure(f1)

plot(t_s,U1,t_s,U2,t_s,U3,t_s,U4)
grid("on")
title('Зміна керування');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні керування, U(t)');
legend('Ітерація 1', 'Ітерація 2', 'Ітерація 3', 'Ітерація 4')
xlim([0 100])
ylim([0.795 0.825])
figure(f2)

W = tf([1.82 1.5],[2.15 2 1]);
[A, B, C, D] = ssdata(W);
N = 2000;
U1 = zeros(1,N);
U2 = zeros(1,N);
U3 = zeros(1,N);
U4 = zeros(1,N);
ts = 0;
x0 = [100;2.4]';
xd = [100 99]';
x1(:,1) = x0;
x2(:,1) = x0;
x3(:,1) = x0;
x4(:,1) = x0;
dt = 0.0001;

for i=1:200
    U1(i) = 0.01;
    U2(i) = 0.01;
    U3(i) = 0.01;
    U4(i) = 0.01;
    x1(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U1(i)))*dt+x1(:,i);
    x2(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U2(i)))*dt+x2(:,i);
    x3(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U3(i)))*dt+x3(:,i);
    x4(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U4(i)))*dt+x4(:,i);
end
j = 0;
for i = 200:N
    U1(i) = 0.005;
    U2(i) = 0.005 - j/200;
    U3(i) = 0.005 - j/500;

```

```

    U4(i) = 0.005 - j/1000;
    x1(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U1(i)))*dt+x1(:,i);
    x2(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U2(i)))*dt+x2(:,i);
    x3(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U3(i)))*dt+x3(:,i);
    x4(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U4(i)))*dt+x4(:,i);

    j = j+1;
end

t= 0:N;
f2=figure;

plot(t,x1(1,:),t,x2(1,:),t,x3(1,:),t,x4(1,:))
grid("on")
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
legend('Еталон', 'Ітерація 3', 'Ітерація 2', 'Ітерація 1')
figure(f2)

W = tf([1.82 1.5],[2.15 2 1]);
[A, B, C, D] = ssdata(W);
N = 2000;
U1 = zeros(1,N);
U2 = zeros(1,N);
U3 = zeros(1,N);
U4 = zeros(1,N);
ts = 0;
x0 = [100;2.4]';
xd = [100 99]';
x1(:,1) = x0;
x2(:,1) = x0;
x3(:,1) = x0;
x4(:,1) = x0;
dt = 0.0001;

for i=1:200
    U1(i) = 0.01;
    U2(i) = 0.01;
    U3(i) = 0.01;
    U4(i) = 0.01;
    x1(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U1(i)))*dt+x1(:,i);
    x2(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U2(i)))*dt+x2(:,i);
    x3(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U3(i)))*dt+x3(:,i);
    x4(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U4(i)))*dt+x4(:,i);
end
j = 0;
for i = 200:N
    U1(i) = 0.005;
    U2(i) = 0.005 - j/200;
    U3(i) = 0.005 - j/500;

```

```

U4(i) = 0.005 - j/1000;
x1(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U1(i)))*dt+x1(:,i);
x2(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U2(i)))*dt+x2(:,i);
x3(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U3(i)))*dt+x3(:,i);
x4(:,i+1) = (A*(x1(:,i) - xd)+B*(U4(i)))*dt+x4(:,i);

j = j+1;
end
t= 0:N;
f2=figure;
plot(t,x1(1,:),t,x2(1,:),t,x3(1,:),t,x4(1,:))
grid("on")
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
legend('Еталон', 'Ітерація 3', 'Ітерація 2', 'Ітерація 1')
figure(f2)

```

Додаток Б Перелік складових частин щита автоматики

Поз.	Позначення	Найменування	К іл.	Примі тки
1		Щит керування 600x1000x350	1	
2	HL9,HL15, HL23,HL25	Лампа електрична сигнальна "червона"	4	
3	HL10,HL16, HL24,HL26	Лампа електрична сигнальна "зелена"	4	
4	5В, 4В	Прилад показувальний ІТМ-101	2	
5	5Г	Блок ручного управління БРУ-7	1	
6	SB1, SB3	Кнопка керування, червона ("СТОП")	2	
7	SB2, SB4	Кнопка керування, зелена ("ПУСК")	2	
8		Шильдик	1 5	

Додаток В Перелік елементів принципової електричної схеми технологічної сигналізації контрольованих параметрів.

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
FU1, FU2	Запобіжник плавкий ПР2	4	500В, 6А
HL23, HL33	Лампа сигнальна з зеленим індикатором ЛС 47-1	2	U _{жив} =220В
HL24	Лампа сигнальна з червоним індикатором ЛС 47-1	2	U _{жив} =220В
VD1-VD4	Діод загального призначення КД521А	8	75В, 2А
SB1	Кнопка керування, зелена ХВ2-ВА31	2	
SB2	Кнопка керування, червона ХВ2-ВА41	2	
SA1	Вимикач-роз'єднувач ВР32-31А 21220-00	2	500В, 20А, двополосний
K1	Реле РПК1-031-УХЛ4 220В 50Гц	2	220В, 3мА
KV1, KV2	Реле РПК1-031-УХЛ4 220В 50Гц	3	220В, 3мА

Додаток Г Перелік елементів до принципів схем керування електродвигунами

Поз. позначення	Найменування	К іл.	Примітки
	Місцеві		
M1	Електродвигун АИР225М2	1	$U_H = 380 \text{ В}, I_H = 100 \text{ А}, P = 55 \text{ кВт}$
M2	Електродвигун АИР100L8	1	$U_H = 220 \text{ В}, I_H = 4,4 \text{ А}, P = 1,5 \text{ кВт}$
SB3	Кнопка керування червона XB2-BA42	1	$1NC, U_H = 24 \text{ В}, P = 0, 0000308 \text{ кВт}$
SB4	Кнопка керування зелена XB2-BA31	1	$1NO, U_H = 24 \text{ В}, P = 0, 0000308 \text{ кВт}$
SQ1, SQ3	Кінцеві розмикачі Fandis FC-004	2	$1NC, P = 0,0000308 \text{ кВт}$
	Шафа силового обладнання		
FU1	Плавкий запобіжник швидкодіючий 0429007.WRML	1	$U_H = 24 \text{ В}, I_H = 7 \text{ А}, P = 0,0000308 \text{ кВт}$
HL4	Лампа світлодіодна e.LED.lamp.A60.E27.7.3000	1	$U_H = 24 \text{ В}, P = 0,007 \text{ кВт}$
KK1	Теплове реле TeSys Deca LRD4367	1	$U_H = 380 \text{ В}, I_H = 95...120 \text{ А}, P = 0,0015 \text{ кВт}$
KK2	Теплове реле TeSys Deca LRD10L	1	$U_H = 380 \text{ В}, I_H = 4...6 \text{ А}, P = 0,0000308 \text{ кВт}$
KM1	Магнітний пускач FC 5/125	1	$U_H = 24 \text{ В}, I_H = 6 \text{ А}, P = 0,45 \text{ кВт}$
KM2	Магнітний пускач FC 1/6	1	$U_H = 24 \text{ В}, I_H = 6 \text{ А}, P = 0,04 \text{ кВт}$

KM3	Проміжне електромагнітне реле ABB CR-M024AC4	1	$U_H = 24 \text{ В}$, $I_H = 6 \text{ А}$, $P = 0,0045 \text{ кВт}$
QF1	Автоматичний вимикач Schneider Electric C120N	1	$U_H = 400 \text{ В}$, $I_H = 100 \text{ А}$ $P = 0,001 \text{ кВт}$, крива відмикання С
QF2	Автоматичний вимикач RESI9 Schneider Electric R9F02306	1	$U_H = 220 \text{ В}$, $I_H = 6 \text{ А}$, $P = 0,0000352 \text{ кВт}$, крива В
Щит керування			
HL2	Сигнальна лампа зелена AD22-22DS 24V	1	$U_H = 24 \text{ В}$, $P = 0,0003 \text{ кВт}$
HL3	Сигнальна лампа червона AD22-22DS 24V	1	$U_H = 24 \text{ В}$, $P = 0,0003 \text{ кВт}$
SB1, SB5	Кнопки керування червоні XB2-BA42	2	1NC, $U_H = 24 \text{ В}$, $P = 0,0000308 \text{ кВт}$
SB2, SB6	Кнопки керування зелені XB2-BA31	2	1NO, $U_H = 24 \text{ В}$, $P = 0,0000308 \text{ кВт}$

Додаток Д Таблиця надписів на табло і в рамках на щиті автоматики.

Номер	Текст напису	Кількість	Примітка
1	Тиск в трубопроводі 1 максимальний	1	
2	Зворотній хід М1	1	
3	Тиск в трубопроводі максимальний	1	
4	Зворотний хід М4	1	
5	Тиск в трубопроводі мінімальний	1	
6	Прямий хід М1	1	
7	Тиск в трубопроводі мінімальний	1	
8	Прямий хід М4	1	
9	Витрата ацетальдегіда	1	
10	Витрата каталізатора	1	
11	Вимкнення двигуна М1	1	
12	Вмикання двигуна М1	1	
13	Вимкнення двигуна М4	1	
14	Вмикання двигуна М4	1	

Додаток Е Специфікація обладнання, виробів та матеріалів

Позиція	Назва параметра	Середовище відбору інформації	Гр. значення	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Марка модель	Код	Завод-виробник	К-ть	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.1. Прилади і засоби автоматизації										
2А, 3А,4А, 5А,6А, 7А,8А, 9А,10А, 11А,14А, 15А,16А, 17А,18А, 19А,20А, 21А, 22А	Витрата	-	-	Трубопровід	Витратомір	Optimass 7000	-	м. Київ,, «КАНЕКС КРОНЕ»	19	1
2Б, 3Б,4Б, 5Б,6Б, 7Б, 8Б, 9Б,10Б, 11Б, 14Б, 15Б, 16Б, 17Б, 18Б, 19Б, 20Б, 21Б, 22Б	Те саме	Те саме	-	Місцевий	Електричний блок А1 4...20 мА, живлення 220 В	Блок Optimass 7000-Е	-	м. Київ, «КАНЕКС КРОНЕ»	19	1
2В, 3В, 4В, 5В, 6В, 7В, 8В, 9В,	Те саме	Те саме	-	Місцеві	ПД-регулятор багатофункціональний	МІК-21	-	м. Івано-Франківськ, ООО	19	1

10В, 11В, 14В, 15В,				й	мікропро- цесорний, плата комута- цій КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20мА			«МІКРОЛ»		
1А, 13А,	Температура	Трубопровід		Трубопр овід	Термометр опору, R ₀ =50 Ом, - 45...260оС , І вимір/тах =5 мА, W100=1,4270	ТС48П		м. Київ, «СВ АЛЬТЕРА»	2	10,5
1Б, 13Б,	Те саме	Те саме		Те саме	Перетворювач сигналу до пульта керування	БО-31		м. Івано- Франківськ , ООО «МІКРОЛ»	2	2,5
1В, 13В,	Те саме	Те саме		На пульті	Індикатор технологічний мікро- процесорний, плата комутацій КБЗ17К-01, вихід АО1= 4... 20мА	ІТМ-11		м. Івано- Франківськ, ООО «МІКРОЛ»	2	11,5
HL1,HL2,HL3,HL4,HL5, HL6, HL7,HL8	Технологічна сигналізація	Те саме		На пульті	Лампа «жовта», 45 Вт, 220 В, Е27/27	Б215- 215- 30		м. Київ «СВ АЛЬТЕРА»	8	0,1

13А, 23А	Концентрація	Трубопровід		По місцю	Кондуктометричний перетворювач аналізатора рідин	АЖК- 3101.1		м. Володимир «Автоматика»,	2	7
Щити										
					Шафа щита 700x500x250 УХЛ4	ММК752				
					Трубопровідна апаратура					
					Вентиль DN15, PN16.					
Кабелі і проводи										
					Провід зі звитими жилами гнучкий ГОСТ7399-80	ПВС 2x0,75				
						ПВС 3x1,5				
						ПВС 4x0,75				
						ПВС 4x1,0				
					Проволока мідна багатожильна ТУ16.К17.067-80	ММ 8,0				
Монтажні матеріали і вироби										

					Коробка з'єднувальна	КС-16-20-1 У1			
					Труба стальна водогазо- провідна ГОСТ3262-91	8x2,8			
					Трубка мідна ГОСТ617-90*	6x1			
					Труба гофрована гнучка DN16	RKGL-16			
					Труба гофрована гнучка DN20	RKGL-20			
					Кабель – канал перерізом 60x40	КМ1-60x40			
Електроапарати									
SB1...SB6				Щит керування	Пост керування кнопочний	ПКУ 15-21-131 У3	Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	6	
SA1... SA3	-	-	-	-	Кнопка запобіжного відмикання;	КМЕ-5111У	-	3	
K1, K2				Щит керування	Електромагнітне реле	РКН	Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	2	0,4
K3, K6				Щит	Електромагнітне	РЕС9	Трест	2	0,4

				керування	реле			«Променергоавтоматика», м. Київ		
K4,K5,K7,K8				Щит керування	Електромагнітне реле	РПС 15		Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	4	0,4
HL1... HL32	-	-	-	-	Лампа сигнальна світлодіодна	ЛС-151	-	Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	32	
KM2, KM4	-	-	-	Місцевий	Магнітний пускач безконтактний, нереверсивний	ПМЛ 1100	-	ХЕМЗ, м. Харків,	2	0,32
KM1, KM3	-	-	-	Місцевий	Магнітний пускач безконтактний, реверсний	ПБР-2М	-	ХЕМЗ, м. Харків,	2	0,4

