

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра «Автоматизації хімічних виробництв»**

## **МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

*на тему: « Синтез системи керування технологічним процесом лужного  
очищення дизельного палива»*

**Виконав:**

Потіп А.С.  
студент VI курсу, ІХФ  
група ЛА-71мп  
залікова книжка № ЛА-7107мп

**Керівник магістерської дисертації:**  
к. т. н., доцент Жученко О.А.

Київ – 2018

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_ 66.096.5 \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_  
р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані**  
**технології**

(код і назва)

на тему: «Синтез системи керування технологічним процесом лужного очищення дизельного палива»

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи ЛА-71мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Потіп Анна Сергіївна..... ...  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

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

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

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

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

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

**Інженерно-хімічний факультет**

(повна назва)

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Потіп Анна Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації « Синтез системи керування технологічним процесом лужного очищення дизельного палива»

,

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

затверджені наказом по університету від « 12 » \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_ 2018 р. №4139-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження процес лужного очищення дизельного палива \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані Математична модель процесу лужного очищення дизельного палива ; імітаційне моделювання роботи контуру регулювання температури в технологічному апараті з процесу лужного очищення дизельного палива \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Навести аналіз схеми технологічного процесу; вказати особливості перебігу процесу лужного очищення дизельного палива, розробити математичну модель об'єкта керування; моделювання алгоритмів для системи керування; здійснити оптимізацію \_\_\_\_\_ технологічного \_\_\_\_\_ процесу

÷

6. Орієнтовний перелік графічного ( ілюстративного )матеріалу матеріали презентації до захисту магістерської дисертації

7. Орієнтовний перелік публікацій Тези на тему: «Розроблення математичної моделі трубчатої печі в процесі лужного очищення дизельного палива»

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис технологічного процесу та об'єкта керування	04.10.2018	
2	Математичне моделювання процесів в апаратах технологічної схеми переробки вторинного нафтового дистиляту	20.10.2018	
3	Оптимізація технологічного процесу	05.11.2018	
4	Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком	15.11.2018	
5	Розробка стартап-проекту	20.11.2018	
6	Оформлення звіту	04.12.2018	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ А.С. Потіп \_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ О.А. Жученко \_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## Реферат

Магістерська дисертація містить розробку математичної моделі та синтезу системи керування процесом лужного очищення дизельного палива та розробки алгоритмів та програмних модулів для імітаційного моделювання роботи контуру регулювання температури технологічного апарату, та оформлена у записку об'ємом 98 сторінок. Пояснювальна записка містить 51 рисунок, 36 таблиць, 21 літературних джерел в тому числі 5 публікацій автора до дисертації.

У магістерській дисертації об'єктом дослідження є процес лужного очищення дизельного палива Предметом дослідження є математична модель технологічного апарату трубчастої печі,.

У магістерській дисертації досліджено особливості роботи технологічного апарату як об'єкта керування, для якого проведено математичний опис для синтезу системи керування температурою.

У магістерській дисертації проведена оптимізація технологічного процесу та розрахунок оптимального керування ці зворотнім зв'язком

Також в магістерській дисертації було розроблено стартап-ідею щодо використання інформаційних технологій на виробництві.

*Ключові слова:* трубчата піч, сушарка, математична модель, автоматичний регулятор, статичні характеристики, динамічні характеристики, кубовий залишок, оптимізація, об'єкт керування, автоматизація, дистанційна навчальна система.

## **Abstract**

The master's dissertation contains research into the system of control of the process of alkaline cleaning of diesel fuel and the development of algorithms and software modules for simulating the operation of the temperature control circuit of the technological apparatus, and is executed in a note of 98 pages. The explanatory note contains 51 pictures, 36 tables, 20 literary sources including 5 publications of the author for the dissertation.

In the master's thesis the object of research is the process of alkaline purification of diesel fuel. The subject of the study is a mathematical model of the processor apparatus of the tubular furnace, to the development of an applied training package; simulation model of the temperature control circuit.

In the master's thesis the features of work of the technological apparatus as a control object for which a mathematical description for the synthesis of the control system of temperature was made are investigated.

In the master's dissertation the optimization of the technological process and calculation of optimal control of these feedback are carried out.

Also, in the master's thesis was developed a start-idea about the use of information technology in production.

*Keywords:* features of tubular, dryer, mathematical model, automatic control, static characteristics, dynamic characteristics, bottoms, optimization, project management, automation, remote training system.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЛУЖНОГО ОЧИЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	10
1.1 Опис технологічної схеми процесу лужного очищення дизельного палива .....	10
1.2. Значення дизельного палива .....	12
1.3. Способи очищення дизельного палива .....	15
1.4. Основні показники якості дизельного палива .....	18
1.5. Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва .....	21
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ .....	25
2.1 Вступ .....	25
2.2 Аналіз існуючих математичних моделей .....	28
2.3 Математична модель трубчастої печі .....	30
2.4. Результати роботи розробленої математичної моделі трубчастої печі. ....	32
2.5.Висновки .....	43
3.РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ .....	59
3.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора.....	59
3.2 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою .....	64
3.3 Порівняння результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком .....	68
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ».....	73
4.1. Опис ідеї стартап-проекту .....	73
4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту .....	75
4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту .....	75
4.4. Характеристика потенційних клієнтів.....	77
4.5. Фактори загроз та можливостей.....	78
4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку .....	80
5.7. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	87
4.8. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	89
4.9. Висновки.....	91
ВИСНОВКИ.....	91

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$F$  – витрата

$t$  – температура

$Q$  – кількість тепла

$c$  – теплоємність

$i$  – ентальпія

$\rho$  – густина

$V$  – об'єм

$q$  – питома теплотворність

$s$  – площа поверхні теплообміну

ТЗА – технічні засоби автоматизації

$Kr$  – коефіцієнт пропорційності

$Ti$  – час ізодрому



## ВСТУП

Тема магістерської дисертації : "Синтез системи керування технологічним процесом лужного очищення дизельного палива ". Виробництво дизельного палива за свою історію пройшло велику кількість етапів розкидку, кожен з яких характеризується певними особливостями. На сучасному етапі головним є посилення на технологічний фактор підвищення якісних характеристик палива. Дизельне паливо, відіграє важливу роль в різних сферах життя людини.

Цим і ,можна сказати, визначається актуальність даної теми , тому процес лужного очищення дизельного палива потребує детального дослідження та вивчення.

Для забезпечення ефективної роботи технологічного процесу лужного очищення дизельного палива необхідно розробити систему контролю і керування , яка б враховувала температурний режим в трубчатій печі.

Новизна роботи полягає в математичному моделюванні трубчатої печі за допомогою програми Comsol, автоматизації технологічного процесу лужного очищення дизельного палива, яка може бути використана в подальшому навчанні. Потрібно розрахувати оптимальне керування процес зі зворотнім зв'язком за допомогою оптимального лінійно-квадратичного регулятора.

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЛУЖНОГО ОЧИЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Опис технологічної схеми процесу лужного очищення дизельного палива

Виробництво дизельного палива за свою історію пройшло велику кількість етапів розкидку, кожен з яких характеризується певними особливостями. На сучасному етапі головним є посилення на технологічний фактор підвищення якісних характеристик палива. Безліч методів відома для покращення цих характеристик. Процес лужного очищення дизельного палива є один із головних з них[1].

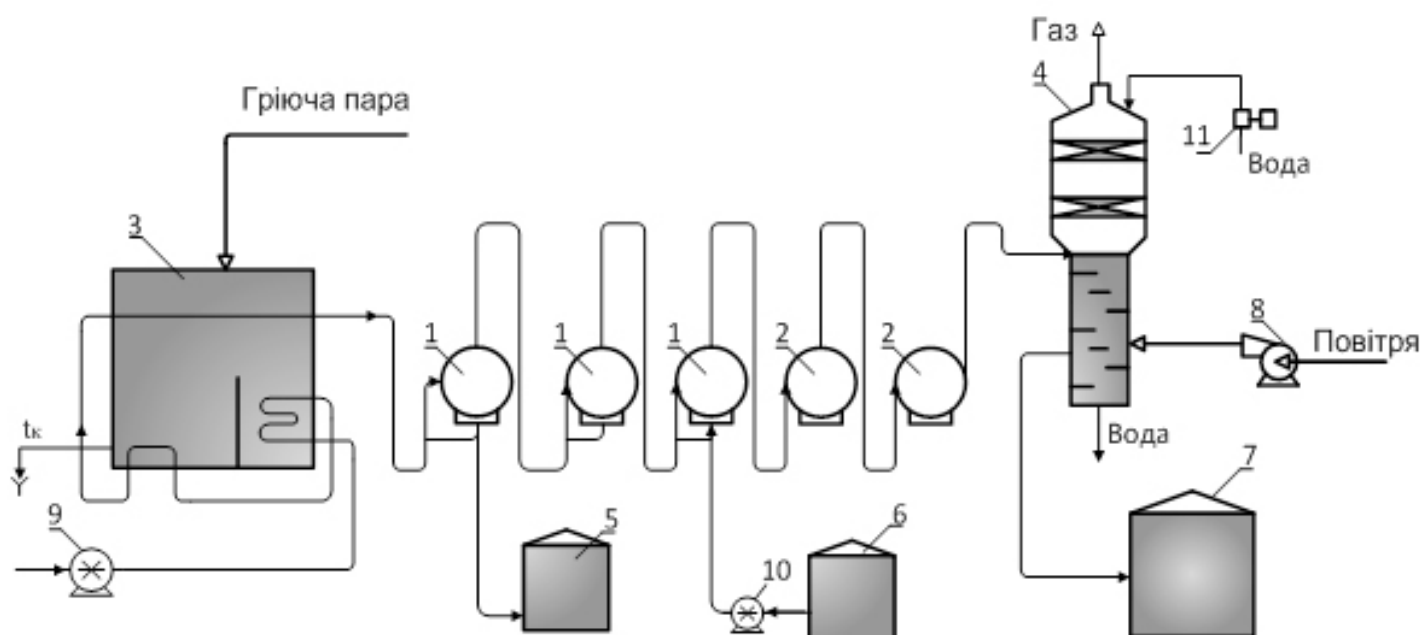


Рис. 1.1 – Технологічна схема лужного очищення дизельного палива .

1 – апарати для виловування; 2 – відстійники; 3 – трубчаста піч; 4 – сушарка; 5 – посудина для лужних відходів; 6 – посудина для свіжого луку; 7 – посудина для очищеного дизельного палива; 8 – вентилятор; 9 – насос для подачі сировини; 10 – насос для подачі луку; 11 – насос для подачі води

Очищення дизельного палива є одним з важливих та важких етапів, так як до нього висувається ряд технологічних вимог, яким повинно відповідати дизельне паливо. Що до дизельного палива, яке виробляється в Україні, його якість відповідає мінімальним вимогам, а за деякими головними показниками поступається ринку за кордоном.

Технічні умови, в яких на даний момент перебувають виробництва України, не мають всього переліку показників які є у світового підходу з оцінки якості дизпалива. І це є однією з причин, яка обов'язково відобразиться при проведенні більш детального аналізу.

Лужне очищення проводиться аналогічно для дизельного палива так і для гасу, але різниця між цими двома процесами в тому що, дизельне паливо перед змішуванням з лугом підігрівається до конкретної температури. Тому дуже важливу роль відіграє саме процес нагрівання і саме в трубчастій печі. Схема установки процесу лужного очищення дизельного палива наведена на рисунку.

Дизельне паливо поступає в трубчасту піч 3, де відбувається нагрівання сировини до певної температури. По трубопроводу сировина потрапляє в апарати 1, де і відбувається процес вилуговування, дизельне паливо змішується з лугом в посудині 6, з якої подається свіжий луг, а лужні відходи після процесу вилуговування потрапляють до посудини 5. Потім після процесу вилуговування сировина надходить до відстійника 2, де в подальшому потрапляє до апарату 4.

Це сушарка, яка складається з двох частин. У верхній частині сушарки продукт, для повного відділення промивають прісною водою, який після чого потрапляє до нижньої частини. Ця частина апарату складається з чотирьох тарілок, на які потрапляє сировина, де в подальшому висушується гарячим повітрям. Тобто дизельне паливо подається на верхні тарілки, а повітря на нижні, коли вони зустрічаються продукт осушується. Після, вже очищене дизельне паливо подається до посудини 7[2].

Схема автоматизації лужного очищення дизельного палива ДП. ЛАЗ1.12.00.001.СхА. Зменшена копія функціональної схеми автоматизації лужного очищення дизельного палива на рис.1.2. Специфікація технічних засобів до цієї схеми наведено у Додатку 2.

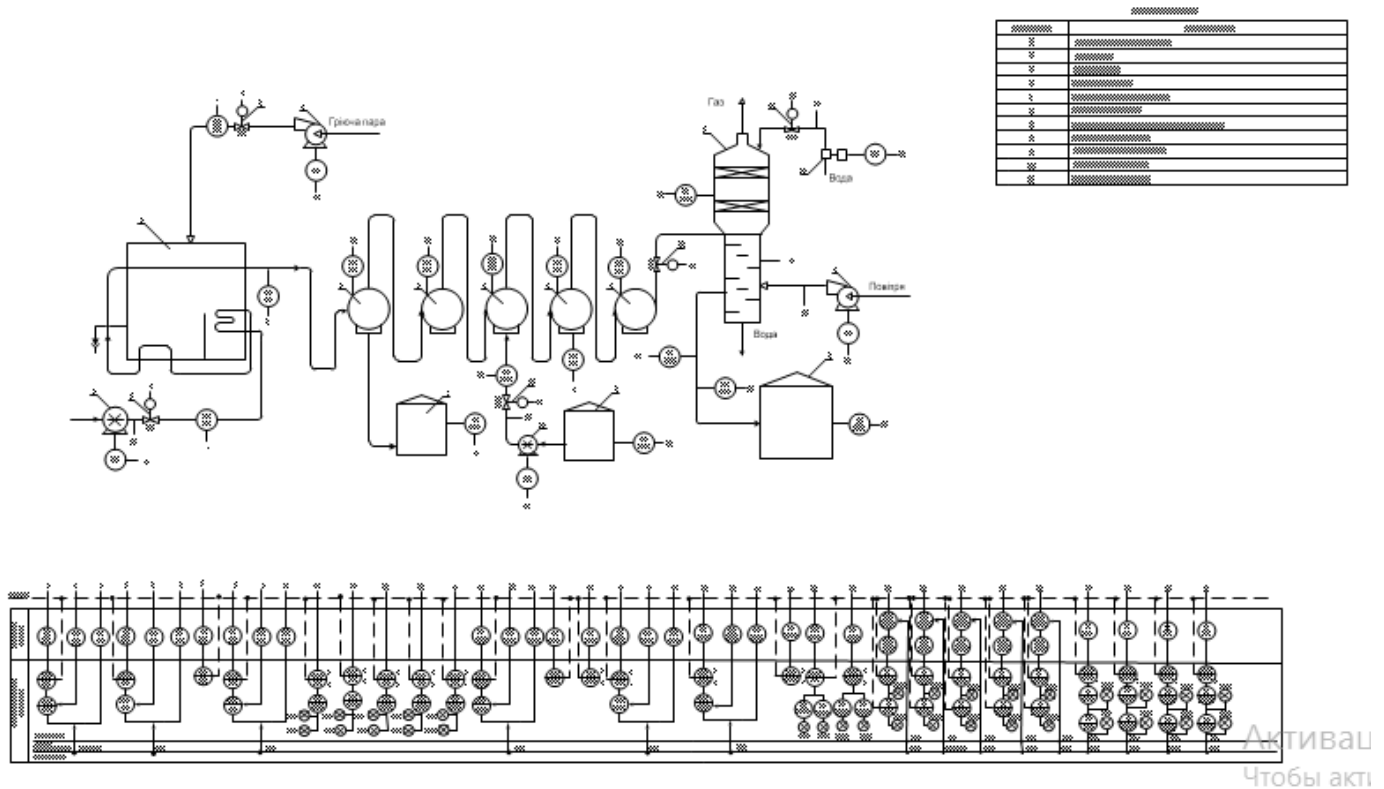


Рис.1.2 – Функціональна схема автоматизації лужного очищення дизельного палива.

## 1.2. Значення дизельного палива

Дизельне паливо – рідка речовина, що використовується як паливо в дизельному двигуні.

Це прозора і більш в'язка, ніж бензин, рідина жовтого або світло-коричневого кольору (в залежності від вмісту в ній смол), що використовується як паливо в дизельному двигуні.

Основні споживачі дизельного палива:

- залізничний транспорт;
- вантажний автотранспорт;

- водний транспорт;
- військова техніка;
- дизельні електрогенератори;
- сільськогосподарська техніка;
- легковий дизельний автотранспорт.

Крім дизельних двигунів, залишкове дизельне паливо найчастіше використовується в якості котельного палива, для просочування шкір, в мастильно-охолоджуючих засобах і гартівних рідинах, при механічній і термічній обробці металів. Щохвилини тисячі машин їздять перевозючи мільйони вантажів по всій країні. І звичайно, великий процент використовують дизельне паливо, яке в свою чергу вважається одним з найважливіших енергоресурсів, на якому, можна сказати, тримається велика частина промисловості в цілому. Дизельне паливо відоме тим що має нижчу вартість ніж інші нафто продукти. Це можна пояснити тим що дизельне паливо одержується при перегонці найбільш важких фракцій нафти і як наслідок високу кількість одержуваного матеріалу. Можна зазначити, що в кризовий час, саме продаж дизельного палива значно зростає в порівнянні з іншими нафтопродуктами, продаж яких значно зменшується.

Вважається, що дизельне паливо є другосортний продукт. І багато хто думає, що воно підходить для грубих виробничих апаратів.

Але можна з повною впевненістю стверджувати, що деякі марки бензину на даний момент часу можуть поступатися багатьом видам якісного дизельного палива.

У лабораторіях на даний момент в Україні є 5 основних параметрів перевірки:

- цетановий індекс,
- фракційний склад, один з головних і важливих параметрів,
- температура спалаху в закритому тиглі
- вміст сірки
- щільність

За вимогами в дизельному паливі не повинно міститися сторонніх домішок і механічних частинок. Наявність домішок може спричинити загрозу правильної роботи двигуна і це може привести до того що, механізм двигуна піддається підвищеному зносу.

Фільтрування дизельного палива відбувається декілька разів, постійно зменшуючи розмір комірок, це забезпечує належний фракційний склад палива. Щоб дизельне паливо зберігало достатній ступінь в'язкості і не нашкодило двигуну, визначають температурний режим в якому його можна експлуатувати.

Розрізняють літнє та зимове дизельне паливо (за режимом роботи) і так зване арктичне дизпаливо, але продаж його в звичайних умовах не здійснюється. До мінус тридцяти градусів витримує зимове дизельне паливо. Ну і нарешті, цетанове число – це число палива, яке визначає здатність палива до згорання.

Продаж дизельного палива здійснюється по всій країні і по всьому світу, завдяки такій популярності і попиту, а доставку палива забезпечують сотні бензовозів.

Це не так вже й проста справа, доставка дизпалива. Може утворитися надлишкова води, при недотриманні технічних норм транспортування. Ця вода може спричинити погіршення якісних характеристик дизельного палива і як наслідок поставити під загрозу самі двигуни автомобілів і агрегатів.

Важко переоцінити важливість дизельного палива в регіонах країни та України в цілому. Завдяки дизельному паливу в містах і селищах, де неможливо здійснити іншу схему опалення, обігріваються тисячі будинків та працює сільськогосподарська техніка.

Для дитячих садів, шкіл, лікарень при надзвичайних ситуаціях, при обривах ліній електропередач або інших така клізмах, електрика виробляється на дизельних генераторах. На даний момент використовують сучасні присадки і багаторівневі очищення, які дозволяють багаторазову знизити кількість шкідливих викидів речовин, але це заспокоює суперечки з приводу впливу дизельного палива на екологію.

Можна зазначити, що більш якісні види дизельного палива відрізняються і виділяються своєю низькою ціною, в порівнянні з бензином, але не поступаються своїми характеристиками. Ці всі достоїнства лише підкреслюють важливе значення дизпалива в житті людини.

### **1.3. Способи очищення дизельного палива**

Відмінність процесу відцентрової очистки від гравітаційної полягає в тому, що визначаючи відцентрову силу враховують не прискорення вільного падіння, а відцентрове прискорення. У цьому випадку дія гравітаційної сили значно менше, ніж відцентрової. Тому при проведенні практичних розрахунків гравітаційної силою переважно нехтують. Опір же руху частинок надає сила опору рідкого середовища.

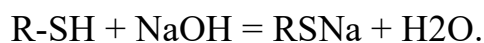
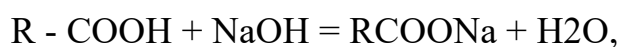
На практиці для того, щоб створити відцентрове поле при очищенні дизельного палива, використовуються установки двох типів - нерухомі і ті що обертаються. У перших обертається потік дизельного палива. А в інших паливо разом з ротором самого апарату. У науковій літературі пристрої першого типу ще іменуються як гідроциклони, а другого - як центрифуги (відцентрові сепаратори).

Завдання будь-якої очистки палив - це видалення з них (або перетворення) шкідливих домішок, до числа яких відносяться:

- органічні кислоти;
- сіро і азоторганіческіе з'єднання;
- металоорганічні сполуки;
- ароматичні вуглеводні і смоли;
- м-парафінові вуглеводні.

Відповідно, існуючі процеси очищення від цих домішок – вилуговування, демеркаптанізація, гідроочищення, гідродеметалізація і гідродесароматизація, а також депарафінізації.

Вилуговування - це дуже простий процес обробки нафтопродукту розчином лугу. В результаті інтенсивного контакту лугу з нафтопродуктом органічні кислоти перетворюються в натрові мила, що вимиваються потім водою з нафтопродукту. Частково видаляються також легкі меркаптани, перетворюються в меркаптіди. При цьому протікають наступні реакції:



Витрата лугу залежить від початкового вмісту домішок і ступеня її спрацювання (по кінцевій концентрації лугу) і становить:

- для зрідженого газу - 0,5-1,0 кг / т;
- для бензину - 0,3-0,5 кг / т;
- для дизельного палива-0,1-0,4 кг / т.

Ступінь очищення визначають пробою на мідну пластину; по цій пробі визначається також спрацювання лугу і необхідність її заміни.

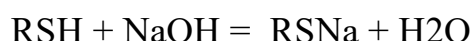
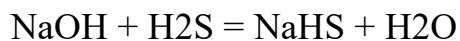
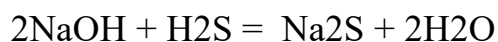
Великий недолік лужної очистки - безповоротний витрата лугу (на сучасної великої АВТ - до 1500 кг / добу) і велика кількість лужного стоку у вигляді відпрацьованої лугу і відпрацьованої промивної води. Очищення ж їх на сучасному НПЗ представляє великі труднощі. Проте вилуговування світлих нафтопродуктів широко використовується на сучасних заводах, так як є найбільш простим способом попереднього очищення палив.

Лужне очищення застосовується для видалення з нафтопродуктів сірководню, нижчих меркаптанів і нафтових кислот; лужна доочищення - для

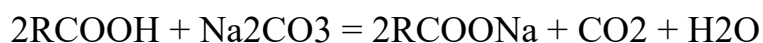
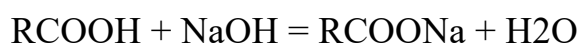


видалення з нафтопродуктів слідів сірчаної кислоти і кислих продуктів реакції після сірчаноокислотного очищення[12].

Для видалення сірководню застосовують зазвичай розчин їдкого натру або кальцинованої соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Сірководень реагує з лугом за рівнянням:



Нафтові кислоти утворюють з лугом або содою солі нафтових кислот-мила:



Солі нафтових кислот переходять у водний розчин лугу і, таким чином, легко відокремлюються від нафтопродукту.

Для лужної очистки світлих нафтопродуктів зазвичай застосовують 10% розчин  $\text{NaOH}$ . Температура вилуговування бензинів 40-50 °С, гасу 60-70 °С, дизельних палив 80-90 °С. Підвищення температури зменшує небезпеку утворення водних емульсій і полегшує відстій нафтопродукту від лужного розчину. Сліди лугу видаляються з нафтопродукту водної промиванням.

В даний час найбільш широко поширена напівбезперервна схема вилуговування паливних дистилатів. Нафтопродукт надходить безперервно, а лужний розчин циркулює в системі і періодично оновлюється. Відпрацьований розчин містить 2%  $\text{NaOH}$ . Таким чином, ступінь використання лугу становить 80%[3].

При вилуговуванні бензинів каталітичного крекінгу кінцева концентрація лугу повинна бути не менше 3,5-4%, в іншому випадку спостерігається

підвищений вміст фактичних смол внаслідок недостатньо глибокого видалення сірчистих сполук при вилуговуванні.

Якість очищення контролюють спеціальною пробою на корозію мідної пластинки. Як тільки очищається продукт перестане витримувати цю пробу, відпрацьований лужний розчин повністю замінюють свіжим.

Витрата лугу залежить як від кінцевої концентрації лугу в відпрацьованому розчині, так і від змісту сірчистих або кисневих з'єднань в очищеному продукті.

#### **1.4. Основні показники якості дизельного палива**

При очищенні дизельного палива важливо знати і дотримуватися основних показників якості. А також знати, які вимоги до палива є не тільки в нашій країні, а в країнах Європейської спільноти та за межами. Показники якості змінюються з кожним роком таким чином це покращує розвиток в сфері очищення дизельного палива, удосконалюються підприємства та вводяться нові технології для досягнення відповідних показників[17].

Завдяки новим нормам виготовлення і використання дизпалива, в повітря майже не викидаються продукти згорання палива, які раніше здатні були в значній мірі негативно вплинути на здоров'я людини. Зараз, за часів нових екологічних стандартів, в атмосферу практично не потрапляють такі речовини, як:

- різні види твердих частинок;
- оксиди азоту;
- всілякі вуглеводні;
- небезпечні окису вуглецю, а також безліч інших, не менш шкідливих для здоров'я людей речовин[17].

У лабораторіях на даний момент в Україні є 5 основних параметрів перевірки:

- цетановий індекс;
- фракційний склад, один з головних і важливих параметрів;

- температура спалаху в закритому тиглі;
- вміст сірки;
- щільність;

Однією з важливих експлуатаційних характеристик дизпалива є низькотемпературна властивість, вона характеризується показниками якості:

- температура застигання;
- гранична температура фільтрування;
- температура помутніння;

Присутність води в паливі, може стати причиною таких несправностей:

- відмова насоса високого тиску ;
- руйнування поверхонь НВД внаслідок корозії, через сірчасту кислоту, яка утворилася при взаємодії сірки і водяної пари;
- порушення роботи форсунок внаслідок корозійного впливу води;
- прогар дна поршня;
- збільшення зносу поршнів
- збільшення кількості відпрацьованих газів.

Дизельне паливо поділяють на зимові і літні сорти, маркують по сірці . Крім того, літні - по температурі спалаху, зимові - за температурою застигання. Позначення марок дизпалива починається, як правило, з однією з трьох букв: Л (літнє), З (зимове) або А (арктичне). Потім йде цифра 0.2, 0.4 або 0.5, що позначає максимально допустимий вміст сірки в процентах. Далі йде цифра, яка для літнього дизпалива характеризує температуру спалаху в закритому тиглі, а для зимового - температуру застигання. З метою виключення помилок "мінус" перед значенням температури пишеться словом, а не знайомий "-".

В СРСР, а згодом і в Україні відповідно до ГОСТ 305-82 дизельне паливо поділялося на наступні марки:

- літній - використовується при температурі повітря не нижче  $0^{\circ}\text{C}$  і має в своєму позначенні кількість сірки і температуру спалаху, наприклад, Л-0,2-40;
- зимовий - застосовується при температурах не нижче  $-20^{\circ}\text{C}$  і має в позначенні кількість сірки і температуру застигання, наприклад, З-005 ( $-25^{\circ}\text{C}$ );

- арктичне - застосовується до  $-50^{\circ}\text{C}$ , має в позначенні кількість сірки і температуру застигання, наприклад, А-005 ( $-50^{\circ}\text{C}$ ).

В даний час вищевказаний стандарт СРСР застарів, але старі позначення солярки ще можна зустріти в запитах споживачів.

У Європейському союзі з початку введення в 1993 р стандарту EN 590 (спочатку Євро-1), дизельне паливо набуло класифікацію по температурно-кліматичних зонах застосування: Class A - F для температур від  $+5$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ , Class 0 - 4 для температур від  $-20$  до  $-44^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 1.3– Присадки до моторного палива

Присадки	Призначення
Антиоксидантні стабілізатори	Підвищують окисну стабільність палив, тим самим запобігаючи смоло- і осадоутворенню
Деактиватори металів	Зв'язують у неактивні комплекси мідь, залізо і інші метали — промотори окиснювання вуглеводнів
Мийні присадки	Зменшують утворення відкладень на деталях двигунів і паливної апаратури, у тому числі двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину. Додатково надають паливам протиліодові й антикорозійні властивості
Антидимні присадки	Зменшують концентрацію диму в газах дизельних двигунів, але мало впливають на викиди інших токсичних компонентів
Антинагарні присадки	Зменшують нагароутворення в камері згоряння, на клапанах і розпилювачах форсунок дизельних двигунів
Антисажові присадки	Знижують температуру згоряння сажі на поверхні сажових фільтрів
Антидетонатори	Запобігають детонаційному горінню бензинів
Промотори запалювання	Поліпшують запалювання дизельних палив
Антистатичні присадки	Запобігають нагромадженню зарядів статичної електрики в паливах
Біоциди	Запобігають псуванню палива мікроорганізмами
Диспергуючі присадки до мазутів	Підвищують фізичну стабільність залишкових палив, поліпшують їх сумішоутворення з повітрям, мають захисні властивості
Каталізатори горіння мазутів	Підвищують ефективність горіння залишкових палив

Вміст води і твердих частинок. При зберіганні палива в неповній ємності вода може потрапити в паливо через конденсації, а під час перевезення палива в цистерні в нього можуть потрапляти механічні домішки, тому рекомендується

обов'язково фільтрувати паливо перед заливкою його в паливний бак. Підвищений вміст в паливі водних фракцій і твердих суспендованих частинок істотно знижує термін служби фільтрів, а також всієї системи подачі палива в цілому.

Незважаючи на велику кількість параметрів при класифікації дизпалива використовується тільки два з них: масова частка сірки і температура помутніння. Але в паспортах якості дизпалива зазвичай вказуються 15-20 ключових показників солярки.

### **1.5. Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва**

Лужне очищення проводиться аналогічно що для дизельного палива, що для гасу, але різниця між цими двома процесами в тому що, дизельне паливо перед змішуванням з лугом підігрівається до конкретної температури. Тому дуже важливу роль відіграє саме процес нагрівання і саме трубчаста піч. Схема установки процесу лужного очищення дизельного палива наведена на рисунку.

Дизельне паливо поступає в трубчасту піч 3, де відбувається нагрівання сировини до певної температури. По трубопроводу сировина потрапляє в апарати 1, де і відбувається процес вилуговування, дизельне паливо змішується з лугом в посудині 6, з якої подається свіжий луг, а лужні відходи після процесу вилуговування потрапляють до посудини 5. Потім після процесу вилуговування сировина надходить до відстійника 2, де в подальшому потрапляє до апарату 4. Це сушарка, яка складається з двох частин. У верхній частині сушарки продукт, для повного відділення промивають прісною водою, який після чого потрапляє до нижньої частини. Ця частина апарату складається з чотирьох тарілок, на які потрапляє сировина, де в подальшому висушується гарячим повітрям. Тобто дизельне паливо подається на верхні тарілки, а повітря на нижні, коли вони зустрічаються

продукт осушується. Після вже очищене дизельне паливо подається до посудини 7.

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу лужного очищення дизельного палива слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- витрати дизельного палива, що надходить у трубчастій печі 3;
- температури у печі 3 (не вище 120 °С);
- рівень рециркуляту, що надходить у відстійник 2;
- витрати повітря, що надходить у апараті 3;
- температури у апараті для вилуговування 1;
- рівня дизельного палива у апараті для вилуговування 1;
- температури у апараті для вилуговування 1;
- концентрація дизельного палива у апараті 2;
- концентрація дизельного палива у апараті 2;
- витрати свіжого луку, що надходить у апарат для вилуговування 6;
- рівня лужних відходів у посудині 5;
- рівня свіжого луку у посудині 6;
- температури повітря, що надходить у сушарку 4;
- рівня дизельного палива у апараті 4;
- рівня дизельного палива у посудині 7;
- концентрації очищеного дизельного палива , що надходить у посудині 7;
- тиск пари у сушарці 4.

Результати аналізу подані у таблиці 4.

Таблиця 1.4 –Параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування я стадії процесу,	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми техно- логічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (кон- троль, регулювання, сигналізація)
----------	---	--	---	--

1	2	3	4	5
1	Трубопровід, дизельне паливо	Витрата	-	Контроль
2	Трубчаста піч, Пульпа	Температура	105...115 °C	Контроль
3	Відстійник	Рівень	-	Контроль
4	Трубопровід, Повітря	Витрата	-	Контроль
5	Апарат для вилуговуванн я, суміш	Температура	-	Контроль
6	Апарат для вилуговуванн я, суміш	Рівень	-	Контроль
7	Апарат для вилуговуванн я, суміш	Температура	-	Контроль
8	Відстійник, Суміш	Концентрація	-	Контроль
9	Відстійник, Суміш	Концентрація	-	Контроль
10	Трубопровід, Луг	Витрата	-	Контроль
11	Посудина для лужних відходів	Рівень	-	Контроль
12	Посудина для свіжого луку	Рівень	-	Контроль
13	Трубчаста піч, Пульпа	Температура	110 °C	Контроль, сигналізація

14	Сушрка, суміш	Рівень	-	Контроль
15	Посудина для очищеного дизельного палива	Рівень	0,6...27,5 м	Контроль, сигналізація
16	Трубопровід, очищене дизельне паливо	Концентрація	-	Контроль, сигналізація
17	Сушарка, повітря	Тиск	-	Контроль, сигналізація



## **РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ**

### **2.1 Вступ**

Відповідно до технологічних особливостей процесу лужного очищення дизельного палива температура матеріалу, який іде на подальшу обробку, відіграє значну роль, адже наступні фізико-хімічні процеси відбуваються, лише при заданій початковій температурі матеріалу. З вище згаданого слідує, що трубчаста піч, у якій відбувається нагрів матеріалу, є одним із найважливіших об'єктів виробництва. Саме тому, розробка математичної моделі трубчастої печі є важливою науковою задачею.

Трубчата піч – високотемпературний фізико-хімічний об'єкт з робочою камерою в якій відбувається горіння природного газу, та спіральною трубою по якій проходить матеріал. У процесі лужного очищення дизельного палива піч призначена для підігріву дизельного палива для подальшого очищення. На рисунку 2.1 наведена конструкція трубчастої печі.



Рис.2.1 – Конструкція трубчастої печі

Трубчасті печі можуть відрізнятися наступними ознаками:

- 1) формою – ширококамерні, вузькокамері, циліндричні, кільцеві, тощо;
- 2) відносним розташуванням осей факелу та труб – паралельне, перпендикулярне;
- 3) розташуванням труб радіації і конвекції – горизонтальне, гвинтове, тощо;
- 4) розташуванням конвекційної камери– верхнє, нижнє, бічне, середнє;
- 5) способом спалювання палива;
- 6) числом секцій в зоні радіації;
- 7) довжиною радіантних і конвекційних труб;
- 8) видом обмурівки – легка цегла, торкретбетон, волокнисті матеріали або блоки;

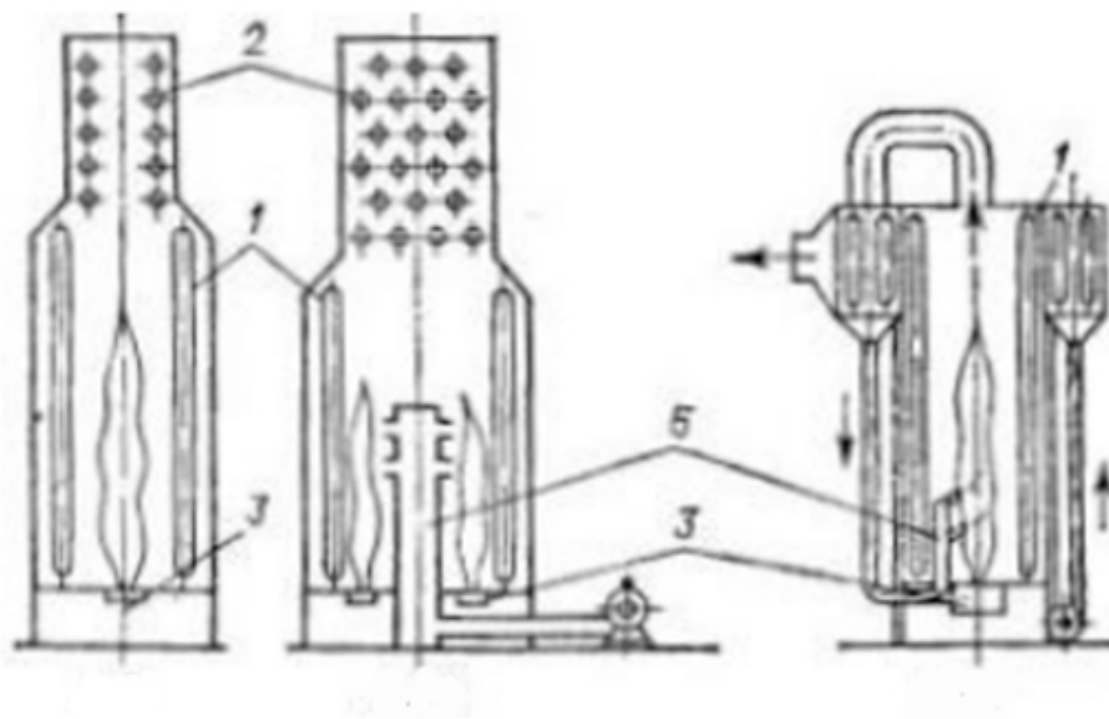


Рис. 2.2 –Циліндричні трубчаті печі

1 – радіантний змійовик; 2 – конвективний змійовик; 3 – пальники; 4 – пристрій для додаткової подачі газу у факел; 5 – пристрій для додаткової подачі повітря у факел

Відповідно до вище сказаного до математичної моделі висувається ряд вимог:

- Опис хімічної реакції горіння природного газу
- Опис потоку речовини
- Конвективний теплообмін між димовими газами спіральною трубою
- Розподіленість параметрів в зв'язку з наявністю зон печі

Для оптимального управління процесу нагріву матеріалів необхідна математична модель, що забезпечує виконання поставлених умов та часу розрахунку.

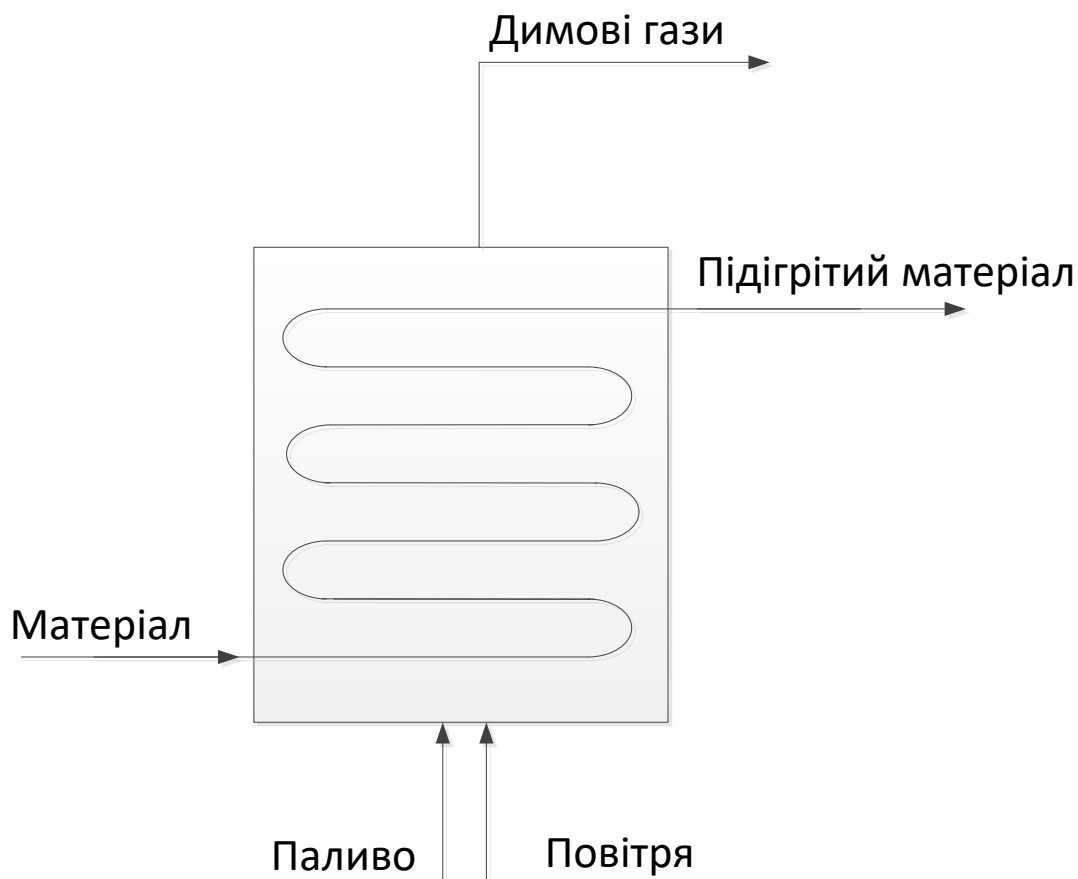


Рис.2.3 – Схема трубчастої печі

Схема печі наведена на рисунку 2.3 на якій можна спостерігати, що на вхід подається матеріал (дизельне паливо) та паливо з повітрям для підігріву. На виході з апарату ми отримуємо підігріте дизельне паливо та димові гази, які утворилися під час горіння.

## 2.2 Аналіз існуючих математичних моделей

Відповідно до поставленої задачі був проведений пошук існуючих математичних моделей та здійснений їх аналіз.

У даній моделі функції розподілу будуються на підставі накопичених статистичних даних про поведінку стохастичних параметрів. Труднощі застосовуваної методики пов'язана з необхідністю проведення великого числа експериментів на об'єкті під час ходу технологічного процесу для визначення параметрів законів розподілу стохастичних величин [11].

Інший підхід пов'язаний з використанням теорії нечітких

множин[12] і йде в сферу суб'єктивної інформації. Невизначені параметри характеризуються функціями приналежності, які будуються на основі опитувань експертів. Моделі, в яких невизначені параметри характеризуються функціями приналежності, отримали назва нечітких математичних моделей. Недоліком цієї методики є те, що для надійного побудови функції приналежності потрібно думку кількох експертів. Це не завжди можливо.

Отримана модель [13] пекарної камери, що складається з розбитих (умовно) на три ділянки газового обсягу, що складається з 12-ти диференційованих рівнянь і має три керуючих впливу є досить інформативною.

З її допомогою можна імітувати вплив теплових потоків та випромінювальних обсягів і поверхонь, що надає неоціненну допомогу при проектуванні систем управління.

Однак, при визначенні коефіцієнтів диференціальних рівнянь велику похибку вносять усереднення температури випромінюючих поверхонь. Усунути цей недолік можна, якщо ділянки розбити на секції, але тоді зросте і суттєво кількість рівнянь і їх рішення викличе значні труднощі.

Наведена математична модель [14] процесу горіння в технологічних печах для проектування оптимальних режимів промислових установок. Розрахунок статичних і динамічних характеристик керованого процесу дозволяє визначити основні параметри оптимальних процесів управління.

Без знання динамічних характеристик неможливо управління технологічними процесами в реальних умовах можливість отримання параметрів нестационарних режимів дозволяє в реальному часі з високим ступенем ефективності позбутися шкідливого впливу збурень ефективність даного підходу проілюстрована на процесах тепломасообміну в промислових об'єктах оптимальних режимів промислових установок. Розрахунок статичних і динамічних характеристик керованого процесу дозволяє визначити основні параметри оптимальних процесів управління. Без знання динамічних характеристик неможливо управління технологічними процесами в реальних

умовах. Можливість отримання параметрів нестационарних режимів дозволяє в реальному часі з високим ступенем ефективності позбутися від шкідливого впливу збурень.

### 2.3 Математична модель трубчастої печі

Основна задача полягає в комплексному використанні методу декомпозиції загальної проблеми на ряд окремих завдань. Побудови і дослідити модель складних систем з розподіленими параметрами та математичного моделювання тепломасообмінних процесів в трубчастій печі з метою підвищення ефективності та екологічної безпеки виробництва нафтопродуктів на базі принципів оптимального управління і контролю технічних систем. Розроблений в результаті програмний інструмент являє собою обчислювальну експериментальну установку, ефективність і економічність якої свідомо підвищує ефективність і економічність лабораторних і промислових досліджень, забезпечуючи безвідмовність, надійність, гнучкість, простоту освоєння в експлуатації.

Чисельний аналіз проводили із застосуванням методів розв'язання диференціальних рівнянь зі звичайними походами (метод Кутта-Мерсона і ін.) програмного комплексу COMSOL Multiphysics для систем рівнянь викладено принципи і завдання комп'ютерного моделювання процесів в трубчастій печі. Відповідно до проведеного аналізу та поставлених вимог, математична модель складається з ряду рівнянь:

Рівняння неперервності - співвідношення між швидкістю зміни густини матерії і її потоком.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (2.1)$$

де  $\rho$  — це масова щільність суміші,  $u$  — швидкість руху.

Рівняння руху — рівняння, яке задається закон еволюції механічної системи з часом.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + u \nabla \rho u + \nabla \times \vec{P} = 0 \quad (2.2)$$

Рівняння збереження енергії

$$\rho T_{\pi} \left( \frac{\partial S}{\partial t} + u \nabla P \right) = \frac{\rho x}{\tau} q - Q(T_{\pi}) + K_1(T_c - T_{\pi}) \quad (2.3)$$

де  $\rho$  – масова щільність суміші;  $u$  – швидкість руху,  $q$  – теплота згоряння палива;  $Q(T_{\pi})$  – втрати в навколишнє середовище;  $S$  – ентропія,  $T_c$  – температура сировини,  $K_1$  – коефіцієнт теплопередачі для робочого потоку,  $T_{\pi}$  – температура продуктів згорання,  $P$  – тиск.

Рівняння теплообміну

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} - \omega \nabla T_c = K_2(T_{\pi} - T_c) - Q(T_n) \quad (2.4)$$

де  $\rho$  – масова щільність суміші;  $u$  – швидкість руху,  $q$  – теплота згоряння палива;  $Q(T_{\pi})$  – втрати в навколишнє середовище,  $T_c$  – температура сировини,  $T_{\pi}$  – температура продуктів згорання,  $K_2$  – коефіцієнт теплопередачі для стінки печі.

Трубчаста піч призначена для передачі тепла продукту, що виділяється під час спалювання палива безпосередньо в цьому ж апараті. Відповідно до вище зазначеного, до математичної моделі висувається ряд вимог: опис хімічної реакції горіння природного газу як основного джерела теплоти та розподіленість параметрів.

У зв'язку з цим метою даної роботи є розробка математичної моделі трубчатої печі в процесі лужного очищення дизельного палива, яка забезпечувала б виконання поставлених до неї вимог.

Рівняння

(2.1) – (2.4) є математичною моделлю теплового процесу печі, яка може бути реалізована щодо швидкості руху суміші та концентрації горючої речовини в суміші по довжині камери згорання і використана для отримання інших параметрів печі, які залежать від  $x$  і  $u$ .

Математична модель:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(p u) &= 0 \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + u \nabla \rho u + \nabla \times \vec{P} &= 0 \\ \rho T_{\pi} \left( \frac{\partial S}{\partial t} + u \nabla P \right) &= \frac{\rho x}{\tau} q - Q(T_{\pi}) + K_1(T_c - T_{\pi}) \\ \frac{\partial T_c}{\partial t} - \omega \nabla T_c &= K_2(T_{\pi} - T_c) - Q(T_{\pi})\end{aligned}$$

Моделювання проводилось при початковій температурі всіх складових печі 293 К. Витрата палива становить 20 м<sup>3</sup>/год, витрата повітря відповідно до необхідного для повного згорання палива складає 220 м<sup>3</sup>/год. Початкова температура природного газу та повітря приймається 300 К.

#### **2.4. Результати роботи розробленої математичної моделі трубчатої печі.**

Для моделювання розробленої математичної моделі трубчатої печі було створено геометрію печі, що наведена на рисунку 2.4.



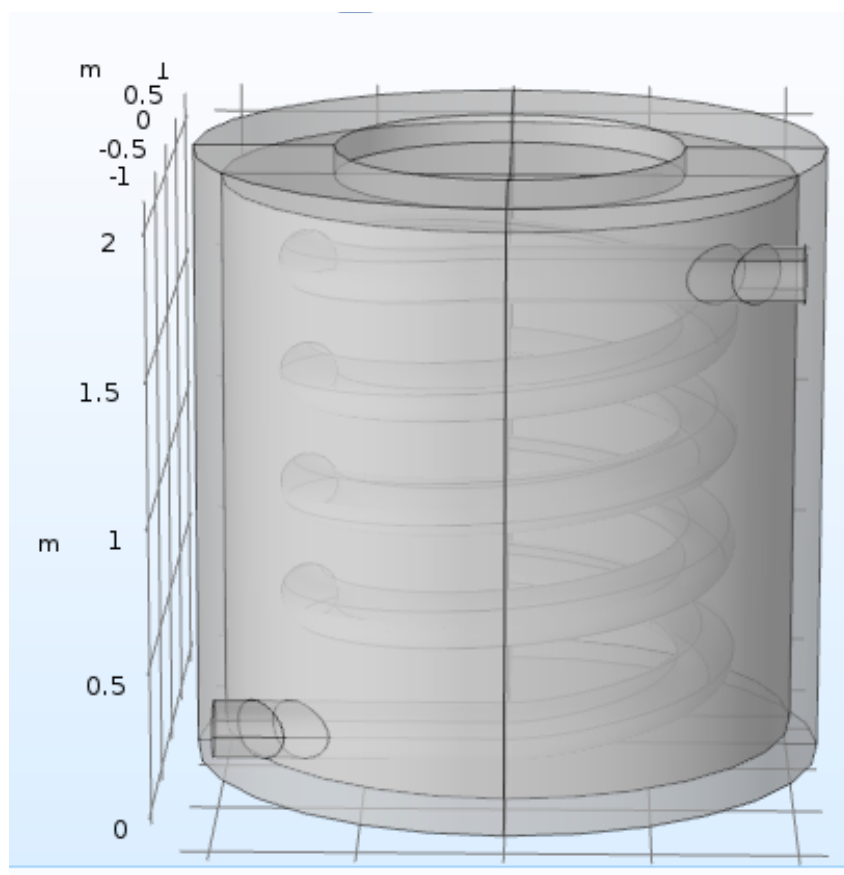


Рис.2.4 – Геометрія печі

Трубчаста піч складається циліндричної чотирьох секційної камери, оснащеною вбудованим підігрівачем (пальником) та змішувиком, який розташований вертикально по корпусу апарату, по якому тече дизельне паливо.

Усі значення технологічних параметрів, що використовуються моделюванні занесені до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 –Властивості матеріалів

<i>Назва</i>	<i>Числове значення</i>	<i>Розмірність</i>
Температура печі	293	К
Витрата повітря відповідно до необхідного для повного згорання палива складає	220	м <sup>3</sup> /год
Витрата гріючої пари	141	м <sup>3</sup> /год

Ентропія	20.101	кДж/кг
Густина гріючої пари	2800	кг/м <sup>3</sup>
Витрата дизельного палива	20	м <sup>3</sup> /год
Теплоємність дизельного палива	2.9	кДж/(кг·К)

Крім наведених в цій таблиці значень, використовуються також додаткові параметри:

$q = 0.286$  – питома теплотворність трубчастої печі, кДж/кг;

$s = 25$  – площа поверхні теплообміну трубчастої печі, м<sup>2</sup>;

$F = 1308$  – коефіцієнт теплопередачі трубчастої печі, Вт/м<sup>2</sup>·К;

Результати розрахунків наведені на рис.2.5-2.10. З рисунку 2.5 видно, що мінімальна температура повітря становить 450 К, а максимальна 600К. Також можна зазначити, що температура по всьому об'єму розподілена рівномірно. Нагрів в апараті відбувається поступово. Максимальна температура, а саме 600К, спостерігається знизу циліндричної камери, де вбудований палик і з висотою температура зменшується.

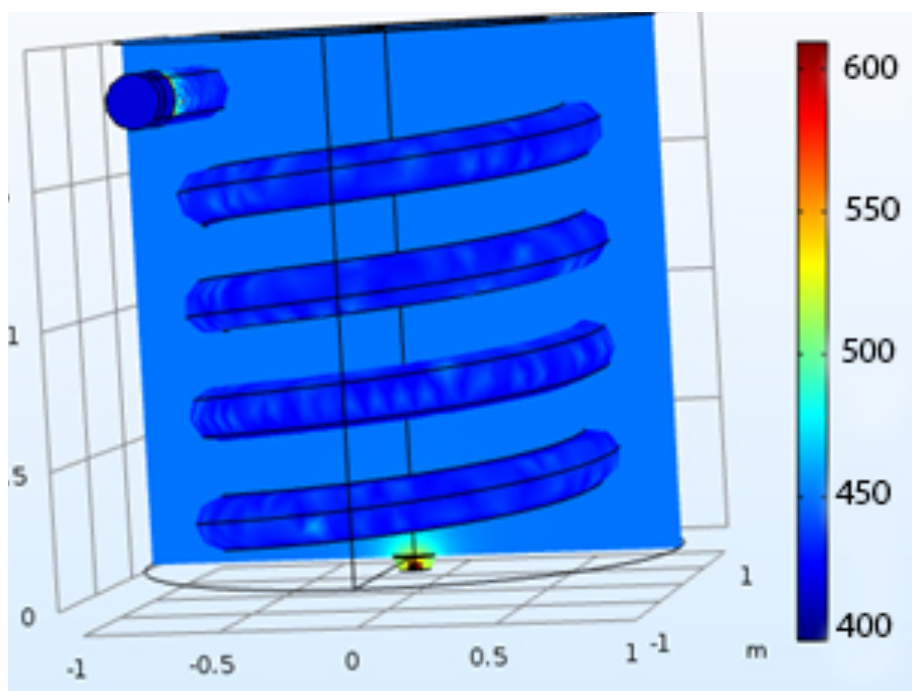


Рис.2.5 – Температура простору печі

З рисунку 2.6 видно, що температура в трубопроводі змінюється з 310K до 400K. Нагрів відбувається поступово по всьому трубопроводу. Максимальна температура, як видно з рисунку, знаходиться з внутрішньої частини змійовика і зменшується від центру до стінок корпусу. Також можна зазначити, що по всій довжині паливо підігрівається однаково і можна зробити висновок, що виході ми отримаємо якісний продукт.

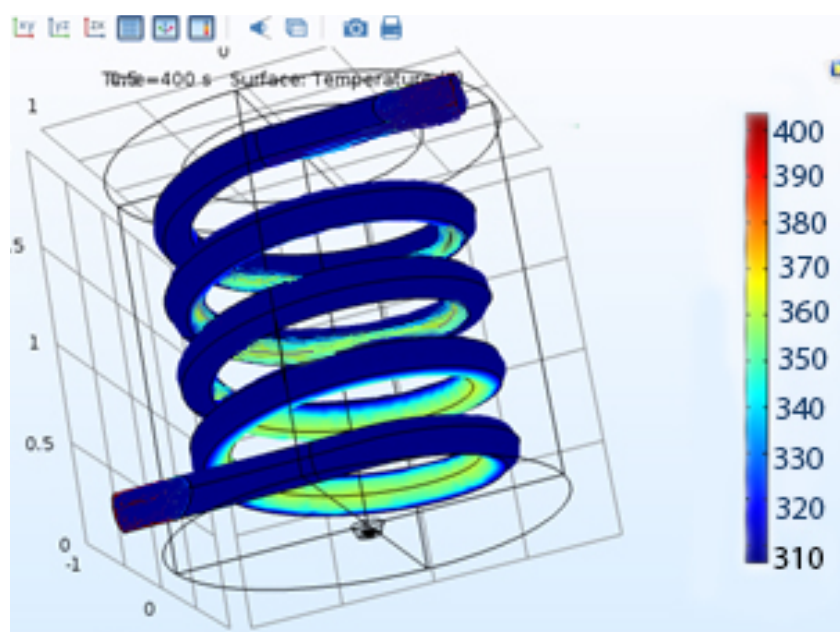


Рис.2.6 –Температура трубопроводу печі

З рисунку 2.7 видно, що мінімальна температура у всьому апараті становить 450 К, а максимальна 600К. Також можна зазначити, що температура по всьому об'єму розподілена рівномірно. Нагрів в апараті відбувається поступово, температура в трубопроводі змінюється з 310 до 400К, змінюючись від центру до стінок апарату. Нагрів відбувається поступово по всьому трубопроводу. По всій довжині змійовика паливо підігрівається однаково.

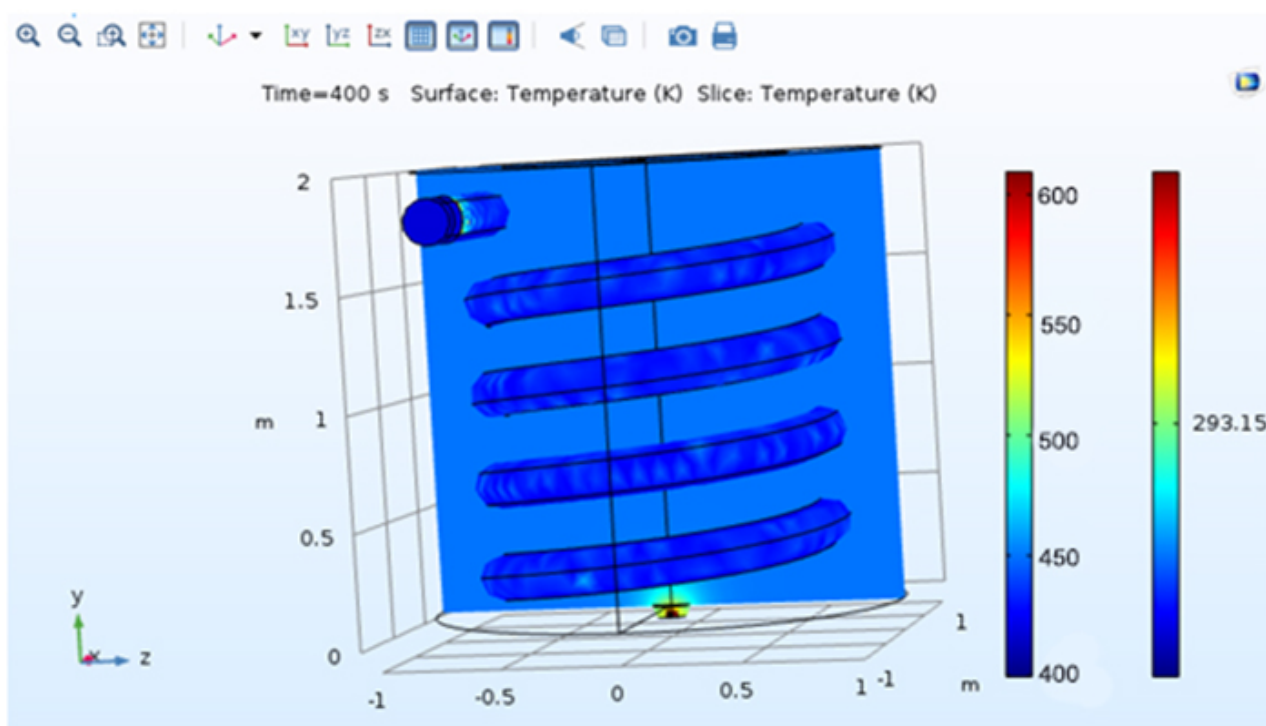


Рис.2.7–Температура у всій печі

Якщо горіння це хімічна реакція, то повинна бути зміна масових фракцій реагентів, що ми можемо спостерігати на рис.2.8-2.10.

Розглянемо рисунок 2.8, де показан процентний вміст палива, він змінюється від 0-2. Максимальні показники можем спостерігати у центрі пальника.

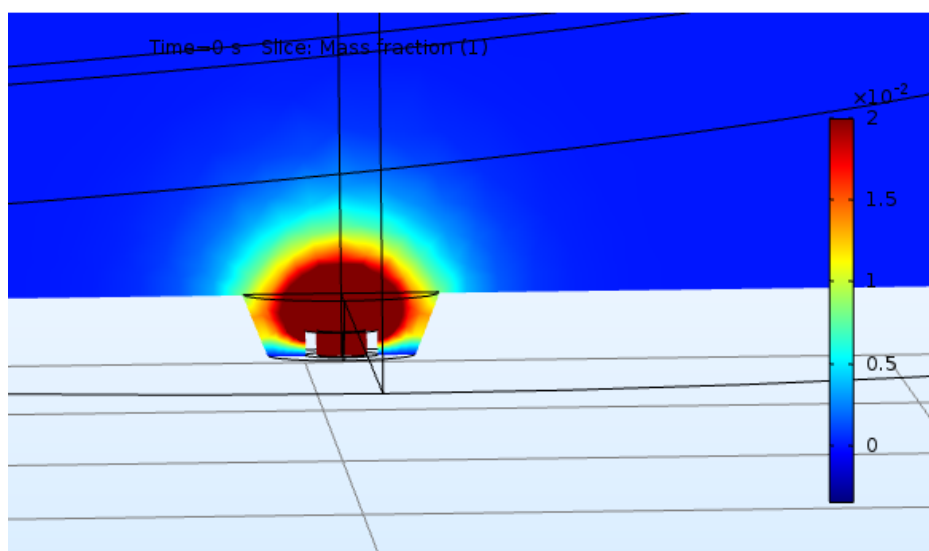
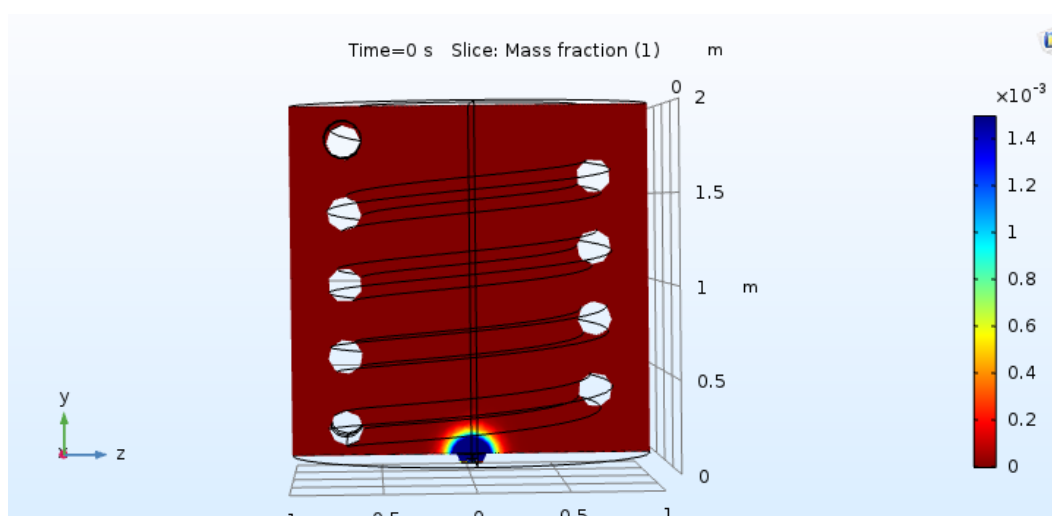


Рис. 2.8 – Масова фракція палива

Процентний вміст  $\text{CO}_2$  по всьому об'єму конструкції змінюється від 0 до 1.4, це можна спостерігати на рисунку 2.9.

Рис.2.9 –Масова фракція  $\text{CO}_2$ 

Процентний вміст води по всьому об'єму змінюється від 0 до 1.4, це можна спостерігати на рисунку 2.10.

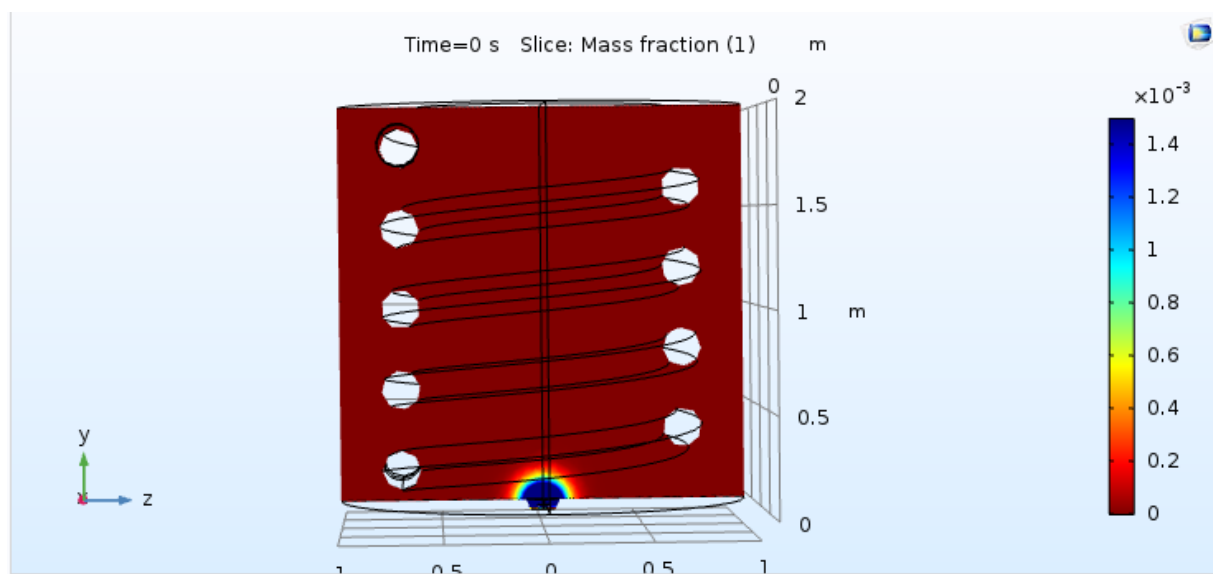


Рис.2.10 – Масова фракція води

Розглянемо перехідні характеристики по каналу витрати палива до температури дизельного палива на виході процесу. Максимальне значення спостерігається при часі 3.5 год. Це можна спостерігати на рисунку 2.11.

Для розробки системи керуванні на базі лінійно-квадратичного та лінійно-квадратичного з інтегральною складовою регуляторів треба отримати модель в просторі станів. Для цього використовується ідентифікація. Так як головним параметром є температура матеріалу на виході, то ідентифікація буде проводитися по контрольній точці. В якості контрольної точки обрано точку в середині трубопроводу на виході з апарату.

Ідентифікація об'єкта керування – це визначення математичної моделі. Яка створю зв'язок між вхідними та вихідними змінними об'єкта. Експериментальні методи є одним з головних для отримання рівнянь статички. Це відбувається при обробці дослідних матеріалів, які відповідають об'єкту.

Популярним методом, який базується на застосуванні штучних збурень. Вони подаються на об'єкт. Обробка результатів виконують за методом найменших квадратів. Найраше узгодження кривої  $y=f(x)$ , експериментальні точки при умові:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \min, \quad (2.5)$$

де  $x_i, y_i$  – експериментальні значення вхідної та вихідної змінних;

$n$  – загальна кількість дослідів;

$f(x)$  – апроксимуючий вираз.

Два варіанти вибору залежності  $y = f(x)$

- залежність  $f(x)$  відома на підставі теоретичних міркувань
- залежність  $f(x)$  невідома наперед;

В другому випадку задається у вигляді полінома певного степеня.

Апроксимуючий поліном містить добутки сигналів, якщо залежність вихідних величин  $y$  від вхідних сигналів  $x_i$ :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2. \quad (2.6)$$

Ідентифікація проводилася за допомогою модуля Simulink. System Identification Toolbox надає функції MATLAB, блоки Simulink і інтерактивні інструменти для створення і використання моделей динамічних систем. Можна використати дані входу, виходу в тимчасовій і частотній області для ідентифікації безперервних і дискретних передавальних функцій, моделей процесів і моделей в просторі станів. За допомогою System Identification Toolbox можна використовувати такі методи ідентифікації:

- максимальної правдоподібності,
- мінімізації помилки прогнозу (PEM),
- системної ідентифікації підмножини
- інші методи ідентифікації.

Для нелінійної системної динаміки можна оцінювати моделі Хаммерстайна-Вінера (Hammerstein-Weiner) і нелінійні моделі ARX (AutoRegressive model with eXternal input (авторегресійну модель із зовнішнім

входом) моделі з поділом і моделі з нелінійною мережею.

За допомогою System Identification Toolbox можна виконувати ідентифікацію системи як чорного ящика для оцінки параметрів певної користувачем моделі. Можна використати ідентифіковану модель для передбачення відгуку системи і для симуляції в Simulink.

System Identification Toolbox також дозволяє користувачеві моделювати дані часовій послідовності і виконувати прогнозування часовій послідовності. System Identification Toolbox дозволяє користувачеві створювати моделі по вимірним даними на вході і виході. З його допомогою можна:

- аналізувати і обробляти дані;
- визначати відповідну структуру, порядок моделі і виконувати оцінку параметрів моделі;
- перевіряти достовірність отриманої моделі.

Можна використовувати ідентифіковані лінійні моделі для аналізу і проектування системи управління за допомогою Control System Toolbox. Можна додавати ідентифіковані моделі в Simulink з використанням блоків, що надаються комплектом інструментів.

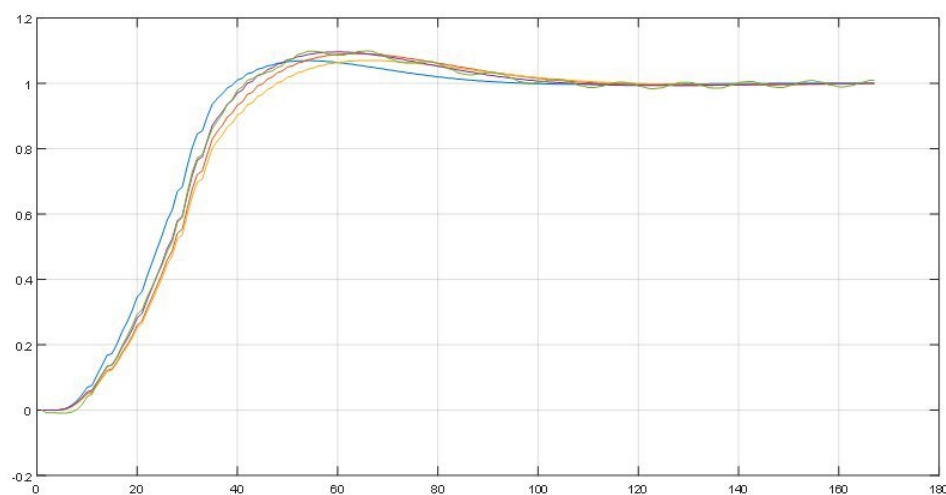




Рис.2.11- Результати ідентифікації

На рисунку 2.11, наведено результати ідентифікації чотирьох перших моделей. З рисунку видно що структура графік якої наведений фіолетовим кольором має найкраще відтворення повної моделі. Найкраще з задачею ідентифікації справилася модель у просторі станів, що наведена нижче.

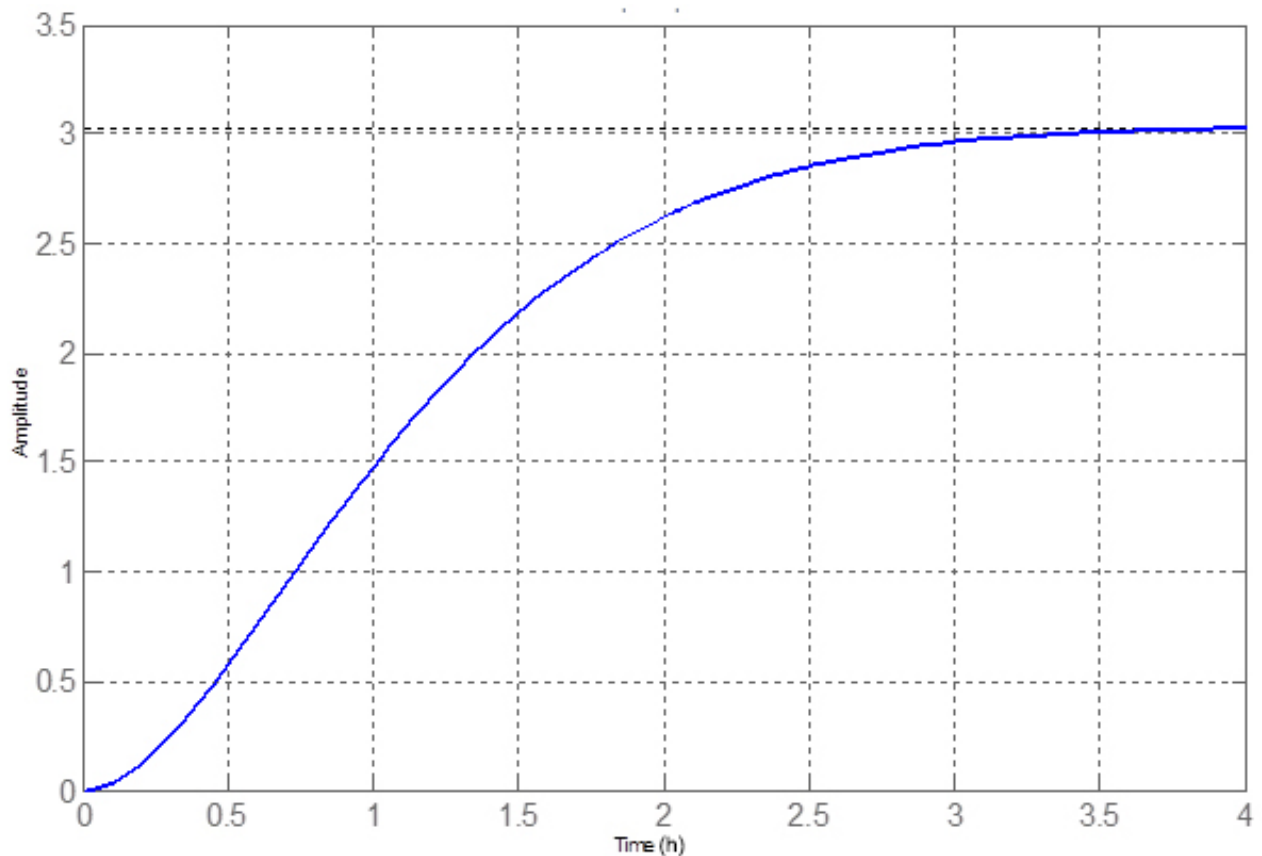
$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -0.41 & -1.14 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0.047 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$D = 0$$

Далі було побудовано з отриманої моделі перехідні характеристики даного об'єкту.

Рис. 2.11 – Перехідна характеристика по каналу  $F_{II} \rightarrow t_{дп2}$

Розглянемо перехідні характеристики по каналу витрати дизельного палива до температури дизельного палива на виході процесу рисунок 2.12.

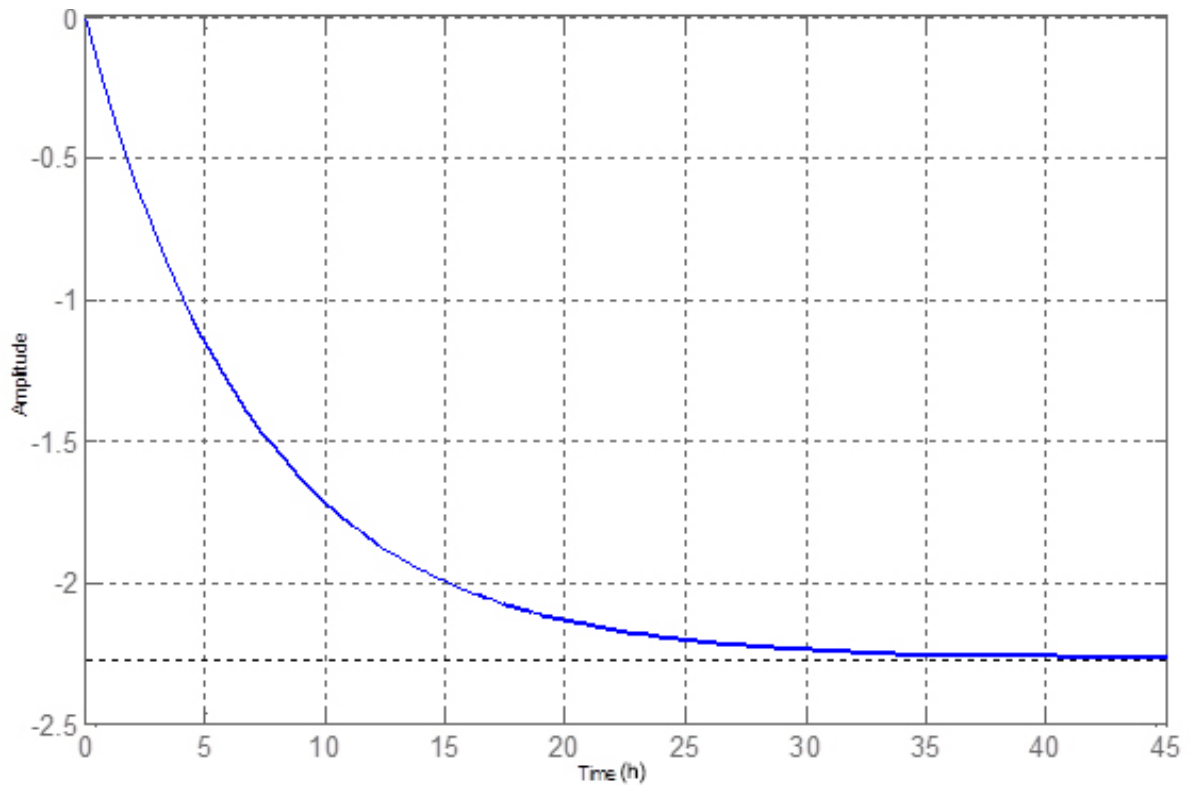


Рис. 2.12 – Перехідна характеристика по каналу  $F_{\text{дп}} \rightarrow t_{\text{дп2}}$

Розглянемо перехідні характеристики по каналу температура дизельного палива на вході в апарат до температури дизельного палива на виході процесу рисунок 2.13.

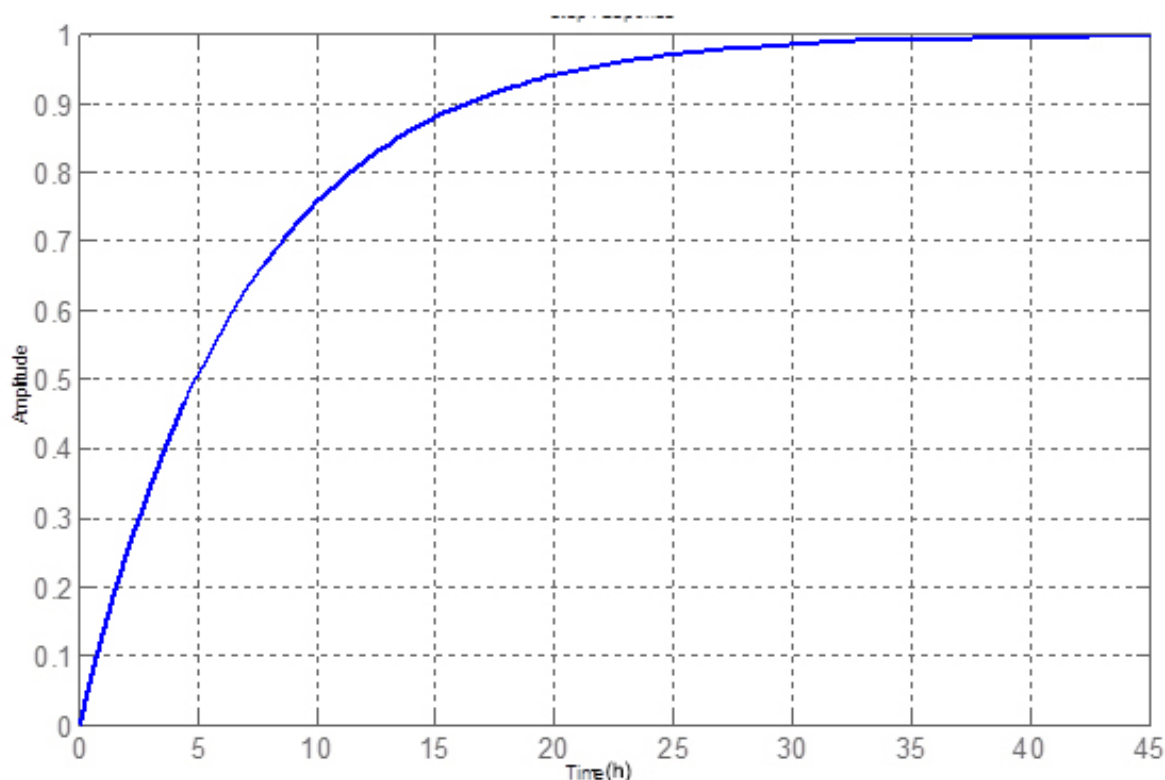


Рис. 2.13 –Перехідна характеристика по каналу  $t_{dp1} \rightarrow t_{dp2}$

## 2.5.Висновки

З результаті моделювання видно перепад температури по газовому середовищу печі з низу до верху. Наявна гаряча область печі, що розташовується біля паливоспалювального пристрою. Наявність цієї області підтверджується значним нагрівання внутрішньої сторони спіральної труби порівняні з зовнішньою.

З результатів моделювання концентрацій продуктів хімічної реакції можна зробити висновки, що в такому разі випадку відбувається повне спалювання палива, оскільки його вміст приймає значення відмінне від нуля лише в гарячій області печі, а саме у паливоспалювальні пристрої.

З рисунків видно, що мінімальна температура у всьому апараті становить 450 К, а максимальна 600К. Також можна зазначити, що температура по всьому об'єму розподілена рівномірно. Нагрів в апараті відбувається поступово, температура в трубопроводі змінюється з 310 до 400К, змінюючись

від центру до стінок апарату. Нагрів відбувається поступово по всьому трубопроводу. По всій довжині змійовика паливо підігрівається однаково.

Були побудовані графіки по каналам витрати дизельного палива до температури дизельного палива на виході процесу, температура дизельного палива на вході в апарат до температури дизельного палива на виході процесу, витрати палива до температури дизельного палива на виході процесу.

Перехідні характеристики по каналу витрати палива до температури дизельного палива на виході процесу. Максимальне значення спостерігається при часі 3.5 год. Було зроблена ідентифікація об'єкта, та отримана модель у просторі станів.

Можна зробити висновок, що розроблена математична модель трубчатої печі повністю виконує поставлені до неї вимоги. З аналізу результатів моделювання описаного об'єкту, було знайдено характерну гарячу зону печі, з аналізу концентрації реагентів - зроблений висновок щодо повноти спалення палива.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

### 3.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора

Структурна схема контуру керування температурою у трубчастій печі представлена на рисунку 4.1.

Оптимальний лінійний регулятор:

$$U(t) = -K(t)X(t)$$

де

$$K(t) = -R^{-1}BP(t)$$

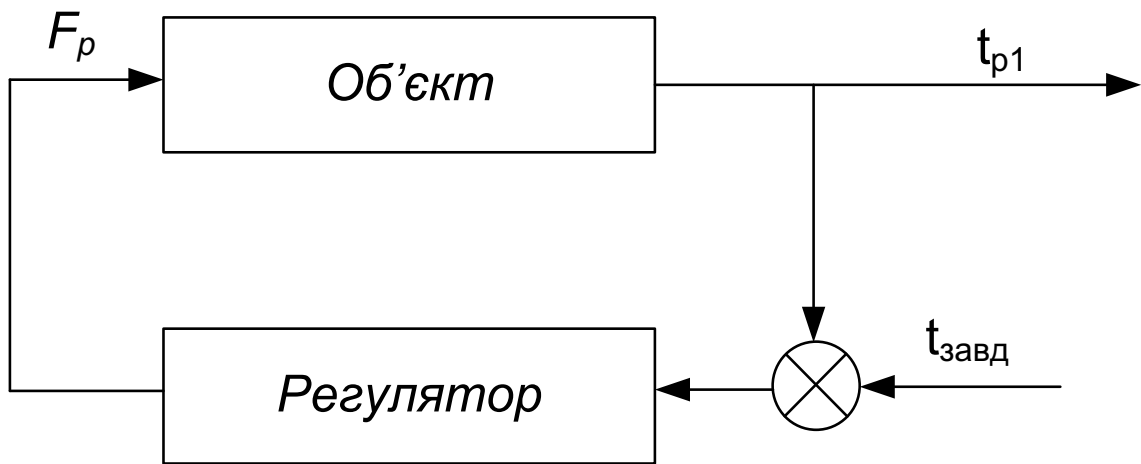


Рис.3.1 – Структурна схема контуру керування

Визначають лінійний оптимальний регулятор з  $K$  - матричний коефіцієнт підсилення, який використовується в лінійному оптимальному регулятор. Регулятор мінімізує критерій на траєкторіях системи його визначають виведені залежності, при цьому [15]:

1.  $K$  - можливе визначення поза контуром керування, оскільки він не залежить ні від  $X$ , ні від  $U$ . Для визначення коефіцієнта  $K$  потрібно розв'язати рівняння Ріккати в зворотному часі.

2. Якщо матриці  $A$ ,  $B$ ,  $R$ ,  $Q$  постійні і при  $t \rightarrow \infty$ ,  $P$  прямує до усталеного значення. Його можна знайти при розв'язку алгебраїчного нелінійного матричного рівняння:

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

І тому, це забезпечує сталість  $K$  (матричного коефіцієнта підсилення регулятора).

### 3. Смісл критерію якості.

Задану якість керування дозволяє досягти квадратичне рівняння кінцевого стану. Проте, вартість ресурсів впливає на важливість квадратичного рівняння керування, тому якщо вартість ресурсів не така велика, то й вибір квадратичного рівняння не обґрунтований. В окремих випадках квадратичне рівняння може отримати оптимальний закон зворотного зв'язку в аналітичному вигляді та замінити собою обмеження (явні) на величину керуючих дій.

Коли завдання великих вагових матриць  $R$  викликає відхилення фактичного кінцевого стану від заданого, а малих – призводить до більш великих значень  $U$ . Вимоги додатної визначеності матриці  $R$  і неможливість завдання явних обмежень на  $X$ ,  $U$  є основним обмеженням[15].

### 4. Узагальнюючи вимоги отримуємо наступний критерій якості

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

де враховуються взаємозв'язки між станом і керуваннями. І тому можна показати, що визначити оптимальний регулятор можна як і раніше[15]. Тобто виразом з коефіцієнтом підсилення:

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

Важливо враховувати вимоги існування оптимального ЛК регулятора:

1. мають бути повністю керовані  $[A, B]$ ;
2. нерівності  $R > 0, Q - NR^{-1}N^T \geq 0$  мають виконуватися;
3. Моди матриць  $[Q - NR^{-1}N^T, A - BR^{-1}N^T]$  не повинні відповідати умовам спостережуваності з власними значеннями на дійсній осі.

Похибка алгоритмів оптимізації, в реальних умовах, може значно зростати це залежить від великих інтервалів часу., що може призвести до нестійкості алгоритмів оптимізації. Нестійкості алгоритмів оптимізації, явище, яке пов'язане з рівнянням Ріккати (умовами реалізації)[15].

Код, який використовувався в *MatLab* для розрахунку оптимального лінійно-квадратичного регулятора:

```
function Lin_Reg
```

```
disp('Матриця A:')
```

```
A = [0 1; -0.041 -1.14]; Введення матриці A
```

```
disp('Матриця B:')
```

```
B = [0.047 0]; Введення матриці B
```

Параметри критерія якості:

```
disp('Матриця Q:')
```

```
Q = eye(2); Формування одиничної матриці
```

```
disp('Матриця R:')
```

```
R = 1; Введення матриці R
```

```
disp('Матриця N:')
```

```
N = [] ; Введення матриці N
```

```
disp
```

```
x0 = [350 326]'; Завдання вектора початкових умов
```

```
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
```

```
xd = [363 310]'; Завдання вектора заданих значень відхилень
```

```
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
```

```
ud = 0.8 % Завдання відхилень значень керування
```

```
disp('Час спостереження tf:')
```

```
tf = 10 % Завдання часу спостереження
```

```
disp('Довжина кроку dt:')
```

```
dt = 0.01 % Завдання довжини кроку
```

```
disp('Кількість кроків n:')
```

```
n = tf/dt
```

[K P E] = lqr(A,B,Q,R,N); Синтез регулятора

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

disp('Розв'язок рівняння Ріккати P:'); P

disp('Власні значення замкненої системи E:'); E

Визначення розмірності задачі

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

Формування векторів x и

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

Формування початкового стану

x(:,1) = x0;

Знаходження оптимального керування u та змінних стану x

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

Побудова динаміки змінних стану

plot(0:dt:tf-dt,x), grid

title('Динаміка руху змінних стану');

xlabel('Час, t');

ylabel('Змінні стану, X(t)');

legend('x\_1','x\_2')

Побудова вектора керування

figure(2)

plot(dt:dt:tf-dt,u), grid

title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); ylabel('Керування, U(t)');

legend('u')



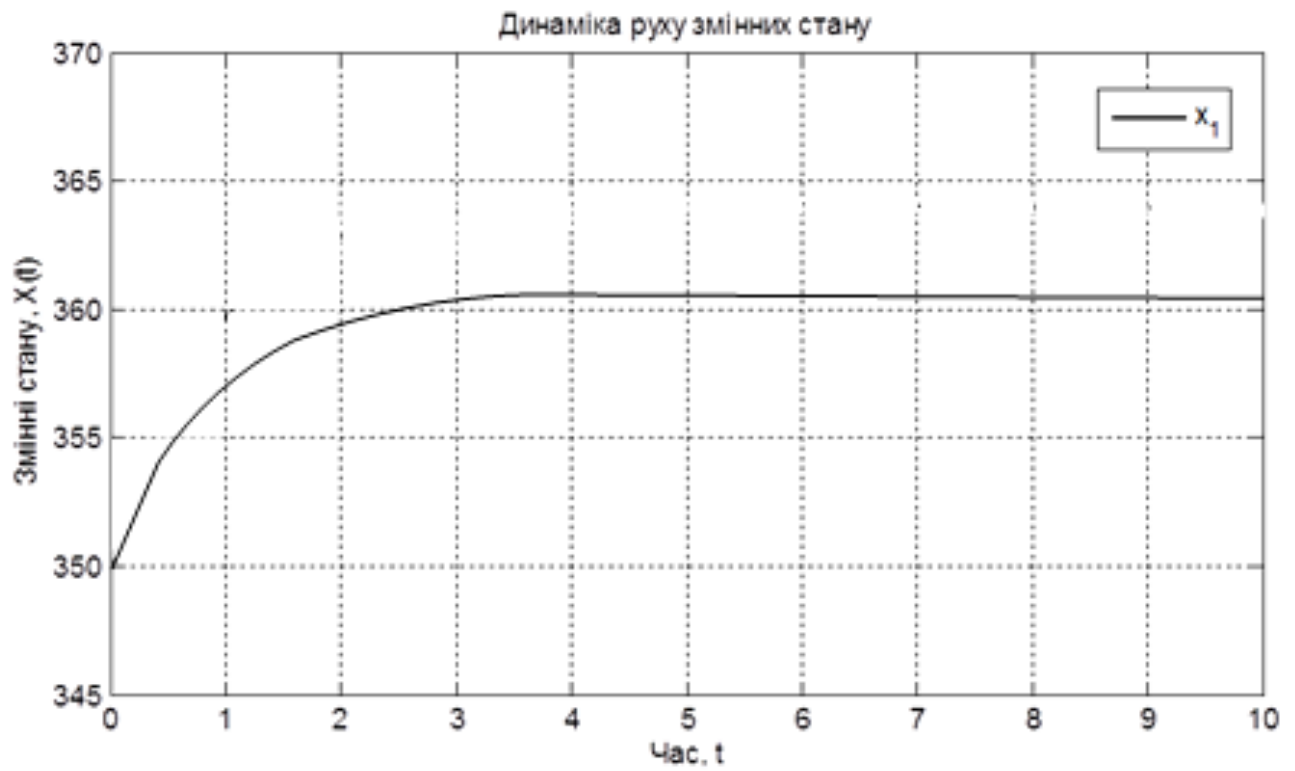


Рис.3.2.-Динаміка системи кування руху керування стану з лінійно-квадратичним регулятором

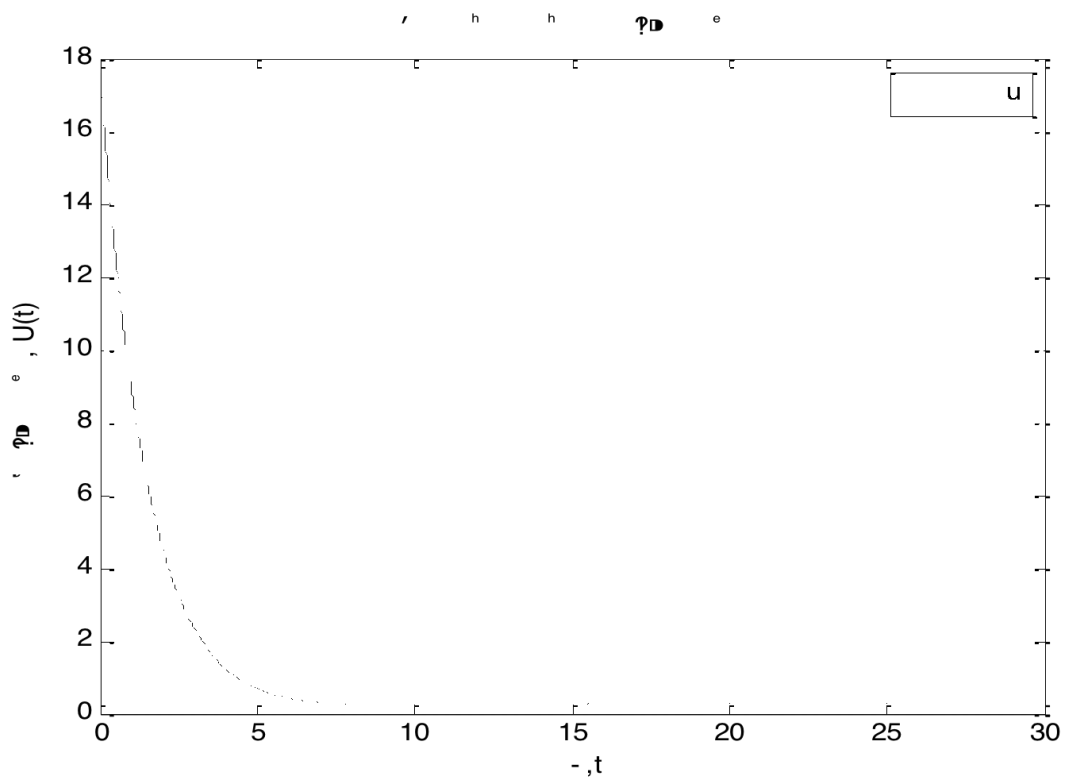


Рис.3.3- Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором

### 3.2 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою

За допомогою *MatLab* було виконане оптимальне керування зі зворотнім зв'язком з інтегральною складовою.

Лінійний регулятор, розв'язок задачі синтезу оптимального в квадратичному значенні закону керування для лінійної системи. Вони дозволяють, при ненульових початкових умов, звести до нуля вплив на вихід об'єкту, з плином часу. Але такі регулятори не забезпечують вимоги наявності жодного відхилення регулюючої величини від заданої у випадку постійних або вхідних впливів, що повільно змінюються. Тому, закон керування, для того щоб вони задовольняли такій вимозі, повинен мати дві складові, одна залежить від вектора стану, а друга складова від інтеграла вектора стану[15].

Бажано, щоб з'явилась інтегральна складова у керуванні, вона знижує похибки керування. І тому треба переформулювати постановку задачі.

Код *MatLab* ( розрахунок оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою):

```
function Lin_reg_Int
disp('Матриця A:')
A = [0 1; -0.041 -1.14]; Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [0.047; 0]; Введення матриці B
Параметри критерія якості:
disp('Матриця Q:')
Q = 1/20000*eye(2); Формування одиничної матриці
disp('Матриця R:')
R = 1; Введення матриці R
```

disp('Матриця N:')

N = []; Введення матриці N

disp('Вектор початкових умов X0:')

x0 = [350 326]'; Вектор початкових умов, його завдання

disp('Вектор заданих Xd, значень відхилень:')

xd = [363 310]'; Вектор заданих значень відхилень, його завдання

disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')

ud = 0.8 ; Відхилення значень керування і їх завдання

disp('Час спостереження tf:')

tf = 10; Завдання часу спостереження

disp('Довжина кроку dt:')

dt = 0.01; Завдання довжини кроку

disp('Кількість кроків n:')

n = tf/dt

disp('Матриця A1:')

A1 = [zeros(2) eye(2); zeros(2) A]; Формування матриці A1

disp('Матриця B1:')

B1 = [zeros(2,1); B]; Формування матриці B1

disp('Матриця Q1:')

Q1 = [Q zeros(2); zeros(2) zeros(2)]; Формування матриці Q1

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

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

disp('Розв'язок рівняння Ріккати:'); P

disp('Власні значення замкненої системи:'); E

Визначення розмірності задачі

```
SA = size(A); SA = SA(1); SB = size(B); SB = SB(2); SK = size(K); SK = SK(2);
```

Формування векторів  $x$ ,  $u$  та  $v$

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

Формування початкового стану

```
x(:,1) = x0;
```

Відокремлення інтегральної та пропорційної частин матриці  $K$

```
for i=SK/2:SK,
```

```
K2(i) = K(i);
```

```
end
```

```
for i=1:SK/2,
```

```
K1(i) = K(i);
```

```
K2(1) = [];
```

```
end
```

Знаходження оптимального керування  $u$ , змінних стану  $x$

```
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
```

Будуємо динаміку змінних стану

```
plot(0:dt:tf-dt,x), grid
```

```
title('Динаміка руху змінних стану');
```

```
xlabel('Час, t');
```

```
ylabel('Змінні стану, X(t)');
```

```
legend('x_1')
```

Побудова вектора керування

```
figure(2)
```

```
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
```

```
title('Динаміка зміни керування');
```

```
xlabel('Час,t');
```

```
ylabel('Керування, U(t)');
```

```
legend('u')
```

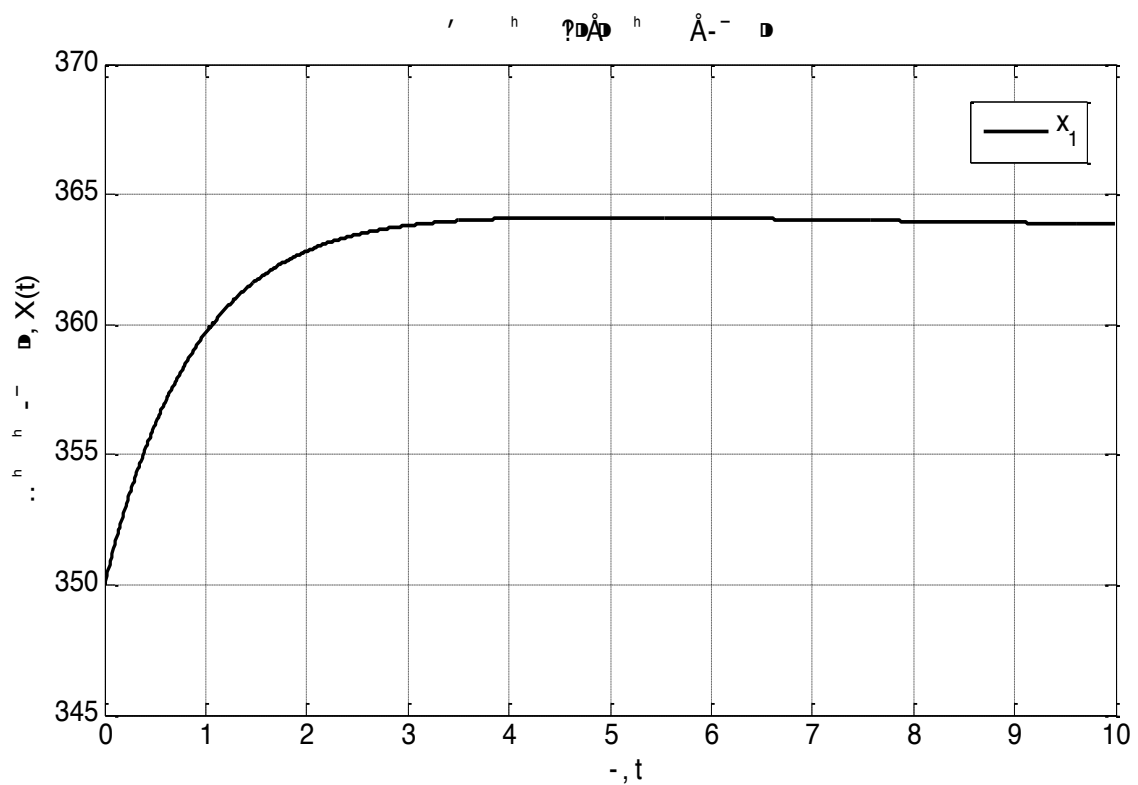


Рис.4.4 - Аперехідна функція змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

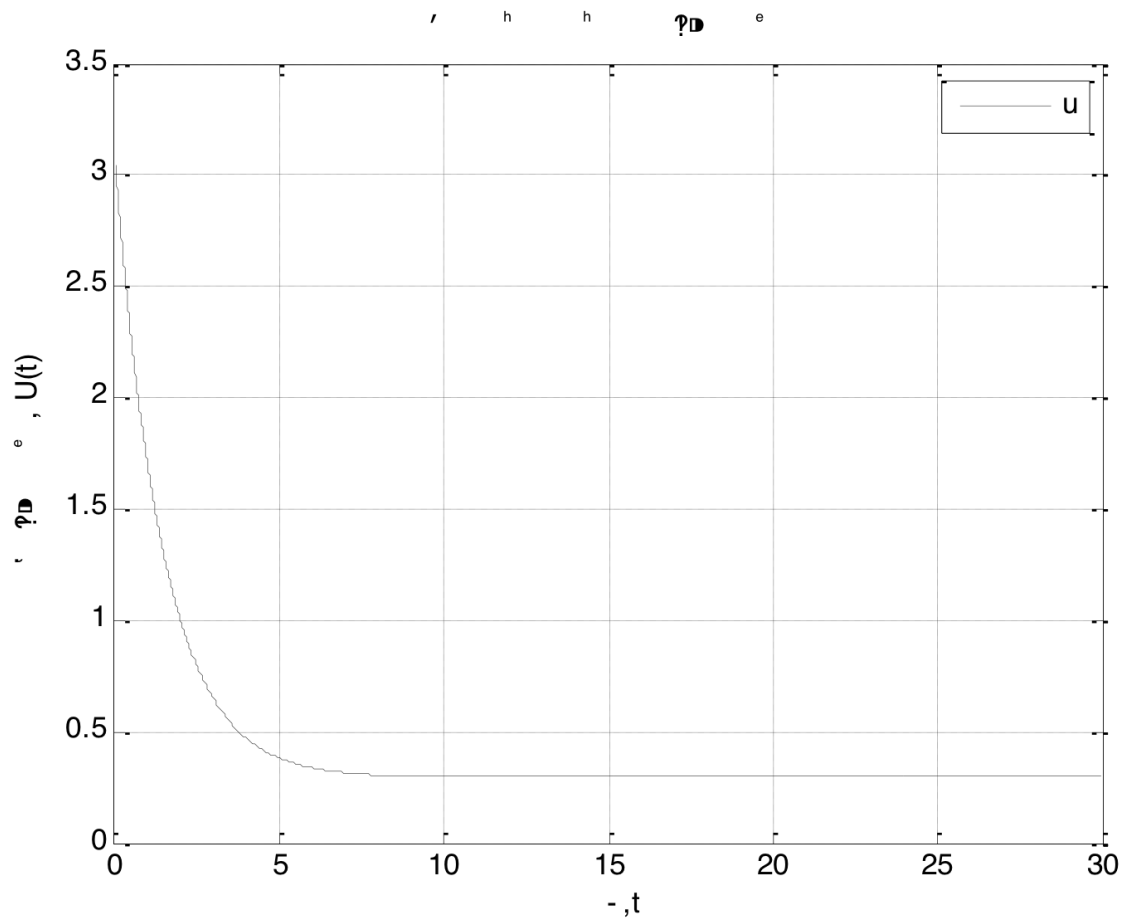


Рис.3.5.-Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

### 3.3 Порівняння результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком

Графіки зміни змінних стану для оптимального керування показано на рисунку 3.6.

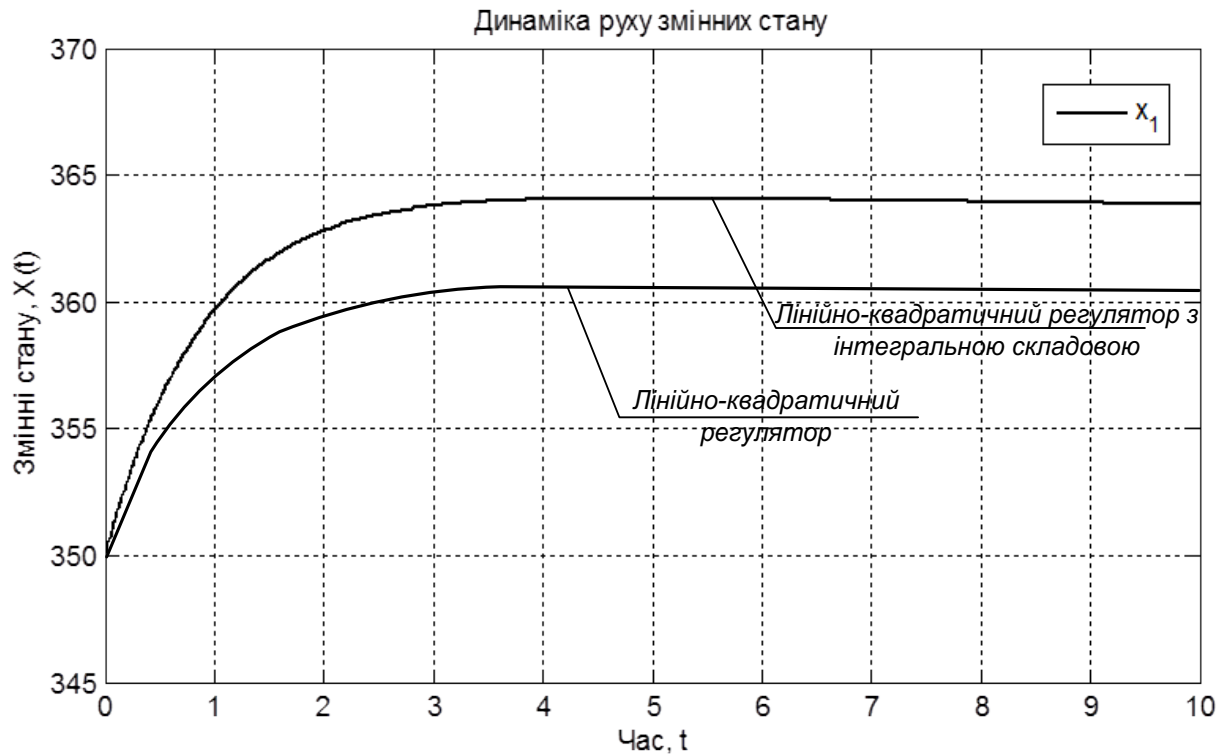


Рис.3.6.- Графіки зміни змінних стану

Використання ЛК регулятора з інтегральною складовою, рисунок 3.6, що застосовується для пошуку оптимального керування, системи зі зворотнім зв'язком, значно покращує якість керування.

Графіки зміни керувань показано на рисунку 3.7, з якого видно, як введення інтегральної складової впливає на систему, а точніше покращує керування. І тому обираючи регулятор вибір зупиниться на ЛК регуляторі з інтегральною складовою.

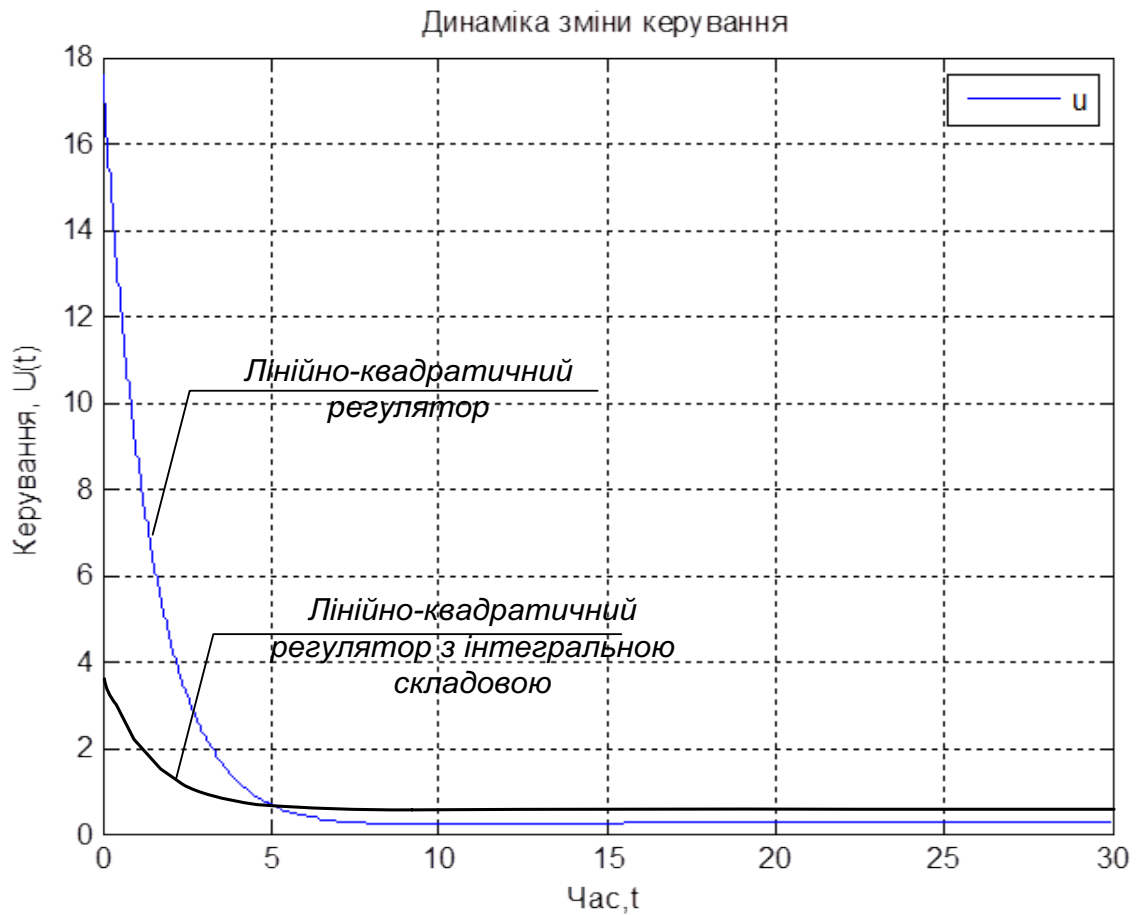


Рис.3.7 - Графіки зміни керувань посилення

Зміна коефіцієнтів Ріккати[16]:

$$\begin{cases} P'_{11} = \frac{2}{T_2} P_{12} + \left(\frac{k}{T_2}\right)^2 P_{12}^2 - 1 & P_{11}(t_f) = 0 \\ P'_{12} = -P_{11} + \left(\frac{T_1}{T_2}\right) P_{12} + \frac{1}{T_2} P_{22} + \left(\frac{k}{T_2}\right)^2 P_{12} P_{22} & P_{12}(t_f) = 0 \\ P'_{22} = \frac{2T_1}{T_2} P_{22} + \left(\frac{k}{T_2}\right)^2 P_{22}^2 - 2P_{12} & P_{22}(t_f) = 0 \end{cases}$$

$$U^*(t) = -\frac{1}{r} \frac{k}{T_2} (P_{12} x_1 + P_{22} x_2)$$

Можна побачити на рисунку 4.8, графік зміни коефіцієнтів Ріккати



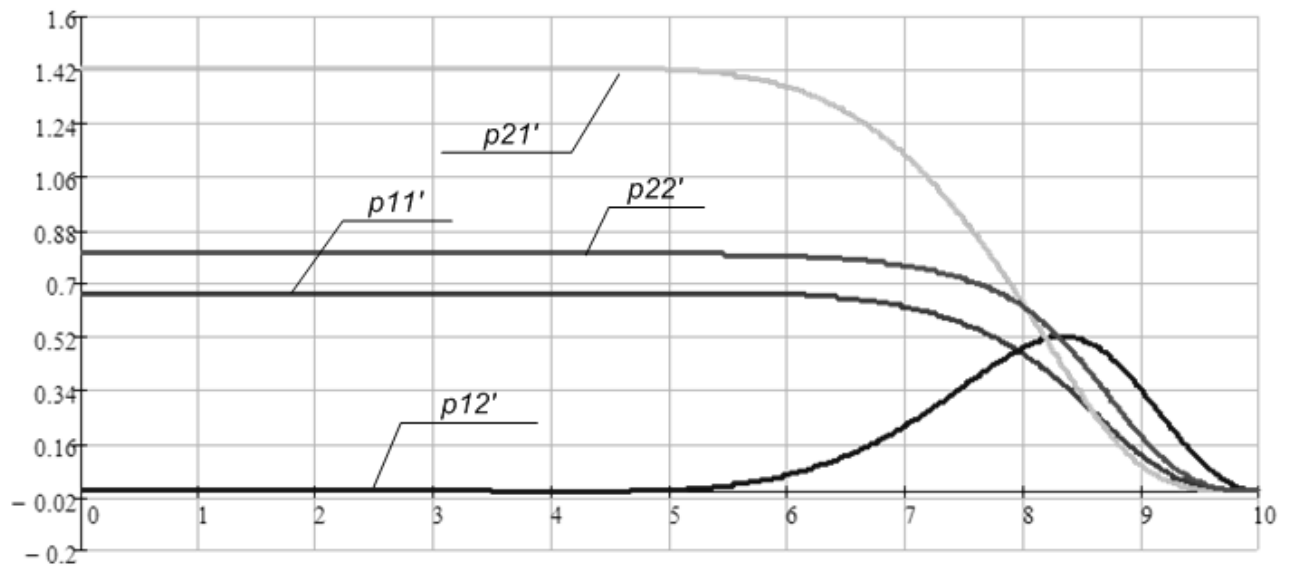


Рис.3.8. Графік зміни коефіцієнтів Ріккаті

Програма (М – файл), розв'язання алгебраїчних рівнянь Ріккаті за допомогою стандартних функцій:

$A = [0 \ 1; -0.041 \ -1.14]$ ; Введення матриці  $A$

$B = [0.047 \ 0]'$ ; Введення матриці  $B$

$Q = \text{eye}(2)$ ; Введення матриці  $Q$

$R = 1$ ; Введення матриці  $R$

$N = [0 \ 0]'$ ; Введення матриці  $N$

$E = \text{eye}(2)$ ; Введення матриці  $E$  (в нашому випадку  $I$ )

$[P \ L \ G \ \text{report}] = \text{care}(A, B, Q, R, N, E)$

Розв'язок рівнянь Ріккаті, де:

$P$  - розв'язок;

$L$  - власні значення замкненої системи;

$G$  - матричний коефіцієнт підсилення;

report - RR норма

$P =$

10.8457    9.0263

9.0263   8.2775

L =

-1.1028

-0.0612

G =

0.5097   0.4242

Було здійснене проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора та оптимального ЛК регулятора інтегральною складовою. Графіки зміни керувань показані на рисунку 4.7, з якого видно, як введення інтегральної покращує керування, тому обрали ЛК регулятор з інтегральною складовою.

Побудовано графік зміни коефіцієнтів Ріккаті та в программі *MatLab* розв'язання алгебраїчних рівнянь Ріккаті за допомогою стандартних функцій.

## **РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ»**

### **4.1. Опис ідеї стартап-проекту**

Інформаційні технології активно входять у сучасне життя, в тому числі в організацію виробничого процесу, діяльність якого неможлива без відповідної системи управління. Динамічність сучасної господарської діяльності вимагає обдуманого підходу до організації системи управління, підвищення ефективності якого можна досягти при своєчасному і раціональному використанні системи інформаційних технологій<sup>[18]</sup>.

Об'єктом дослідження даної роботи є інформаційні технології. Метою створення програмного алгоритму для імітаційного моделювання роботи контуру регулювання є отримання необхідних знань та вмінь по дослідженні процесів регулювання, властивості яких не можуть бути визначені інакше, ніж за допомогою імітаційного моделювання. Використання даного прикладного програмного пакету для імітаційного моделювання контуру регулювання температури у технологічного апарата дозволяє наочно оцінити можливості роботи контуру регулювання при відповідних значеннях налаштування для автоматичного регулятора параметрів  $K_{reg}$  та  $T_i$ . Значення оцінок якості динаміки регулювання параметру на виході технологічного апарату визначаються через інтегральний показник, а також за допомогою розрахунків значень перерегулювання параметру технологічного апарату.

Алгоритм програмного пакету для імітаційного моделювання роботи контуру регулювання автоматичного регулятора дозволяє змодельовати і візуально спостерігати процес регулювання температури на виході технологічного апарату та зробити і зафіксувати оцінки якості отриманих результатів.

В даний час інформативні технологічні процеси розглядаються так само як двигун з метою оптимізації

бізнес-процесів компанії на базі наскрізної автоматизації елементів їх бізнес-функцій. Інформаційні технологічні процеси стають провіантом здійснення на ринку, який передбачає собою помісь розрахунково-аналітичної роботи та специфічних послуг установам з метою автоматизації управління.

На сьогоднішній день є велика кількість програмних засобів з метою автоматизації того або іншого виробничого процесу, як загальних, так і спеціалізованих (галузевих). Залежно від потреб, фірма підбирає програмний продукт і інтегрує його в концепцію управління.

Компанія може підібрати єдиний або галузевий програмний продукт, а крім того створити особистий. Підбір залежить від специфіки використання і ціни продукту.

Таким чином, сучасна організація представляє суб'єкт, життєвий процес якого підтримується єдиним комплексом інформативних технологій.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Моніторинг роботи контуру регулювання температури кип'ятильника та дефлегматора	Оперативний доступ до інформації
Візуальне спостереження за станом роботи апарата: кип'ятильника та дефлегматора	Швидке реагування на проблеми та можливість екстреної зупинки
Можливість оцінити роботу регулятора МІК-21	Автоматична звітність в декілька кліків
Динамічне виведення значень вихідного параметру, сигналу керування з регулятора та	Оперативність в вирішуванні екстрених питань

## 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Складність впровадження	0,7	0,5	1	0,4		+	
2.	Програмне забезпечення	Прикладне ПЗ	Прикладне ПЗ	Прикладне ПЗ	Прикладне ПЗ			+
3.	Високий рівень сервісу	+	-	-	+			+
4.	Упровадження інноваційних та інформаційно-комунікацій	+	+	+	-			+
5.	Патенти на продукти	+	-	+	-			+

## 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

В якості мови програмування обрано *C#* - об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи *.NET*. Розроблена Андерсом Гейлсбергом, Скотом Вілтамутом та Пітером Гольде під егідою *Microsoft Research* (при фірмі *Microsoft*)<sup>[19]</sup>.

Синтаксис *C#* близький до *C++* і *Java*. Мова має строгу статичну типізацію, підтримує поліморфізм, перевантаження операторів, вказівники на функції-члени класів, атрибути, події, властивості, винятки, коментарі у

форматі XML. Переїнявши багато що від своїх попередників — мов C++, *Delphi*, Модула і *Smalltalk* — C#, спираючись на практику їхнього використання, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем, наприклад множинне спадкування класів (на відміну від C++)<sup>[18]</sup>.

C# має «препроцесорні директиви» (хоча насправді він не має препроцесора) на основі препроцесора C, це дає можливість визначити символи, але не макроси. Умовні директиви, такі як *#if*, *#endif*, чи *#else* також можливі. Директиви типу *#region* дають натяк редактору для згортання фрагментів коду<sup>[21]</sup>.

C# — це повнофункціональна об'єктно-орієнтована мова, що підтримує всі три «стовпи» об'єктно-орієнтованого програмування: інкапсуляцію, успадкування і поліморфізм. Вона має прекрасну підтримку компонентів, надійний і стійкий завдяки використанню «складання сміття», обробки винятків, безпеки типів<sup>[18]</sup>.

Мова C# розроблялась «з нуля» і увібрала в себе багато корисних властивостей таких мов, як C++, *Java*, *Visual Basic*, а також *Pascal*. *Delphy* та ін. При цьому необхідність зворотної сумісності з попередніми версіями відсутня, що дозволило мові C# уникнути багатьох негативних сторін своїх попередників<sup>[22]</sup>.

Як і *Java*, C# розроблявся для Інтернет і приблизно 75% його синтаксичних можливостей аналогічні мові програмування *Java*, його також називають «очищеною версією *Java*, 10% схожості з мовою програмування C++, а 5% — запозичені з мови програмування *Visual Basic*. Обсяг нових концептуальних ідей в мові C# близько 10%.

Виділення і об'єднання кращих ідей сучасних мов програмування робить мову C# не просто сумою їх достоїнств, а мовою програмування нового покоління<sup>[18]</sup>.

Режим регулювання в програмному пакеті дозволяє відтворити роботу замкнутої системи керування з об'єктом керування та ПІ регулятором.

Реалізовано даний алгоритм для двох апаратів: кип'ятильника та дефлегматора. Умовно можна розділити режим регулювання на чотири блоки. Перший включає технологічну схему об'єкта керування, другий – роботу регулятора, третій – результати роботи у графічному вигляді, четвертий – оцінку якості отриманої системи. Використовуючи компоненту *trackBar* можна змінювати завдання по вихідному параметру в межах від -15% до +15%. За замовчування коефіцієнти ПІ регулятора вказані в полях *TextBox*. При цьому є можливість задати власні значення коефіцієнта підсилення та інтегральної складової для дослідження поведінки системи. В якості регулятора було обрано МІК-21. На дисплей якого виводяться три значення: завдання, вихідний сигнал з регулятора та поточне значення вихідного параметру. Для того, щоб наочно оцінити і побачити як спрацьовує регулятор реалізовано вивід результатів на графіки. В динамічному режимі є можливість проаналізувати отримати систему з відповідними настройками. Для повного аналізу був розроблений алгоритм для розрахунку оцінки якості системи. В якості показників обрано квадратичний інтегральний показник та відсоток перерегулювання.

#### **4.4. Характеристика потенційних клієнтів**

На цьому етапі проводиться маркетингове дослідження для виявлення характеристик і потреб потенційних клієнтів. Інформація, отримана в результаті проведення дослідження, дозволить визначити ті ознаки, за якими можна розділити ринок на сегменти.

Будь-які ознаки, за якими можна виділити групу споживачів, можуть бути використані для сегментування, оскільки єдиної схеми не існує.

Проводячи сегментування ринку необхідно правильно вибрати критерії та ознаки. Слід мати на увазі, що критерій - це спосіб оцінки обґрунтованості вибору того чи іншого сегмента ринку для даного підприємства, а ознака - це спосіб виділення даного сегмента на ринку.

Для поділу ринку на сегменти можуть використовуватися як один, так і в комбінації різні види ознак: психографічні, географічні, демографічні та поведінкові<sup>[19]</sup>.

Таблиця 4.3 – Характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Реалізація підходу до автоматичного керування складними технологічними процесами за допомогою імітаційного моделювання	Всі галузі промисловості, виробництва і господарства, де потрібен постійний технологічний контроль оператора.	Державний стандарт України, GDS	Спрощення певних етапів виробництва; Зменшення ресурсовитрат; Обмін даними

#### 4.5. Фактори загроз та можливостей

Загрози існують скрізь і при застосуванні даної технології також є загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно встановлювати якісні та сучасні системи контролю та спостережень, а також працювати на виробництвах повинні висококваліфіковані фахівці. Також, періодично необхідно виконувати регулярний контроль та аналіз даних, щоб якомога швидше усунути несправність або помилки, у разі їх виникнення.



Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища. Тому складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.4)[20].

Таблиця 4.4 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Спад виробництва в галузях господарства	Потреба в продукті знижується	-
2.	Альтернативні способи надання послуг	Прихід сучасних технологій	Використання нових технологій
3.	Не відповідність даних, внаслідок виходу із ладу необхідного обладнання	Вихід із ладу обладнання	Ремонт або налагодження обладнання

Таблиця 4.5 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
-------	--------	------------------	--------------------------

1.	Застосування окремих комплексів для кожного з етапів виробництва.	Підхід реалізується для забезпечення меншого навантаження на сервери комплексу, а також для локальної звітності.	Збільшення ефективності роботи програмного комплексу.
2.	Розширення базового функціоналу комплексу, залежно від побажань замовника.	Дає можливість оптимізації під особливості окремих виробництв.	Створення нових алгоритмів і модулів для удосконалення і покращення роботи технології.

Продовження табл. 4.5 – Фактори можливостей

3.	Стимулювання розвитку інноваційного підприємства	Зменшення податкового тиску на стартап.	Масштабування стартапу.
----	--	---	-------------------------

#### 4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Проводимо аналіз (табл. 4.6) пропозиції: визначасмо загальні риси конкуренції на ринку з використання комп'ютерно-інформаційної технології для імітаційного моделювання.

Таблиця 4.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
--------------------------------------	---	--

За характером конкурентних переваг	Цінова	1. Гнучке ціноутворення з урахуванням динаміки попиту. 2. Удосконалення технології, що спрямована на підвищення базових переваг.
------------------------------------	--------	---

Тип конкуренції	Монополістична конкуренція	Конкуренція, яка має місце на ринку з багатьма продавцями і покупцями та значною кількістю товарів, що реалізуються за різними цінами.
Рівень конкурентної боротьби	Національний рівень конкурентної боротьби	Відповідність технології та якості продукту вимогам законодавства України ринку.
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Урахування особливостей конкурентного середовища у кожній галузі, з якою взаємодіє. стартап. господарства.
Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція	Відстеження тенденцій на ринку з можливістю появи на ринку продуктів-замінників.

За інтенсивністю	Не марочна інтенсивність	Забезпечення масштабованості стартапу в найближчій перспективі для створення стійкого сприйняття стартапу як окремої бізнес одиниці.
------------------	--------------------------	--

Продовження табл. 5.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Проводимо оцінку привабливості стратегічної зони господарювання (СЗГ)[21] стартапу із застосуванням методу Дельфі. На першому етапі була проведена оцінка зміни в прогнозованому збільшенні стратегічної зони господарювання (G) методом Дельфі (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Аналіз зміни в прогнозованому збільшенні СЗГ (G)

Параметри	Шкала інтенсивності										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
1. Темп збільшення галузі											
2. Приріст числа споживачів											
3. Динаміка розширення ринку											
4. Ступінь оновлення продукції											
5. Ступінь оновлення технології											
6. Рівень насичення попиту											
7. Суспільне сприйняття товару											
8. Державне регулювання збільшення											
9. Збільшення числа конкурентів											
10. Ступінь застарівання продукції											
Загальна оцінка змін	+12										

На другому етапі проведено оцінку прогнозованих тенденцій зміни рентабельності СЗГ (P) (табл. 4.8)[21].

Таблиця 4.8 – Аналіз оцінки змін рентабельності СЗГ (P)

Параметри	Шкала інтенсивності										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
1. Коливання рентабельності											
2. Коливання цін											
3. Коливання об'ємів продажів											
4. Рівень попиту до потужностей											
5. Концепція ринку											
6. Стабільність структури ринку											
7. Оновлення складу продукції											
8. Вплив конкурентів											
9. Рівень задоволення замовником											
10. Державне регулювання діяльності організації											
Загальна оцінка змін рентабельності на перспективу	+19										

На третьому етапі визначимо рівень впливу загроз ( $-Q_i$ ) і використання можливостей ( $+Q_i$ ) зовнішнього середовища для підприємства в даній СЗГ (табл. 4.9). Оцінювання кожного чинника відбувається за шкалою від -5 до +5 балів. Зважена оцінка визначається як результат множення оцінки чинника, значущості групи факторів та значущості чинника в групі, до якої даний чинник належить. Негативна зважена оцінка розглядається як потенційна загроза, а позитивна - як можливість для організації в даній СЗГ[21].

Таблиця 4.9 – Оцінка зовнішніх погроз і можливостей для підприємства

Група чинників	Чинники	Значущість групи чинників	Значущість чинника в групі	Оцінка чинника	Зважена оцінка	
					загрози	можливості
1	2	3	4	5	6	7
1. Економічні	Темпи інфляції	2.5	0.17	4		1.7
	Стабільність курсу		0.38	3		2.85

	гривни					
	Тарифи на транспорт і енергоресурси		0.25	-3	-1.875	
	Податкові ставки		0.2	-2	-1	
2. Політичні	Державне регулювання ринків	0.5	0.21	4		0.42
	Інвестиційна політика		0.35	3		0.525
	Політична стабільність		0.18	-3	-0.27	
	Законодавча база для регулювання підприємницької діяльності		0.26	0	0	
3. Ринкові	Інтенсивність конкуренції	1.5	0.18	2		0.54
	Ціни на чинники виробництва		0.25	1		0.375
	Укладення прямих договорів		0.43	-4	-2.58	
	Динаміка попиту і пропозиції		0.14	3		0.63
4. Чинники конкуренції	Агресивність конкуренції	1.5	0.35	4		2,1
	Тенденції зміни числа конкурентів		0.45	-3	-2.025	
	Переваги лідерів галузі		0,2	3		0.9
5. Виробничо-технологічні	Стан виробництва	2.5	0.21	-2	-1.05	
	Можливість нових технологічних		0.32	1		0.8
	Рівень технології конкурентів		0.17	3		1.275
	Доступність ресурсів		0.3	-2	-1.5	

Продовження таблиці 4.9 – Оцінка зовнішніх погроз і можливостей для підприємства

6. Соціальні	Соціальна напруженість в галузі	1.5	0.35	2		1.05
			0.27	4		1.62

	Підвищення кваліфікації кадрів		0.38	-2	-1.14	
	Юридичні обмеження в бізнесі					
Підсумкова оцінка		10	-	-	- 11.44	14.785

На підставі отриманих результатів розраховано значення привабливості СЗГ за формулою[21]:

$$\text{Привабливість СЗГ} = \alpha G + \beta P + \gamma (O - T),$$

де  $\alpha = 0.4$ ,  $\beta = 0.3$ ,  $\gamma = 0.3$ ;

$G$  - зміни в прогнозованому збільшенні СЗГ;

$P$  - зміни в рентабельності СЗГ;

$+Q_i$  та  $-Q_i$  - відповідно оцінки можливостей та загроз для організації.

$$\text{Привабливість СЗГ} = 0,4 \cdot 12 + 0,3 \cdot 19 + 0,3 \cdot (14,785 - 11,44) = 11.5035.$$

На четвертому етапі оцінюємо (табл. 4.10) рівень привабливості за відповідною шкалою.

Таблиця 4.10 – Шкала оцінювання привабливості СЗГ

Значення	Характеристика
-50...-46	Дуже неприваблива
-45...-36	Високо неприваблива
-35...-26	Достатньо неприваблива
-25...-16	Помірно неприваблива
-15...-6	Майже неприваблива
-5...+5	Відсутність привабливості
+6...+15	Майже приваблива
+16...+25	Помірно приваблива
+26...+35	Достатньо приваблива
+36...+45	Високо приваблива
+46...+50	Дуже приваблива

Значення привабливості СЗГ (11.5035) потрапляє в інтервал від 6 до 15, що може вважатися майже привабливим для підприємства. Позитивно слід оцінювати спрямованість показників  $G$  та  $P$ , які свідчать про непогані перспективи діяльності підприємства в даній СЗГ.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 4.11) [20].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення[20].

Таблиця 4.11 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• контроль за здійсненням витрат, пошук можливостей щодо їхнього зниження;</li> <li>• інвестиційна привабливість підприємства;</li> <li>• зважена цінова політика;</li> <li>• врахування потреб споживачів.</li> </ul>	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• частка ринку;</li> <li>• результативність рекламної політики;</li> <li>• організація системи комунікацій.</li> </ul>
<p><i>Можливості:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зростання грошових доходів населення;</li> <li>• застосування сучасних технологій організації товароруху;</li> <li>• впровадження різних форм організації торгівлі.</li> </ul>	<p><i>Загрози:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• недосконалість та змінюваність законодавства;</li> <li>• інфляційні процеси;</li> <li>• високий рівень безробіття.</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок<sup>[20]</sup>.

Визначені альтернативи аналізуються (табл. 4.12) з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів[20].

Таблиця 4.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту



№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.	вище середньої	1 рік
2.	Стратегія підсилення сильних сторін за рахунок ринкових можливостей.	Висока	6 місяців
3.	Стратегія компенсації слабких сторін наявними ринковими можливостями.	Середня	2 роки
4.	Стратегія виходу з ринку	Низька	не має

Обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.

### 5.7. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії (табл. 5.12) передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів<sup>[24]</sup>.

Таблиця 4.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Підприємства, де здіяна автоматична архітектура самої діяльності об'єкта, і потрібен постійний технологічний контроль оператора.	висока	Специфічний	помірна	високий бар'єр входу у галузь

Проаналізувавши потенційні групи споживачів обираємо цільові групи та визначаємо стратегію охоплення ринку. Оскільки компанія працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу, то використовуємо стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку, а саме стратегію диференціації.

Таблиця 5.13 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи
Стратегія диференціації	Ринкове позиціонування	<ul style="list-style-type: none"> <li>• по відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь заміності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність;</li> <li>• прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів;</li> <li>• підвищена рентабельність збільшує стійкість до можливого зростання витрат в результаті дій сильного постачальника;</li> </ul>

Стратегія диференціації передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару (у ширшому розумінні – комплексі маркетингу), бути реальною або уявною. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування (табл. 4.14), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект[24].

Таблиця 5.13 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
<p>Комп'ютерно-інформаційна технологія повинна мати можливість:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• графічного представлення даних;</li> <li>• зображення всіх необхідних компонентів (технологічний апарат та регулятор);</li> <li>• оцінки роботи отриманої системи;</li> <li>• поточне виведення всіх значень параметрів.</li> </ul>	Стратегія диференціації	<p>До конкурентних переваг слід віднести:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• оптимальна ціна за необхідний програмний пакет;</li> <li>• швидкодія роботи;</li> <li>• багаторівнева система безпеки;</li> <li>• більш мобільна система управління в порівнянні з конкурентами.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Доступний продукт в даному сегменті;</li> <li>• Використання інформаційних технологій для імітаційного моделювання контуру; регулювання температури;</li> <li>• Візуальна оцінка роботи системи з регулятором.</li> </ul>

#### 4.8. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції до товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.14 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару[20].

Таблиця 5.14 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Керування та моніторинг процесом переробки вторинного нафтового дистилляту, можливість отримувати та аналізувати технологічні параметри	Графічне представлення даних	Можливість в динамічному режимі спостереження за технологічним процесом
	Зображення всіх необхідних компонентів (технологічний апарат та регулятор)	Доступний і лаконічний інтерфейс
	Оцінка роботи отриманої системи	Можливість оцінити якість системи з новими налаштуваннями регулятора
	Поточне виведення всіх значень параметрів	Представлення в табличному вигляді всіх даних по зміні параметрів процесу

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.15), що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів[20].

Таблиця 5.15 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1.	Обережний вибір потенційних контрагентів, що зумовлено особливістю ринку з використання Інформаційних технологій	Інтернет-розсилки	Технологія	Привернути увагу до керування та моніторингу процесу шляхом використання інформаційної технології для імітаційного моделювання
2.		Спеціалізовані видання	Технологія	
3.		Спеціалізовані виставки, форуми	Технологія	

## **5.9. Висновки**

Переглянувши всі плюси та мінуси використання інформаційної технології для імітаційного моделювання контуру регулювання параметру технологічного апарату, можемо зробити висновки, що ідея є актуальною та нагальною для застосування. Використання програмного пакету для керування виробництвом має високу швидкодію. Технологія є доступною в плані ціни та застосування на власних підприємствах чи установах.

Бар'єри входу на ринок – високі. Наявна конкуренція високої концентрації середнього рівня інтенсивності. Для ринкової реалізації проекту обрано стратегію диференційованого маркетингу, яка передбачає чітку ідентифікацію окремих сегментів, з якими планує взаємодіяти стартап. Доцільна подальша імплементація проекту.

Так чи інакше розвиток проекту буде пов'язаний з можливістю інтенсифікації економічного розвитку в Україні, бо життєздатність стартапу визначатиметься темпами зростання хімічної промисловості та споріднених галузей, де необхідний моніторинг та управління процесами в апаратах.

## **ВИСНОВКИ**

При виконанні дипломного проекту розглянуто технологічний процес лужного очищення дизельного палива. Тема дипломного проекту: « Синтез системи керування технологічним процесом лужного очищення дизельного палива». На сучасному етапі розвитку нафтового виробництва автоматизація даного процесу, як і будь-яких інших складних процесів, дозволяє отримати високі показники продуктивності установки і якості кінцевого продукту. Автоматизація зокрема передбачає контроль, керування, сигналізацію та блокування технологічних параметрів за допомогою відповідних автоматичних пристроїв без безпосередньої участі людини, але і під її контролем.

В дипломному проекті була розроблена функціональна схема автоматизації процесу лужного очищення дизельного палива, виконане математичне моделювання трубчастої печі, побудовані статичні і динамічні характеристики, здійснен синтез системи керування.

Проведена оптимізація технологічного процесу

При виконанні дипломного проекту та оформленні проектної документації застосовано програмні середовища *MS Office*, *MS Visio*, *MathCAD*, *MATLAB*, *Comsol*.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Кухнюк Н. В.** Інтерактивний комплекс з дисципліни “Автоматизація технологічних процесів” для студентів III-го курсу спеціальності 5.092503 “Монтаж, обслуговування засобів і систем автоматизації технологічного виробництва” [Текст] / Н. В. Кухнюк, – Рівне: Технічний коледж НУВГП, 2008 – 227 с. – Бібліогр.: с. 169–172.
2. **Ковалевський В. М.** Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи курсу «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» до напрямку підготовки «Хімічна технологія» [Текст] / Уклад. В. М. Ковалевський // – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 114 с. – Бібліогр.: с. 64–71.

3. **Комендант О. О.** Задачі автоматизації виробництва мастил на мильних загусниках з використанням контактора [Текст] / О. О. Комендант, Л. Д. Ярошук // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Сьомої науково-практичної конференції студентів; Київ, НТУУ «КПІ», 4-5 грудня 2013 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 70 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 30
4. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. [Текст] / М. В. Лукінюк – К.: «ПОЛІПАРНАС», 2010. – 257 с.: іл. ISBN 000–000–000–0
5. **Хоршев В.И.** Математические модели объектов управления. [Текст] / В. И. Хоршев // – М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2001. – 75 с.
6. **Дьяконов В. П.** Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576с.
7. **Коржик М. В.** Програмні засоби моделювання систем керування : Метод. вказівки до викон. робіт комп. практ. для студ. напр. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад.: М. В. Коржик. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 44 с.
8. **Голінко І. М., проф. Кубрак А.І.** Моделювання та оптимізація систем керування: монографія [Текст] / І.М. Голінко, А.І. Кубрак. – Кам'янець-Подільський: ПП Буйницький, 2012. – 262 с.
9. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
10. **К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк.** За ред. **К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського.** Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. /— К.: Основа, 2006 — 448 с.
11. **Алон Н.** Вероятностный метод / Н. Алон, Дж. Спенсер. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 320 с.
12. **Новак В.** Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкрож. – М. : Физматлит, 2006. – 352 с.

13. **Михелев А.А.** Справочник по хлебопекарному производству. е1. Оборудование и тепловое хозяйство. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Пищевая промышленность, 1977 – 368 с.
14. **Н.Д. Демиденко, Л.В. Кулагина** Численный анализ теплотехнологических систем , 2012. – 114 с. – Бібліогр.: с. 64–71.
15. **Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М.** Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK. – К.: НТУУ “КПІ”, 2010. – 209 с.
16. **Л. Р. Ладієва.** Оптимальне керування системами.: Навчальний посібник.- К.:НМЦ ВО, 2000, - 187с.
17. **Лях М. А., Дем'янюк О. С., Барилко О. С.** Щодо питання використання присадок до палива за кордоном та в Україні // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. — 2009, Вип.17
18. Мова програмування C# (Сі-шарп) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://damp.biz/mova-programuvannya-c-si-sharp-entsiklopediya/>.
19. **Данченко Л.А.** Маркетинг: підручник / Л.А. Данченко. - М.: МЕСИ, 2007. - 317 с.
20. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг.ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28с.
21. **Шершньова З. Є.** Стратегічне управління: [підруч. для студ.вищ. навч. закл.] / Шершньова З. Є. – К.: КНЕУ, 2004. – 699 с.



## **ДОДАТКИ**

### **Додаток 1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛУЖНОГО ОЧИЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

#### **1. 1. Розроблення функціональної схеми автоматизації лужного очищення дизельного палива**

Схема автоматизації лужного очищення дизельного палива *ДП. ЛАЗ1.12.00.001.СхА*. Зменшена копія функціональної схеми автоматизації лужного очищення дизельного палива на рис.2.1 Специфікація технічних засобів до цієї схеми наведено у Додатку 1.

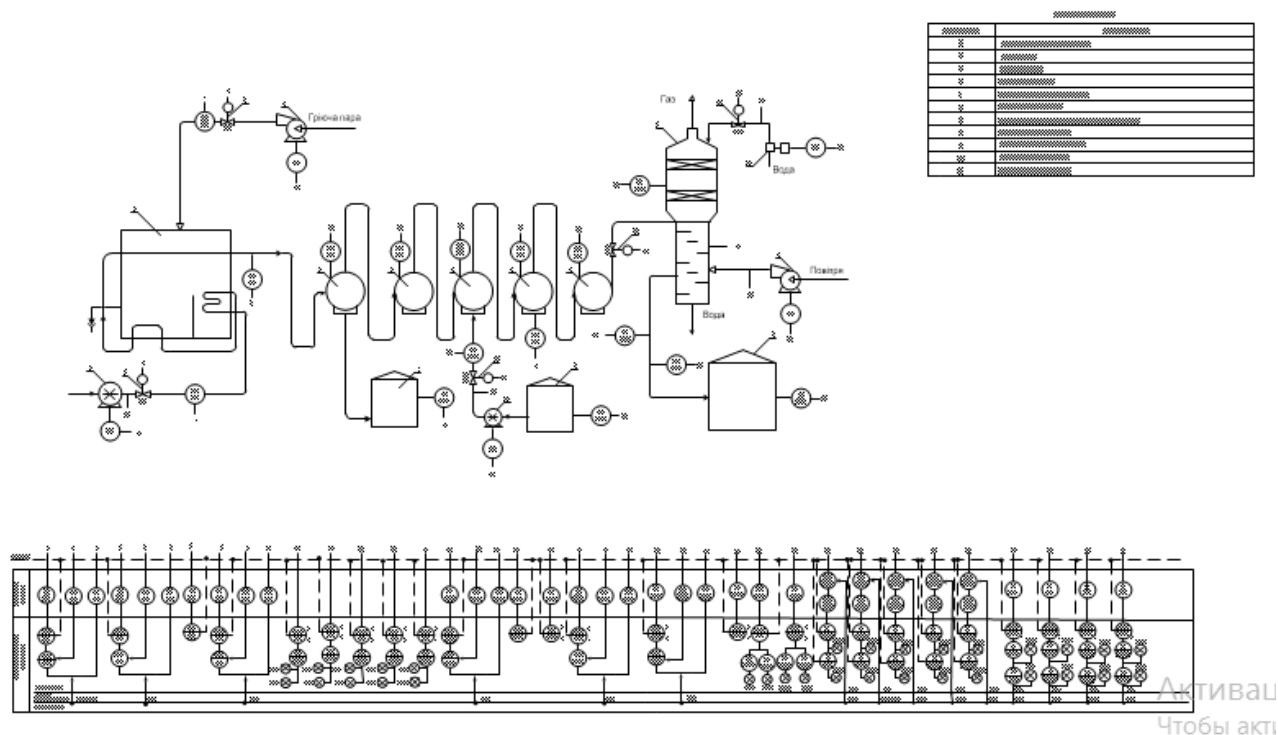


Рис.2.1. Функціональна схема автоматизації лужного очищення дизельного палива.

Пристрої автоматизації у даному процесі відіграють важливу роль, адже від них значною мірою залежить те, наскільки якісно і ефективно буде працювати підприємство.

Тому можна виділити основні типи пристроїв автоматизації:

FE - вимірювачі витрати, вимірюють витрату води і повітря.

TE – вимірювачі температури.

PT – вимірювач тиску.

FT, LT, TT – пристрої автоматизації для передачі сигналу на відстань;

FIC, LIC, TIC – пристрої для автоматичного регулювання технологічного параметру (витрати, рівня та температури);

НІС – пристрої для ручного контролю технологічного параметру;

QIAS, PIAS – пристрої на пульті керування для показу і реєстрації параметрів, а також для сигналізації високого або низького рівня контрольованого параметру;

HL – сигнальні лампочки;

KM – електромагнітне реле (контактор магнітний);

SB – кнопки вмикання/вимикання електродвигунів;

SA – кнопки відключення електромотора від фази електричної мережі.

## **2. Розроблення контурів контролю**

Схема автоматичного контролю лужного очищення дизельного палива включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації.

До контурів контролю входять контури контролю витрати, концентрації, рівня, тиску та температури.

Контур 1 забезпечує контроль витрати дизельного палива на вході у трубчасту піч та включає: витратомір – діафрагма камерна (1-1); тензоперетворювач тиску з квадратичною функцією перетворення (1-2); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (1-3).

Контур 2 забезпечує контроль температури в трубчастій печі, оснащений технологічною сигналізацією та включає: ТО з уніфікованим вихідним сигналом (2-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованою сигналізацією (2-2).

Контур 3 контролює рівень у посудині для лужних відходів та включає: рівнемір радарний (3-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (3-2).

Контур 4 забезпечує контроль витрати повітря на вході у трубчасту піч та включає: витратомір – діафрагма камерна (4-1); тензоперетворювач тиску з квадратичною функцією перетворення (4-2); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (4-3).

Контур 5 забезпечує контроль температури в апараті для вилуговування, оснащений технологічною сигналізацією та включає: ТО з уніфікованим вихідним сигналом (5-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованою сигналізацією (5-2).

Контур 6 контролює рівень луку в апараті для вилуговування та включає: рівнемір радарний (6-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (6-2).

Контур 7 забезпечує контроль температури в апараті для вилуговування, оснащений технологічною сигналізацією та включає: ТО з уніфікованим вихідним сигналом (7-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованою сигналізацією (7-2).

Контур 8 контролює рівень дизельного палива у відстійнику та включає: рівнемір радарний (8-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (8-2).

Контур 9 контролює рівень дизельного палива у відстійнику та включає: рівнемір радарний (9-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (9-2).

Контур 10 забезпечує контроль витрати луку на вході в апарат для вилуговування та включає: витратомір – діафрагма камерна (10-1); тензоперетворювач тиску з квадратичною функцією перетворення (10-2); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (10-3).

Контур 11 контролює рівень у посудині для лужних відходів та включає: рівнемір радарний (11-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (11-2).

Контур 12 контролює рівень у посудині свіжого луку та включає: рівнемір радарний (12-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування (12-2).

Контур 13 забезпечує контроль температури в трубопроводі, оснащений технологічною сигналізацією та включає: ТО з уніфікованим вихідним сигналом (13-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованою сигналізацією (13-2).

Контур 14 контролює рівень суміші в верхній частині сушарки та включає: рівнемір радарний (14-1); прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний прилад (14-2).

Контур 15 контролює рівень дизельного палива у посудині, а також оснащений технологічною сигналізацією та включає: рівнемір радарний вибухозахищений (15-1); перетворювач електропневматичний (15-2); пневматичний вторинний прилад показувальний, реєструвальний (15-3).

Контур 16 контролює концентрацію дизельного палива та включає: концентратомір рідин кондуктометричний (16-1); перетворювач високоомний (16-2); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (16-3).

Контур 17 контролює тиск гострої пари в нижній частині сушарки, а також оснащений сигналізацією та включає: датчик-реле тиску (17-1); автоматичний показувальний, реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації (17-2)

### **3. Система дистанційного керування і аварійного захисту електродвигунів технологічних процесів лужного очищення дизельного палива**

#### **2. 3.1. Постановка задачі до розробки схеми дистанційного керування і аварійного захисту електродвигунів технологічного процесу лужного очищення дизельного палива**

В багатьох технологічних обладнаннях на різних підприємствах використовують електродвигуни. Двигуни мають як електричну, так і механічну систему захисту.

На виробництвах робота насосів контролюється технічним персоналом згідно роботи певного процесу. Розробка системи аварійного захисту та технологічних блокувань для технологічного процесу ректифікації дистиляту при стабілізації сирової нафти є важливою частиною всього процесу та потребує ретельності при встановленні електродвигунів.

При натисненні кнопки включення електродвигуна повинен спрацювати магнітний пускач і замкнутися нормально розімкнутий контакт, який замикає ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації включення магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той

же час розмикається нормально замкнутий контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

Система автоматичного управління електродвигунами процесу ректифікації дистиляту при стабілізації сирової нафти повинна забезпечувати:

- автоматичне відключення мотору від живлення під час аварії або поломки, та технологічне блокування інших електродвигунів;
- закриття регулювальних клапанів для зупинки подачі сировини, поки не відновиться робота електромотору та не створиться нормальний тиск для подальшого продовження подачі сировини;
- нормальну роботу процесу виробництва ректифікації дистиляту при стабілізації сирової нафти;
- захист електродвигуна, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

При розробці схеми аварійного захисту електромоторів треба з'ясувати, яка плата КБЗ підключена в приладі ІТМ-11. Тому що плата КБЗ 17-К01 має контакти у вигляді твердоті лих реле, які дозволяють підключити дискретний сигнал у вигляді постійного струму і величиною 24V.

Завод «МІКРОЛ» виготовляє плати КБЗ, де дискретні сигнали можна подавати на контакти електромотора реле з напругою 220V.

Є третя плата КБЗ, де дискретний сигнал можна подавати на тиристор.

### 2.3.2. Опис роботи принципової електричної схеми з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань

Під час роботи відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, що може спричинити вихід його з ладу. У цьому випадку (в разі аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати чис-

ло обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист. Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу. Мікропроцесорний прилад ІТМ-11, в якому використовується твердотільне реле, через контакт якого не можна підключати напругу 220 В. Рекомендується через твердотіле реле ІТМ-11 під'єднувати електромагнітне реле, яке працює на напрузі 24 В від джерела постійного струму. Враховуючи цю особливість в схемах електрозахисту треба використовувати два електромагнітних реле.

Розглянемо роботу електромоторів на прикладі одного МП5. При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт КМ15-1 в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ15. Реле КМ15 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ15-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ30, яка показує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ15-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП5.

Після проведення чищення і ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М5 включається за допомогою кнопки SB9. Так як насос миттєво робочий тиск не набирає, кнопку SB9 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не погаснуть червоні сигнальні лампочки НЛ29 і НЛ30, якщо ці лампочки погасли, кнопку SB9 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП5 проходить через контакт МП5-2. ІТМ-11 на спрацювання на малий тиск (менше робочого). Тоді ІТМ-11 виробляє дискретний сигнал, тобто на платі КБЗ 17К-01 контакт нормально розімкнений замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ29 і подається струм на обмотку електромагніта КМ15.

Реле аварійного захисту КМ15 спрацьовує та інформує про аварійний сигнал, за допомогою якого повинно вимикатись живлення електродвигуна М5.



Плата КБЗ-17К-01 підключена до мережі через блок живлення БПС 24-2К, який перетворює змінний сигнал мережі 220В в постійний уніфікований сигнал 24В.

### **3.3. Опис роботи системи з аварійного захисту з електродвигунів технологічного процесу лужного очищення дизельного палива**

Схема дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електродвигунів *ДП. ЛАЗ1.12.00.002.СхЕл.* Зменшена копія функціональної схеми автоматизації лужного очищення дизельного палива на рис.2.2

На принциповій електричній схемі показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електродвигунів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього зупиняється крильчатка і електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізується. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

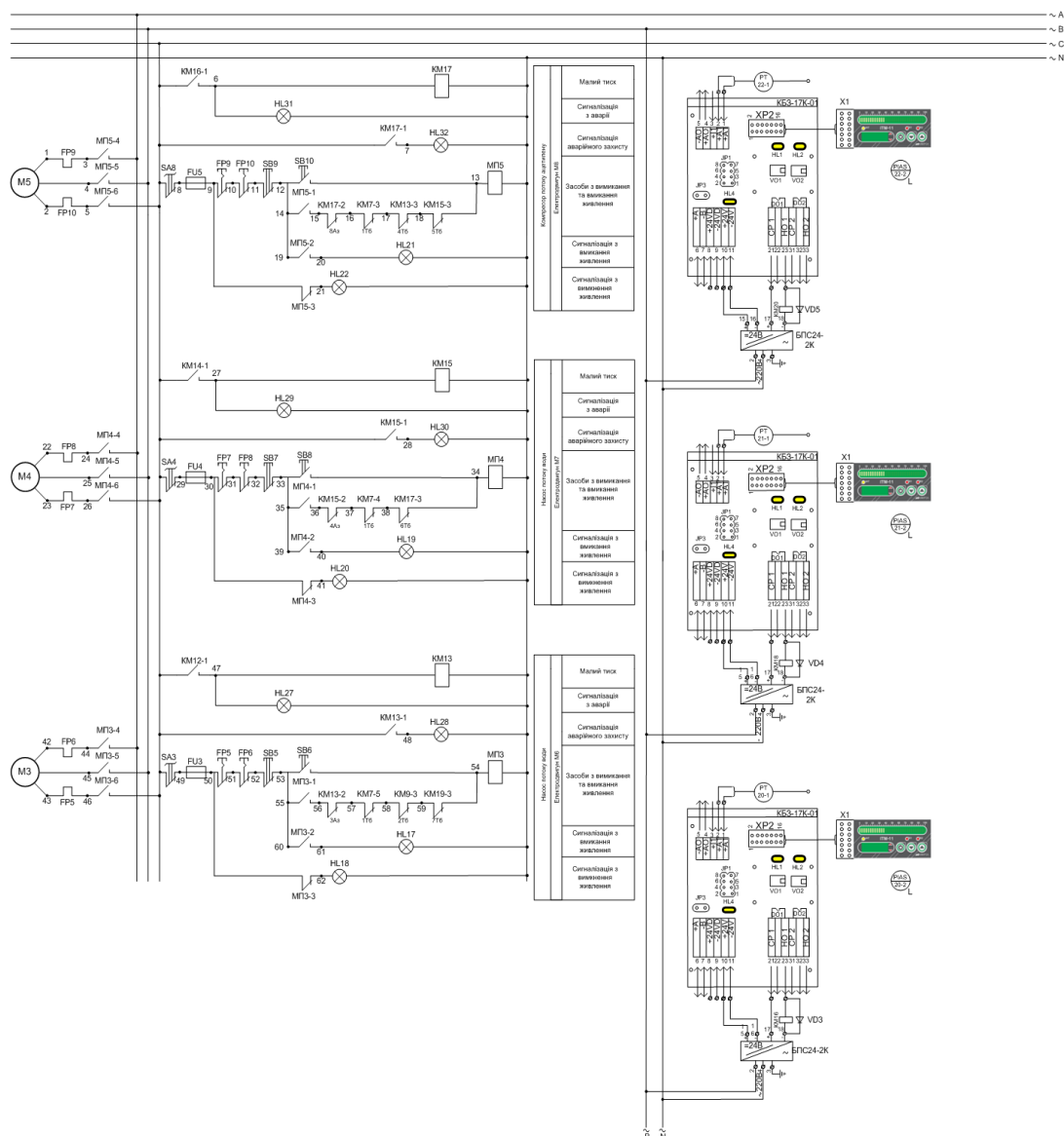


Рис.2.2. Приклад побудови електричної схеми управління і аварійного захисту електродвигунів

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт в приладі (позиція 27-2) і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту KM17. Реле KM17 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт KM17-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка HL28, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле KM17-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП5. У результаті цього живлення електродвигуна М5 при аварії вимикається.

Після проведення ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М5 включається за допомогою кнопки SB10. Так як насос миттєво не набирає робочий тиск, кнопку SB10 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка HL27, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB10 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП5 проходить через контакти МП5-1 і КМ17-2.

#### **4. Система технологічної сигналізації до процесів лужної очистки дизельного палива**

##### **3. 4.1. Постановка задачі до розробки схеми з технологічної сигналізації в процесі лужної очистки дизельного палива**

При натисканні кнопки включення електродвигуна повинен спрацювати магнітний пускач і замкнутися нормально розімкнутий контакт, який замикає ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації включення магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той же час, розмикається нормально розімкнутий контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

##### **2.4.2. Опис роботи схеми технологічної сигналізації**

Технологічні блокування спрацьовують при занадто низьких або занадто високих показниках вимірюваного параметра. Якщо така ситуація сталася відбувається наступне (Для прикладу, розглянемо М2):

Аварійна ситуація індикується приладом 13-2. Перемикач цього ж приладу перемикається. Таким чином, спрацьовує реле (КМ8):

-Розмикається контакт КМ8-1 (відключається сигнальна лампочка зеленого кольору HL8)

-Замикається контакт КМ8-2 (включається сигнальна лампочка червоного кольору HL7) Після усунення несправностей, контакти приладу 13-2 перемикаються – реле захисту відключається (КМ8-1 замикається, подаючи напругу на HL8, КМ8-2 розмикається, відключаючи напругу від HL7 ). На принциповій електричній схемі креслення №5 показані схеми технологічної сигналізації для двох параметрів. Всі ланцюги сигналізації побудовані за типовим варіантом.

#### 4. 5.Технологічні блокування

##### 5.1.Постановка задачі технологічних блокувань у технологічному процесі лужної очистки дизельного палива.

Зменшена копія принципової електричної схеми зображена на рис.4.

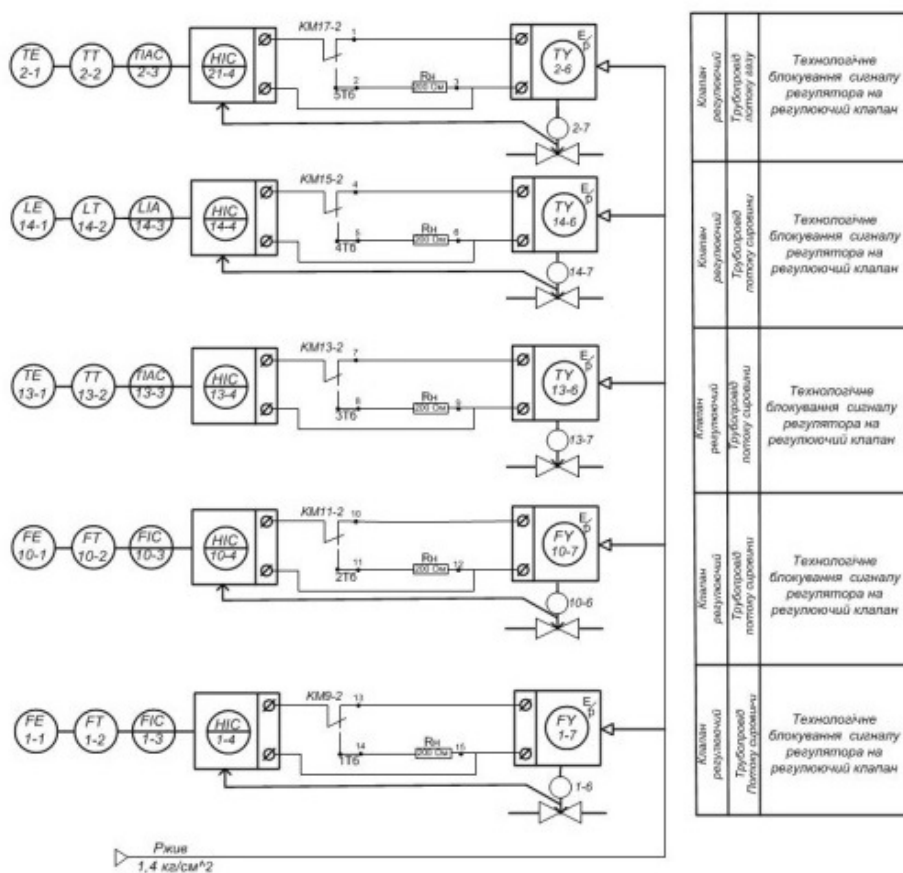


Рис.2.3. Принципова електрична схема блокувань сигналів до регулювальних клапанів.

Якщо виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, то в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи. Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках: Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М1. Має бути вимкнено живлення електродвигуна М2 і закритися клапани позиції: 1-6, 3-6.

Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М2. Має бути вимкнено живлення електродвигуна М1 і закритися клапани позиції: 1-6, 3-6. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М3. Має бути вимкнено живлення електродвигуна М1 і закритися клапани позиції: 19-6.

Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М4. Має бути вимкнено живлення електродвигуна М1 і закритися клапани позиції: 3-6. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М5. Має бути вимкнено живлення електродвигуна М1 і закритися клапани позиції: 45-6.

## 5.2.Опис роботи схеми технологічних блокувань.

Якщо виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, то в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи.

Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М1.
2. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М2.
3. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М3.
4. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М4.



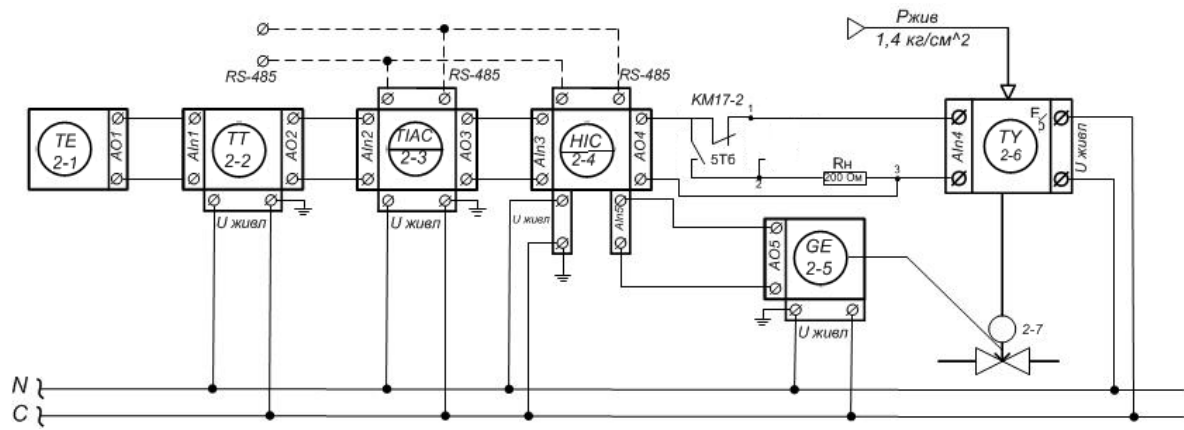


Рис.2.5. Ланцюги підключень до технічних засобів у схемі з технологічного сигналу до регулювального клапану.

## 6. Опис монтажно-комутаційних з'єднань до принципових електричних схем

## 6.1. Опис схеми до системи дистанційного керування та аварійного захисту електромоторів

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань знаходиться на кресленні *ДП.ЛАЗ1.12.00.003.СхМк*. Зменшена копія схеми розміщена на рис.2.6.

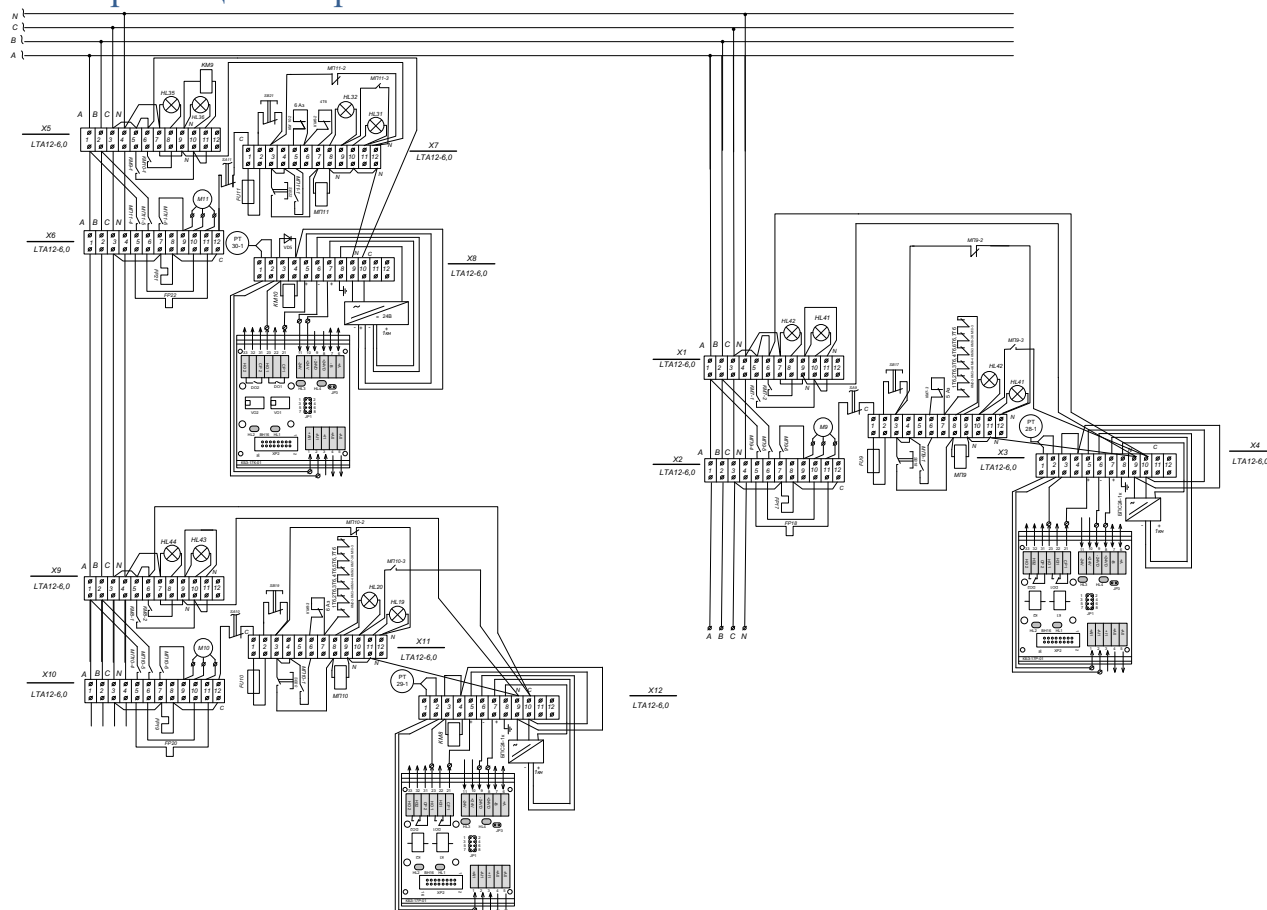


Рис.2.6. Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань

### Клемна колодка X1 LTA12-6.0:

До контактів 1,2,3,4 підведені три фази силової мережі і нуль;

До контактів 6, 8 приєднаний нормально розімкнений контакт реле KM17-1;

До контактів 9, 11 приєднано електромагнітне реле KM17;

До контактів 7,8 приєднано лампочку HL30;

До контактів 9, 10 приєднано лампочку HL29;

До контактів 5, 10 приєднане реле KM17-2;



**Клемна колодка X2 LTA12-6.0:**

До контактів 9,10,11 підключено електродвигун М5;

До контактів 5,11 приєднано автоматичний вимикач FP9;

До контактів 7, 8 приєднаний автоматичний вимикач FP10;

До контактів 7, 9 приєднаний контакт магнітного пускача МП5-6;

**Клемна колодка X3 LTA12-6.0:**

До контактів 1, 2 приєднаний плавкий запобіжник FU9;

До контактів 2, 3 приєднано кнопку «Стоп» SB9;

До контактів 3, 6 приєднано кнопку «Пуск» SB10;

До контактів 4, 5 приєднано нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МП5-1;

До контактів 5, 6 приєднано нормально замкнутий контакт реле КМ17-2;

До контактів 6, 7 приєднано нормально замкнутий контакт реле КМ11-3;

До контактів 8, 9 приєднано лампочку HL27;

До контактів 9, 12 приєднано нормально замкнутий контакт магнітного пускача МП5-3;

До контактів 10, 11 приєднано лампочку HL28;

**Клемна колодка X4 LTA12-6.0:**

До контактів 1, 2 приєднаний вимірювач тиску FP;

До контактів 3, 4 приєднано реле КМ17;

До контактів 5, 6,7 приєднано плату КБЗ-17Р-01;

До контактів 9, 10 приєднано блок перетворення сигналів;

## **6.2. Опис схеми монтажно-комутаційних з'єднань до системи технологічних блокувань**

Схема монтажно-комутаційних з'єднань потрібна для правильного підключення приборів в контур регулювання. Зменшена копія схеми розміщена на рис.2.7.

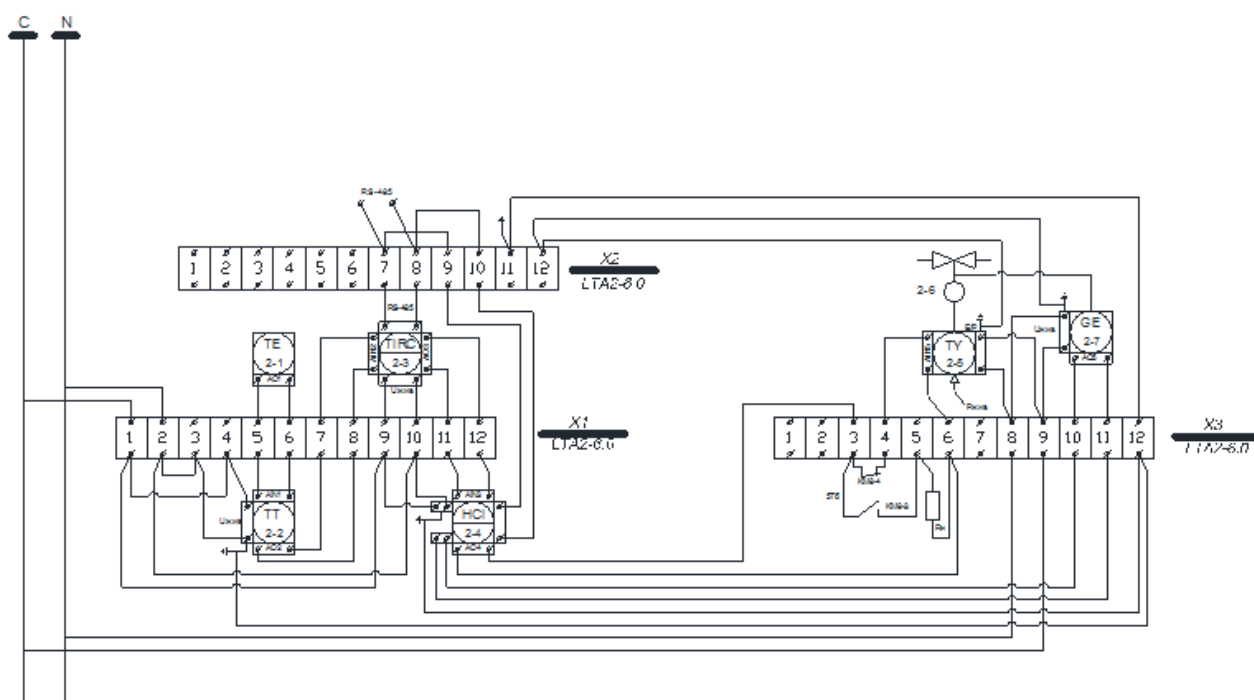


Рис.2.7. Схема монтажно-комутаційних з'єднань до системи технологічних блокувань

#### **Клемна колодка X1 LTA12-6.0:**

До контактів 7, 8 приєднано RS-485;

До контактів 11 приєднано заземлення до всього контуру;

#### **Клемна колодка X2 LTA12-6.0:**

До контактів 5,6 підключено вимірювач температури ТЕ;

До контактів 7,8 підключено ТІС;

До контактів 3, 4 підключено ТТ;

До контактів 11, 12 підключено НІС;

### **5. 6.3.Опис схеми монтажно-комутаційних з'єднань до системи технологічної сигналізації**

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до системи технологічної сигналізації зображена на рис.2.8.. Схема розроблена відповідно до принципово-електричної схеми технологічної сигналізації.

