

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 _____

«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: Автоматичне керування процесом деструктивної перегонки мазутів та гудронів

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ЛА-72мп
(шифр групи)

Горобець Олександр Олександрович
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент, к.т.н., доцент. Осіпа Р. 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

Горобцю Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Автоматичне керування процесом деструктивної перегонки мазутів та гудронів

науковий керівник дисертації Осіпа Руслан Адольфович, к.т.н., доцент. _____ ,
(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 14 грудня 2018 р

3. Об'єкт дослідження Технологічне моделювання процесів теплообміну у нагрівальних печах

4. Вихідні дані Технологічна схема виробництва з описом – за матеріалами виробничої практики та літературними джерелами. Значення технологічних параметрів, які підлягають контролю: потік димових газів 0,5. теплопередача ТП 0...60

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз технологічного процесу перегонки мазутів та гудронів, аналіз існуючих систем керування

кристалізатором, ідентифікація системи керування трубчастої печі, синтез системи керування трубчастої печі, стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Схема автоматизації технологічного процесу, принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунів, аварійного захисту та аварійної сигналізації, схема монтажно-комутаційна до технологічних блокувань двигунів.

7. Орієнтовний перелік публікацій Дослідження математичної моделі в процесі деструктивної перегонки мазутів та гудронів .

9. Дата видачі завдання 6 листопада 2018 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу деструктивної перегонки мазутів та гудронів	6.11.18	
2	Проектування системи автоматизації процесі деструктивної перегонки мазутів та гудронів	15.11.18	
3	Ідентифікація моделі трубчастої печі	23.11.18	
4	Синтез систем керування для трубчастої печі та трубного простору	1.12.18	
5	Оформлення стартап-проекту	10.12.18	
6	Оформлення магістерської дисертації	12.12.18	

Студент

(підпис)

Горобець О.О
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Осіна Р. А.
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дипломний проект на тему «Автоматичне керування процесом перегонки мазутів і гудронів» містить пояснювальну записку об'ємом 98 сторінки, 2 листи креслень формату А1 та 2 листи креслень формату А2.

Пояснювальна записка містить 32 рисунка, 19 таблиць, 3 додатки, 12 літературних джерел. Додаток складається зі специфікації устаткування, виробів і матеріалів до схеми автоматизації.

В пояснювальній записці виконаний аналіз технологічного процесу перегонки мазутів і гудронів було розроблено стартап проект, організовані експериментальні дослідження трубчастої печі, розроблено автоматичну систему керування. математична модель трубчастої печі, здійснена розробка системи керування, зроблено висновок про отримання похибок, синтез оптимального лінійно-квадратичного регулятора, розроблена специфікація під створену схему автоматизації.

Ключові слова: термічний крекінг, трубчаста піч, математична модель, лінійно-квадратичний регулятор, синтез, об'єкт керування, автоматизація, технічні засоби автоматизації..

Abstract

Diploma project on "Automatisation control of process of destructive distillation of fuel oil and tar." contains an explanatory note in volume of 98 pages, 1 sheet of drawings of A1 format and 3 sheets of drawings of A3 format.

Explanatory note contains 32 figures, 19 tables, 3 applications, and 12 references. The application consists of the specification of the equipment, products and materials to the scheme of automation.

In the memorandum the analysis of the process of destructive distillation of fuel oil and tar was performed was carried out, a startup project was developed, experimental research of the tubular furnace was organized, and an automatic control system was developed. the mathematical model of the tubular furnace, the development of the control system, the conclusion on the obtaining of errors, the synthesis of the optimal linear quadratic regulator, a specification under the scheme of automation has been developed.

Keywords: thermal cracking, tubular furnace, mathematical model, linear quadratic regulator, synthesis, control object, automation, technical means of automation.

Перелік скорочень та умовних позначень

F – витрата;

t – температура;

Q – кількість тепла;

c – теплоємність;

ρ – густина;

V – об'єм;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

q – питома теплотворність;

k – коефіцієнт теплопередачі;

s – площа поверхні теплообміну;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

Kr – коефіцієнт пропорційності;

Ti – час ізодрому;

σ – середньо-квадратична похибка;

$\Delta t_{\text{доп}}$ – гранично допустима абсолютна похибка;

q - теплота згоряння палива;

$Q(T)$ - втрати на випромінювання;

S – ентропія;

ρ_1 – щільність газу;

$v_1 S$ – секундна об'ємна витрата газу;

u - внутрішня енергія одиниці маси газу;

p / ρ - потенційна енергія тиску одиниці маси газу;

$w^2 / 2$ - кінетична енергія одиниці маси газу;

gz - потенційна енергія положення (рівня) одиниці маси газу;

z - геометрична висота;

g - прискорення сили тяжіння

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І

ГУДРОНІВ.....9

1.1. Основи процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів.....10

1.2. Фізико-хімічні основи процесу перегонки мазутів і гудронів.....11

1.3. Технологія процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів.....12

1.4. Аналіз трубчастої печі як об'єкта автоматизації та їх характеристики...14

1.5 Аналіз існуючих систем управління.....17

1.6. Постановка задач дослідження.....18

2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДЕСТРУКТИВНОЇ МАЗУТІВ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ.....20

2.1. Параметри контролю та керування виробництва.....20

2.2. Розробка схеми автоматизації.....22

2.3. Вибір технічних засобів автоматизації.....23

2.4. Дистанційне керування і аварійний захист електричних двигунів.....24

2.4.1. Постановка задачі з керування і захисту електродвигунів в схемі
деструктивної перегонки мазутів і
гудронів.....25

2.4.2. Принципова електрична схема керування і аварійного захисту
насосів.....28

2.4.3. Вибір технічних засобів автоматизації.....29

2.4.5. Монтажно-комутаційне з'єднання пристроїв для схеми управління та
аварійного захисту електродвигунів.....30

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ У ПРОЦЕСІ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І

ГУДРОНІВ.....31

3.1. Організація експериментальних досліджень трубчастої печі	31
3.2. Обробка експериментальних досліджень трубчастої печі	40
4. СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ.....	46
4.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора.....	46
4.2. Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою.....	50
4.3 Порівняння результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком.....	53
4.4 Керування за мінімальним часом при обмеженні на керування.....	56
4.5 Синтез регулятора з використанням методу розміщення полюсів.....	59
5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	64
5.1 Опис ідеї стартап-проекту.....	64
5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.....	66
5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту.....	70
5.4 Прогнозування здобуття потенційних клієнтів.....	70
5.5. Фактори можливостей.....	72
5.6. Аналіз конкуренції на ринку.....	72
5.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.....	73
5.8. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.....	74
5.9. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін Алгоритму стиснення.....	75
5.10. SWOT – аналіз стартап-проекту.....	76
5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів.....	77

5.12 Управлінська проблема.....	78
5.13. Визначення базової стратегії розвитку.....	78
5.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.....	79
5.15. Визначення стратегії позиціонування.....	79
5.16. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.....	80
5.17. Формування системи збуту.....	80
5.18 Висновки.....	82
ВИСНОВКИ.....	83
Література.....	84
ДОДАТКИ.....	86
Додаток 1.Специфікація устаткування, до функціональної схеми автоматизації.....	86
Додаток 2. Специфікація устаткування, до принципової електричної схеми електромоторів з аварійним захистом і технологічним блокуванням.....	95
Додаток 3 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів.....	97

Вступ

Автоматизація виробничих процесів - найважливіший напрямок технічного прогресу більшості галузей господарства нашої країни. У цей час засоби автоматизації широко використовуються в багатьох сферах діяльності людини.

Автоматизацією називається галузь науки й техніки, що охоплює теорію й принципи побудови систем керування, а також сукупність технічних засобів для їхньої реалізації вона передбачає, керування, контроль, сигналізацію та блокування технологічних параметрів за допомогою відповідних автоматичних пристроїв без безпосередньої участі людини, а також під її контролем.

Тема дипломного проекту: «Автоматичне керування технологічним процесом деструктивної перегонки мазутів і гудронів». Актуальність роботи полягає в тому, що термічний крекінг є процесом, що дозволяє збільшити вихід світлих продуктів з нафти і отримати сировину для нафтохімічної промисловості.

Новизна роботи полягає в створенні математичного моделювання та автоматизації технологічного процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів, яка може бути використана в навчальному процесі, при виконанні курсових робіт та дипломних проектів, а також при вивченні окремих розділів систем керування технологічними процесами; розробці схеми автоматизації; розробці математичної моделі процесу.

1. АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ

1.1 Основи процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів

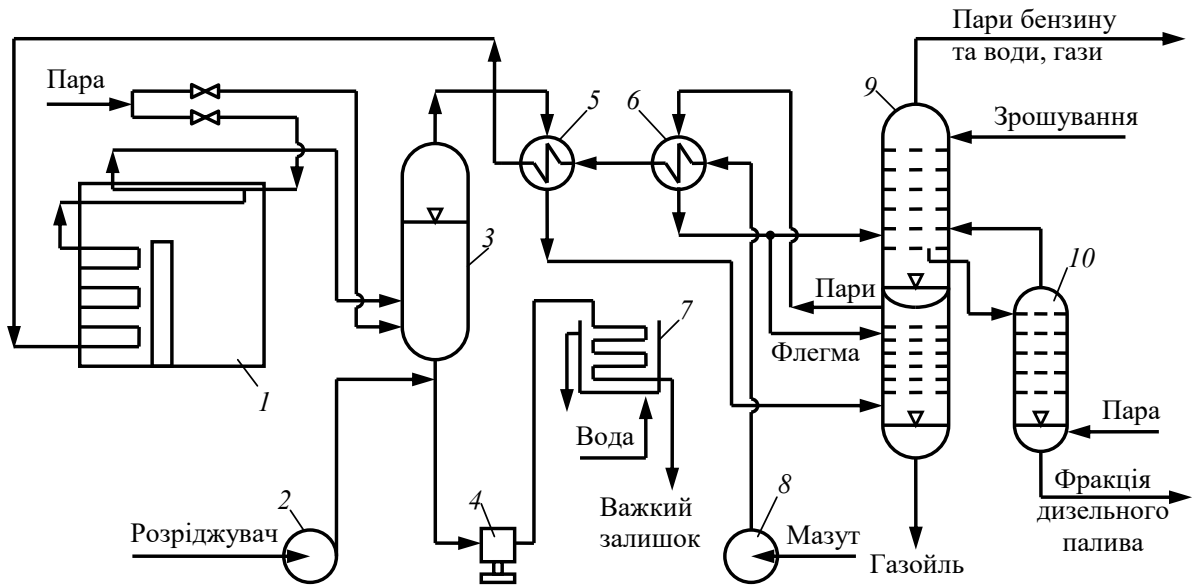


Рис. 1. Технологічна схема установки деструктивної перегонки мазуту:

1 – трубчаста піч; 2, 8 – насоси; 3 – випарник; 4 – поршневий насос; 5, 6 – теплообмінники; 7 – холодильник; 9 – ректифікаційна колона; 10 – відпарна колона

Процес деструктивної перегонки мазутів розроблено для збільшення ресурсів газойлевих фракцій — сировини для установок каталітичного крекінгу (вихід дистилатів збільшується майже на 35 % порівняно зі звичайною перегонкою). Особливість процесу — поєднання перегонки сировини з термічним розкладанням її смолистого залишку у випарнику. Якщо бензинові й гасові фракції утворюються переважно у змійовику печі, то газойлеві фракції - у випарнику, що працює за порівняно помірної (420-425 °С) температури та невисокого надлишкового тиску. Тривалість перебування крекінгової рідини у випарнику становить приблизно 1,5 год. Температура сировини на виході з печі дорівнює 460-475 °С.

Мазут, що надходить з нафтоперегінної установки, насосом 8 через теплообмінники 6 і 5 подається в змійовик печі 2. Через конвекційні труби змійовика мазут надходить у радіантні труби (дворядний екран). У другий ряд радіантних труб вводиться перегріта водяна пара. Після виходу з радіантного

зміювика суміш подається в нижню частину випарника 3; туди ж, але нижче введення сировини, подається й перегріта водяна пара.

У випарнику 3 суміш розділяється на парову та рідку фази. Місткість випарника достатня для тривалого перебування в ньому рідини, яка продувається перегрітою водяною парою. Для зменшення в'язкості важкого залишку, який відводиться з випарника поршневим насосом 4, передбачено можливість додавання розріджувача до сировини насосом 2. Як розріджувач використовують частину одержаної на установці й охолодженої дизельної фракції.

Виведена з верху випарника суміш пари з невеликою кількістю крекінг-газів слугує теплоносієм у теплообміннику 5; звідси вуглеводний конденсат, гази і пари надходять під нижню тарілку ректифікаційної колони 9. Між шостою та сьомою тарілками цієї колони розміщено внутрішнє днище. Досягши його, вихідний потік пари спрямовується в теплообмінник 6. Рідка флегма, що утворюється тут, стікає на п'яту тарілку колони, а пара вводиться під сьому тарілку. Загальна кількість тарілок у колоні — 15. Нижній продукт колони являє собою газойль з початком кипіння близько 340 °С. Фракція дизельного палива до виходу її з випарної колони 10 продувається на шести тарілках водяною парою.

Газойль (англ. gasoil, нім. Gasölin, рос. газойль,) — фракція нафти, застосовувана переважно як паливо для дизелів і як сировина для каталітичного крекінгу суміші вуглеводнів різної будови, переважно C12—C35, і домішок (головним чином сірко-, азот- і кисне містких) з межами википання 200—500 °С і молекулярною масою 50-500 г/моль.[1]

1.2 Фізико-хімічні основи процесу перегонки мазутів і гудронів

Термічний крекінг, або деструктивна перегонка під тиском призначена для переробки важких нафтових залишків і дистилятної сировини. Такий метод сприяє значному збільшенню глибини відбору світлих нафтопродуктів з нафти. Деструктивна переробка заснована на розщепленні молекул вуглеводнів і є найбільш поширеним способом хімічної обробки нафти і нафтопродуктів. Процес деструктивної перегонки мазутів та гудронів розроблено для збільшення ресурсів газойлевих фракцій — сировини для установок каталітичного крекінгу суміші

вуглеводнів різної будови (вихід дистилятів збільшується майже на 35 % порівняно зі звичайною перегонкою). Особливість процесу — поєднання перегонки сировини з термічним розкладанням її смолистого залишку у випарнику.

Напрямок термічного крекінгу залежить від природи вуглеводневої сировини, його мл. маси і умов проведення процесу. Термічний крекінг протікає в основному по ланцюговому радикальному механізму (див. Піроліз нафтової сировини) з розривом зв'язків С-С в молекулах парафінових (С₅ і вище), нафтиєвих і висококиплячих неграничних вуглеводнів нафтової сировини і зв'язку С-Н в низькомольних парафінових і ін. вуглеводнях (рис. 1). Одночасно з розривом зв'язків відбуваються реакції полімеризації (ненасичені і циклопарафінові вуглеводні) і конденсації (циклізація; ненасичені, і алкілароматичні Вуглеводні), що призводять до утворення смолисто-асфальтєвих крекінг-залишку і коксу. Найважливішими параметрами, визначальними напрямком і швидкість протікання термічного крекінгу, є температура, тривалість і тиск. Процес починає в помітному ступені протікати при 300-350 ° С і описується кінетичним рівнянням першого порядку. Температурна залежність константи швидкості підпорядковується рівнянню Арреніуса. Зміни тиску впливають на склад продуктів процесу (напр., На вихід залишкових фракцій і коксу) внаслідок зміни швидкостей і характеру вторинних реакцій полімеризації і конденсації, а також обсягу суміші.[11]

З дистилятів видів сировини крекіруванню піддають: дистиляти коксування, прямогонні соляровим фракції, флегму легкого термічного крекінгу, лігроїєвих фракцій і низькооктановий бензин прямої гонки.

Важку нафтову сировину піддають термічному крекінгу під тиском для перетворення його в товарний топковий мазут. Одночасно при цьому отримують до 15% бензинового дистиляту і до 4% крекінг-газу. Крекінг проводять при температурі 455-480° С і тиску 40-50 ат протягом 2-4 хв. Хімічну переробку нафти називають крекінгом. Якщо спробувати перевести це слово з англійської, то вийде розщеплення або розпадання. Такий спосіб переробки нафтопродуктів є

деструктивним, спрямованим на створення нових речовин з існуючих. Завдяки крекінгу, при реакції може виходити до 60% бензину. Використання крекінгу економічно ефективно. Під час такої хімічної реакції використовують не тільки чисту нафту, але і перегінну, тобто вже минулий певну обробку.

Інтеграція нафтохімії і переробки здатні прискорити процес розвитку крекінгу і поліпшити якість сировини, що переробляється. Цей напрямок вважається одним з перспективних. При крекінгу вуглеводневі молекули розщеплюються допомогою каталізаторів або температури. Наприклад, при температурі в 450-700 градусів розщеплюються алкани, утворюючи такі ж з'єднання або алкени, але тільки з найменшою кількістю молекул. Зв'язки гомолітично розпадаються, створюючи вільні радикали. За рахунок цього вільні радикали відрізняються підвищеною активністю, які перетворюють відщепленні водень в етан або бутілен. Температура в 1000 градусів повністю розриває всі зв'язки, навіть міцні, і утворює водень з чистим вуглецем або сажею. В ході термічної переробки сировини нагрівання відбувається без доступу повітря. При термічному крекінгу разом з вуглеводневим розпадом присутні полімеризація і конденсація. Термічна переробка тягне за собою і освіту ненасичених вуглеводнів з низькою хімічною стабільністю. З іншого боку, термічний крекінг є не дуже ефективним, тому його часто замінюють каталітичної переробкою. Термічний крекінг буває рідким, у вигляді деструктивної перегонки, коксування і піролізу. Ця переробка сировини підходить для мазутних залишків, масляних гудронів та інших продуктів, які википають до 350 градусів. [1]

1.3 Технологія процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів

На відміну від атмосферної і вакуумної перегонки, при яких нафтопродукти виходять шляхом фізичного поділу нафти на Відповідні фракції, що відрізняються по температурах кипіння, термічний крекінг є хімічним процесом, що відбувається під впливом високої температури і тиску, а також часу впливу цих чинників; при термічному крекінгу одночасно протікають реакції розпаду, ущільнення і перегрупування.[11]

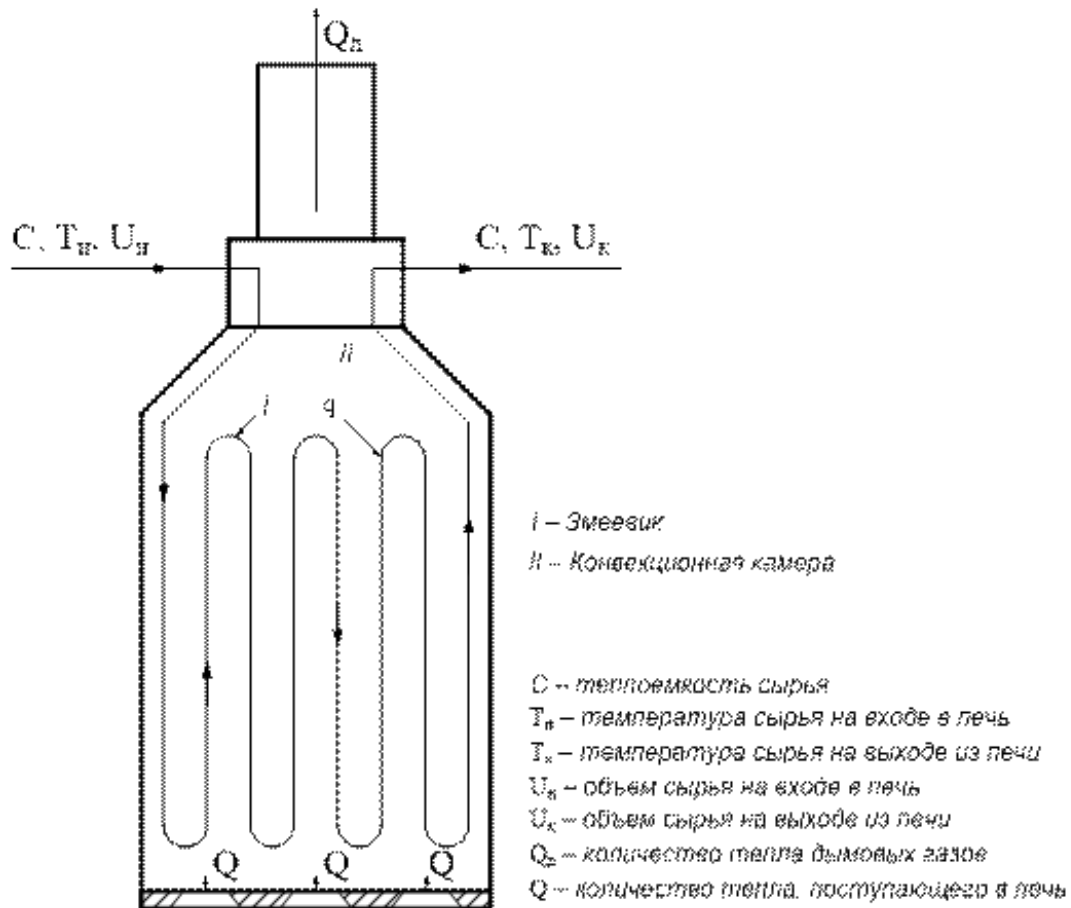
У нафтопереробної промисловості в даний час широко застосовуються термічний крекінг під тиском, коксування і піроліз. Термічному крекінгу під тиском піддаються нафтові залишки і дистилятів фракції для отримання товарного топкового мазуту, крекінг-гасу і бензину. Деструктивна переробка заснована на розщепленні молекул вуглеводнів і є найбільш поширеним способом хімічної обробки нафти і нафтопродуктів.

При прямій перегонці нафти вихід світлих фракцій, зокрема для бензинів становить не більше 9 ... 12%, рідко до 20%. Підвищення попиту на бензин викликало необхідність збільшення його виробництва, що виявилось можливим завдяки застосуванню деструктивних методів (розщеплення високомолекулярних фракцій на фракції з меншою молекулярною масою), такий метод отримав назву крекінг-процес. Використовуючи цей процес стало можливим збільшити вихід бензинових фракцій з нафти до 50 ... 60%.

Крекінг-процес, що протікає під дією теплоти, називається термічним, а в присутності каталізатора - каталітичним. Основними факторами термічного крекінгу є температура, тиск, час процесу. Процес деструктивної перегонки мазутів та гудронів розроблено для збільшення ресурсів газойлевих фракцій — сировини для установок каталітичного крекінгу суміші вуглеводнів різної будови (вихід дистилятів збільшується майже на 35 % порівняно зі звичайною перегонкою).

Газойль термічного крекінгу є нестабільним, якщо не буде подальшої обробки. Він може швидко втратити колір і дати в осаді декстрин і смоли. Операції стабілізації і очищення, що доповнюють термічний крекінг, можуть дозволити отримати газойль, який не має запаху, відповідає нормам і критеріям споживача до кольору, щільності, кислотності, кількості декстрину і смол, що утворюються при зберіганні. [2]

1.4 Аналіз трубчастої печі як об'єкта автоматизації та їх види



1.2. Схема Трубчастої печі

Трубчаста піч - високотемпературний термотехнологічний пристрій з робочою камерою, захищеної від навколишньої атмосфери.

Піч призначена для нагріву вуглеводневої сировини теплоносієм, а також для нагріву і здійснення хімічних реакцій за рахунок тепла виділеного при спалюванні палива безпосередньо в цьому апараті. Трубчасті печі використовуються при необхідності нагріву середовища (вуглеводнів) до температур вищих, ніж ті, яких можна досягти за допомогою пари, т. Е. Приблизно понад 230°C . Незважаючи на порівняно великі початкові витрати, вартість тепла, відданого середовищі при правильно спроектованій печі, дешевше, ніж при всіх інших способах нагріву до

високих температур. В якості палива можуть застосовуватися продукти відходів різних процесів, в результаті чого не тільки використовується тепло, що отримується при їх спалюванні, але часто усуваються і труднощі, пов'язані зі знешкодженням цих відходів.

Перегонка нафти і мазуту в даний час проводиться на так званих трубчастих установках, де протікають послідовно наступні процеси: попередній нагрів сировини за рахунок відібрання тепла (рекуперації) від продуктів перегонки в теплообмінниках, основний нагрів сировини в трубчастих печах, відділення пари, що утворилася від рідкого залишку і їх ректифікації в ректифікаційних колонах, конденсація і охолодження продуктів перегонки в холодильниках, які одночасно можуть служити підігрівниками сировини. У промисловості експлуатують установки перегонки нафти одноступінчасті - коли при атмосферному тиску виходять бензинові фракції від бензинової до будь-якої із високою температурою та двуступінчатої на яких нафта спочатку розганяється при атмосферному тиску з отриманням бензину, лігроїну, газойля, гасу, мазуту, а потім з мазуту під вакуумом виходять маслянисті дистиляти. [3]

Технологічні установки перегонки нафти призначені для поділу нафти на фракції і подальшої переробки або використання їх як компонентів товарних нафтопродуктів. Вони складають основу всіх НПЗ. На них виробляються практично всі компоненти моторних палив, мастил, сировина для вторинних процесів і для нафтохімічних виробництв. Від їх роботи залежать асортимент і якість одержуваних компонентів і техніко-економічні показники наступних процесів переробки нафтової сировини. Процеси перегонки нафти здійснюють на так званих атмосферних трубчастих (АТ) і вакуумних трубчастих (ВТ) або атмосферно-вакуумних трубчастих (АВТ) установках. [1]

Сировина нагрівається в теплообмінниках і подається в колону ректифікації для відпарки легких продуктів і одночасно в верхню частину випарника. Потім важка частина сировини з низу колони подається в піч для термічного крекінгу. Легка частина сировини з колони з глухою тарілки направляється в змійовик інший поруч стоїть печі, де також йде процес термічного крекінгу. Продукти

крекінгу надходять з обох печей в виносну реакційну камеру, а потім в випарник високого тиску. У ньому від суміші відділяється рідкий крекінг-залишок, який надходить в випарну колону низького тиску, де в результаті зниження тиску з крекінг-залишку виділяються газойлеві фракції. З колони крекінг-залишок подається в вакуумну колону, звідки виводиться цільовий продукт - термогазойль (сировина для виробництва технічного вуглецю). Параметри режиму та вихід продуктів наступні. Температура, в реакційній камері -наверху - 495-500, внизу - 460-470, ректифікаційної колоні - нагорі - 180-220, внизу - 390-410, випарної колоні низького тиску - нагорі - 170-220, внизу - 400-415, вакуумної колоні - на вході - 305-345, нагорі - 70-90, внизу -300-320. Вихід продуктів,% травні. - газ - 5, головна фракція стабілізації - 1,3, бензинова фракція - 20,1.

Головними і природними для класифікації печей в логічній послідовності є такі ознаки:

- технологічні;
- конструктивні.
- теплотехнічні;

За способом передачі тепла та нагріву продукту печі підрозділяються:

- конвективні;
- радіаційні;
- конвективно-радіаційні;

Кожна трубчаста піч характеризується трьома основними показниками:

- продуктивністю,
- корисною тепловим навантаженням,
- коефіцієнтам корисної дії.

Продуктивність печі виражається кількістю сировини, що нагрівається в трубних зміювиках в одиницю часу (зазвичай в т / добу). Вона визначає пропускну здатність печі, тобто кількість нагрівається сировини, яке прокачується через зміювики при встановлених параметрах роботи (температурі сировини на вході в піч і на виході з неї, властивості сировини і т.д.). Таким чином, для кожної печі продуктивність є найбільш повною її характеристикою. [1]

Корисне теплове навантаження це кількість тепла, переданого в печі сировини (МВт, Гкал / год). Вона залежить від теплової потужності і розмірів печі. Теплове навантаження більшості експлуатованих печей 8 ... 16 МВт. Перспективними є більш потужні печі з тепловим навантаженням 40 .. 100 МВт і більше. Коефіцієнт корисної дії печі характеризує економічність її експлуатації і виражається відношенням кількості корисно використововуваного тепла $Q_{\text{пол}}$ до загальної кількості тепла $Q_{\text{заг}}$, яке виділяється при повному згорянні палива. Корисно використаним вважається тепло, сприйняте всіма нагріваються продуктами (потоками): сировиною, перегрівається в печі паром і в деяких випадках повітрям, нагрівається в рекуператорах (повітропідігрівниках). Значення коефіцієнта корисної дії залежить від повноти згорання палива, а також від втрат тепла через обмурівку печі і з йдуть в димову трубу газами. Трубчасті печі, експлуатовані в даний час на нафтопереробних заводах, мають ККД в межах 0.65 ... 0.87. Підвищення коефіцієнта корисної дії печі за рахунок більш повного використання тепла димових газів можливо до значення, обумовленого їх мінімальною температурою. Як правило, температура димових газів, що залишають конвекційну камеру, повинна бути вище початкової температури нагрівається сировини не менше ніж на 120 ... 180°C.

Експлуатаційні властивості кожної печі поряд з перерахованими показниками характеризуються:

- теплонапругою поверхні нагрівання;
- теплонапругою топкового обсягу;
- гідравлічним режимом в трубному змійовику при сталій роботі.

Від комплексу цих показників залежать ефективність роботи трубчастих печей і термін їх служби. [1]

1.5 Аналіз існуючих систем управління

Аналіз технологічних регламентів трубчастих печей діючих виробництв та спеціальної наукової літератури [3, 4] показав, що застосовувані системи АПС реагують на небезпечне коксування по таким ознакам:

- існує різниця в показаннях температури сировини між паралельними потоками на виході з радіантних змійовиків трубчастої нагрівальної печі (також це можливо при несправності контрольно-вимірювальних приладів (КВП) і при нерівномірній подачі сировини);
- спостерігається значне посилення тиску на вході сировини в піч при його постійній витраті;
- температура топкових газів на перевалі печі при однаковому кількості палива, що спалюється підвищується (кокс, який утворився на трубах змійовика, впливає на коефіцієнт теплопередачі від диму до продукту, в результаті знижується кількість тепла, переданого сировині).

В результаті аналізу наукової і технічної літератури були виявлені змінні і постійні параметри, що впливають на швидкість коксоутворення в змійовиках трубчастих печей [5].

До змінних Значення деяких параметрів, які змінюються в часі і в певній мірі контролювані належать:

- температура продукту;
- парціальний тиск реагуючих вуглеводнів;
- масова витрата сировини. До постійних відносяться параметри, пов'язані з конструкцією печі, і малозмінними параметри:
- внутрішній діаметр труб;
- довжина труб;
- зрівняння теплового потоку (різниця температур труб);
- матеріал виготовлення труб;
- стан поверхонь реактора;
- час перебування сировини в трубчастому змійовику;
- наявність інгібіторів коксоутворення. [1]

1.6 Постановка задач дослідження

Автоматичне керування процесом деструктивної перегонки мазутів і гудронів варто автоматизувати на високому рівні. Для цього необхідно розробити

схему автоматизації та ознайомитись з технологічним процесом, визначити параметри виробництва, які забезпечать нормальне протікання процесу, параметри, які необхідно контролювати та за якими треба спостерігати, для забезпечення максимальної якості вихідного продукту. Аналіз стану технологічного, запобігання аварій шляхом перемикання технологічних вузлів у безпечний стан, виявлення аварійних ситуацій забезпечивши наявність контурів сигналізації і технологічних блокувань. Розробити специфікацію, принципову схему насосів та схеми комутації. Виконати Організацію та обробку експериментальних досліджень та провести синтез систем керування в трубчастій печі, зробити висновок про отримання похибок і впевнитися в правильно підібраних ТЗА. [6]

2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ

2.1. Розробка схеми автоматизації

Схема автоматичного контролю деструктивної перегонки мазутів і гудронів включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації.

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

Контур 1 – контролює витрату в трубопроводі сировини 29 та включає: витратомір – діафрагма камерна (1-1); теплоперетворювач тиску (1-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (1-3).

Контур 2 – контролює витрату в трубопроводі сировини 2п на вході в піч та включає: витратомір – діафрагма камерна (2-1); теплоперетворювач тиску (2-2); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації (2-3).

Контур 3 – контролює витрату в трубопроводі сировини 2п на вході у випарник та включає: витратомір – діафрагма камерна (3-1); теплоперетворювач тиску (3-2); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації (3-3).

Контур 4 – контролює температуру на виході з печі, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термopара (4-1); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації, перетворення сигналу (4-2).

Контур 5 – контролює температуру теплообмінника 5 та включає: термopара (5-1); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації, перетворення сигналу (5-2).

Контур 6 – контролює температуру випарника, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термopapa (6-1); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації (6-2).

Контур 7 – контролює тиск у випарнику, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: первинний прилад виміру тиску з перетворенням вихідного сигналу(7-1); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації (7-2).

Контур 8 – контролює температуру теплообмінника 6 та включає: термopapa (8-1); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації, перетворення сигналу (8-2).

Контур 9 – контролює витрату в трубопроводі сировини 35 на виході з ректифікаційної колони та включає: витратомір – діафрагма камерна (9-1); теплоперетворювач тиску (9-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (9-3).

Контур 10 – контролює витрату в трубопроводі сировини 34 на вході в ректифікаційну колону та включає: витратомір – діафрагма камерна (10-1); теплоперетворювач тиску (10-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (10-3).

Контур 11 – контролює витрату в трубопроводі сировини 29 на вході у теплообмінник 6 та включає: витратомір – діафрагма камерна (11-1); теплоперетворювач тиску (11-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (11-3).

Контур 12 – контролює витрату в трубопроводі сировини 31 на виході з холодильника та включає: витратомір – діафрагма камерна (12-1); теплоперетворювач тиску (12-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (12-3).

Контур 13 – контролює температуру відпарної колони та включає: термopapa (13-1); вторинний прилад з пристроєм сигналізації та функцією індексації, реєстрації, перетворення сигналу (13-2).

Контур 14 – контролює витрату в трубопроводі сировини 36 на виході з відпарної колони та включає: витратомір – діафрагма камерна (14-1); теплоперетворювач тиску (14-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (14-3).

Контур 15 – контролює витрату в трубопроводі сировини 33 на виході з ректифікаційної колони та включає: витратомір – діафрагма камерна (15-1); теплоперетворювач тиску (15-2); вторинний прилад з функцією індексації та реєстрації (15-3). [6]

2.2. Дистанційне керування і аварійний захист електричних двигунів

2.2.1 Постановка задачі з керування і захисту електродвигунів в схемі деструктивної перегонки мазутів і гудронів

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим або фазним ротором, синхронні і вентильний електродвигуни. Застосовуються різні способи регулювання швидкості електродвигуна шляхом зміни: напруги статора, частоти і напруги статора, частоти і напруги ротора та опору в ланцюзі ротора і ін. Розробка системи аварійного захисту та технологічних блокувань для технологічного процесу деструктивної перегонки мазутів та гудронів 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. Управління електроприводами насосів і компресорів може здійснюватися вручну і автоматично. Відповідно розрізняють неавтоматизованих і автоматизованих електроприводів. Ручне управління виконують за допомогою найпростіших комутаційних апаратів, на які впливає оператор. Автоматичне управління здійснюється електроприводами без безпосередньої участі людини. Воно особливо необхідно в приводах складних насосних і компресорних станцій, в яких можливі часті пуски електродвигунів, а також швидка і часта регулювання частоти їх обертання, і моменту в заданому діапазоні на валу одного або декількох трифазних асинхронних електродвигунів,

в тому числі їх каскадне включення за допомогою перетворювачів частоти завдяки обмеженню пускового струму двигуна, зникають викиди і провали напруги мережі живлення, тим самим зменшуються електромеханічні і теплові навантаження на провідники і їх ізоляцію.

Привід перестає впливати на інші прилади, підключені до використовуваної мережі; Перетворювач частоти, керуючи електродвигуном, може підтримувати будь-які технологічні параметри, на заданому рівні не вдаючись до будь-яким іншим способам регулювання швидкості обертання приводу, тим самим дозволяє уникнути складності в застосуванні, обслуговуванні і експлуатації і підвищити якість і діапазон регулювання, не кажучи про економічності і надійності роботи пристрою. [3]

2.2.1. Принципова електрична схема керування і аварійного захисту насосів

Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу перегонки мазутів і гудронів на кресленні ДП ЛА32.04.02.001 СхЕ.

Блок працює в автоматичному режимі (ручний режим опціонально).

В автоматичному режимі насос включається і вимикається по команді реле тиску (всклад блоку не входить) в залежності від режиму водоспоживання.

При першому підключенні живлення загоряються зелені світлодіоди на модулях KV1 і K1 (Опція), пристрій ASP (KV1) показує поточне значення напруги.

Якщо напруга не виходить за встановлені межі то після закінчення 15 секунд (час роботи таймера), реле KV1 замкне свої вихідні контакти, включені послідовно в ланцюг живлення котушки контактора. При цьому на KV1 загоряється зелений світлодіод. [6]

Реле захисту від сухого ходу K1F (опція) працює в залежності від взаємного положення заглибних електродів і рівня води в свердловині. Якщо рівень води падає нижче розташування нижнього електрода, то контактна пара, включена послідовно в ланцюг котушки контактора, розмикається і відключає насос. При

цьому загоряється лампа аварії HL2 і жовтий світлодіод на реле K1F, який показує включення захисту по сухому ходу через відсутності води в свердловині. Як тільки рівень води підніметься і досягне розташування електрода B2, контакти замкнуться і будуть подавати сигнал на включення контактора. Жовтий світлодіод на K1F при цьому згасне. Якщо тиск води в системі перевищує верхню межу $P_{\text{макс}}$, виставлений на реле тиску, то контакти розімкнуті, а контактор і, відповідно, насос відключені.

Як тільки починається споживання води із системи, тиск у ній падає. Коли ж воно перейде нижню межу $P_{\text{мін}}$, виставлений на реле тиску контакти реле замкнуться. Контактор спрацює, загориться зелена лампа роботи HL1 і насос почне закачувати воду в систему, поки тиск в ній не перевищить верхньої межі $P_{\text{макс}}$ [4]

2.2.2 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.

Якщо такий режим якої-небудь причини не може бути реалізований, накладка S3 встановлюється в положення "Стоп". В цьому випадку при відключенні турбіни спрацьовує реле КСТ, яка провадить зупинку блоку. Слід зазначити, що інформація про відключення турбіни повинна бути короткочасною і повинна зніматися або через певний час (30 с) після закриття стопорних клапанів, або після закриття ГПЗ. В іншому випадку реле зупинки блоку буде постійно знаходитися під напругою. Ланцюг самоутримання реле зупинки блоку КСТ відключається або з витримкою часу після відключення турбіни, або після закриття ГПЗ (ця інформація формується в схемі управління електромагнітами стопорних клапанів).

Зі схеми електричних захистів блоку генератор-трансформатор надходить інформація про відключення генератора від мережі, а також про включеному стані

генератора. Остання використовується для автоматичного введення захисту. При положенні накладки S4 - "Холостий хід" включається реле часу KLT і через 1 з включається реле холостого ходу КСХ, контактами якого подаються команди на переключення блоку в режим холостого ходу. Витримка часу дозволяє відбудуватися від спрацювання захистів при внутрішніх пошкодженнях блоку генератор-трансформатор, що діють через реле KL2 на останів блоку. Вказівний реле КНЗ фіксує переключення блоку в режим холостого ходу і включає відповідне табло. Накладка S4 дозволяє перевести дію захисту на останів блоку, якщо режим холостого ходу з якої-небудь причини не може бути реалізований. При цьому реле KLG3 включається без витримки часу. А клапан закривається чи відкривається в залежності від його виконання. Розглянемо приклад схеми технологічних блокувань (рисунок 2.1).

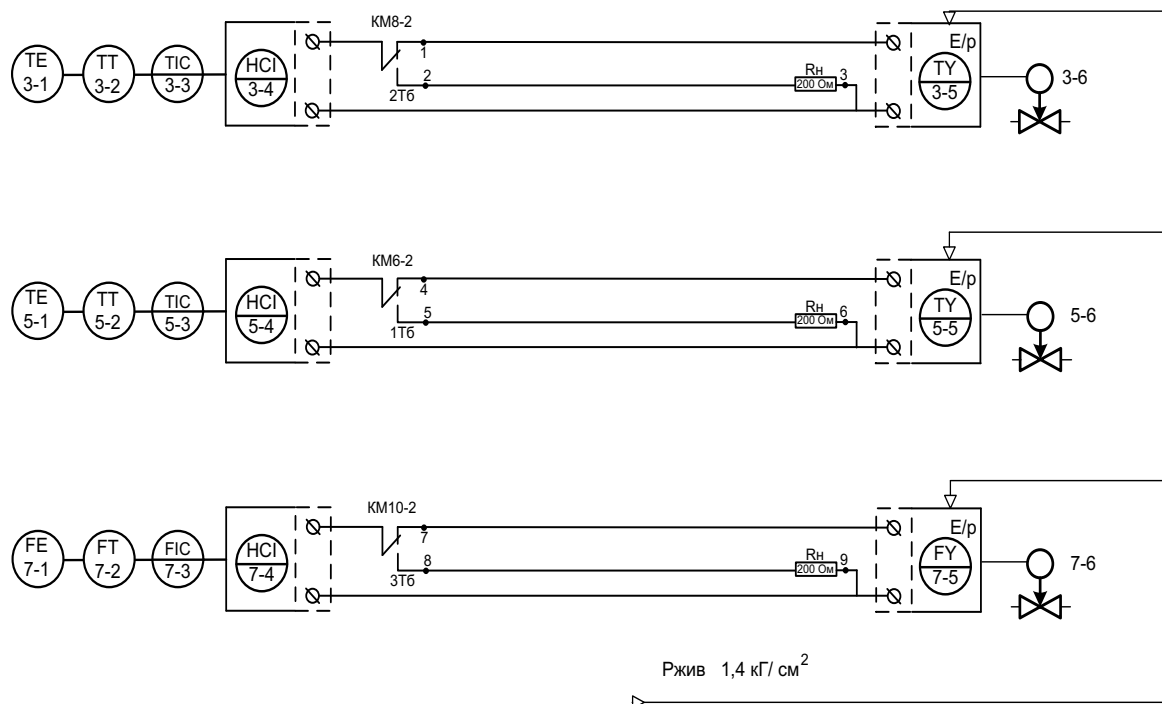


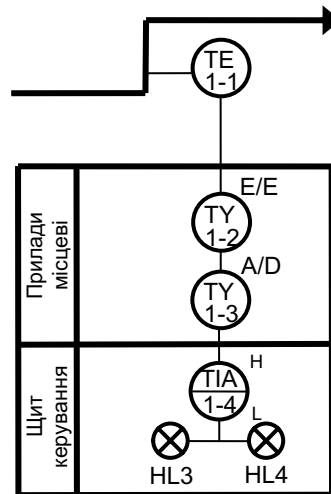
Рис. 2.1 Функціональна схема з технологічного блокування сигналу до регулювального клапану.

На рисунку 2.1 зображено контури які повинні блокуватися під час аварії. Коли відбувається аварія двигуна, спрацьовує реле і блок ручного управління відключається від клапану та підключається до навантаження (200 Ом). [3]

2.2.4 Вибір технічних засобів автоматизації

Рис.2.2.1. Контур автоматичного контролю температури суміші

1. Схема контуру автоматичного контролю мазуту на вихідному трубопроводі трубчастої печі має вигляд:



I-1 – термоперетворювач опору (ТО); *I-2* – нормувальний перетворювач; *I-3* – аналого-цифровий перетворювач; *I-4* – індикатор цифровий мікропроцесорний з пристроєм сигналізації; *HL1*, *HL2* – лампи сигнальні електричні.

Скориставшись додатками виберемо необхідні ТЗА що відповідають умовам задачі.

Використані позначення: ЛЗ – лінії зв’язку; НП – нормувальні перетворювачі; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ІТМ – індикатор цифровий мікропроцесорний. Структурні елементи схеми виберемо з такими характеристиками: ТО платиновий ТСП-1287 (НСХ 100П) з діапазоном 0...500 °C та класом допуску В (табл. Д3.2), лінії зв’язку (ЛЗ) класу точності 0,4 (дод. 5), нормувальний перетворювач Ш79 класу точності 0,25 (дод. 7), аналого-цифровий перетворювач АЦП2 класу точності 0,25 (дод. 7)

3.1. Для термоперетворювачів опору з класом допуску В граничнодопустиме відхилення опору в діапазоні вимірювання -220...1100 °C визначається з виразу $\pm(0,3 + 0,005 |t|)$ (табл. Д6.1). Звідси допустима абсолютна похибка термоперетворювача опору ТСП 1287. Прилад на щиті керування: мікропроцесорний контролер Ломіконт Л-110, має уніфіковані сигнали 4...20, 0...20 та 0...5 мА (модулі РГ12 та РГ22), аналогові сигнали

напруги $-10...+10$ В (модулі АЦП2 та ЦДП2), та дискретні (імпульсні) вхідні сигнали 0 або 24 В (модулі ІЦП2 та ДЦП2). [6]

3.1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ У ПРОЦЕСІ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ

3.1.1 Організація експериментальних досліджень трубчастої печі Матеріальні і енергетичні баланси

Основна ідея полягає в комплексному використанні методу декомпозиції загальної проблеми на ряд окремих завдань побудови і дослідження моделей складних систем з розподіленими параметрами і математичного моделювання тепломасообмінних процесів в трубчастих печах з метою підвищення ефективності та екологічної безпеки виробництва нафтопродуктів на базі принципів оптимального управління і контролю технічних систем[1].

Процес термічного крекінгу являє собою середовище в якому мазут, що надходить з нафтоперегінної установки, подається в змішувач печі, куди згодом вводиться перегріта водяна пара.

Для розробки оптимальної системи керування потрібно враховувати температурні особливості апарату. Дана задача може бути вирішена за допомогою математичної моделі в розподілених параметрах.

Проведемо аналіз математичної моделі нестационарного горіння. Виходячи із законів механіки суцільних середовищ, модель нестационарного горіння можна представити наступними рівняннями:

1. Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

Для покомпонентної моделі процесу горіння рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial \rho x}{\partial t} + \frac{\partial \rho x u}{\partial t} = - \frac{\rho x}{t} \quad (2)$$

де x - концентрація горючої речовини в суміші ($0 \leq x \leq 1$); τ - час згоряння.

2. Рівняння руху у вигляді:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} \right) + \frac{\partial P}{\partial l} = 0 \quad (3)$$

3. Рівняння збереження енергії:

$$\rho T \left(\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial l} \right) = \frac{\rho x}{\tau} q - QT + K_1 T_c - T, \quad (4)$$

де q - теплота згоряння палива; $Q(T)$ - втрати на випромінювання; S – ентропія, причому $S = C_v \ln \frac{P}{\rho^\gamma}$ ($\gamma = 1,0 - 1,4$, так як для рідин відмінність між C_v і C_p незначно); K_1 – коефіцієнт теплопередачі для робочого потоку.

Рівняння (4) після ряду перетворень можна записати як:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 1 - \gamma T \frac{\partial u}{\partial l} - u \frac{\partial T}{\partial l} + u \frac{xq}{C_v \tau} - \frac{QT}{C_v \rho} + K_1 T_c - T$$

4. Рівняння теплообміну:

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} - w \frac{\partial T_c}{\partial l} = K_1 T_c - T \quad (5)$$

де K_2 - коефіцієнт теплопередачі для стінки печі.

Рівняння (1) - (5) є математичною моделлю теплового процесу печі, яка може бути реалізована щодо швидкості руху суміші та концентрації горючої речовини в суміші по довжині камери згоряння і використана для отримання інших параметрів печі, які залежать від x і u .

Для отримання x , u , ρ , P , T , T_c як функції довжини і часу в камері згоряння формулюється змішана крайова задача. Для цього до рівнянь (1) - (5) додають початкові умови:

$$x|_{l=0} = \varphi_1, u|_{l=0} = \varphi_2, T|_{l=0} = \varphi_3, T_c|_{l=0} = \varphi_4, \rho|_{l=0} = \varphi_5 \quad (6)$$

і граничні умови:

$$x|_{0,t} = \varphi_1(t), u|_{0,t} = \varphi_2(t), T|_{0,t} = \varphi_3(t), T_c|_{(L)t,0} = \varphi_4(t), \rho|_{0,t} = \varphi_5(t) \quad (7)$$

На основі математичної моделі, записаної рівняннями (1) - (5), розглянемо наступну тепломасообмінну задачу для трубчастої печі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} = u \frac{\partial \rho u}{\partial l} - \rho \frac{\partial u}{\partial l}, \\ \frac{\partial x}{\partial t} = -u \frac{\partial x}{\partial l} - \frac{x}{\tau}, \\ \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial u}{\partial l} - RT \frac{\partial T}{\partial l} - \frac{RT}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial l}, \\ \frac{\partial T}{\partial t} = 1 - \gamma T \frac{\partial u}{\partial l} - u \frac{\partial T}{\partial l} + u \frac{xq}{C_v \tau} - \frac{QT}{C_v \rho} + K_1 T_c - T, \\ \frac{\partial T_c}{\partial t} = -w \frac{\partial T_c}{\partial l} + K_1 T_c - T. \end{array} \right. \quad (14)$$

До системи (14) додамо початкові і граничні умови (6) - (7). Прийнемо наступні обмеження на управління:

$$v_{imin} \leq v_i(t) \leq v_{imax} \quad (15)$$

Вводячи фіктивні управління $z_i, i = \overline{1,5}$ зведемо нерівність до рівності

$$v_{imax} - v_i v_i - v_{imin} - z_i^2, i = \overline{1,5} \quad (16)$$

Зв'язок граничних умов з управліннями така:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} \bigg|_{0,t} &= b_1 v_1(t), \frac{\partial x}{\partial t} \bigg|_{0,t} = b_2 v_2(t), \frac{\partial u}{\partial t} \bigg|_{0,t} = b_3 v_3(t), \frac{\partial u}{\partial t} \bigg|_{0,t} \\ &= b_4 v_4(t) \frac{\partial u}{\partial t} \bigg|_{0,t} = b_5 v_5(t) \end{aligned}$$

Завдання оптимального управління в цьому випадку полягає в знаходженні таких управлінь $v_i(t), i = \overline{1,5}$ з проміжків (15), які задовольняють системі рівнянь (16), відповідним граничним умовам і мінімізують функціонал якості:

$$\int_0^T \int_0^L [T_c - l, t - T_c^* l, t]^2 d/dt \quad (17)$$

Введемо наступні позначення:

$$\frac{\partial \rho}{\partial l} = \zeta^1, \frac{\partial \rho}{\partial l} = \zeta^2, \frac{\partial \rho}{\partial l} = \zeta^3, \frac{\partial \rho}{\partial l} = \zeta^4, \frac{\partial \rho}{\partial l} = \zeta^5. \quad (18)$$

З урахуванням (18) система (14) буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} = u \zeta^1 - \rho \zeta^3 \equiv X_1, \\ \frac{\partial x}{\partial t} = -u \zeta^2 - \frac{x}{\tau} \equiv X_2, \\ \frac{\partial u}{\partial t} - u \zeta^3 - R \zeta^4 - \frac{RT}{\rho} \zeta^1 \equiv X_3, \\ \frac{\partial T}{\partial t} = 1 - \gamma T \zeta^3 - u \zeta^4 + u \frac{xq}{C_v \tau} - \frac{QT}{C_v \rho} + K_1 T_c - T \equiv X_4, \\ \frac{\partial T_c}{\partial t} = -w \zeta^5 + K_1 T_c - T \equiv X_5. \end{array} \right. \quad (19)$$

Зібравши складові при однакових варіаціях функції і використовуючи аргументацію теорії варіаційних обчислень, отримаємо пов'язану систему рівнянь щодо функції

Лагранжа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = \zeta_1 \zeta^3 - \zeta_3 \zeta^1 \frac{RT}{\rho^2} \zeta_4 \frac{QT}{c_v \rho^2} - \frac{\partial \eta_1}{\partial l} \\ \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} = \zeta_2 \frac{1}{\tau} - \zeta_4 \frac{q}{c_v \tau} - \frac{\partial \eta_2}{\partial l}, \\ \frac{\partial \zeta_3}{\partial t} = \zeta_1 \zeta^1 + \zeta_2 \zeta^2 + \zeta_3 \zeta^3 + \zeta_4 \zeta^4 - \frac{\partial \eta_3}{\partial l} \\ \frac{\partial \zeta_4}{\partial t} = \zeta_3 \frac{R}{\rho} - \zeta^1 - \zeta_4 \left(1 - \gamma \zeta^3 - \frac{1}{c_v \rho} \frac{\partial QT}{\partial T} - K_1 \right) - \zeta_5 K_2 - \frac{\partial \eta_4}{\partial l}, \\ \frac{\partial \zeta_5}{\partial t} = \zeta_5 K_2 + 2 T_c - 2 T_c^* + \zeta_4 K_1 - \frac{\partial \eta_5}{\partial l}. \end{array} \right. \quad (20)$$

$\zeta_1, l, t, \eta_1, l, t$ – функція Лагранджа.

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_1 = \zeta_1 u + \frac{\zeta_3 RT}{\rho}, \\ \eta_2 = \zeta_2 u, \\ \eta_3 = \zeta_3 \rho + \zeta_3 u - \zeta_4 1 - \gamma T, \\ \eta_4 = \zeta_3 R + \zeta_4 u, \\ \eta_5 = \zeta_5 w. \end{array} \right. \quad (21)$$

За допомогою (21), виключаючи з (20) $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$, отримаємо пов'язану систему щодо $\zeta_i, i = \overline{1,5}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = \zeta_4 \frac{QT}{c_v \rho^2} - u \frac{\partial \zeta_1 l, t}{\partial l} - \frac{RT}{\rho} \frac{\partial \zeta_3 l, t}{\partial l} - \frac{\zeta_3 R}{\rho} \frac{\partial T l, t}{\partial l}, \\ \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} = \zeta_2 \frac{1}{\tau} \zeta_4 \frac{q}{c_v \tau} - u \frac{\partial \zeta_2 l, t}{\partial l} - \zeta_2 \frac{\partial u l, t}{\partial l}, \\ \frac{\partial \zeta_3}{\partial t} = \zeta_2 \frac{\partial x l, t}{\partial l} - \rho \frac{\partial \zeta_1}{\partial l} - u \frac{\zeta_3}{\partial l} + 1 - \gamma T \frac{\partial \zeta_4}{\partial l} + 2 - \gamma \zeta_4 \frac{\partial T l, t}{\partial l}, \\ \frac{\partial \zeta_4}{\partial t} = \zeta_3 \frac{RT}{\rho} \frac{\partial \rho l, t}{\partial l} + \gamma - 2 \zeta_4 \frac{\partial u l, t}{\partial l} + u \frac{\zeta_4 \gamma}{c_v \tau} - \frac{\partial QT}{c_v \rho} - \zeta_5 K_2 - R \\ \frac{\partial \zeta_3 l, t}{\partial l} - u \frac{\partial \zeta_3 l, t}{\partial l} - \zeta_4 K_1 \\ \frac{\partial \zeta_5}{\partial t} = \zeta_5 K_2 + 2 T_c - T - w \frac{\partial \zeta_1 l, t}{\partial l} + \zeta_4 K_1. \end{array} \right. \quad (22)$$

Початкові умови:

$$\zeta_i, l, T = 0, i = \overline{1,5} \quad (23)$$

Після перетворень отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \lambda^1}{\partial t} = -\zeta_1, 0, t \text{ u } 0, t \text{ RT } 0, \frac{t}{\rho} 0, t, \\ \frac{\partial \lambda^2}{\partial t} = -\zeta_2 0, t \text{ u } 0, t, \\ \frac{\partial \lambda^3}{\partial t} = -\zeta_1 0, t \rho 0, t - \zeta_3 0, t + -\zeta_4 1 - \gamma T 0, t, \\ \frac{\partial \lambda^4}{\partial t} = -\zeta_3 0, t R - \zeta_4 0, t \text{ u } 0, t, \\ \frac{\partial \lambda^5}{\partial t} = \zeta_5 L, t w. \end{array} \right. \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \lambda^1 T = 0, \lambda^2 T = 0, \lambda^3 T = 0, \lambda^4 T = 0, \lambda^5 T = 0 \\ \eta^1 L, t = 0, \eta^2 L, t = 0, \eta^3 L, t = 0, \eta^4 L, t = 0, \eta^5 L, t = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

Чисельне дослідження зробили для реального обсягу трубчастої печі. тут невідомими є x , u , ρ , T і T_c . Для зазначених невідомих були взяті такі вхідні значення: $x = 47\%$ $u = 4 \text{ м / с}$, $\rho = 854 \text{ кг / м}^3$, $T = 530^\circ \text{ C}$, $T_c = 270^\circ \text{ C}$. [2]

3.1.2 Математичне моделювання процесів теплообміну нагрівальних печей.

Проведемо аналіз математичної моделі яка враховує теплообмін між димовими газами, печі і нагрівом металу з урахуванням перерахованих вище параметрів. Рівняння перенесення енергії в нестационарному випадку має вигляд:

$$c_p^g \rho_g \frac{\partial T_g(r)}{\partial t} = \text{div} \left(c_p^g \rho_g v(r) T_g(r) - \lambda_g \text{grad} T_g(r) \right) = q_c(r) - \text{div} q_r(r) \quad (1)$$

де t — час; ρ_g , c_p^g , λ_g - відповідно щільність, кг / м, теплоємність, Дж / (кг·К) і ефективний (з урахуванням турбулентних пульсацій) коефіцієнт теплопровідності, Вт / (м·К) пічної середовища (Димових газів). [2]

Для коректного визначення поля температур в обсязі печі з рівняння (1) необхідно знати розподіл швидкостей $v(r)$, об'ємну щільність теплових (горіння газу і окислення металу) $q(r)$ і радіаційних $\text{div } r q$ джерел. Турбулентний поле руху суміші молекулярних газів (розподіл швидкостей газів) можна розрахувати на основі усереднених в часі рівнянь Нав'є-Стокса з використанням

двопараметричної k-ε-моделі турбулентності. Формально систему цих рівнянь можна представити у вигляді узагальненого рівняння

$$\operatorname{div} \left(\rho_g v F(r) \Gamma_F \operatorname{grad} F(r) \right) = S_F(r) \quad (2)$$

де $F(r) = (v_x, v_y, v_z, k, \varepsilon, l)$ - узагальнена змінна; Γ_F - коефіцієнт дифузії величини F; S_F - об'ємне джерело F. Математичну модель теплообміну між заготовками, димовими газами і елементами футерування, що включає рівняння (1), (2), можна записати в тривимірній постановці нагріву заготовок з граничними умовами III роду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{1i} c_{1i} \frac{\partial T_{1i}}{\partial t} = \rho_{1i} c_{p1i} U_{ms} \Delta T_{1i} + \sum q_b, \\ \rho_{2j} c_{2j} \frac{\partial T_{2j}}{\partial t} = \Delta(\lambda_{2j} \Delta T_{2j}), \\ \rho_m c_m \frac{\partial T_m}{\partial t} = \Delta(\lambda_m \Delta T_m), \\ \rho_{1i} (U_{ns} \Delta) U_{ns} = \Delta \left[-p + \left(\eta_{1i} + \eta_{1iT} \right) \nabla U_{ns} \right], \\ \rho_{1i} U_{ns} \Delta k = \nabla \left(\eta_{1i} + \frac{\eta_{1iT}}{\sigma_k} \right) \nabla k + \eta_{1i} - \rho_{1i} \varepsilon, \\ \rho_{1i} U_{ns} \Delta k = \nabla \left(\eta_{1i} + \frac{\eta_{1iT}}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon + \frac{C_{\varepsilon 1} \varepsilon \eta_{1iT}}{k} - \frac{C_{\varepsilon 2} \rho_{1i} \varepsilon}{k}, U_{ns} = 0, \\ n(\lambda_{2j} \Delta T_{2j}) = \alpha_{ij} (T_{1i} - T_{2i}) + \sum_{m=0}^l \sigma \left(\varphi_{mj} \varepsilon_m T_{2j}^4 - \varphi_{jm} \varepsilon_{2j} T_{2j}^4 \right), \\ n(\lambda_m \Delta T_m) = \alpha_{im} (T_i - T_m) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^l \sigma \left(\varphi_{mn} \varepsilon_m T_{2j}^4 - \varphi_{nm} \varepsilon_n T_{2n}^4 \right), \\ n(\lambda_m \Delta T_m) = \alpha_{Bm} (T_m - T_B). \end{array} \right. \quad (3)$$

де t – незалежна змінна (час), $U_{ns} = \sqrt{u^2 + v^2 + \omega^2}$; u, v, ω – декартові проекції швидкості димових газів в точці; p – тиск димових газів в точці; $\sum q_b$ – сума об'ємних теплових джерел (теплота від пальників); $\rho_{2j}, c_{p2j}, \lambda_{2j}, T_{2j}$ – щільність, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності і температура j-ї заготовки; $\rho_{1i}, c_{p1i}, T_{1i}, \eta_{1i}$ – Щільність, Питома теплоємність, температура и динамічна в'язкість димових газів в i-й зоні печі; $\rho_m, c_{pm}, \lambda_m, T_m$ – щільність, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності і температура m-го елемента футерування; T_B – температура довкілля;

Залежність динамічної в'язкості і щільності димових газів від температури в і-й зоні печі:

$$\begin{aligned}\eta_{li} &= 0,272T_i^{0,7265} \cdot 10^{-6} \text{ Пуаз}, \\ \rho_{li} &= 439,98 \cdot T_i^{-1,0319} \text{ кг/м}^3.\end{aligned}\quad (4)$$

Таким чином, при вирішенні системи рівнянь (3) на першому етапі здійснюють підбір значень полів швидкостей і тисків по зонах печі, а на другому - розрахунок температурного поля заготовок. Рішення поставленої математичної моделі (3), (4) проводять методом кінцевих елементів.

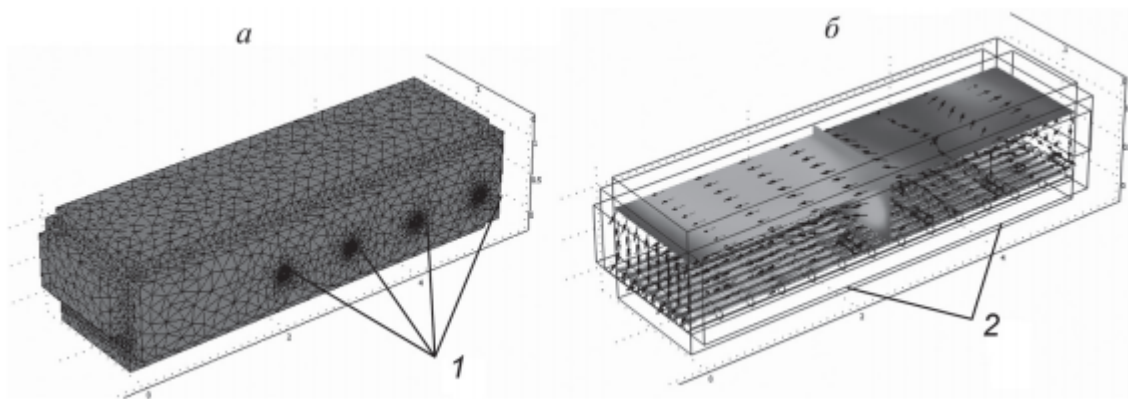


Рис.3.1. Чисельне рішення задачі газодинаміки в робочому просторі печі а - кінцево-елементна сітка; б - розподіл швидкостей димових газів в обраних перетинах, м / с; 1 - пальники; 2 – заготовки.

Розглянемо наступний випадок динамічної моделі нестационарного горіння

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= u \frac{\partial \rho u}{\partial l} - \rho \frac{\partial u}{\partial l}, \\ \frac{\partial x}{\partial t} &= -u \frac{\partial x}{\partial l} - \frac{x}{\tau}, \\ \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial u}{\partial l} - R \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial l} - \frac{RT_{\Pi}}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial l}, \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= (1 - \gamma) T_{\Pi} \frac{\partial u}{\partial l} - u \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial l} + u \frac{xq}{c_v \tau} - \frac{Q(T_{\Pi})}{c_v \rho} + K_1(T_c^1 - T_{\Pi}) + K_1(T_c^2 - T_{\Pi}), \\ \frac{\partial T_c^1}{\partial t} &= -w \frac{\partial T_c^1}{\partial l} + K_2(T_{\Pi} - T_c^1) - Q(T_{\Pi} - T_c^1), \\ \frac{\partial T_c^2}{\partial t} &= -w \frac{\partial T_c^2}{\partial l} + K_2(T_{\Pi} - T_c^2) - Q(T_{\Pi} - T_c^2). \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де $x(l,t)$ – концентрація горючої речовини, $\rho(l,t), u(l,t), T_{\Pi}(l,t)$ – щільність, швидкість і температура димових газів; $T^1 c(l,t), T^2 c(l,t)$ температура спадного і

висхідного потоків нагрівається сировини; t, l – тимчасова просторова координата.

Початкові умови

$$\rho(l, 0) = \rho_0, x(l, 0) = x_0, u(l, 0) = u_0, T_n(l, 0) = T_{n0}, T_c^1(l, 0) = T_{c0}^1, T_c^2(l, 0) = T_{c0}^2. \quad (2)$$

Граничні умови:0

$$\rho(0, t) = \alpha_1, x(0, t) = \alpha_2, u(0, t) = \alpha_3, T_n(0, t) = \alpha_4, T_c^1(0, t) = \alpha_5, T_c^2(0, t) = T_c^1(0, t) = \alpha_6. \quad (3)$$

Стаціонарну модель, досліджуємо більш докладно яка впливає з (1)

$$\begin{aligned} -u \frac{\partial \rho}{\partial t} - \rho \frac{\partial u}{\partial l} &= 0, \\ -u \frac{\partial x}{\partial l} - \frac{x}{\tau} &= 0, \\ u \frac{\partial u}{\partial l} - R \frac{\partial T_n}{\partial l} - \frac{RT_n}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial l} &= 0, \\ (1 - \gamma) T_n \frac{\partial u}{\partial l} - u \frac{\partial T_n}{\partial l} + \frac{xq}{c_v \tau} q - \frac{Q(T_n)}{c_v \rho} + K_1 (T_c^1 + T_c^2 - 2T_n) &= 0, \\ w \frac{\partial T_c^1}{\partial l} + K_2 (T_n - T_c^1) - Q(T_n - T_c^1) &= 0, \\ -w \frac{\partial T_c^2}{\partial l} + K_2 (T_n - T_c^2) - Q(T_n - T_c^2) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Друге, четверте, п'яте і шосте рівняння містять просторові похідні тільки однієї невідомої функції. Приведемо перше, третє і четверте рівняння до виду, який містить аналогічно похідну тільки від однієї шуканої функції $d\rho/dt$, du/dl і dT_n/dl . Для цього застосуємо теорію про неявних функціях до системи.

$$\begin{aligned} -u \frac{\partial \rho}{\partial t} - \rho \frac{\partial u}{\partial l} &= 0, \\ u \frac{\partial u}{\partial l} - R \frac{\partial T_n}{\partial l} - \frac{RT_n}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial l} &= 0, \\ (1 - \gamma) T_n \frac{\partial u}{\partial l} - u \frac{\partial T_n}{\partial l} + \frac{xq}{c_v \tau} q - \frac{Q(T_n)}{c_v \rho} + K_1 (T_c^1 + T_c^2 - 2T_n) &= \varphi \end{aligned} \quad (5)$$

В цьому випадку:

$$\frac{\partial \rho}{\partial l} = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \frac{\partial u}{\partial l} = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \frac{\partial T_n}{\partial l} = \frac{\Delta_3}{\Delta}. \quad (6)$$

де

$$\Delta = \begin{vmatrix} u & \rho & 0 \\ \frac{RT_{\Pi}}{\rho} & u & R \\ 0 & (1-\gamma) T_{\Pi} & -u \end{vmatrix} = -u^3 + u\rho \frac{RT_{\Pi}}{\rho} - uR(1-\gamma) T_{\Pi} = -u^3 + u\gamma RT_{\Pi} = (u\gamma RT_{\Pi} - u^2), \quad (7)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & \rho & 0 \\ 0 & u & R \\ \varphi & (1-\gamma) T_{\Pi} & -u \end{vmatrix} = R\rho\varphi, \Delta_2 = \begin{vmatrix} u & \rho & 0 \\ \frac{RT_{\Pi}}{\rho} & 0 & R \\ 0 & \varphi & -u \end{vmatrix} = -R\rho\varphi \quad (8)$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} u & \rho & 0 \\ \frac{RT_{\Pi}}{\rho} & u & R \\ 0 & (1-\gamma) T_{\Pi} & \varphi \end{vmatrix} = u^2\varphi. \quad (9)$$

Таким чином, будемо мати:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{R\rho\varphi}{u(u\gamma RT_{\Pi} - u^2)} \\ \frac{\partial u}{\partial l} &= \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{R\rho\varphi}{u(u\gamma RT_{\Pi} - u^2)} = \frac{R\varphi}{\gamma RT_{\Pi} - u^2} \\ \frac{\partial u}{\partial l} &= \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{u^2\varphi}{u(u\gamma RT_{\Pi} - u^2)} = \frac{u\varphi}{\gamma RT_{\Pi} - u^2} \end{aligned} \quad (10)$$

Тим самим система (4) приведена до наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= \frac{R\rho(-\frac{x}{C_v\tau}q + \frac{Q(T_{\Pi})}{C_v\rho} - K_1(T_c^1 + T_c^2 - 2T_{\Pi}))}{u(u\gamma RT_{\Pi} - u^2)} \\ &\quad \frac{\partial x}{\partial l} - u\frac{x}{\tau} \\ \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial t} &= \frac{u(-\frac{x}{C_v\tau}q + \frac{Q(T_{\Pi})}{C_v\rho} - K_1(T_c^1 + T_c^2 - 2T_{\Pi}))}{\gamma RT_{\Pi} - u^2} \\ \frac{\partial u}{\partial l} &= \frac{-R(-\frac{x}{C_v\tau}q + \frac{Q(T_{\Pi})}{C_v\rho} - K_1(T_c^1 + T_c^2 - 2T_{\Pi}))}{\gamma RT_{\Pi} - u^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial T_c^1}{\partial l} &= \frac{K_2}{w} (T_{\Pi} - T_c^1) - \frac{1}{w} Q(T_{\Pi}, T_c^1) \\ \frac{\partial T_c^2}{\partial l} &= \frac{K_2}{w} (T_{\Pi} - T_c^2) - \frac{1}{w} Q(T_{\Pi}, T_c^2)\end{aligned}\quad (11)$$

$$\rho(0) = \alpha_1, x(0) = \alpha_2, u(0) = \alpha_3, T_{\Pi}(0) = \alpha_4, T_c^1(L) = \alpha_5, T_c^2(L) = T_c^1(0) = \alpha_6 \quad (12)$$

На малюнку 2-5 наведено результати розрахунків стаціонарних режимів при різних початкових умовах для щільності $\rho(l)$, концентрації $x(l)$, швидкості температури $u(l)$, температури димових газів $T_n(l)$, і нагрівається сировини T_1 с (l). При цьому за початкові умови прийняті $\rho(0) = 720 \text{ кг / м}^3$, $X(0) = 0.47$, $u(0) = 5 \text{ м / с}$, $T_{\Pi}(0) = 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_c(0) = 270 \text{ }^{\circ}\text{C}$. потім початкові дані змінювалися з кроком $\pm 5\%$ при постійних значеннях інших параметрів.

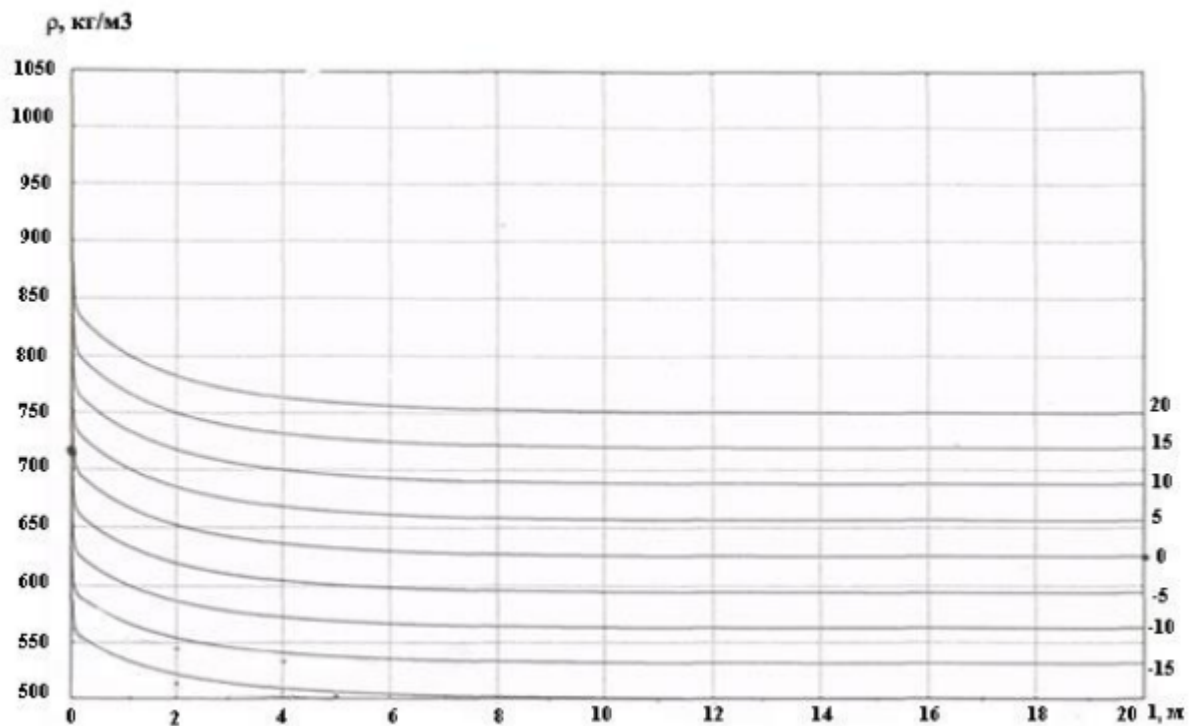


Рис 3.2 Графіки розподілу щільності димових газів по довжині об'єкта

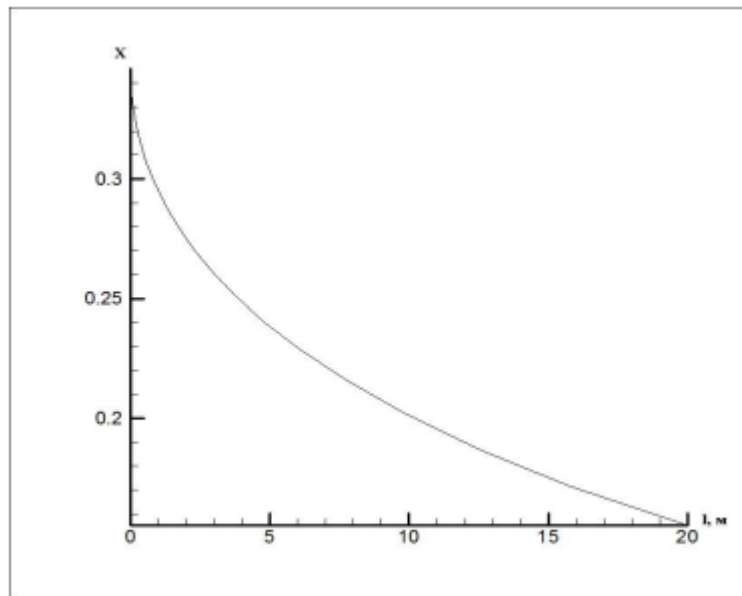


Рис 3.3 Графіки зміни концентрації по довжині об'єкта

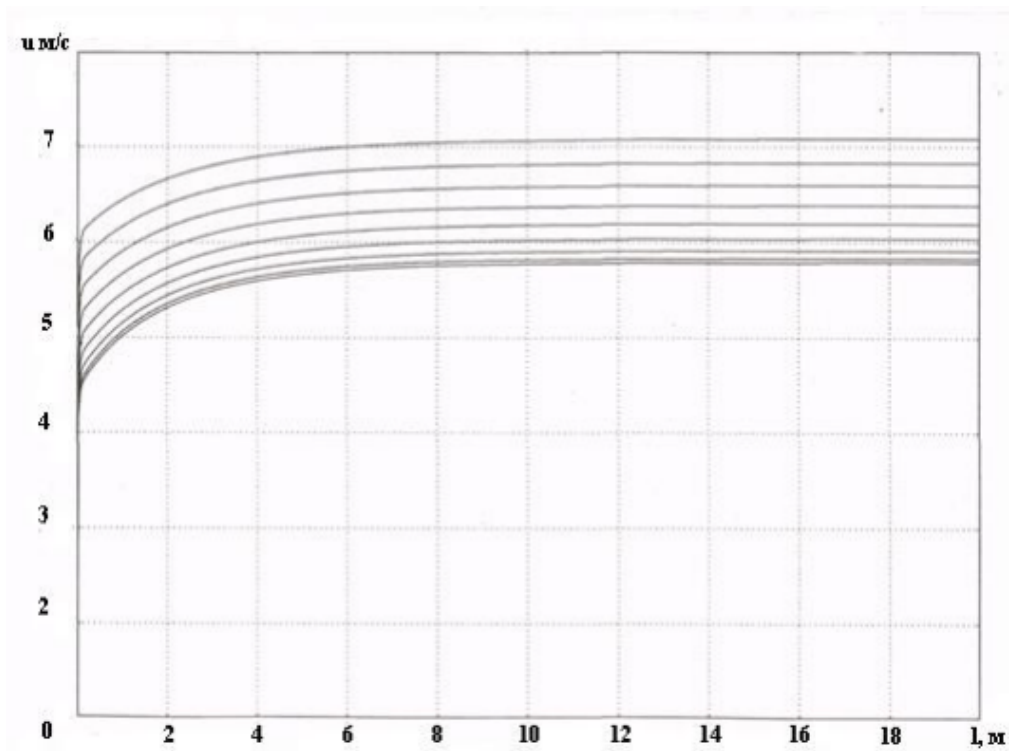


Рис. 3.4 Графіки зміни швидкості димових газів по довжині об'єкта

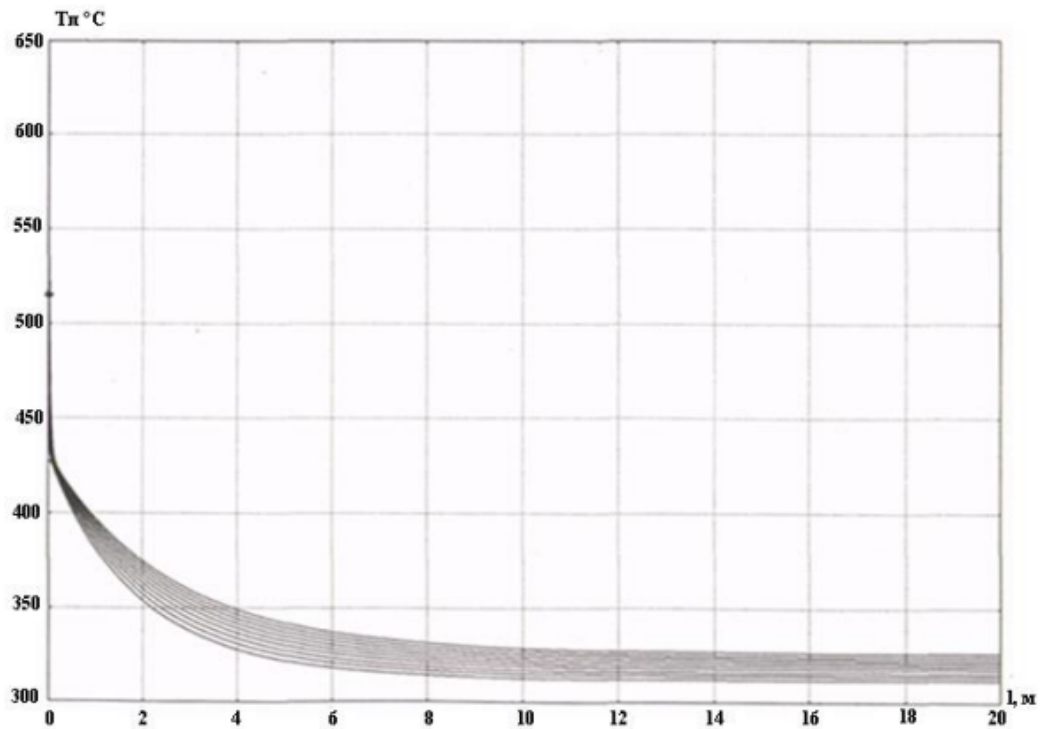


Рис. 3.5 Графіки зміни температури димових газів по довжині об'єкта

Пропонований метод аналізу стаціонарних режимів технологічних печей дозволяє на стадії проектування ректифікаційних установок забезпечити високу якість поділу багатокомпонентних сумішей в нафтопереробці і нафтохімії. [2]

3.2 Обробка експериментальних досліджень

З аналізу приведених вище математичних моделей, стало зрозуміло, що потік димових газів та рідини краще описати за допомогою **рівняння нерозривності та руху**, а теплопередача буде краще описуватись **рівнянням енергії** які можна записати у вигляді зв'язаної системи диференціальних рівнянь [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{du}{d\tau} + \rho(u\Delta)u; \\ \Delta[-\rho I + u(\Delta u + (\Delta u)^T) - \frac{2}{3}\mu(\Delta u)I] + F \frac{d\rho}{dt} + (\rho u) = 0; \\ \rho C_p \frac{dT}{dt} + \rho C_p u \Delta T + \Delta q = Q + Q_p + Q_{vd}; \\ q = -k\Delta T; \end{array} \right.$$

Рівняння нерозривності (суцільності потоку) для газу:

При розгляді руху газів секундний масова витрата газу M_1 :

$$M_1 = \rho_1 v_1 S_1,$$

де ρ_1 – щільність газу кг/м³, $v_1 S_1$ – секундна об'ємна витрата газу.

У відповідності до розділу нерозривності (суцільності) потоку через перетин II-II за одну секунду вийде деяка маса газу:

$$M_2 = \rho_2 v_2 S_2,$$

рівна масі газу M_1 увійшла в перетин потоку I-I. Таким чином, секундний масова витрата газу через будь-який перетин є величина постійна.

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 = \dots = \rho_n v_n S_n = M = \text{const},$$

Цей вислів називається рівнянням нерозривності або рівнянням сталості витрати для газу [3,4].

Рівняння нерозривності (суцільності потоку) для рідини:

При розгляді руху рідини вважають, що в потоці рідина суцільно заповнює займане нею простір без утворення пустот, тобто рух рідини відбувається нерозривно. У цьому випадку справедливо рівняння нерозривності. Диференціальне рівняння нерозривності - це закон збереження маси, записаний для елементарного об'єму рідини.

Нехай маємо елементарну цівку. Візьмемо перетин 1-1 з площею ds_1 і швидкістю руху частинок рідини u_1 . Елементарний витрата через перетин 1-1 дорівнює:

$$dQ_1 = u_1 ds_1,$$

Потім візьмемо перетин 2-2 в цій же струмку з площею ds_2 перетину і швидкістю u_2 . Елементарний витрата через перетин 2-2 дорівнює:

$$dQ_2 = u_2 ds_2,$$

Але по властивості елементарної цівки приплив і відтік рідини через її бічну поверхню неможливий, крім того, в відсіку 1-2, який зберігає незмінні розміри, не утворюється пустот і не відбувається переущільнення; значить кількості рідини, що протікає в одиницю часу через перетину 1-1 і 2-2, повинні бути однакові, тобто:

$$dQ_1 = dQ_2,$$

Беручи до уваги, що перетину 1-1 і 2-2 прийняті довільно, можна в загальному випадку для елементарної цівки написати:

$$dQ_1 = dQ_2 = \dots = dQ_n.$$

Це і є рівняння нерозривності (суцільності) для елементарної цівки, яке читається так: елементарний витрата рідини при усталеному русі є величина постійна для всієї елементарної цівки.

Але оскільки швидкості дотичних до бічної поверхні потоку, то в відсік між перетинами 1-1 і 2-2 через бічну поверхню руху рідини не відбувається; не змінюється і обсяг відсіку. Отже, в відсік через перетин 1-1 надходить стільки ж рідини, скільки за той же час виходить, таким чином $Q_1 = Q_2$. Але так як перетини 1-1 і 2-2 взяті довільно, то можна написати, що $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = \text{const}$ або, виражаючи витрату рідини в перетинах через середню швидкість v отримаємо :

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 = \dots = v_n S_n = Q = \text{const}$$

Це і є рівняння нерозривності (суцільності) для потоку рідини яке читається так: об'ємний витрата рідини через будь-який перетин потоку при сталому русі є величина постійна.

З останнього рівняння для двох перетинів можна написати:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1},$$

тобто середні швидкості потоку обернено пропорційні площам відповідних живих перетинів [2-4].

Рівняння енергії:

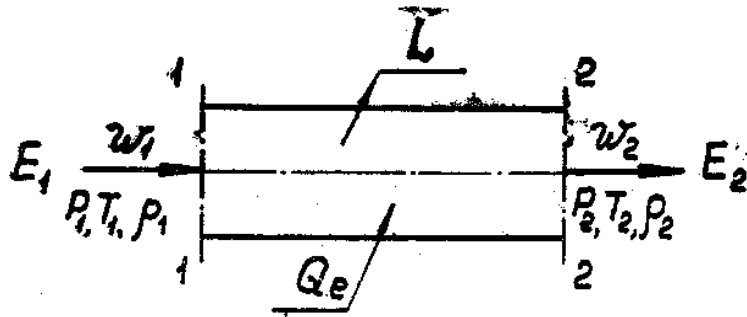


Рис.3.2. Схема потоку

Баланс енергії для даної схеми потоку можна записати наступним рівнянням:

$$E_1 - E_2 + Q_e - L = 0. \quad (5.1)$$

Далі необхідно розшифрувати, що мається на увазі під повним запасом енергії одиниці маси газу E . При цьому потрібно мати на увазі, що в «повний запас енергії» немає потреби включати всі її складові (наприклад, хімічну, електричну, внутрішньоядерних); цілком достатньо взяти до уваги тільки ті її види, які можуть превращатися один в інший в межах досліджуваних газодинамічних завдань. Тоді можна записати, що:

$$E = u + p/\rho + w^2/2 + gz. \quad (5.2)$$

де u - внутрішня енергія одиниці маси газу;

p/ρ - потенційна енергія тиску одиниці маси газу;

$w^2/2$ - кінетична енергія одиниці маси газу;

gz - потенційна енергія положення (рівня) одиниці маси газу;

z - геометрична висота;

g - прискорення сили тяжіння.

Всі зазначені величини вимірюються в одиницях роботи на одиницю маси, а саме в Дж / кг або, що те ж саме, в $\text{м}^2 / \text{с}^2$ (в системі СІ).

Підставивши в рівняння (5.1) значення E_1 і E_2 , виражені за допомогою рівняння (5.2), і з огляду на різницю внутрішніх енергій $u_1 - u_2 = C_v(T_1 - T_2)$ отримали:

$$C_v(T_1 - T_2) + p_1/\rho_1 - p_2/\rho_2 + (w_1^2 - w_2^2)/2 + g(z_1 - z_2) + Q_e - L = 0. \quad (5.3)$$

Це і є рівняння енергії для одновимірного потоку або для елементарної цівки. Воно показує, як відбувається зміна внутрішньої енергії $C_v(T_1-T_2)$, потенційної енергії тиску $p_1/\rho_1-p_2/\rho_2$, кінетичної енергії $(w_1^2-w_2^2)/2$, потенційної енергії положення $g(z_1-z_2)$ в результаті дії підведеного ззовні тепла Q_e і роботи L відданої газом зовнішньому споживачеві. Зміна внутрішньої енергії пов'язано зі зміною температури газу, кінетичної енергії - зі зміною швидкості потоку, потенційної енергії рівня - зі зміною висоти положення розглянутої маси газу над площиною, прийнятої за початок відліку. [6]

За результатами роботи в програмному пакеті COMSOL MULTIPHYSICS було досліджено швидкості та розподілення тепла, що описують процеси, які протікають в апараті.

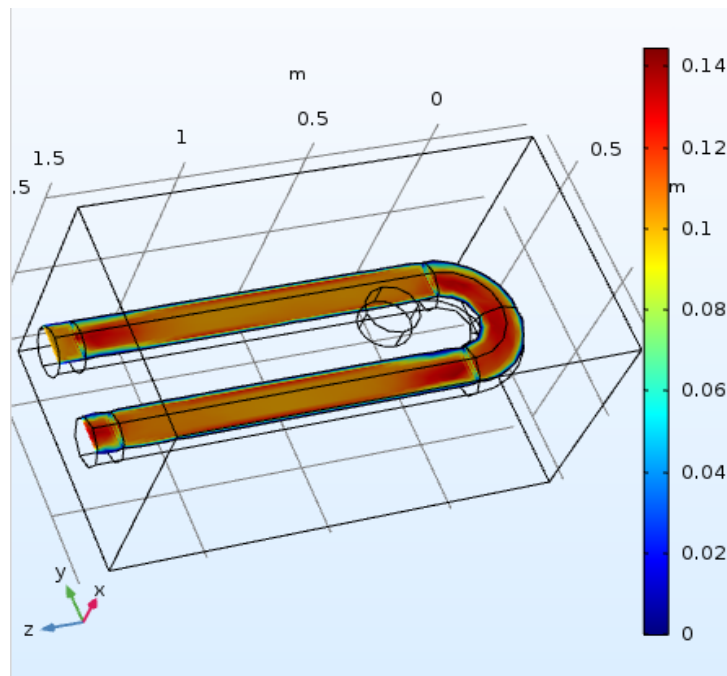


Рис. 3.2.1 Швидкості

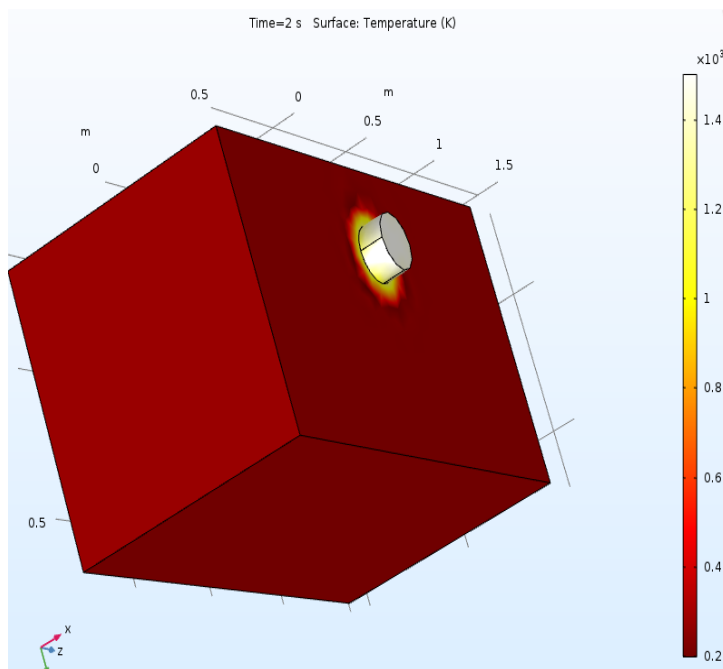


Рис.3.2.2 Розподілення тепла

4. СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ

4.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора

Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком з квадратичним критерієм якості виконано у *MatLab*. [5]

Оптимальний лінійний регулятор:

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

де

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

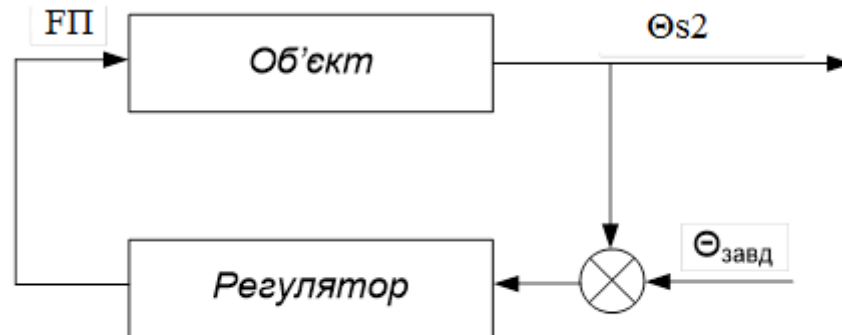


Рис.4.1. – Структурна схема контуру керування

Отримані залежності, розраховують лінійний оптимальний регулятор з матричним коефіцієнтом підсилення K . Цей регулятор мінімізує критерій на траєкторіях системи при цьому:

1. Матричний коефіцієнт підсилення K може бути визначеним поза контуром керування, так як він не залежить ні від X , ні від U ; для визначення K необхідно розв'язати рівняння Ріккати в зворотному часі.

2. При постійних матрицях A , B , R , Q і при $t \rightarrow \infty$, P прямує до усталеного значення, яке можна знайти розв'язавши алгебраїчне нелінійне матричне рівняння:

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

Це в свою чергу забезпечує сталість матричного коефіцієнту підсилення регулятора K .

3. Пояснимо смисл критерію якості. Зрозуміло, що квадратичне зваження кінцевого стану дозволяє досягнути бажаної якості керування, але квадратичне зваження керування не так обґрунтовано, особливо якщо вартість ресурсів не велика. В деяких випадках квадратичне зваження заміняє собою явні обмеження

на величину керуючих дій, та дозволяє отримати оптимальний закон зворотного зв'язку в аналітичному вигляді. Крім того, завдання занадто великих вагових матриць R викликає відхилення фактичного кінцевого стану від заданого, а занадто малих – призводить до дуже великих значень U . Основним обмеженням являються вимоги додатної визначеності R і неможливість завдання явних обмежень на X , U .

4. Вводячи більш загальний критерій якості

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

в якому враховуються взаємозв'язки між керуваннями та станом, можна показати, що оптимальний регулятор визначається, як і раніше, виразом з коефіцієнтом підсилення:

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

Вимоги, що до існування оптимального лінійно квадратичного регулятора:

1. пара матриць $[A, B]$ має бути повністю керована;
2. мають виконуватися нерівності $R > 0, Q - NR^{-1}N^T \geq 0$;
3. пара матриць $[Q - NR^{-1}N^T, A - BR^{-1}N^T]$ не може мати спостережувані моди з власними значеннями на дійсній осі.

Слід відмітити, що при практичній реалізації алгоритмів оптимального керування часто не представляється можливим отримати оптимальні точні характеристики оптимізації. Це, найчастіше, обумовлене тим, що при побудові вихідної математичної моделі процесу керування звичайно використовують наближені чи апроксимуючі моделі, що враховують основні домінуючі зв'язки і в той же час відрізняються від реальних. В реальних умовах похибка алгоритмів оптимізації може зростати (особливо на великих інтервалах часу), що приведе до нестійкості алгоритмів оптимізації. Явище нестійкості алгоритмів оптимізації пов'язане з умовами реалізації рівняння Ріккати, розв'язок якого губить властивість симетричності. [5]

Нижче наведений код *MatLab* для розрахунку оптимального лінійно-квадратичного регулятора:

```

function Lin_Reg
disp('Матриця A:')
A = [0 1; -0.028 -1.055] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [0.037 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('Вектор початкових умов X0:')
x0 = [383 370]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [323 330]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.7 % 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 зв'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 u
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
% Подова динаміки змінних стану
plot(0:dt:tf-dt,x), grid
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
% Побудова вектора керування
figure(2)
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); yla-
bel('Керування, U(t)'); legend('u')

```

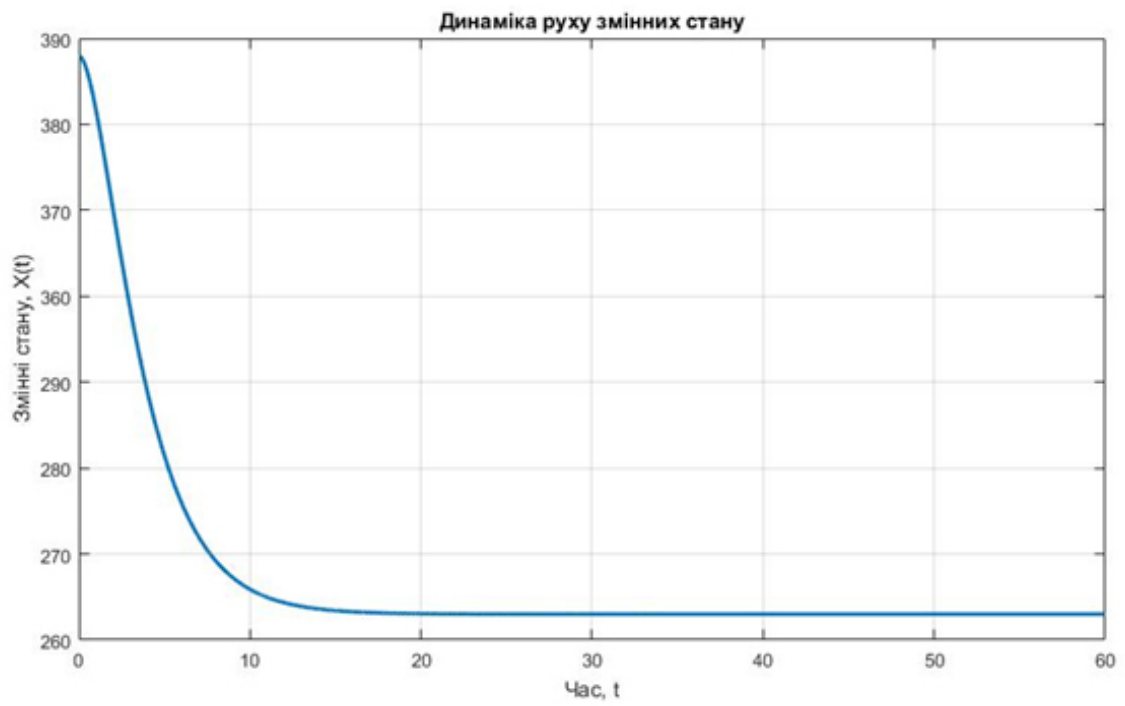



Рис.4.2. – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором

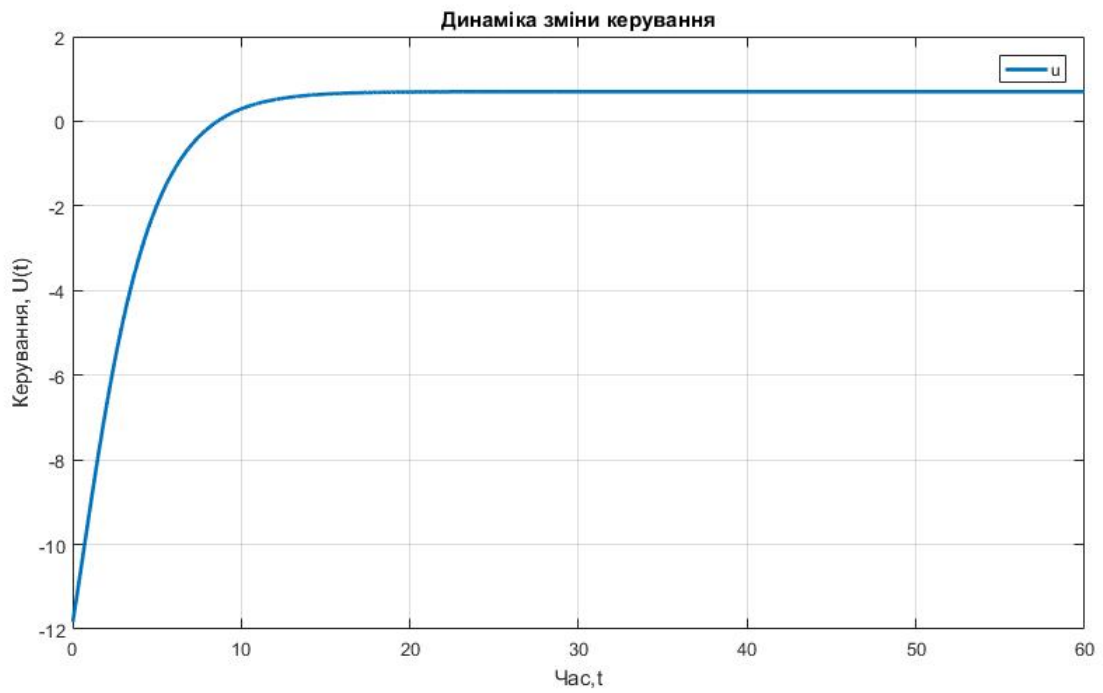


Рис.4.3 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором

4.2 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою

Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком з інтегральною складовою виконано у *MatLab*. [5]

Відмічено, що задачі синтезу оптимального в квадратичному значенні закону керування для лінійної системи, мають розв'язки в вигляді лінійних регуляторів. Такі регулятори дозволяють звести до нуля з плином часу вплив на вихід об'єкту, при ненульових початкових умов, чи короткострокових імпульсних впливів. Але у випадку постійних чи повільно змінюючих вхідних впливів, такі регулятори не можуть забезпечити вимоги рівності нулю відхилень регулюючих величин від заданих значень. Для того, щоб вони задовольняли такій вимозі, закон керування повинен мати не одну, а дві складові, одна з котрих залежить від вектора стану, а друга – від інтеграла вектора стану.

Тому, бажано переформулювати постановку задачі синтезу таким чином, щоб у керуванні з'явилась інтегральна складова, яка знижує похибки керування.

Нижче наведений код *MatLab* для розрахунку оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою:

```
function Lin_reg_Int
disp('Матриця A:')
A = [0 1; -0.028 -1.055] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [0.028; 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 = [383 293]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [370 303]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.7 % 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
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 з'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 пропорційної та інтегральної 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 та 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
% Побудова динаміки змінних стану
plot(0:dt:tf-dt,x), grid
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
% Побудова вектора керування
figure(2)
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); yla-
bel('Керування, U(t)'); legend('u')

```

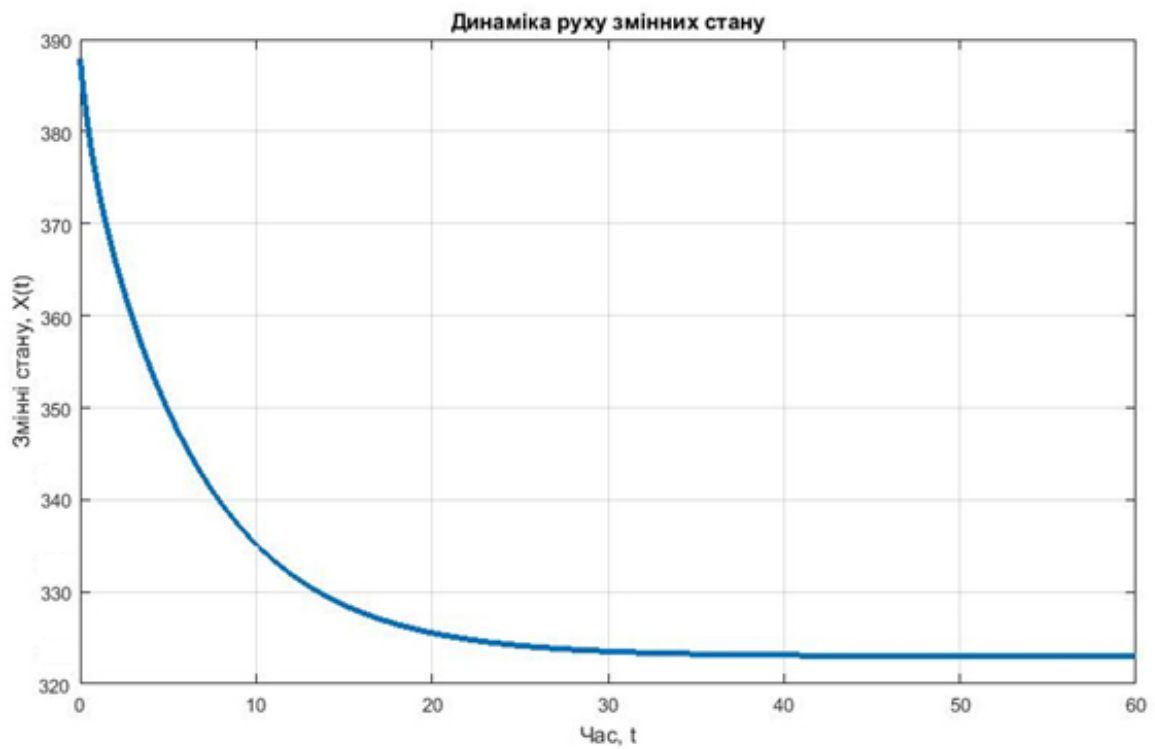


Рис.4.4 – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

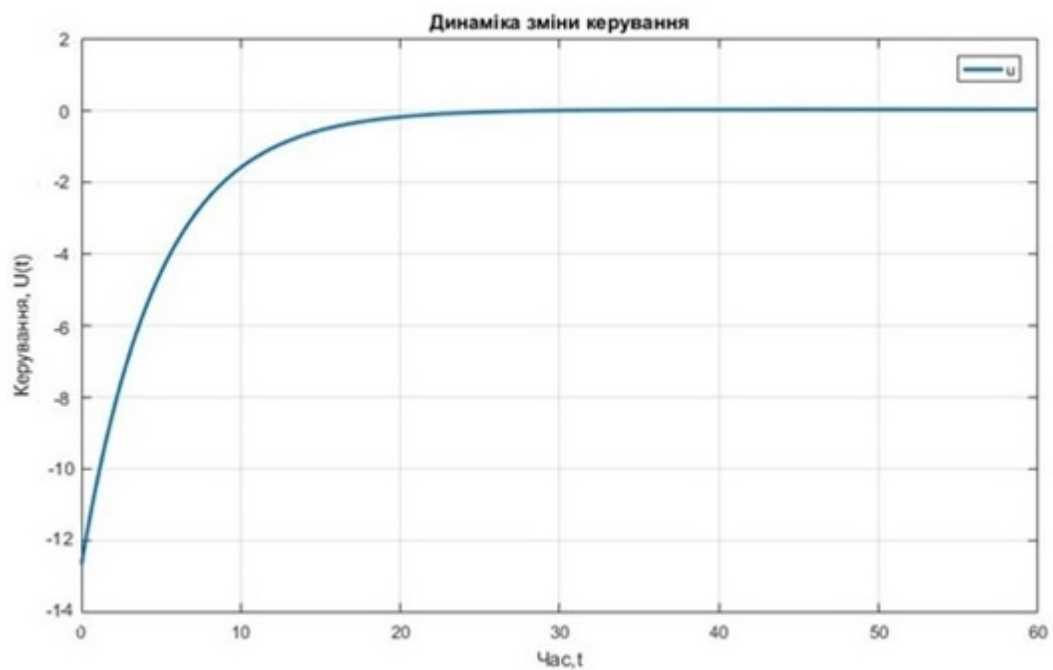


Рис.4.5 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

4.3 Порівняння результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком

Графіки зміни змінних стану для оптимального керування показано на рисунку 4.6.

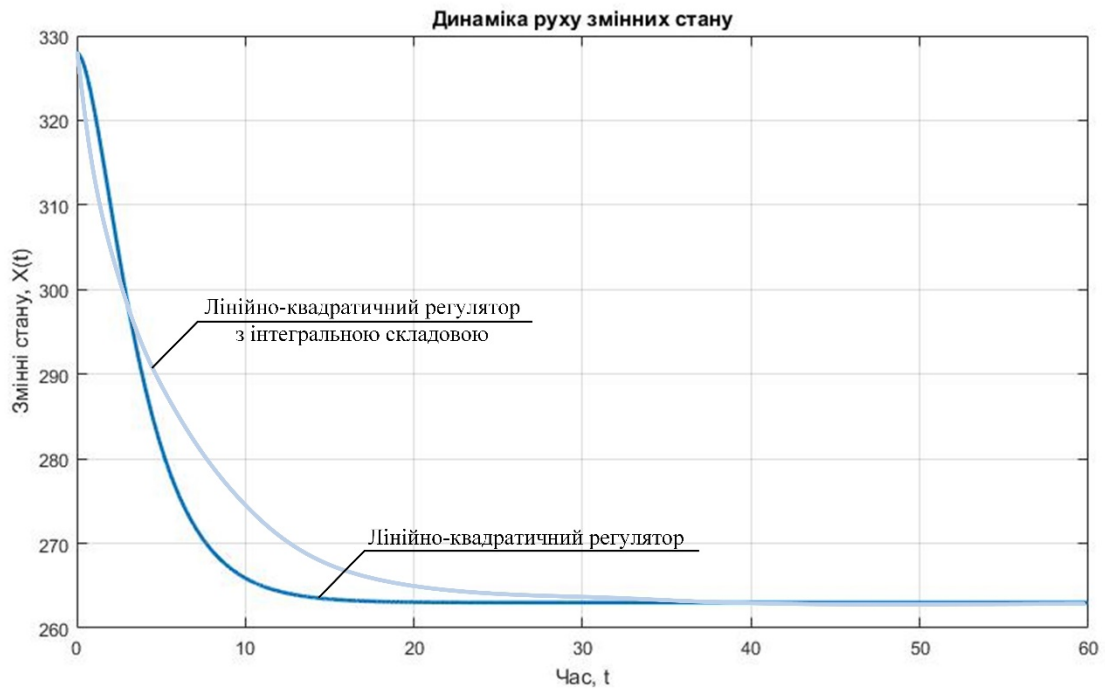


Рис.4.6. – Графіки зміни змінних стану

З рисунку 4.6. видно, що застосування інтегрального критерію якості для пошуку оптимального керування для системи зі зворотнім зв'язком погіршує якість керування, так як збільшується перерегулювання системи, що є негативним ефектом. Отже, інтегральну складову вводити не потрібно. Обираємо квадратичний критерій якості. Графіки зміни керувань показано на рисунку 4.7.

З рисунку 4.7. видно, що введення інтегральної складової погіршує керування, так як збільшується перерегулювання. Обираємо квадратичний критерій якості.

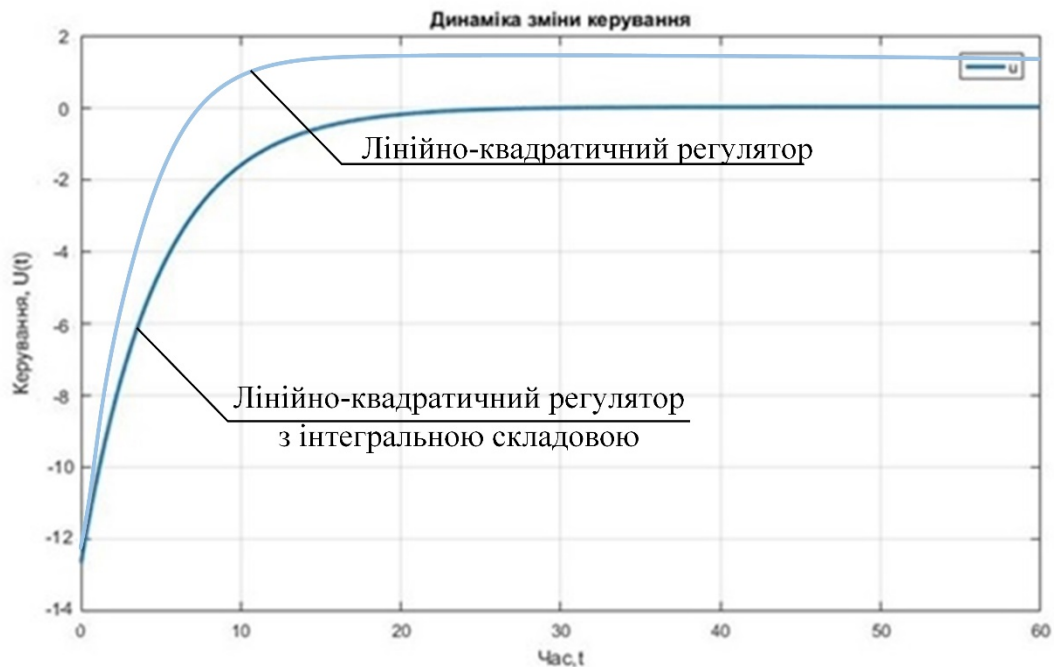


Рис.4.7. – Графіки зміни керувань

Тепер розв'яжемо алгебраїчні рівняння Ріккати за допомогою стандартної функції. Програма (М – файл) наведений нижче:

```
A = [0 1; -0.028 -1.055] ; % Введення матриці A
B = [0.028 0]'; % Введення матриці B
Q = eye(2); % Введення матриці Q
R = 1 % Введення матриці R
N = [0 0]'; % Введення матриці N
E = eye(2); % Введення матриці E (в нашому випадку I)
[P L G report] = care(A,B,Q,R,N,E) %Розв'язок рівнянь Ріккати
% P - розв'язок
% L - власні значення замкненої системи
% G - матричний коефіцієнт підсилення
% report - RR норма Фробеніуса відносних залишків
```

P =

14.89521 13.4174
13.4174 12.0653

L =

-1.0490
-0.0565

G =

0.6614 0.5071

4.5 Керування за мінімальним часом при обмеженні на керування

Для визначення керування за мінімальним часом необхідно скористатися теоремою про N інтервалів переключення, та визначити час переключення. Розрахунки будемо проводити у *MatLab*.

Запишемо критерій оптимальності:

$$I = \frac{1}{2}S_{11}[tk(t_f) - tk_{\text{зад}}]^2 + \frac{1}{2}S_{22}[tk(t_f) - \Theta s1]^2 + t_f$$

Накладемо обмеження на керування G_v :

$$G_{v,\min} \leq G_v \leq G_{v,\max}$$

$$G_{v,\max} - G_v \geq 0$$

$$G_v - G_{v,\min} \geq 0$$

Звідси перепишемо критерій:

$$I = \frac{1}{2}S_{11}[tk(t_f) - tk_{\text{зад}}]^2 + \frac{1}{2}S_{22}[tk(t_f) - tk_{\text{зад}}]^2 + t_f + \int [Q(G_{v,\max} - G_v)(G_v - G_{v,\min})H(g_1g_2)] dt$$

Відповідно функція Гамільтона матиме вигляд:

$$H = Q(G_{v,\max} - G_v)(G_v - G_{v,\min})H(g_1g_2) + \lambda_1(a_{11}tk + a_{12}tv_{\text{вз1}} + bG_v) + \lambda_2(a_{21}tk + a_{22}tv_{\text{вз1}})$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\lambda'_1 = -\frac{\partial H}{\partial tk} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21}$$

$$\lambda'_2 = -\frac{\partial H}{\partial tk} = -\lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22}$$

$$\frac{\partial H}{\partial G_v} = -2QG_vH(g_1g_2) + QG_{v,\max}G_vH(g_1g_2) + QG_{v,\min}G_vH(g_1g_2) + \lambda_1 b$$

$$\lambda_1(t_f) = S_{11}(tk(t_f) - \Theta s1)$$

$$\lambda_2(t_f) = S_{22}(tk(t_f) - \Theta s1)$$

$$\frac{\partial I}{\partial t_f} = 1 + S_{11}(tk(t_f) - tv_{\text{вз1}})t'_{\text{кг2}}(t_f) + S_{22}(tk(t_f) - tv_{\text{вз1}})t'_{\text{п2}}(t_f) + Q(G_{v,\max} - G_v)(G_v - G_{v,\min})H(g_1g_2) = 0$$

Після обрахунків знайдемо час переключення τ_s та побудуємо графік лінії переключення. Загальний вигляд графіку наведено на рис. 5.1.

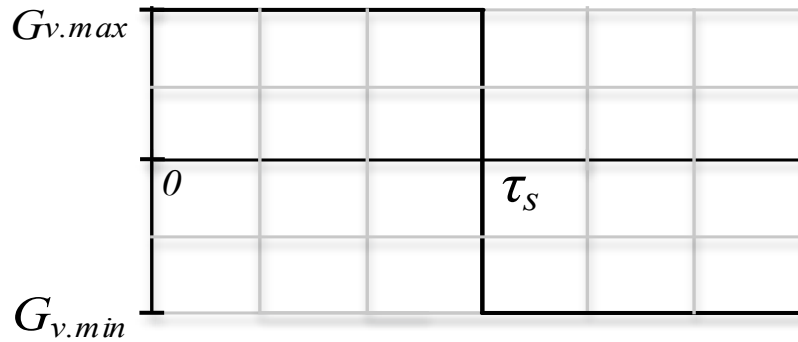


Рис.4.5.1 – Загальний графік лінії переключення

Де час переключення розраховується за формулою:

$$\tau_s = -\frac{\lambda_2(t_f)}{\lambda_1(t_f)} = -\frac{S_{22}(tk(t_f) - tk_{зад})}{S_{11}(tk(t_f) - tk_{зад})}.$$

Лінія переключення керування матиме вигляд:

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

Коли вираз $[\lambda^T(t_f) e^{Apb}] = 0$ - це точка переключення.

Зробимо розрахунок для знаходження часу переключення та лінії переключення та побудуємо відповідний графік (рис. 5.2).

$$S_{11} = 0.0001$$

$$S_{22} = 0.0001$$

$$Q = 1$$

$$N = 119$$

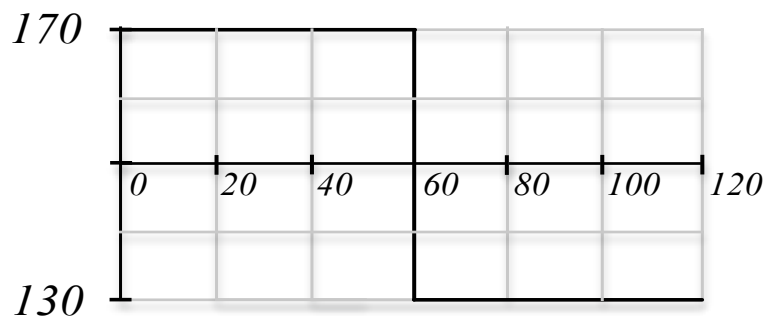


Рис.4.5.2 – Графік лінії переключення

В результаті виконання програми було отримано, що час переключення повинен становити 60.

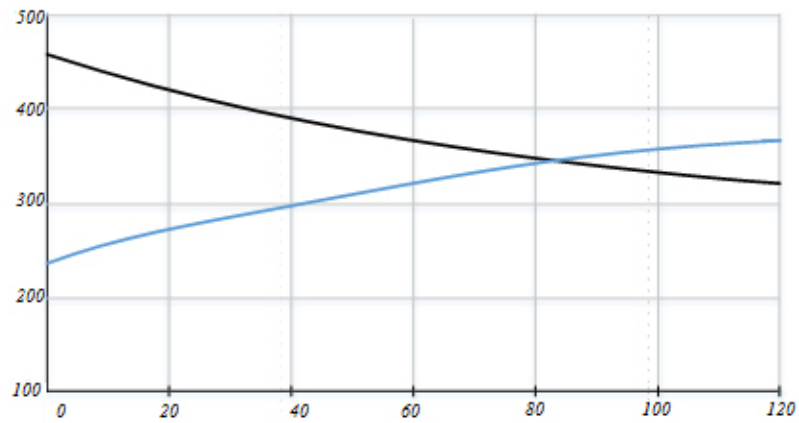


Рис.4.5.3 – Графік зміни змінних стану до переключення

Після 120 секунд система не вийшла на заданий рівень, отже переключення необхідно скорегувати, розрахувавши спряжену систему. [5]

В момент переключення змінні стану мали такі значення:

$$tk = 370 \text{ K}$$

$$tk_{\text{зад}} = 315 \text{ K}$$

Після розрахунку спряженої системи, змінні стані вийшли на заданий рівень:

$$tk = 378 \text{ K}$$

$$tk_{\text{зад}} = 315 \text{ K}$$

Графіки змінних стану представлені на рисунку 5.4.

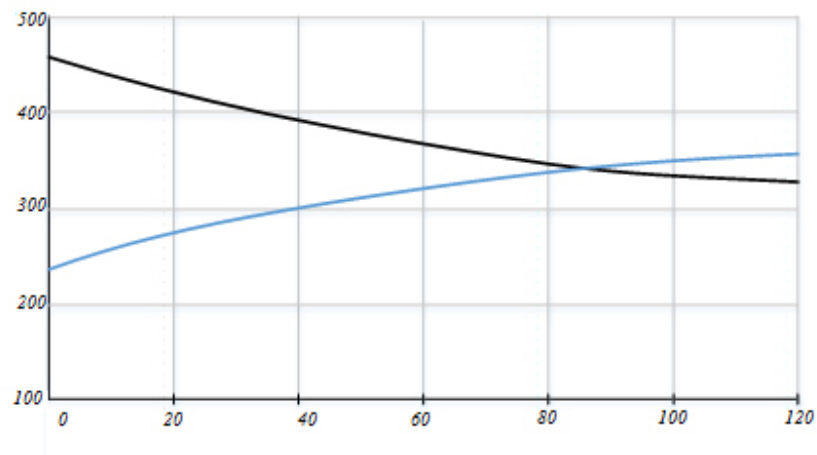


Рис.4.5.4 – Графік зміни змінних стану після переключення

Кінцева лінія переключення зображена на рисунку 5.5.

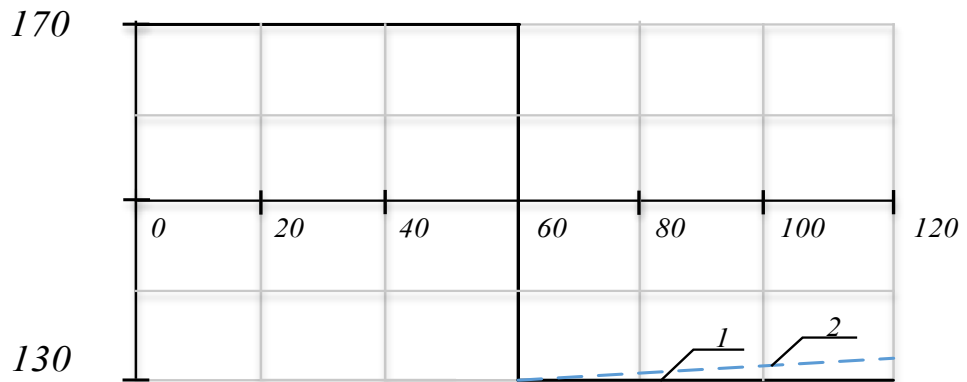


Рис.4.5.5 – Графіки ліній переключення без розрахунку спряженої системи

(1)

і з розрахунком спряженої системи (2)

4.6 Синтез регулятора з використанням методу розміщення полюсів

Автоматичне керування процесом деструктивної перегонки мазутів та гудронів є складним процесом, який потребує постійного контролю і підтримання на заданому рівні його параметрів. Саме це є основною функцією автоматизованих систем управління технологічними процесами. Трубчаста піч – один із головних об'єктів в процесі деструктивної переробки мазутів та гудронів. Для даного апарату була розроблена динамічна математична модель та сформована передатна функція за каналом керування

Передатна функція має вигляд:

$$W_0 = \frac{s+1}{s^3+2s^2+1}$$

А необхідні значення коренів характеристичного рівняння $\delta = 1, 2, 4$ і 5 . Введемо в систему зворотний зв'язок і подивимося перехідну функцію.

Перехідна характеристика побудована в програмному пакеті MatLab і зображена на рисунку 4.6.1

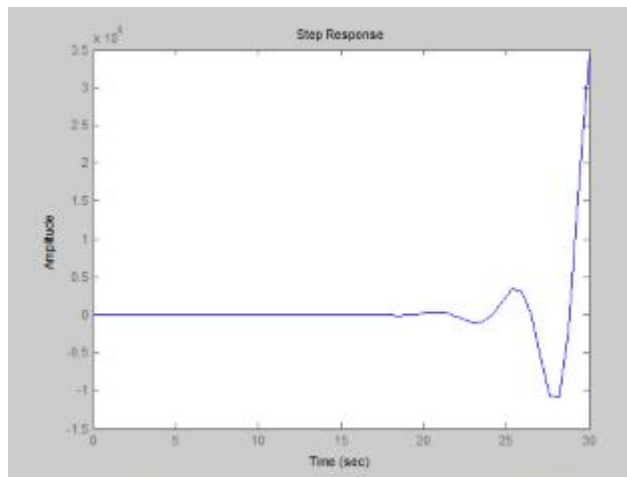


Рис. 4.6.1

За графіком перехідної функції видно, що система нестійка. Виберемо регулятор виду:

$$W_p(s) = \frac{a_1 s + a_0}{b_1 s + b_0}$$

де a_1, a_0, b_1, b_0 , - коефіцієнти регулятора, які потрібно визначити.

Передавальна функція замкнутої системи, в якій в прямій ланцюга знаходяться послідовно передавальна функція регулятора і об'єкта, а в зворотному - 1, запишеться так:

$$W_3(s) = \frac{W_0 W_p}{1 + W_0 W_p} = \frac{(s + 1)a_1 s + a_0}{(s + 1)(a_1 s + a_0) + (s^2 - 2s + 1)(b_1 s + b_0)}$$

Тоді характеристичне рівняння замкнутої системи буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta(s) &= (s + 1)(a_1 s + a_0) + (s^2 - 2s + 1)(b_1 s + b_0) \\ &= a_1 s^2 + a_1 s + a_0 s + a_0 + b_1 s^3 + b_0 s^2 - 2b_1 s^2 - 2b_0 s + b_1 s + b_0 \\ &= s^3(b_1) + s^2(a_1 + b_0 - 2b_1) + s^1(a_1 + a_0 - 2b_0 + b_1) + s^0(a_0 + b_0) \end{aligned}$$

або в матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_0 \\ b_1 \\ b_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \delta_2 \\ \delta_1 \\ \delta_0 \end{bmatrix}$$

Тоді передатна функція регулятора:

$$W_p(s) = \frac{2.5s + 3.5}{1s + 1.5}$$

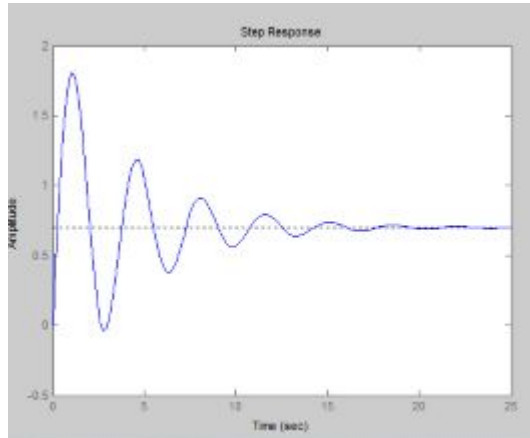


Рис 4.6.2 Перехідна характеристика регулятора

Як бачимо, система стала стійкою, але параметри якості залишають бажати кращого, що пов'язано з вибраними коріння системи.

Проведемо автоматизований пошук оптимальних параметрів ПІД-регулятора. Побудуємо Simulink-модель САУ відповідно до схеми, представленої на (модель використовує блоки Step (з бібліотеки Sources), Sum (з бібліотеки Math Operations), Transfer Fcn (з бібліотеки Continuous), PID Controller (з бібліотеки Simulink Extras / Additional Linear), Signal Constraint (з бібліотеки Simulink Design Optimization))

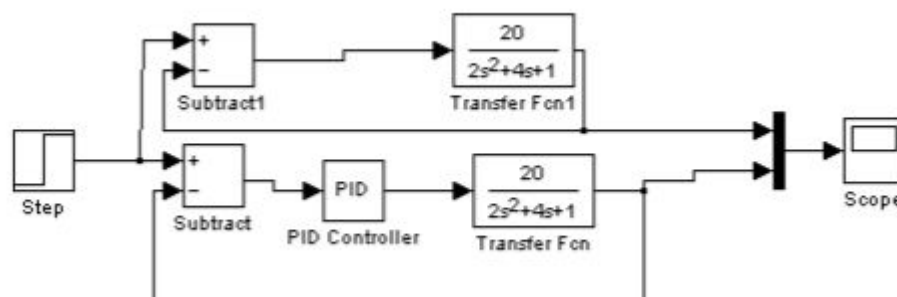


Рис 4.6.3. Simulink-модель САУ

Змінюючи параметри ПІД-регулятора можна досліджувати П-, І-, ПІД - закони управління по перехідній характеристиці системи. Для цього просто необхідно змінювати коефіцієнти посилення пропорційного, інтегруючого і диференційованого регулятора.

Enter expressions for proportional, integral, and derivative terms.
P+I/s+Ds

Parameters

Proportional:
1

Integral:
1

Derivative:
0

Рис 4.6.4 Налаштування блоку PID Controller

Для автоматичного пошуку оптимальних параметрів ПІД-регулятора необхідно зібрати схему (рис. 4.3) макета.

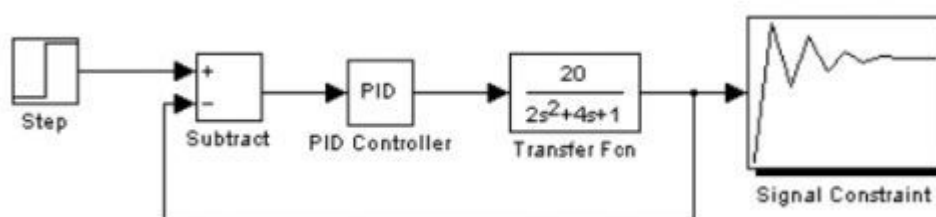


Рис 4.6.5 Макет для пошуку оптимальних коефіцієнтів ПІД-регулятора

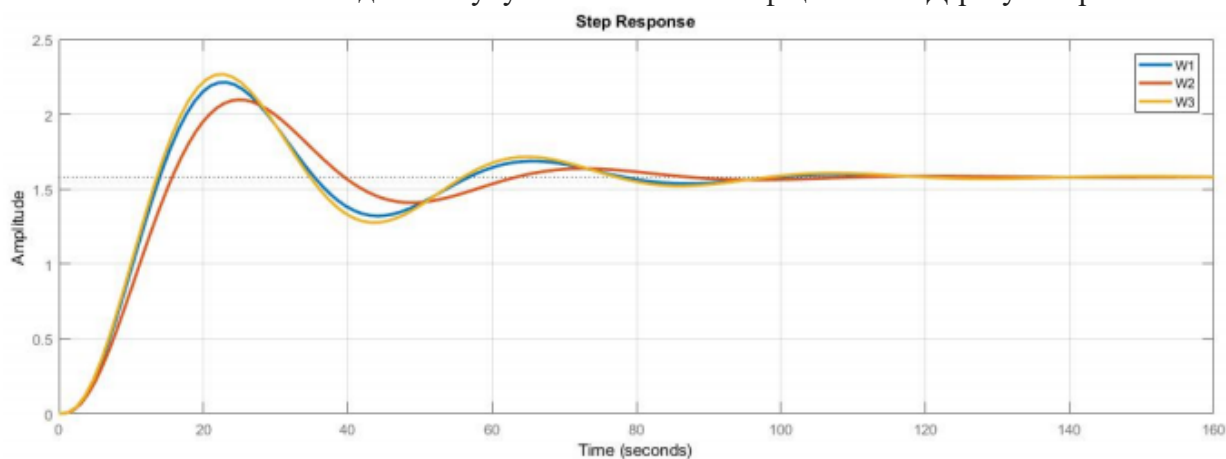


Рис 4.6.6 Результати роботи досліджуваних регуляторів

Таблиця 4.1 – Показники якості системи

	ПІ	ПІД
Час наростання, с	12171	7672
Час встановлення, с	134972	136273

Перерегулювання, %	51.67	54.21
Максимальне значення	2.3	2.35

В методах присутнє перерегулювання та незначна коливність. Можна помітити, що отримані характеристики кращі ніж отримані раніше, це пов'язано з тим, що в даному випадку Matlab використовує оптимальні методи. Алізуючи показники якості перехідних характеристик можна ствержувати, що краще за всіх з поставленою задачею впорався автоматичний метод налаштування, тобто його III налаштування.

5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проекту

У зв'язку з появою і бурхливим розвитком нового класу мікросхем - програмованих логічних інтегральних схем, впровадженням їх у практику проектування і виробництва цифрових пристроїв знову стали актуальними питання, пов'язані з синтезом структур контролем та діагностикою їх функціонування. При вирішенні як першого, а також другого класу задач, виникає необхідність

уявлення області визначення логічних функцій, число точок яких різко зростає зі збільшенням числа змінних, що визначають ці функції, що веде до ускладнення алгоритмів розв'язання задач в цілому. Виникає проблема стиснення області визначення функцій, що забезпечує можливість подання їх в області з меншим числом елементів. У проект і представлено і досліджено версію алгоритму стиснення області визначення традиційних логічних функцій, що дозволили представити ці функції в формі узагальнених з подальшою багатOVERСійності мінімізацією, забезпечує не тільки спрощення процедури, а й автоматичний контроль достовірності отриманих результатів, а також спрощення алгоритму знаходження булевих похідних, що лежать в основі одного з перспективних способів контролю і діагностики [2]. Однак, у зазначених роботах алгоритм не довівши до програмної його реалізації.

Стартап - це тільки що створена компанія (можливо навіть не є юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес на ос-нові нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які нещодавно з'явилися. Однією з основних причин створення, успішного розвитку та подальшого існування стартапів вважають неповороткість і повільність великих корпорацій, які успішно використовують уже наявні продукти, а розробкою і створенням нових майже не займаються. Тому стартапи, завдяки своїй мобільності в плані втілення нових ідей складають конкуренцію великим корпораціями.

Основним ресурсом для створення нового стартапу служить хороша новаторська ідея. Власне за свіжими і незвичайними ідеями женеться більшість і

часто, купуючи їх, не шкодують великі суми грошей. Сама ідея, що не має ніякого матеріального втілення, а існує тільки на папері, або "на словах" (план стартапу), може коштувати дуже багато. Іншим фактором успішності цієї ідеї є її затребуваність (ступінь необхідності для споживача), адже ідея може бути незвичайною і новою, але користі від неї буде мінімум.

Що стосується України, існує дуже багато різних компаній, які надають свої послуги у вигляді навчання і натхнення, мотивації до успіху підприємців, молоді та дітей. Це дуже зручно і вигідно, тому що людині допомагають реалізувати свій бізнес професіонали. Але будь-який бізнес вимагає зазвичай вкладення чималих коштів, які в нашій країні, знайти дуже важко, враховуючи те, що банківська система в Україні надає жорсткі умови кредитування, а знайти інвесторів і зацікавити в нашій небагатій країні складно, а також існують ризики і тиск з боку конкурентів і влади.

Основною ідеєю стартап проекту є створення Алгоритму стиснення, що дозволяє стискати дані без втрати якості. Реалізація алгоритму має вигляд платформи, за допомогою якої можна буде швидко працювати з даними.

Автоматизація технологічних процесів є ключовою ланкою у загальній системі функціонування будь-якого хімічного виробництва. Їх призначення - надавати інформацію для людей і інших систем. Вони надають оперативні, найостанніші дані, а також дані за минуле. Дані надходять із численних систем контролю (СК), кількість параметрів вимірюється десятками тисяч. Причини створення досить очевидні:

- для скорочення дискового простору для зберігання даних;
- для скорочення навантаження каналів передачі даних.

Звичайно, зараз доступні жорсткі диски з великим об'ємом пам'яті і канали зв'язку стають все краще і краще, але, будемо реалістами, ці питання не можна не розглядати. До того ж, як буде сказано нижче, зберігання всього обсягу даних не завжди має сенс.

До речі, замість компресії можна використовувати зрізжені дані (середнє значення параметра за період), але ці значення вже будуть відрізнятися від

«сирих» даних, отриманих з систем контролю. Можливість застосування таких систем алгоритмів буде у будь-якого хімічного виробництва (і не лише).

Алгоритм стиснення без втрати якості дозволяє :

- створення багатотомних архівів з можливістю завдання довільного розміру тому;
- створення саморозпаковуючих - SFX-архівів;
- створення багатотомних SFX-архівів;
- автоматичне видалення файлів після архівації;
- архівування каталогів даних і дисків повністю зі збереженням атрибутів файлів;

Одним із завдань нашої системи є консолідація даних з різних СК підприємства в єдину базу даних. Деякі СК, наприклад телемеханіка, надають дані кожну секунду, при цьому самі дані можуть змінюватися не значно, а загальна динаміка змін має деяку закономірність.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Платформа, за допомогою якої можна буде швидко працювати з даними.	Бюджетування	Економія коштів
	Планування	Розширення ринку збуту
	Аналіз ринку	

5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

Техніко-економічні	(потенційні) товари/концепції конкурентів	W (слабка	N (нейтральна	S (сил
--------------------	---	--------------	------------------	-----------

№ п/ п	характеристики ідеї	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3	сторона))	сторона)	стор
1.	Застосування систем в будь- якій сфері автоматизації	висока	середня	середня	середня			+
2.	Якість стискання даних	висока	середня	середня	середня		+	
3.	Надання послуг з моделювання	висока	середня	середня	середня	+		
4.	Робота у багатьох векторах.	висока	середня	середня	середня			+

5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Для того щоб не зберігати «зайві» дані, частину відділків ми можемо пропускати. Компресія якраз і полягає у вибірці «потрібних» даних з вхідного потоку. Загальні вимоги до компресії:

- зрізжені дані не повинні змінювати загальне уявлення про перебіг процесу;

- всі локальні екстремуми графіка з певною точністю повинні бути присутніми в проріджених даних - іншими словами, якщо стався різкий скачок значення параметра, то алгоритм повинен це зафіксувати. На ринку можна знайти велику кількість програм, які вміють працювати з даними різними способами: зберігати їх, стискати, архівувати і т.д. Програми архівації вже не тільки зменшують розмір файлів і об'єднують робочі дані в один великий архів, але також обробляють файли перед архівацією: деякі утиліти перевіряють дані на віруси, шифрують файли, виконують перевірку на повторну архівацію (щоб не стискати файли, які вже стиснуті) і так далі.

Існує маса різних програм для збереження, стиснення та архівування даних різними методами. Незважаючи на включені в наші улюблені архіватори функції, порівняння компресійних програм зазвичай зводиться до їх продуктивності і ефективності стиснення.

Важливо розуміти, що бажаний не тільки високий коефіцієнт стиснення, що отримується в якомога більшій кількості типів файлів, але і швидкість обробки. Швидкість стиснення є неголовним фактором, якщо просто необхідно упакувати декілька файлів і відправити їх по електронній пошті. З великою часткою ймовірності ці файли займають лише кілька мегабайт і тому архівуються майже миттєво. Однак продуктивність архівування стає важливою, якщо необхідно стиснути великий обсяг даних для резерву, тому наш алгоритм може мати величезне майбутнє в цій сфері. Ці критерії можна сформулювати більш строго. Наприклад (і цей критерій буде використовуватися в наступному алгоритмі), метод проріджування повинен гарантувати, що якщо ми зберегли дві точки і пропустили кілька точок між ними, то пряма, що з'єднує збережені точки буде відстояти від цих точок не більше, ніж на задану похибку. Цьому класу компресорів необхідна інформація про схему XML-документа. Наприклад, компресор XAUST перетворює інформацію про схему DTD в набір детермінованих кінцевих автоматів (DFA), по одному на кожен елемент DTD. Потім кожен перехід позначається елементом і викликається пов'язана з переходом операція для імітатора DFA елемента, позначати цей перехід. XAUST

поміщає всі дані одного елемента в окремий контейнер, який покроково стискається за допомогою єдиної моделі арифметичного компресора 4-го порядку. Використовуючи схему інформації DTD, XAUST може відстежувати структуру документа і точно прогнозувати передбачувані символи. Якщо передбачений символ унікальний, то в його кодуванні немає необхідності, оскільки декодер генерує ту ж саму модель на основі DTD, тим самим створюючи такий же унікальний символ. Компресор RNGzip стискає XML-документи, відповідні заданій схемі Relax NG. У RNGzip відправник і одержувач повинні заздалегідь домовитися про єдність схеми. У цьому сенсі схема еквівалентна загальному ключу шифрування і дешифрування. Для побудови детермінованого дерева автоматизації на основі зазначеної схеми RNGzip використовує перевірку автентичності схеми Relax NG. Потім, отримавши XML-документ, він перевіряє, чи приймається XML автоматом. З урахуванням цього автомата одержувач може відтворити весь XML-документ на підставі дуже малого обсягу переданої інформації. Якщо в автоматі зустрічається точка вибору, RNGzip просто повідомляє, який перехід виконаний, а якщо зустрічається текстовий перехід, то передається відповідний текст.

В теорії залежать від схеми компресори можуть досягати трохи більшому ступені стиснення, ніж компресори, які не залежать від схеми. Але вони використовуються не так часто, оскільки інформація про схему XML-документів доступна не завжди. Компресор такого типу може бути ефективним лише тоді, коли він використовується для стиснення XML-документів з відомими схемами. Також є ще одна вимога до алгоритмів компресії. Оскільки вони обробляють велику кількість даних, то вони повинні працювати швидко. В ідеалі (і це реалізовано в наступному алгоритмі), вони повинні працювати з потоком даних і, не повертаючись до раніше отриманих крапках, приймати рішення по архівації останньої розглянутої точки.

5.4 Прогнозування здобуття потенційних клієнтів

Найбільша частина продуктів по автоматизації спрямована на фізичні особи і компанії, що управляють. Такі рішення відносно прості і часто не передбачають

комплексний програмно-апаратної автоматизації. Цільова аудиторія: Великі компанії, файлообмінні платформи, зацікавлені в швидкій передачі даних без втрати якості. Зважаючи на сучасний економічний, соціальний стан нашої держави, необхідність економити власні кошти мають багато приватних та державних підприємств, окремих регіонів та груп населення.

Таблиця 5.3 – Характеристика потенційних клієнтів

n/n	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільова сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	2	3	4	5
	Потреба, яку задовольняє алгоритм (згідно концепції потенційного товару)	Визначення потенційних цільових груп клієнтів, що можуть бути зацікавлені у задоволенні значеної потреби	Фактори, що формують поведінку клієнта (стандарти, технічне регламенти, інша фактори цінового та нецінового характеру)	- до кампанії постачальника - до продукту

5.5. Фактори можливостей

Таблиця 5.4 – Фактори можливостей

№ n/n	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція кампанії
1	Застосування алгоритму лише для архівування	Економія часу та скорочення дискового простору для зберігання даних	Збільшення об'єму обробки даних

2	Вчасне оновлення ПО	Знижує загрозу некоректної роботи алгоритму	Збільшення об'єму обробки даних
3	Встановлення додаткових механізмів обробки даних алгоритму	Забезпечує кращу роботу при компресії	Збільшення об'єму обробки даних

5.6. Аналіз конкуренції на ринку

Таблиця 5.6 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії кампанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції : Чиста	Ніхто не впливає на ситуацію на ринку Тільки інновації пропозиції	Зниження ціни. Випробувальні терміни.
2. За рівнем конкурентної боротьби : - національна	Орієнтування на вітчизняний ринок	Електронна розсилка
3. За галузевою ознакою : внутрішньогалузева.	Алгоритми стиснення даних різняться у якості, ціна і функціях.	Розробка алгоритмів високої якості
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Алгоритми з великим спектром можливостей в залежності від потреби покупця.	Широкий спектр властивостей

5. За характером конкурентних переваг: нецінова	В першу чергу якість продукції вже потім ціна	Пропозиція з випробувальним терміном.
6. За інтенсивністю: марочна	Розробка бренду	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Просунення за допомогою реклами в інтернету.

5.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі. Старі алгоритми перестали задовольняти вимогам, що пред'являються до архівації. Багато зображення практично не стискалися, хоча "на погляд" володіли явною надмірністю. Це призвело до створення нового типу алгоритмів - стискають з втратою інформації. Конкурентна перевага полягає у тому, що даний алгоритм стискає данні без втрати якості. Проблема всіх

аналогічних методів полягає лише в визначенні способу, за допомогою якого розпаковуючи алгоритм міг би відрізнити в результуючому потоці байтів кодовану серію від інших - некованих послідовностей байтів. Рішення проблеми досягається зазвичай постановкою міток на початку кодованих ланцюжків. Такими позначки можна використати, наприклад, характерні значення бітів в першому байті кодової серії, значення першого байта кодованого серії і т.п.

Таблиця 5.7 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові і аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
1	2	3	4	5	6
	RLE LZW Хаффмана CCITT-3	Існуючі компанії які впроваджують інновації.	Дані надходять із численних систем контролю (СК), кількість параметрів вимірюється десятками тисяч	Клієнти можуть вимагати зниження ціни за рекламу і використання продукції протягом тривалого часу.	Інші Розробники подібного програмного забезпечення Які відрізняються лише рівнем цін та якості.

Продовження таблиці 5.7

1	2	3	4	5	6
Висновки:	Головною перевагою являється	Є можливість входу в	Можуть диктуватися обмеження на	Можуть наполягати на	Не рекомендовано

	швидкість роботи з даними	ринок алгоритмів	співвідношення якість/ціна/обсяг	здешевленні	завищувати цину
--	---------------------------------	---------------------	-------------------------------------	-------------	--------------------

5.8. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів Конкурентоспроможності.

Таблиця 5.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Висока якість та степінь роботи з даними	Степінь якості роботи алгоритму пропорційний прибутку
2	Доступна ціна	Можливість швидкого зростання прибутку
3	Надання випробувального періоду	Клієнт має можливість сам переконатися у перевагах
4	Економія даних та часу при роботі	Призводить до збільшення прибутку

З таблиці бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок в Автоматизацію технологічних процесів.

5.9. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін Алгоритму стиснення

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл.5.9) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.10).

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг роботи конкурентів у порівняння з LZW алгоритмом							
			-3	-2	1	0	+1	+2	+3	
1	Висока якість	15								
2	Доступна ціна	11			В	СС	М		СС	
3	Надання випробувального періоду	17	М		В			В	М	
4	Економія ресурсів та часу на виконання	16		М	СС		М	В		

5.10. SWOT – аналіз стартап-проекту

Таблиця 5.10 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> - Якісна продукція - Контракти з ВНЗ 	<ul style="list-style-type: none"> - Ціна вища ніж у конкурентів - Конкуренти, які створюють продукцію новітніми технологіями

Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - Заощадження на зарплати - Навчати «своїх» працівників після ВНЗ 	<ul style="list-style-type: none"> -Зниження якості роботи - Збільшення часу роботи продукції

5.12 Управлінська проблема:

Знайти можливість випускати продукцію такої ж якості за ринковою ціною та якісною навчити молодий персонал.

Таблиця 5.11 - Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Зробити систему знижок	Зменшення прибутку	Може урівняти ціни
2. Проводити навчання	Затрати часу та коштів	Підвищення кваліфікації персоналу

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми є – розробка системи знижок на товар та проведення тренінгів для молодого персоналу.

5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.5.12).

Таблиця 5.12 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/ п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів всприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства, що спеціалізуються на роботі в сфері автоматизації	65%	80%	Велика конкуренція, Особливості за рахунок використання іноземних компаній. Акцент можна робити на	Середня Конкуренція. Зазвичай кампанії звертаються до неспеціалізованих форм
2	Автоматизовані виробництва різних профілів	45%	50%	Враховуючи те, що на цей напрям буде зроблений акцент – то це дасть нам перевагу	Важко, адже нова кампанія. Перш заявлений профіль – системи керування для вузької спеціалізації
Які цільові групи обрано: 1. Виробництва, що спеціалізуються на архівуванні даних					

5.13. Визначення базової стратегії розвитку

Результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) ми обрали цільові групи, для яких будемо пропанувати свою технологію стискання та визначили стратегію охоплення ринку:

- стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу. Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл.5.13).

Таблиця 5.13 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключова конкурентоспроможною позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Зниження ціни до середньоринкової	Пропозиція із випробувальним періодом за символічну ціну	Висока якість	Стратегія лідерства по витратах
2	Заключення не довготривалих контрактів	Надання кампаніям книгу відгуків від інших фірм; Відеозаписи.	Безкоштовне надання своїх фахівців для обслуговування.	Стратегія диференціації

5.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл.5.14).

Таблиця 5.14 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/ п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде кампанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки

1	Ні	Обов'язково.	Обов'язково слідувати за нововведеннями і новими розробками та конкурентними пропозиціями	Стратегія розширення первинного попиту
---	----	--------------	---	---

5.15. Визначення стратегії позиціонування

Таблиця 5.15 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	ключові конкурентоспроможною позиції власного стартаппроекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	1.Платоспроможність. 2. Максимально тривалий контракт	Стратегія диференціацій	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах

5.16. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Таблиця 5.16 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Актуальність продукції	Покращення роботи продукту	Краща ніж у конкурентів

5.17. Формування системи збуту

Таблиця 5.18 - Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Цільові клієнти хочуть мати систему, яка буде економити ресурси та покращувати якість своєї продукції	Тест Гарантія Ремонт Допомога введення у експлуатацію	До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	Заклучення контрактів про поставки в певні терміни із щорічним нашим технічним обслуговуванням АСК

5.18 Висновки

У цьому огляді стартапу був представлений алгоритм стиснення даних без втрати якості. Головне нововведення механізмів стиснення було представлено даним проектом. І хоча підтримуючі запити компресора дуже важливі для багатьох додатків програм та підприємств, надійних компресорів що підтримують запити і використовують методи стиснення на основі граматики, поки немає. Обидві ці області відкривають багато цікавих шляхів для подальшого розвитку цієї галузі.

Розвиток запропонованого стартап-проекту буде пов'язаний з можливістю інтенсифікації економічного розвитку в Україні, бо життєздатність стартапу визначатиметься темпами зростання хімічної промисловості та споріднених галузей, де буде потрібен необхідний моніторинг та представлене управління процесами в апаратах.

Висновок

При виконанні дипломного проекту розглянуто технологічний процес деструктивної перегонки мазутів і гудронів. Тема дипломного проекту: «Автоматизація технологічного процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів».

Автоматизація передбачає, керування, контроль, сигналізацію та блокування технологічних параметрів за допомогою відповідних автоматичних пристроїв без безпосередньої участі людини, а також під її контролем.

В дипломному проекті була розроблена функціональна схема автоматизації автоматичного контролю процесу деструктивної перегонки мазутів і гудронів, проведено аналіз стану технологічного, запобігання аварій шляхом перемикання технологічних вузлів у безпечний стан, виявлення аварійних ситуацій забезпечивши наявність контурів сигналізації і технологічних блокувань. Розроблено специфікацію, принципову схему насосів та схеми комутації, математична модель трубчастої печі, здійснена розробка системи керування за ПП та ПД-законом регулювання, зроблено висновок про отримання похибок, синтез

оптимального лінійно-квадратичного регулятора, розроблена специфікація під створену схему автоматизації. В розділі стартап проекту було розроблено стартап проект та зазначена його актуальність у сфері автоматизації.

При виконанні дипломного проекту та оформленні проектної документації застосовано програмні середовища MS Office, MS Visio, MathCAD, Matlab, COMSOL MULTIPHYSICS.

Список літератури

1. **Черножуков Н. И.** Технология переработки нефти и газа. Ч. 3-я. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. Под ред. А. А. Гуреева и Б. И. Бондаренко. — б-е изд., пер. и доп. — М.: Химия, 1978 г. — 424 с.

2. **Братичак М. М.**, Технологія нафти та газу: Навч. посібник. / О. Б. Гринишин — Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2002. — 180 с. — 300 пр. — ISBN 966-533-218-9.

3. **Бабіченко А. К.** Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін. ; за заг. ред. А. К. Бабіченка. — Харків: НТУ «ХПІ», 2003. — Ч. 1. Вимірювальні пристрої. — 470 с. : іл. — Бібліогр.: с. 467. — 500 пр. — ISBN 966-593-232-2.

4. **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.

5. **Ладієва Л. Р.** Оптимізація технологічних процесів [Текст]: Навч. посіб. / Л. Р. Ладієва. – Київ: Політехніка, 2004. – 192 с. – Бібліогр.: с. 188. – ISBN 966-622-151-9.

6. **Лукінюк М. В.** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

7. Продукція «МІКРОЛ» для промислової автоматизації підприємств [Текст]: каталог : розробник і виробник підприємство «МІКРОЛ». – Івано-Франківськ, 2007. – 70 с. – 1000 пр.

8. **Лукінюк М.В.** Метрологія, технологічні вимірювання та прилади : метод. вказівки до викон. розрах.-графіч. роботи для студ. напр. підгот. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – НТУУ «КПІ», 2014. – 50 с.

9. **Н.Н Аверьянов, А.И Березенко, Ю.И Борщенко.** Мікропроцесори та мікропроцесорні комплекти інтегральних мікросхем: Довідник В 2-х т, Том 2, 1988, с 70-355.

10. **Ахмадова Х.Х.** Основные этапы развития процессов переработки нефти и тяжелых нефтяных остатков/ Х.Х. Ахмадова, А.С. Садулаева, А.М. Сыркин // История науки и техники.- 2005.- № 1- С. 119 – 126.

11. **Ахмадова Х.Х.** Состояние крекинг-процесса в 1910-1930гг. / Х.Х. Ахмадова, Р.А-В. Турлуев, А.М. Сыркин // История науки и техники.-№1, 2007. - С.108-110.

12. **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.** / Основи охорони Праці Підручник 2-ге видання, доповнене та перероблене. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К. : Основа, 2006 – 448.

**Додаток 1. Специфікація устаткування, до
функціональної схеми автоматизації**

Позиція на схемі	Технологічний параметр	Середовище і місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Устаткування та прилади								
1А	Витрата	Трубопровід, інертний газ	—	Трубопровід 28	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{\text{тр}} = 125 \text{ мм}$	ДКС 0,6-125	1	ВАТ «Пром-прилад», м. Івано-Франківськ
6А					Діафрагма камерна, $P_y = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{\text{тр}} = 200 \text{ мм}$	ДКС 0,6-200	2	ВАТ «Пром-прилад», м. Івано-Франківськ
7А								
1Б 6Б 7Б	— “ —	— “ —	— “ —	Місцевий	Дифманометр тензометричний з пропорційною функцією перетворення $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$	«Сафір-М»	3	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
1В 6В	— “ —	— “ —	— “ —	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-17-К01, вихід $AO1 = 4 \dots 20 \text{ мА}$	ІТМ-11	2	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»

7В	___ “ ___	___ “ ___	___ “ ___	Щит керування	Регулятор мікропроцесорний, вихід АО1= 4...20 мА	МІК-111	1	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
7Г	___ “ ___	___ “ ___	___ “ ___	На пульті керування	Блок ручного управління, АІ1 = 4...20мА, живлення 220 В, АО1 = 4...20мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	1	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
7Д	___ “ ___	___ “ ___	___ “ ___	Трубопровід 28	Електромагнітний регулювальний клапан, нормально закритий, Ду = 200, Ру = 25, температура –196...+550 °С	FD300	1	«ООО УКРГАЗАВТОМАТИКА»
2А 4А	Температура	Трубопровід, суміш	60...80 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, позначення НСХ 50М, діапазон вимірювання –50...120 °С, область застосування рідкі та газоподібні середовища, $I_{\text{вимір/мах}} = 5 \text{ мА}$, $W_{100} = 1.4280$.	ТСМ-1388	4	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
3А 5А			5...20 °С					
2Б 3Б 4Б 5Б	___ “ ___	___ “ ___	___ “ ___	По місцю	Перетворювач сигналу від термометра опору ТСМ для передачі сигналу 4...20 мА до пульта керування	БПО-32	4	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»

2В 3В 4В 5В	— “ —	— “ —	— “ —	Щит керування	Регулятор мікропроцесорний, вихід АО1= 4...20 мА	МІК-111	4	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
2Г 3Г 4Г 5Г	— “ —	— “ —	— “ —	На пульті керування	Блок ручного управління, АП1 = 4...20мА, живлення 220 В, АО1 = 4...20мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	4	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
2Д 4Д	— “ —	Трубопровід, вода	— “ —	Трубопровід 1	Електромагнітний регулювальний клапан, нормально закритий, Ду = 200, Ру = 25, температура –196...+550 °С	FD300	4	«ООО УКРГАЗАВТОМАТИКА»
3Д 5Д	— “ —	Трубопровід, рідкий аміак	— “ —	Трубопровід 11				
8А 16А 17А 18А	Тиск	Трубопровід	—	Трубопровід	Перетворювач тиску мікропроцесорний, вихідний сигнал постійного струму 4...20 мА.	ОВЕН ПД100	3	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
9А			1.8 кг/см ²					
15А			1 кг/см ²					
12А 13А	Тиск	Вакуум приймач фільтратів	0.034 кг/см ²	По місцю	Перетворювач тиску мікропроцесорний, вихідний сигнал постійного струму 4...20 мА.	ОВЕН ПД100	2	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ

8Б 16Б 17Б 28Б	— " —	— " —	—	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-17-К01, вихід АО1= 4...20 мА	ІТМ-11	4	м. Івано- Франківськ, вул. Автолітмашев ська, 5, ООО «МІКРОЛ»
12Б 13Б			0.034 кг/см ²					
15Б			1 кг/см ²					
КМ3 КМ4 КМ5 КМ6 КМ7 КМ8	Аварійний захист	— " —	— " —	На пульті керування	Реле електромагнітне, жив/тах АС 400V/DC24V контакти АС1 16А/250V, контакти DC1 16А/24V	RM63	6	м. Київ, вул. Лепсе 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL5 HL6 HL9 HL10 HL13 HL14	— " —	— " —	— " —	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год, тип цоколю Е27/27	Б215-225- 40	6	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
9Б	— " —	— " —	1.6..2 кг/см ²	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, двоканальний, вихід АО1= 4...20 мА	ІТМ-22	1	м. Івано- Франківськ, вул. Автолітмашев ська, 5, ООО «МІКРОЛ»
КМ1	Технологіч на сигналізаці я	— " —	— " —	На пульті керування	Реле електромагнітне, жив/тах АС 400V/DC24V контакти АС1 16А/250V, контакти DC1 16А/24V	RM63	1	м. Київ, вул. Лепсе 4, «СВ АЛЬТЕРА»

HL1	___ " ___	___ " ___	1.6 кг/см ²	На пульті керування	Лампа «зелена», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27	Б215-225-40	1	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL2	___ " ___	___ " ___	2 кг/см ²	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год, тип цоколю E27/27	Б215-225-40	1	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
14A	Рівень	Піновідділювач	0.5 – 1 м	Піновідділювач	Рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем, $L_{\max} = 4$ м, $P_{\text{доп}} = 4$ МПа, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа	УБ-ПВ	1	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
14Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	По місцю	Перетворювач пневмоелектричний, $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ (0...20 мА, 4...20 мА); $P_{\max} = 400$ кПа; $P_{\text{жив}} = 140$ кПа; діапазон робочих температур 5...50 °С;	МТМ 4000PI	1	2«Європрилад», м. Софіївська Борщагівка
14В	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-17-К01, вихід АО1= 4...20 мА	ІТМ-11	1	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
КМ2	Технологічна сигналізація	___ " ___	___ " ___	На пульті керування	Реле електромагнітне, жив/мах АС 400V/DC24V контакти АС1 16А/250V, контакти DC1 16А/24V	RM63	1	м. Київ, вул. Лепсе 4, «СВ АЛЬТЕРА»

HL3	— " —	— " —	0.5 м	На пульті керування	Лампа «зелена», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27	Б215-225-40	1	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL4		— " —	1 м	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год, тип цоколю E27/27	Б215-225-40	1	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
10A 11A	Якість	Трубопровід	5..6%	Трубопровід	Концентратомір рідин кондуктометричний у складі первинного вимірювального перетворювача та блока обробки, індикації та сигналізації, $I_{\text{вих}} = 4...20 \text{ мА};$	АЖК–3101М.К	2	ТеплоКІП. ГК Промприлад. КВП
10Б 11Б	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Перетворювач сигналу від АЖК–3101М.К для передачі сигналу 4...20мА до пульта керування	БПО-42	2	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
10В 11В	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-17-К01, вихід АО1= 4...20 мА	ІТМ-11	2	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»

Дистанційне управління електромоторами

МП1 МП2	Вмик/Вимик живлення 380 В	Насос потоку води	380 В, 10 кВт	На пульті керування	Магнітний пускач, роб. струм 23 А, допустима потужність електромотора 10 кВт живлення 380 В, з тепловим реле ТРН-8	ПМЕ-222	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
МП3		Вакуум- компресор						
SA1 SA2 SA3	Вмик/Вимик живлення	—	220 В	На пульті керування	Кулачковий перемикач ланцюга живлення, 220 В	4G25-10-US5- R112	3	м. Івано- Франківськ, вул. Красівського, 20
SB1 SB3 SB5	Вимикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, червона «Стоп»	XB2-BA31	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
SB2 SB4 SB6	Вмикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, зелена «Старт»	XB2-BA42	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
HL8 HL12 HL16	Сигналізація вмикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Лампа «зелена», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю Е27/27	Б215-225- 40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL7 HL11 HL15	Сигналізація вимикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год, тип цоколю Е27/27	Б215-225- 40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»

Додаток 2. Специфікація устаткування, до принципової електричної схеми електромоторів з аварійним захистом і технологічним блокуванням

МП1 МП2	Вмик/Вимик	Насос потоку води	380 В, 10 кВт	На пульті керування	Магнітний пускач, роб. струм 23 А, допустима потужність	ПМЕ-222	3	м. Київ вул. Магнітогорськ
------------	------------	----------------------	------------------	------------------------	--	---------	---	-------------------------------

МПЗ	живлення 380 В	Вакуум- компрессор			електромотора 10 кВт живлення 380 В, з тепловим реле ТРН-8			а 1а «ТЕХНОТОН»
FP1 FP2 FP3 FP4 FP5 FP6	Контроль струму у ланцюгу	Ланцюг живлення	0...25 А	По місцю	Автоматичний вимикач з теповим реле, струм відключення 25 А, 380 В, 50 Гц., час відключення 0.05 с.	КЭАЗ серія ВА13-25-380	6	м. Харків провулок Монгольський
FU1 FU2 FU3	Запобіжни й контроль струму у ланцюгу живлення	Ланцюг живлення	10 А	На пульті керування	Плавкий запобіжник МАХ струм 10 А, ГОСТ 17242, 220 В, контакти з електротехнічної міді, ТУ 3424-050-057581109-2009	КЭАЗ НПН2- 60-У3, 10 А	3	м. Харків провулок Монгольський
SA1 SA2 SA3	Вмик/Вим ик живлення	—	220 В	На пульті керування	Кулачковий перемикач ланцюга живлення, 220 В	4G25-10-US5- R112	3	м. Івано- Франківськ, вул. Красівського, 20
SB1 SB3 SB5	Вимикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, червона «Стоп»	XB2-BA31	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
SB2 SB4 SB6	Вмикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, зелена «Старт»	XB2-BA42	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
KM4 KM6 KM8	Дискретни й сигнал системи аварійного захисту	— " —	220 В	На пульті керування	Реле електромагнітне, жив/тах AC 400V /DC24V контакти AC1 16A/250 V, контакти DC1 16A/24V	RM63	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»

HL8 HL12 HL16	Сигналізація вмикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Лампа «зелена», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю Е27/27	Б215-225- 40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL7 HL11 HL15	Сигналізація вимикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю Е27/27	Б215-225- 40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL5 HL9 HL13	Сигналізація аварії насосу							
HL6 HL10 HL14	Сигналізація про спрацюван ня аварійного захисту							

**Додаток 2. Специфікація устаткування, до принципової електричної схеми
електромоторів з аварійним захистом і технологічним блокуванням**

МП1 МП2	Вмик/Вимик живлення 380 В	Насос потоку води	380 В, 10 кВт	На пульті керування	Магнітний пускач, роб. струм 23 А, допустима потужність електромотора 10 кВт живлення 380 В, з тепловим реле ТРН-8	ПМЕ-222	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
МП3		Вакуум- компресор						
FP1 FP2 FP3 FP4 FP5 FP6	Контроль струму у ланцюгу	Ланцюг живлення	0...25 А	По місцю	Автоматичний вимикач з тепловим реле, струм відключення 25 А, 380 В, 50 Гц., час відключення 0.05 с.	КЭАЗ серія ВА13-25-380	6	м. Харків провулок Монгольський
FU1 FU2 FU3	Запобіжний контроль струму у ланцюгу живлення	Ланцюг живлення	10 А	На пульті керування	Плавкий запобіжник МАХ струм 10 А, ГОСТ 17242, 220 В, контакти з електротехнічної міді, ТУ 3424-050-057581109-2009	КЭАЗ НПН2- 60-УЗ, 10 А	3	м. Харків провулок Монгольський
SA1 SA2 SA3	Вмик/Вимик живлення	—	220 В	На пульті керування	Кулачковий перемикач ланцюга живлення, 220 В	4G25-10-US5- R112	3	м. Івано- Франківськ, вул. Красівського, 20
SB1 SB3 SB5	Вимикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, червона «Стоп»	XB2-BA31	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»
SB2 SB4 SB6	Вмикання живлення	— " —	220 В	На пульті керування	Кнопка управління, типу АСКО, зелена «Старт»	XB2-BA42	3	м. Київ вул. Магнітогорськ а 1а «ТЕХНОТОН»

KM4 KM6 KM8	Дискретний сигнал системи аварійного захисту	___ " ___	220 В	На пульті керування	Реле електромагнітне, жив/тах AC 400V /DC24V контакти AC1 16A/250 V, контакти DC1 16A/24V	RM63	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL8 HL12 HL16	Сигналізація вмикання живлення	___ " ___	220 В	На пульті керування	Лампа «зелена», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27	B215-225-40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL7 HL11 HL15	Сигналізація вимикання живлення	___ " ___	220 В	На пульті керування	Лампа «червона», потужність 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год, тип цоколю E27/27	B215-225-40	3	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»
HL5 HL9 HL13	Сигналізація аварії насосу							
HL6 HL10 HL14	Сигналізація про спрацювання аварійного захисту							

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Поз. на схемі	Назва параметра	Середовище відбору інформації	Граничне значення	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	К-ть	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Устаткування та прилади										
1-1	Температура	Трубопровід, мазут	475 °С	Трубопровід 28	Термоперетворювач опору платиновий ТСП-1287 (НСХ 100П), діапазон вимірювання: 0...500 °С, довжина монтажною частини 320...500 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск $P_y = 2,5$ МПа; клас допуску <i>B</i>	ТСП-1287	-	НВО «Електротермія», м. Луцьк	1	0,64
1-2	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач нормувальний одноканальний Ш79, клас точності 0,4; $I_{вих} = 0...5$ мА	Ш79	-	ПО «Мікроприбор», м. Львів	1	2,5
1-3	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Аналого-цифровий перетворювач АЦП2, $I_{вх} = 0...5$ мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В; клас точності 0,25	АЦП2	-	«ПРОСОФТ», м. Москва	1	
1-4	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний (цифровий) двоканальний ІТМ-12; вхідні сигнали: дискретні; цифрова індикація; технологічна сигналізація; цифровий інтерфейс RS-485, вихід АОІ= 4...20мА, клас точності 0,2	ІТМ-12	-	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ	1	2,3
2-1	Витрата	Трубопровід, пара	-	Трубопровід 2	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 125$ мм	ДКС-0,6-125	-	ТОВ НПП «ЭЛЕМЕР», м. Москва	1	11,5

9-1	Витрата	Трубопровід, важкий залишок	-	Трубопровід 36	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 100$ мм	ДКС-0,6-100	-	ТОВ НПП «ЭЛЕМЕР», м. Москва	1	11,5
12-1	Витрата	Трубопровід, газойль	-	Трубопровід 32	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 80$ мм	ДКС-0,6-80	-	ТОВ НПП «ЭЛЕМЕР», м. Москва	1	11,2
13-1	Витрата	Трубопровід, вода	-	Трубопровід 1	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 75$ мм	ДКС-0,6-75	-	ТОВ НПП «ЭЛЕМЕР», м. Москва	1	11,2
14-1	Витрата	Трубопровід, фракція дизельного палива	-	Трубопровід 31	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 80$ мм	ДКС-0,6-80	-	ТОВ НПП «ЭЛЕМЕР», м. Москва	1	11,2
2-2, 9-2, 12-2, 13-2, 1-2	Витрата	Трубопроводи	-	Місцевий	Дифманометр тензометричний з пропорційною фу-нкцією перетворення «Сапфір-22МПС», $I_{вих} = 0...5$ мА, максимальна відносна похибка $\gamma = 0,2$ %	Сапфір-22МПС (мод. 2440)	-	ГК "Промприбор"/"Теплоприбор", м. Москва	5	4,4
2-3, 3-2, 4-2, 5-2, 6-3, 7-2, 8-2, 9-3, 10-2, 11-2, 12-3, 13-3, 14-3	— " —	— " —	-	Щит керування	Автоматичний показу вальний і реєстру вальний вторинний прилад; вхідні сигнали: $0...5$ мА, $4...20$ мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК-250	-	ЗАТ «Промышленная группа «Метран»», м. Челябинськ		13
3-1	Температура	Трубопровід, пари	425 °С	Трубопровід 30	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-0289, діапазон вимірювання: $400...600$ °С, довжина монтажної частини $200...1250$ мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск $P_y = 50$ МПа;	ТСПУ-0289	-	ВАТ "Електротермометрія", м. Луцьк	1	4,2

					граничнодопустима основна похибка 1%					
7-1	Температура	Трубопровід, вуглеводний конденсат	-	Трубопровід 33	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-0388, діапазон вимірювання: 200...600 °С , довжина монтажної частини 200...1000 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск Р _у = 50 МПа; граничнодопустима основна похибка 1%	ТСПУ- 0388	-	ВАТ "Електротермометрія", м. Луцьк	1	4,2
8-1	Температура	Трубопровід, пари	-	Трубопровід 30	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-0388, діапазон вимірювання: 200...600 °С , довжина монтажної частини 200...1000 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск Р _у = 50 МПа; граничнодопустима основна похибка 1%	ТСПУ- 0388	-	ВАТ "Електротермометрія", м. Луцьк	1	4,2
11-1	Температура	Трубопровід, флегма	-	Трубопровід 34	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-0388, діапазон вимірювання: 200...600 °С , довжина монтажної частини 200...1000 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск Р _у = 50 МПа; граничнодопустима основна похибка 1%	ТСПУ- 0388	-	ВАТ "Електротермометрія", м. Луцьк	1	4,2
5-1	Рівень	Випарник	-	Апарат 3	Рівнемір буйковий з електричним передавальним перетворювачем, L _{max} = 10 м, Р _{доп} = 4 МПа, I _{вих} = 4(0)...20 (0...5) мА	УБ-ЕМ (мод. 2620)	-	ВАТ «СКБ "Приборы и системы"», м.Рязань	1	12
6-1	В'язкість	Трубопровід, важкий залишок	-	Трубопровід 36	Візкозиметр вібраційний низькочастотний, діапазон вимірювання 1...100000 Па·с; граничнодопустима зведена похибка ±2,5 %; I _{вих} = 4...20 мА	ВВН-8	-	ТОВ «Агроавтоматика», м. Воронеж	1	8,5

4-1	Тиск	Випарник	0,3 МПа	Апарат 3	Вимірювальний тензоперетворювач тиску, $P_{\text{доп}} = 0,4$ МПа, максимальна допустима похибка $\pm 1,0$ %, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20, 0 \dots 5$ мА	МТ100Р	-	ЗАТ «Манометр», м. Москва	1	1,2
10-1	Тиск	Трубопровід, мазут	-	Трубопровід 28	Вимірювальний тензоперетворювач тиску, $P_{\text{доп}} = 0,4$ МПа, максимальна допустима похибка $\pm 1,0$ %, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20, 0 \dots 5$ мА	МТ100Р	-	ЗАТ «Манометр», м. Москва	1	1,2
Електроапарати										
SB1-SB8				Щит керування	Пост керування кнопочий	ПКУ 15-21-131 УЗ	-	Трест «Промене-ргоавтоматика», м. Київ	8	
SA1-SA4	-	-	-	-	Кнопка запобіжного відмикання;	КМЕ-5111У	-	-	4	
HL1-HL8	-	-	-	-	Лампа сигнальна світлодіодна	ЛС-151	-	Трест «Промене-ргоавтоматика», м. Київ	8	
МП1-МП4	-	-	-	Місцевий	Магнітний пускач безконтактний, реверсивний	ПБР-2М	-	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари	4	