

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра «Автоматизації хімічних виробництв»

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на тему: «Система керування у процесі сульфуровування»

Виконала:
Волкова Є.М.
студентка VI курсу, ІХФ
група ЛА-72мп
залікова книжка № ЛА-7202мп

Керівник магістерської дисертації:
к.т.н., доцент Ладієва Леся Ростиславівна

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

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 66.061.35

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Жученко А. І.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“16” грудня 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

на тему: «Система автоматичного керування теплообмінником у технологічному процесі деасфальтизації з селективною очисткою масел»

Виконала: студентка VI курсу, групи ЛА-72мп

(шифр групи)

Волкова Євгенія Миколаївна

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н. доцент Ладієва Л.Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та 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»**

Інститут (факультет) _____ Інженерно-хімічний факультет _____
(повна назва)

Кафедра _____ Автоматизації хімічних виробництв _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Жученко А. І.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«30» _____ жовтня _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Волкової Євгенії Миколаївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система керування у процесі сульфуровання»,
науковий керівник дисертації _____ к. т. н., доцент Ладієва Леся Ростиславівна

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

затвержені наказом по університету від «11» листопад 2018 р. №4139-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Технологічний процес очищення масляного дистиляту

4. Предмет дослідження Система керування у процесі сульфуровання

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Навести опис та схему технологічного процесу, розробити математичну модель процесу очищення масляного дистиляту, розробити та дослідити оптимальне керування процесом

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій Волкова Є.М., Система автоматизації процесу очищення оливних дистилятів за допомогою плюмбіт натрію[Текст] /

Волкова Є.М., Ладієва Л.Р. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Десятої науково-практичної конференції студентів; Київ, НТУУ «КПІ», 8-9 грудня 2016 р., м.Київ/ за заг. ред. А.І. Жученко. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016 – 92 с., іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 100 пр.

Волкова Є.М., Математичне моделювання сульфуратора[Текст] / Волкова Є.М., Ладієва Л.Р. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Четвертої міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів; Київ, НТУУ «КПІ», 19-20 квітня 2017 р., м.Київ/ за заг. ред. А.І. Жученко. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017 – 205 с., іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 60 пр.

Волкова Є.М., Система автоматизації процесу очищення оливних дистилатів за допомогою пюмбіт натрію[Текст] / Волкова Є.М., Ладієва Л.Р. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Тези доповідей Дванадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р., м.Київ/ за заг. ред. А.І. Жученко. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, . [Електронний ресурс]. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез.

*Volkova Ye.M., Ladieva L.R., Optimal control by suspension process[Text] / Volkova Ye.M., Ladieva L.R.// *Materials XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji*, «Wykształcenie i nauka bez granicy - 2018», 07 -15 grudnia 2018 roku po sekcjach: Techniczne nauki. Volume 19 Przemysł: Nauka I studia -80 s.*

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 06 листопада 2018р

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1 | Опис виробництва | 12.09.2018 | |
| 2 | Розробка математичної моделі процесу | 20.09.2018 | |
| 3 | Розрахунок надійності системи | 05.10.2018 | |
| 4 | Розробка системи керування | 07.10.2018 | |
| 5 | Розробка та дослідження оптимального керування | 10.11.2018 | |
| 6 | Розробка стартап-проекту | 26.11.2018 | |
| 7 | Оформлення матеріалів до магістерської дисертації | 02.12.2018 | |

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Студент

(підпис)

Волкова Є.М.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ладісва Л.Р.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Система керування у процесі сульфуровування» містить пояснювальну записку об'ємом 70 сторінок, 2 лист креслень форматом А1.

Пояснювальна записка містить 21 рисунки, 1 таблиць, 4 додатки і 9 літературних джерел.

У розділах пояснювальної записки виконаний аналіз технологічного стану виробництва, запроєктовано автоматичну систему керування, розроблена математична модель статичного й динамічного режимів роботи об'єкта керування, розглянуто способи знаходження передатної функції системи, здійснено розрахунок оптимального керування, розроблений стартап проект.

Ключові слова: очищення масляного дистиляту, сульфуратор, автоматизація, технологічний процес, схема автоматизації, контроль та регулювання, сигналізація та блокування, об'єкт керування, передатна функція, перехідна характеристика, оптимальне керування, стартап проект.

ABSTRACT

Master's dissertation on the topic: "The control system in the process of sulphurization" contains an explanatory note of 70 pages, 2 sheets of drawings in the format A1.

The explanatory note contains 21 drawings, 1 tables, 4 annexes and 9 literary sources.

In the sections of the explanatory note an analysis of the technological state of production was made, an automatic control system was designed, a mathematical model of the static and dynamic modes of the operation of the control object was developed, methods of finding the transferable function of the system were considered, the optimal control was calculated, the startup project was developed.

Key words: oil distillate purification, sulfurator, automation, technological process, automation circuit, control and regulation, signaling and blocking, control object, transfer function, transient characteristic, optimal control, startup project.

Вступ

Автоматизація виробничих процесів - один з найважливіших напрямків технічного прогресу всіх галузей народного господарства нашої країни. У цей час засоби автоматики широко використовуються в різних сферах діяльності людини.

Автоматизація - це галузь науки і техніки, яка охоплює принципи побудови систем управління, а також набір технічних засобів їх реалізації. Під автоматикою розуміється сукупність організаційно-технічних заходів, що призводить до зменшення або повного виключення участі людини в реалізації виробничого процесу.

Очищення сірчаної кислоти є найстарішим і широко поширеним у нафтовій промисловості методом видалення асфальто-смолистих речовин з масляних дистилятів, сполук кисню і сірки та інших небажаних домішок.

Цей спосіб також використовується для відновлення відпрацьованих олив (як правило, високого ступеня старіння), як двигун з високоефективними комплексоутворюючими добавками, високоокисленого відпрацьованого трансформатора та інших спеціальних масел.

Сірчаноокислотне очищення можна розглядати як фізико-хімічний метод, так як сірчана кислота крім чисто хімічного впливу на деякі небажані речовини є також хорошим розчинником багатьох сполук.

При очищенні нафтопродуктів (масляні дистиляти, відпрацьовані оливи та ін.) Утворюються дві рідкі фази: верхній і нижній шари: верхній шар - це кислотні масла, що складаються з вуглеводнів, вільної сірчаної кислоти та сульфосполук; нижній шар - це кислота, що складається з вільної сірчаної кислоти, сульфосполук та асфальто-смолистих речовин.

Під впливом сірчаної кислоти частина нейтральних смол полімерізі з утворенням асфальтенів і сульфокислот. Деякі асфальтени розчиняються в сірчаній кислоті. Основна маса разом з карбенами та карбідом ущільнюється з утворенням кислого смолу - важкого в'язкого осаду [1].

Метою даного дипломного проекту є розробка функціональної схеми автоматизації, математичного моделювання об'єкта та розробки системи управління процесом очищення масляного дистиляту за допомогою сантехніків.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 8 |
| 1. Аналіз процесу очищення масляного дистиляту за допомогою плюмбіт натрію | 13 |
| 1.1. Процес очищення масляного дистиляту як об'єкта керування | 13 |
| 1.2. Опис технологічної схеми очищення масляного дистиляту | 14 |
| 1.3. Порівняння декілька існуючих схем автоматизації | 19 |
| 2. Розрахунок і дослідження математичної моделі з використанням MatLab та його розширення Simulink | 25 |
| 2.1 Постановка задачі моделювання | 25 |
| 2.2 Дослідження структурно-параметричної схеми об'єкта | 26 |
| 2.3 Моделювання статичного режиму роботи об'єкта | 27 |
| 2.4 Моделювання динамічного режиму роботи об'єкта | 28 |
| 2.5 Розрахунок швидкості циркуляції рідини з вільною площею поверхні у апараті з мішалкою | 33 |
| 3. Система контролю технологічного процесу очистки масляного дистиляту | 40 |
| 3.1. Розроблення схеми автоматизації технологічного процесу | 40 |
| 3.1.1. Постановка задачі з розробки схеми для дистанційного керування та аварійного захисту електродвигунів технологічного процесу очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію | 40 |
| 3.1.2. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технологічного процесу очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію | 41 |
| 3.1.3. Постановка задачі технологічних блокувань у технологічному процесі очищення масляних дистиляту | 42 |
| 3.1.4. Опис роботи схеми технологічних блокувань | 43 |
| 3.1.5. Монтажно-комутаційне з'єднання до принципів електричних схем | 44 |

| | |
|---|----|
| 3.2. Налаштування регулятора за допомогою інтерактивного середовища SISOTool | 48 |
| 3.3. Моделювання системи керування у середовищі Simulink | 51 |
| 4. Оптимальне керування процесом | 54 |
| 4.1. Вибір критерію оптимальності | 54 |
| 4.2. Виведення необхідних умов оптимальності | 54 |
| 4.3. Розрахунок оптимального програмного керування..... | 56 |
| 4.4. Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора..... | 60 |
| 4.5. Керування за мінімальним часом при обмеженні на керуванні..... | 62 |
| 5. Розроблення стартап проекту | 67 |
| 5.1. Опис ідеї проекту | 67 |
| 5.2. Аналіз конкуренції..... | 68 |
| 5.2. Стратегія розвитку | 70 |
| 6. Висновки | 74 |
| 7. Список літератури..... | 75 |
| 8. Додатки | 76 |
| Додаток Д1. Схема автоматизації процесу. (ЛА72мп.02.ДП.00.001 СхФ) | |
| Додаток Д2. Принципова електрична схема автоматизації дистанційного керування та аварійного захисту електромоторів (ЛА72мп.02.ДП.00.002СхЕ) | |
| Додаток Д3. Монтажно-комутаційна схема з'єднань дистанційного керування електродвигунів (ЛА72мп.02.ДП.00.003 СхЕ) | |
| Додаток Д4. Специфікація технічних засобів автоматизації на схему автоматизації процесу. (ЛА72мп.02.ДП.00.002) | |

Перелік умовних позначень

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор.

ПІ – пропорційно-інтегральний регулятор.

ТП – технологічний процес.

ТОК – технологічний об'єкт керування.

ОК – об'єкт керування

АСУТП - автоматизована система управління технологічним процесом

S – витрати;

c – теплоємність ;

θ – температура;

k – коефіцієнти масообміну;

F – поверхня масообміну;

V – об'єм;

ρ – густина;

q – питома теплота, що виділяється при екзотермічній реакції;

R – універсальна газова складова;

A – константа швидкості реакції;

E – енергія активації.

1. Аналіз процесу очищення масляного дистилляту за допомогою плюмбіт натрію

1.1. Процес очищення масляного дистилляту як об'єкта керування

Масляну фракцію очищають шляхом екстракції з селективним розчинником у присутності 0,0002-0,002% мас. Алкілімідазоліни, введені в сировину або в розчиннику, або в їх суміші. Як імідазоліни, переважно застосовують дихлорид або суміш імідазолінів із сумішшю аміноамідів 7-9 або 10-16 або 17-С20-алкіл або більше з 20-алкілом або сумішшю оксиеталікімідазолінів на основі залишків куба з виробництва фракцій синтетичних жирних кислот - від 20 і вище. 1 стр. П. Ф-1, 1 табл.

Винахід відноситься до виробництва нафтових масел і може бути використаний в нафтопереробній промисловості при очищенні масел з селективними розчинниками N-метилпіролідону та фурфуролу.

Відомий спосіб очищення олійних фракцій масла з селективними розчинниками, згідно з яким видалення багатовалентних ароматичних вуглеводнів, смол та асфальто-смолистих речовин здійснюється або з фенолом, або з N-метилпіролідом або з фурфуролем.

Відомий спосіб очищення масляних фракцій масла з селективним розчинником N-метилпіролідону з використанням проміжного розчинника в характеризується низкою недоліків, таких як знижений вихід цільової фракції, недостатній індекс високої в'язкості отриманих рефінанту.

Метод очищення масляних фракцій із селективним фенолом розчинника в присутності поверхнево-активних речовин (поверхнево-активних речовин) поліметилсилоксану (ПМС-200) є найближчою до запропонованого винаходу відповідно до технічного характеру, і результат досягається. Кількість доданого поверхнево-активного речовини становить від 0,002 до 0,02 мас. для сировини. У той же час, прибутковість поліпшення максимально зросла на 3,6%. Індекс в'язкості не змінюється.

Проте цей спосіб характеризується недостатнім ступенем впливу добавки на селективність розчинника по відношенню до багатоквартирних ароматичних

вуглеводнів, смол і частинок асфальту, що виявляється в невеликому збільшенні виходу рафінату без покращення його якості

Винахід спрямований на вирішення проблеми збільшення на виході та збільшення індексу в'язкості рефінату, зменшення вмісту азотних та кольорових ароматичних вуглеводнів, смол та асфальто-смолистих речовин у речовині в рефінаті. Технічним результатом є збільшення ступеня впливу добавок (поверхнево-активних речовин) на селективність розчинника.

Значні ознаки виявляються технічними небажаними компонентами, а саме: барвистими ароматичними вуглеводнями, смолами та асфальто-смолистими речовинами.

Відмінні ознаки. У сировину, розчиннику додають поверхнево-активні речовини алкілімідазоліну у кількості 0,0002-0,002 мас. які використовують або імідостан EU-17 (N, N'-біс (2-гідроксиетил) -2-алкіл-імідазолін дихлорид) або пеназолін 7-9 (суміш імідазолінів з домішкою амінокислот з алкільним радикалом 37-39) або пеназолін 10-16 (суміш імідазолінів з домішкою аміноамідів з алкільним радикалом 310-316) або пеназолін 17-20 (суміш імідазолінів з сумішню амінокислот з алкільним радикалом 317-320) або пеназоліномК (суміш імідазолінів з домішкою амінокислот з алкільним радикалом 321 +) або інгібітори ІКБ

1.2. Опис технологічної схеми очищення масляного дистилляту

Відповідно до запропонованого способу, селективна очистка дистилляту та залишкових олійних фракцій масла проводиться в реакторі, оснащеному мішалкою. Необхідна температура в реакторі підтримується нижче критичної температури розчинення сировини в кожному з розчинників. Перед початком екстракції вихідного матеріалу розчинник або сировина та розчинник у різних пропорціях вводять поверхнево-активні речовини-алкілімідазоліни у кількості 0,0002-0,002 мас. для сировини. Після процесу, емульсія захищається, частина екстракції відділяється від нафтопереробного заводу, після чого відбувається

розділення розчинника та його повернення до циклу. Якість рефінанту оцінюється за показником в'язкості, вмісту азоту, важких ароматичних речовин та асфальто-смолистих речовин. Отримані при перегонці мазуту масляні напівпродукти - дистилятні і залишкові масляні фракції - в залежності від хімічної природи вихідної сировини можуть значно відрізнятися за складом і властивостями.

Крім вуглеводнів різних класів, до складу масляних фракцій входять кисень і речовини, які містять сірчаний додаток: смоли, асфальтени, нафтенові кислоти і сірчисті з'єднання (у фракціях з сірчистих нафт).

В результаті видалення більшої частини цих компонентів фракції набувають властивостей, необхідні для масел. У цьому сутність очищення масляних фракцій[2].

Масляні фракції є напівпродуктами, так як містять негативні компоненти: певні ноліціклическіє, головним чином ароматичні вуглеводні (особливо без бічних ланцюгів або з короткими ланцюгами), тверді парафінові і інші вуглеводні, а також речовини, названі вище.

Для очищення масляних фракцій застосовуються такі способи, як очищення сірчаною кислотою, лугом, природними (землями) і штучними адсорбентами, виборчими (селективними) розчинниками і деякі інші.

Очищення сірчаною кислотою - перший спосіб з числа знайшли застосування в масляному виробництві.[4] Цей спосіб не втратив свого значення і в даний час.

При обробці сірчаною кислотою частина асфальто-смолистих речовин сульфовується з утворенням кислот з місткістю сульфочастин, частина ущільнюється, а частина розчиняється без змін. Нафтенові кислоти також частково сульфурують з утворенням нафтових кислот з місткістю сульфочастин і розчиняються. Також відбувається взаємодія з кислотою та іншими сірчаними з'єднаннями .

Ароматичні вуглеводні хоча і повільно, але все ж помітно реагують з міцною сірчаною кислотою (частково сульфурують) і розчиняються в ній. При

цьому чим більше в молекулі бічних ланцюгів і чим вони довші, тим стійкіше ароматичні вуглеводні до впливу сірчаної кислоти.

Парафінові і нафтеніві вуглеводні досить стійкі до впливу міцної сірчаної кислоти, олефіни же легко реагують з сірчаною кислотою.

Розчинилися в сірчаної кислоті асфальто-смолисті речовини, нафтеніві кислоти, сірчисті з'єднання, ароматичні вуглеводні, продукти реакції всіх названих речовин з сірчаною кислотою, а також надлишок сірчаної кислоти утворюють так званий кислий гудрон, який після відстою відділяється від масла.

Споживання сірчаної кислоти для очищення промислових масел від масла нафтенно-ароматичної бази складає близько 3-5%, для спеціальних масел (трансформатор, турбіна) 7-10%, для залишкових олій (навіть олії з нафтової основи), 15-20% на масло. Для масел, в яких передбачається відсутність ароматичних вуглеводнів, застосовують обробку з великою кількістю парової сірчаної кислоти.

Сірчано-кислотне очищення здійснюється в мішалках - циліндричних ємностях, всередині облицьованих свинцем.

В результаті сірчано-кислотного очищення масляних фракцій помірно знижується їх щільність, помітно знижується коксованість, не дуже ефективно поліпшується індекс в'язкості[3].

Лужне очищення складається з нейтралізуючого водного розчину сульфату натрію з відносно невеликими кількостями продуктів сірчаної кислоти та кислих реакцій, а також природних кислих з'єднань, що містяться в маслах, відокремлених від кислотних смол. У цьому випадку сірчана кислота, сульфатної кислоти, нафтеніві кислоти та інші кислотні продукти, що взаємодіють з лугом, утворюють солі натрію і мила (лужна луска). Невеликі кількості солей, промивань та лугів, що залишаються в олії після спуску лужних відходів, повністю видаляються з нього при промиванні масла водою. Залишки води відділяються від нафти пілками; Для більш повного видалення залишків води масло сушать повітрям при 60-90 ° С.

Лужне очищення використовується не тільки в поєднанні з кислотою, але також самостійно, наприклад, у виробництві стічних вод. У цьому випадку з нафтових дистилатів кислий фторид натрію (нафтонові кислоти, феноли) видаляють шляхом нейтралізації лугом.

Для ефективного функціонування виробництва необхідна додаткова поточна інформація про зміну основних технологічних параметрів під час процесу. Для вирішення цієї проблеми розроблена автоматизована система управління, що дозволяє контролювати і регулювати температуру, рівень, швидкість потоку речовин, які безпосередньо беруть участь у процесі проходження, забезпечує продуктивність процесу сульфювання з використанням високотемпературного розділення. Розроблена математична модель сульфуратора дозволила отримати додаткову поточну інформацію та на її основі синтезувати автоматизовану систему керування основної технологічної стадії виробництва очищення масляного дистилату. Також ця система забезпечить виявлення перехідних ситуацій та запобігання нещасним випадкам шляхом перемикання технологічних агрегатів у безпечний стан.

Схема автоматизації процесом очищення масляних дистилату за допомогою плюмбіт натрію наведена на креслення № ЛА72мп.02.ДП.00.001СхФ. Зменшена копія функціональної схеми автоматизації процесом очищення масляних дистилату за допомогою плюмбіт натрію представлена на рис.1.1.

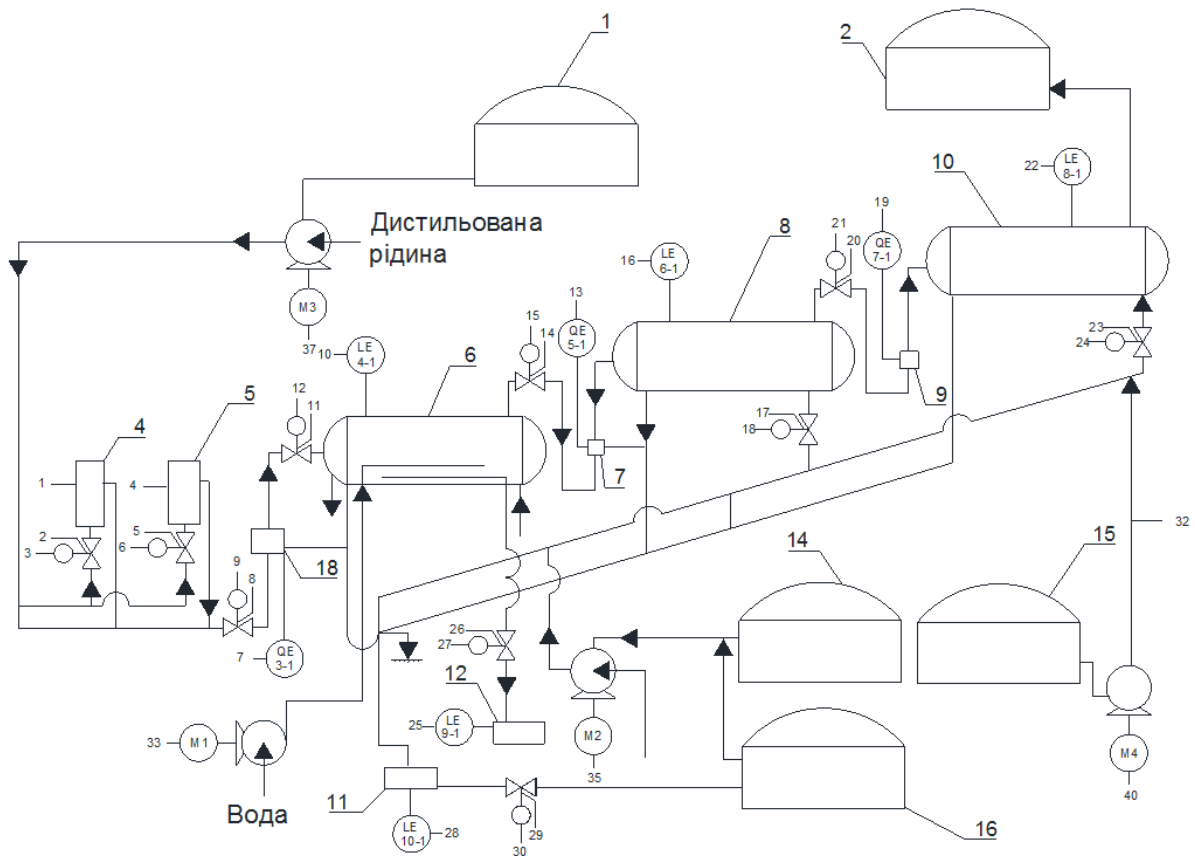


Рис. 1.1. Функціональна схема автоматизації процесом очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію.

Процес очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію потребує:

- автоматизації процесу;
- необхідно забезпечити безперервне контролювання і реєстрацію усіх параметрів у ході виконання процесу очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію;
- забезпечити наявність контурів сигналізації і технологічних блокувань;
- максимально зменшити імовірність аварій;

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

Тому можна виділити основні типи пристроїв автоматизації:

FE - витратоміри, вимірюють витрату води та повітря.

TE – вимірювачі температури.

PT – вимірювач тиску.

FT, LT, TT – пристрої автоматизації для передачі сигналів на відстані;

LIC, TIC – пристрої автоматичного управління технологічним параметром (рівень і температура);

HC – пристрої для ручного управління технологічним параметром; PIAS – Пристрої на пульті дистанційного керування для відображення та реєстрації параметрів, а також для сигналізації про високий або низький рівень контрольованого параметра;

HL – сигнальні лампочки;

KM – електромагнітне реле (контактор магнітний);

SB – кнопки вмикання/вимикання електродвигунів;

SA – кнопки для відключення електродвигуна від фази електричної мережі.

1.3. Порівняння декілька існуючих схем автоматизації

Перемішування проводиться з використанням приладів, які називаються - мішалки. Перемішування - дуже поширений процес в харчовій, хімічній, фармацевтичній, пивоварній та інших галузях промисловості. При перемішуванні використовуються мішалки різних конструкцій, видів, типів. Здійснюється перемішування в спеціальних апаратах, які називають апаратами з мішалками, вони призначені спеціально для цієї мети. Процес перемішування, при якому застосовуються мішалки, відбувається примусово, шляхом підведення до системи зовні механічної енергії. Мішалки, які використовуються в хімічній промисловості, мають свої особливості. Термін «перемішування» має на увазі з'єднання обсягів різних речовин для отримання однорідної суміші (розчини, емульсії, суспензії і т. П.).

Механічне перемішування виробляють для: а) створення однорідного середовища; б) посилення процесів теплообміну; в) посилення процесів

масообміну. При виборі мішалки, велику роль відіграє її ефективність. Ефективність мішалки визначається кількістю тієї енергії, яка витрачається на перемішування для досягнення, необхідного технологічного ефекту. Якщо порівняти дві мішалки більш ефективно працює та, за допомогою якої досягається необхідний технологічний ефект при мінімальній витраті енергії. Однак для того щоб розрахувати ефективність мішалки, потрібно знати формули, що визначають потужність, яка витрачається на перемішування, масовіддачі і тепловіддачу. На сьогоднішній день відомі мішалки багатьох конструктивних різновидів. Цих різновидів значно більше, ніж у інших апаратів, які використовуються в хімічній, фармацевтичній і іншій промисловості. Пояснюється це тим, що конструкцію мішалки визначає ще й тип, форма, обсяг резервуара (посудини), в якому вона встановлена. Конструкція мішалки грає провідну роль в роботі перемішує апарату, але при цьому тип судини істотно впливає на її роботу.

Змішувачі в найбільш поширених випадках поділяються на високошвидкісні змішувачі та низькошвидкісні машини. Високошвидкісні змішувачі включають гвинтові змішувачі та турбінні змішувачі різних типів, а також спеціальні змішувачі, такі як дискові змішувачі, мішалки для різаків тощо. Ці змішувачі в залежності від форми та структури лопатей, а також способу їх монтаж, може створити радіальний осьовий потік рідини. До низького проходу можна віднести мішалки, анкери та рамні змішувачі. Вони створюють переважно круговий потік рідини, тобто рідина обертається навколо осі апарату. До цієї групи входять гвинтові змішувачі та стрічкові міксери. Окрім вищесказаного, є змішувачі спеціальних конструкцій, такі як змішувачі, які створюють великі напруги зсуву, вібраційні змішувачі, скребки тощо. Багато довідкових книг свідчать про відсутність єдиного критерію, який дозволить вибрати відповідний змішувач для певного процес. Саме з цього в виборі змішувачів потрібно використовувати досвід, накопичений шляхом спостереження за роботою промислових установок, а також досвідчених транспортних засобів. Звичайно,

такий вибір не буде оптимальним; він часто має суб'єктивні чинники, наприклад, через традиції, що склалися в цій технології.

Серйозну роль при виборі мішалки грають параметри рідини, яка буде перемішуватися, і, перш за все, її в'язкість.

Існує єдина думка (воно не завжди вірно), що для перемішування рідин з низькою в'язкістю необхідно використовувати високошвидкісні мішалки, а для рідин з великою в'язкістю слід використовувати тихохідні мішалки.

Для проведення перемішування у процесі очищення масляного дистилату можуть використовуватися шалки з такими контурами регулювання:

1) Реактор нейтралізації

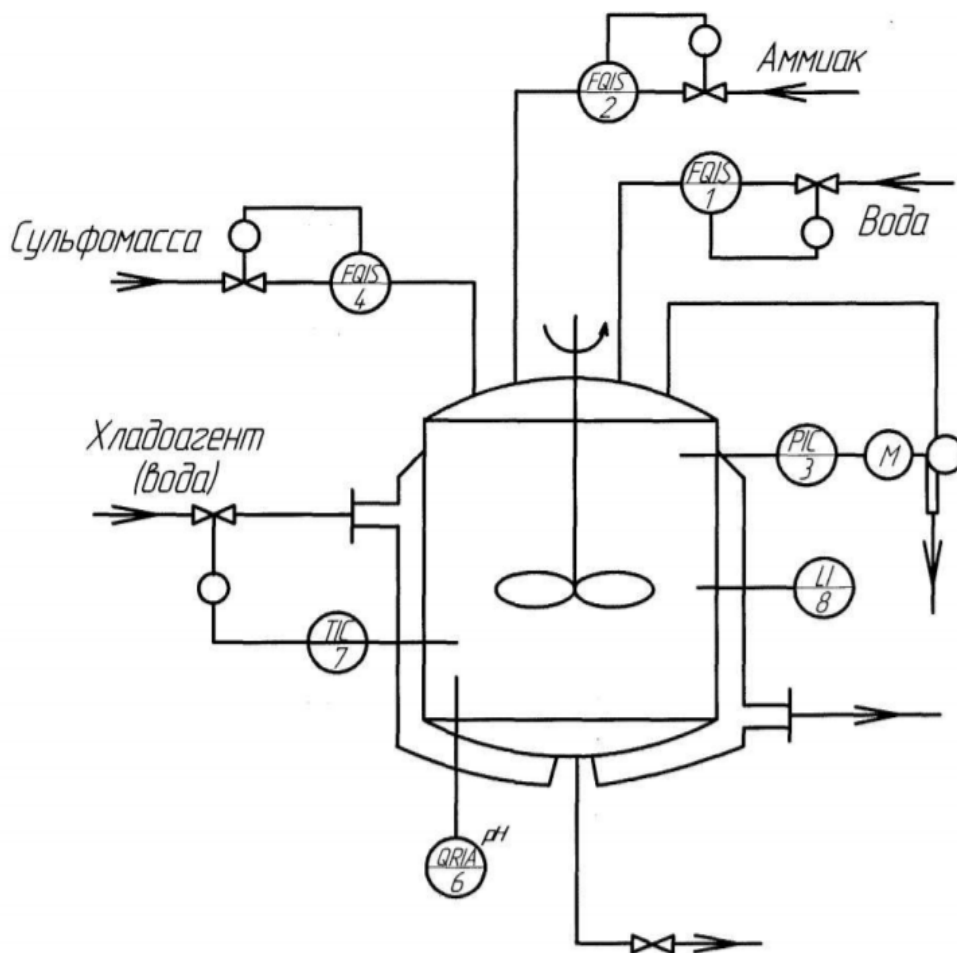


Рис.1.1.1. Схема реактору нейтралізації

Нейтралізація сірчаної кислоти з аміаком здійснюється в концентраторах, заповнених киснем, з насиченим розчином сульфату амонію (надлишок кислотності розчину 4-7%). 75-78% сірчаної кислоти та аміаку постійно

подається в конденсатор, а для запобігання надмірному потовщенню целюлози він вводить певну кількість води, яка компенсує випаровування води шляхом реакції тепла та тепла з розчину сірчаної кислоти (від 78 до 7%). Конденсатор має температуру близько 10° . Суміш кристалів сульфату амонію та розчину конденсатора подають у центрифугу. Матковий розчин повертається до конденсатора, а кристали висихають. Пари води, що надходять із конденсатор, містять 12-15 г аміаку. Щоб це виправити, пар промивають сірчаною кислотою, яка потім надходить у конденсатор. При використанні синтетичного аміаку значно менше газу вводять у агент насичення, ніж при виробництві сульфату амонію з аміачного коксового газу. Це дозволяє зменшити кількість конденсатора в порівнянні з тими, що використовуються в коксохімічній промисловості. Витрати на сировину та енергію істотно відрізняються від витрат на виробництво сульфату амонію з аміачного коксового газу.

2) Ємнісний апарат

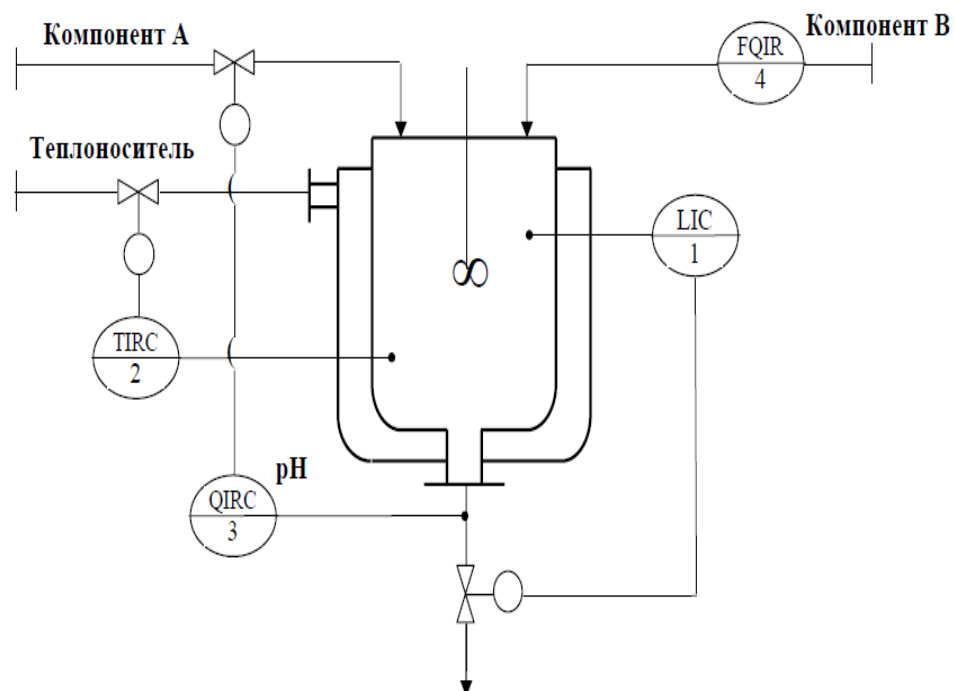


Рис.1.1.2. Схема ємнісного апарату з мішалкою

У ємнісному апараті неперервної дії з мішалкою і рубашкою відбувається змішування двох потоків (компонент А, компонент В). Змішування відбувається при високій температурі для чого в рубашку апарату подається теплоносії. Готовий продукт відбирається знизу апарату

3) Сульфуратор:

Всі сульфуратори безперервної дії, що використовуються в підприємствах громадського харчування, мають аналогічні за структурою та принципом експлуатації. Сульфуратор складається з кожуха, коробки живлення, котла та колекції окропу.

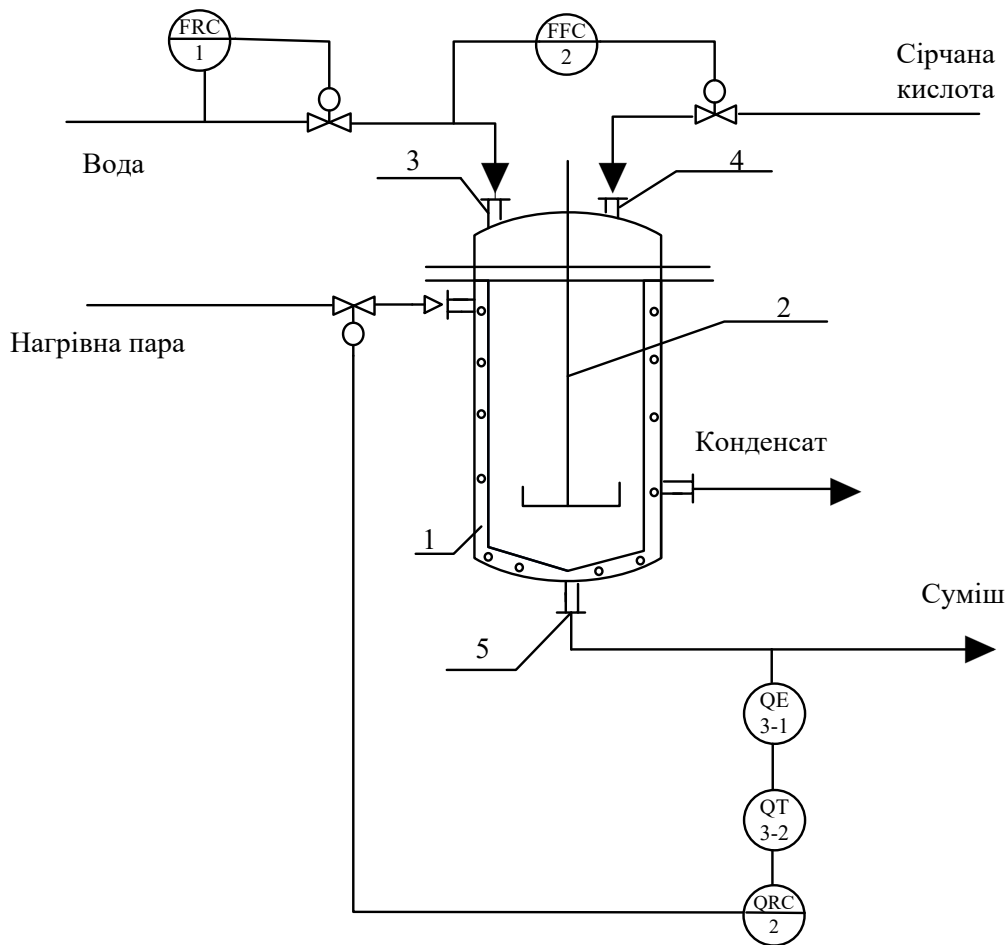
У коробці живлення є плавучий пристрій, з яким він підтримує постійний рівень води. Вода у коробці живлення надходить від водопроводу через живлячий трубопроводу. Плавучий пристрій складається з поплавця, важеля та клапана.

Вода в переливній трубці відповідно до закону з'єднаних судин встановлюється на тому ж рівні, що і в коробці подачі, оскільки вони з'єднані з'єднуючою трубою. Відстійник з киплячою водою має розбірний кран, кришка - сифон, закріплений у верхній частині відстійника киплячої води та отвір, через який кипляча вода при переповненому відстійнику потрапляє в коробку живлення. У випадку переповнення відстійника з окропом, порушення нормальної роботи живильного клапана або несправності автоматизації регулювання кипляча вода виділяється через переливну (сигнальний) трубку в трап.

Верх сульфуратора покритий кришкою.

На сульфураторі встановлені наступні електроди: у нижній частині ємності є "сухий" витікаючий електрод, який контролює наявність води, що надходить із системи водопостачання, в сульфуратор в колекторному котлі - нижньому електроді, який забезпечує включення електричних обігрівачів після кипіння і електрод верхнього рівня, який вимикає електричний нагрівач при заповненні відстійника киплячої води; Останній електрод захищається кришкою від попадання на нього окропу в процесі наповнення відстійника кип'ятком.

На корпусі поточних розчинників встановлюються сигнальні лампи, що інформують світловий сигнал про наявність напруги на сульфураторі та роботу електричних нагрівальних елементів. Блок автоматики встановлений на панелі, прикріплений до корпусу сульфатора і закритий корпусом.



- 1 - люк; 2 – якорна мішалка; 3 - штуцер завантаження; 4 - корпус апарату; 5 - змеєвик; 6 - штуцер вигруження маси; 7 – ріжучий пристрій.

Рис. 1.1.3. Схема сульфуратора.

З вищезгаданих схем найбільш оптимальним є використання сульфуратора. Зрештою, це буде найшвидший процес, і найкраще досягти бажаної суміші на виході після змішування рідин.

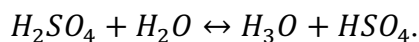
2. Розрахунок і дослідження математичної моделі з використанням MatLab та його розширення Simulink

2.1. Постановка задачі моделювання.

Сірчана кислота - важка безбарвна жирна рідина. Дуже гігроскопічний. Абсорбує вологість з великою кількістю тепла, тому ви не можете додавати воду до концентрованої сірчаної кислоти - буде розбризкування кислоти. Для розведення необхідно невеликою порцією додавати сульфатну кислоту до води.

Концентрована сірчана кислота обуглює органічні речовини відбираючи від них елементи води. При цьому утворюються гідрати сульфатної кислоти[4].

У водних розчинах сірчана кислота є повністю дисоціативною:



Метою дослідження є створення математичної моделі процесу сульфуровання для синтезу автоматичної системи керування.

У результаті аналізу особливостей процесу сульфуровання, а також властивостей вхідних та вихідних матеріальних потоків, було запропоновано забезпечувати якість очищення масляного дистиляту впливом на витрату суміші сірчаної кислоти та води.

До сульфуратора надходить вода з витратою S_e та сірчана кислота, витрата якої S_c . Ці два потоки реагують між собою, після чого суміш компонентів виходить з апарату як готовий продукт.

Рівняння матеріальних балансів складають на основі твердження: загальна маса речовин, яка надходить у технологічний об'єкт керування, дорівнює загальній масі речовин, що виходить з технологічного об'єкту і масі речовин, що акумулювалася в ньому.

2.2. Дослідження структурно-параметричної схеми об'єкта.

Вхідними параметрами до сульфуратора є:

- витрати води кг /с;
- витрати сірчаної кислоти, кг /с;
- теплоємність води, Дж/(кг К);
- теплоємність сірчаної кислоти, Дж/(кг К);
- температура води на вході, К;
- температура сірчаної кислоти на вході, К;

Вихідними параметрами є:

- витрати суміші, кг /с;
- теплоємність суміші, Дж/(кг К);
- температура суміші на виході, К;

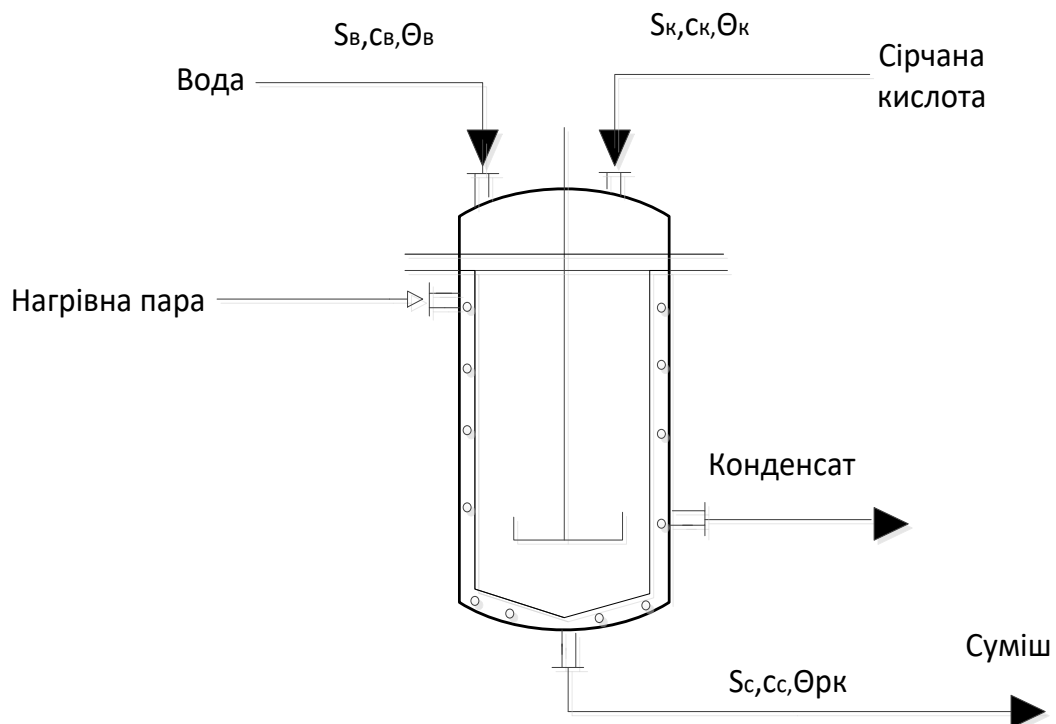


Рис. 2.2.Схема сульфуратора з вхідними та вихідними значеннями

S_B – витрати води кг /с;

S_K – витрати сірчаної кислоти, кг /с;

c_B – теплоємність води, Дж/(кг К);

c_K – теплоємність сірчаної кислоти, Дж/(кг К);

θ_B – температура води на вході, К;

θ_K – температура сірчаної кислоти на вході, К;

Основним регульованим параметром буде температура на виході, а вхідним (керуючим впливом) – витрата нагрівної пари на вході

Рівняння матеріального та теплового балансів складається на основі твердження:

"Загальна кількість речовини, що надходить до об'єкта технологічного контролю, дорівнює загальній кількості речовини, що виділяється з ТОК, та її кількості, накопиченої в ТОК".

2.3 Моделювання статичного режиму роботи об'єкта

$$S_B c_B \theta_B + S_K c_K \theta_K + kF(\theta_{\Pi} - \theta_{PK}) + S_c A e^{-\frac{E}{RT}} - S_c c_c \theta_{PK} = 0; \quad (2.3.1.)$$

$$S_{\Pi}(c_{\Pi} \theta_{\Pi} - c_K \theta_K) - kF(\theta_{\Pi} - \theta_{PK}) = 0; \quad (2.3.2.)$$

Статичні характеристики будуть виглядати наступним чином:

По каналу керування: $\theta_{PK} = f(S_{\Pi})$:

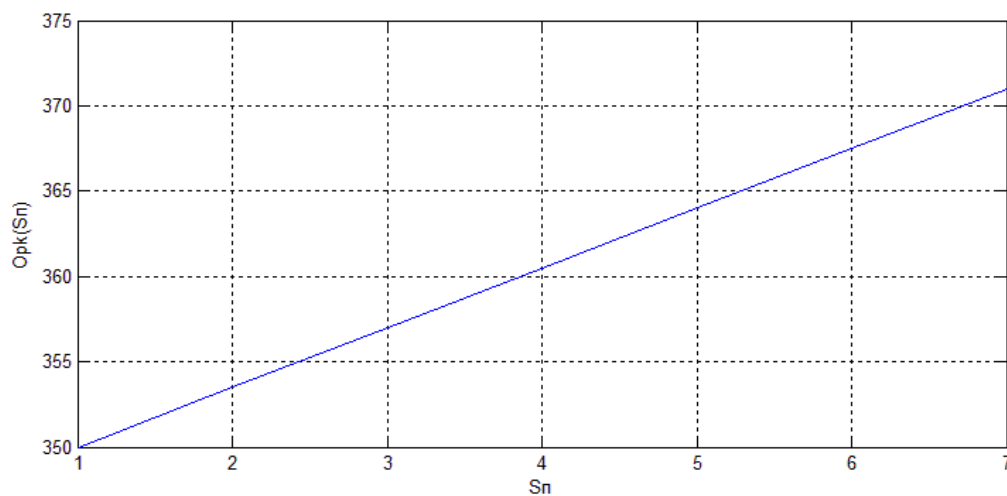


Рис. 2.3.1. Статична характеристика по каналу керування

По каналу збурення: $\theta_{pk} = f(\theta_{п})$

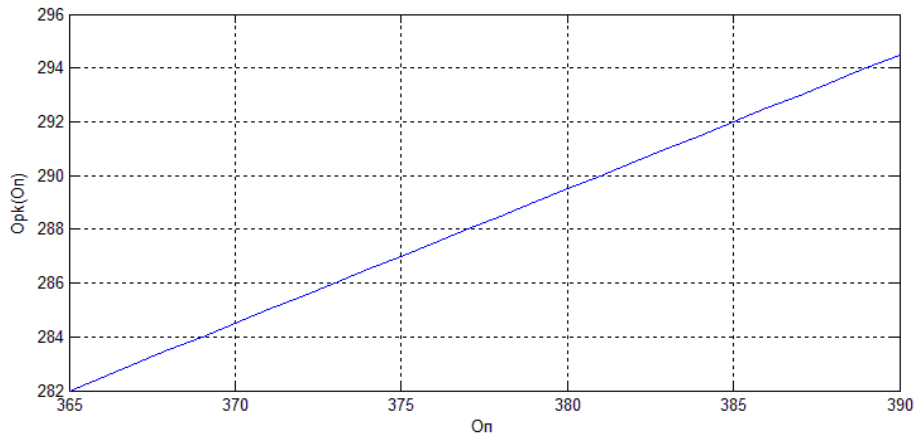


Рис. 2.3.2. Статична характеристика по каналу збурення

2.4. Моделювання динамічного режиму роботи об'єкта.

Система матеріального та теплового балансів буде мати вигляд:

$$\begin{cases} S_B c_B \theta_B + S_K c_K \theta_K + kF(\theta_{п} - \theta_{pk}) + S_c A e^{-\frac{E}{RT}} - S_c c_c \theta_{pk} = V_c \rho_c C_c \frac{d\theta_{pk}}{dt} \\ S_{п}(c_{п}\theta_{п} - c_K \theta_K) - kF(\theta_{п} - \theta_{pk}) = V_{п}\rho_{п}C_{п} \frac{d\theta_{п}}{dt} \end{cases} \quad (2.4.1.)$$

де k – коефіцієнти масообміну; F – поверхня масообміну; $V_c, V_{п}$ – об'єми на виході з апарату та пари, що надходить; $\rho_c, \rho_{п}$ – густина суміші на виході та пари на вході апарату; $A e^{-\frac{E}{RT}} = q$ – питома теплота, що виділяється при екзотермічній реакції; R – універсальна газова складова; A – константа швидкості реакції; E – енергія активації.

Таблиця 1 – Параметри статичного режиму

| № п/п | Назва параметру | Познач. | Одиниці вимір. | числове значенн я |
|----------|------------------------------------|-------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | Витрати води | S_B | кг /с | 3 |
| 2 | Витрати сірчаної кислоти | S_K | кг /с | 0,3 |
| 3 | Теплоємність води | c_B | Дж/(кг К) | 4183 |
| 4 | Теплоємність сірчаної кислоти | c_K | Дж/(кг К) | 1340 |
| 5 | Температура води на вході | θ_B | К | 320 |
| 6 | Теплоємність суміші на виході | c_c | Дж/(кг К) | 3154 |
| 7 | Коефіцієнт масообміну | k | кг/ м ² с | 1,8 |
| 8 | Поверхня масообміну в сульфураторі | F | м ² | 20,21 |
| 9 | Питома теплота, що виділяється | q | Дж/кг | 4190 |
| 10 | Об'єм суміші на виході | V_c | м ³ | 0,63 |
| 11 | Густина суміші на виході | ρ_c | кг /м ³ | 1641 |
| 12 | Об'єм пари | V_{II} | м ³ | 0,25 |
| 13 | Густина пари | ρ_{II} | кг /м ³ | 1800 |
| 14 | Теплоємність пари | C_{II} | Дж/(кг К) | 2037 |

Лінеаризація рівнянь:

Змінними параметрами є:

- Регульований параметр: θ_{PK} ;

- Керуюча дія : S_{II} .

- Збурення: θ_{II} .

Лінеаризуємо рівняння в точці основного статичного режиму. Ми беремо часткові похідні першого та другого рівнянь з змінними параметрами та отримаємо систему рівнянь у відхиленнях:

$$\begin{cases} c_B \theta_B \Delta S_B + c_K \theta_K \Delta S_K + kF \Delta \theta_{\Pi} + (S_c c_c - kF) \Delta \theta_{PK} + \left(A e^{-\frac{E}{RT}} - c_c \theta_{PK} \right) \Delta S_c = m_c C_c \frac{d\Delta \theta_{PK}}{dt} \\ (c_{\Pi} \theta_{\Pi} + r - c_K \theta_K) \Delta S_{\Pi} + (S_{\Pi} c_{\Pi} - kF) \Delta \theta_{\Pi} + kF \Delta \theta_{PK} = m_{\Pi} C_{\Pi} \frac{d\Delta \theta_{\Pi}}{dt} \end{cases} \quad (2.4.2.)$$

Перетворення за Лапласом змінної часу

Виконаємо перетворення за Лапласом змінної $t \rightarrow p$ системи при нульових початкових умовах, де

$$\Delta S_B \rightarrow S_B(p);$$

$$\Delta S_K \rightarrow S_K(p);$$

$$\Delta \theta_{\Pi} \rightarrow \theta_{\Pi}(p);$$

$$\Delta \theta_{PK} \rightarrow \theta_{PK}(p).$$

$$\Delta S_{\Pi} \rightarrow S_{\Pi}(p).$$

Отримаємо наступну систему лінійних рівнянь відносно регульованої величини $\theta_{PK}(p)$ та другої вихідної змінної $\theta_{\Pi}(p)$:

$$\begin{cases} (T_1 p + 1) \theta_{PK}(p) = k_1 * S_B(p) + k_2 * S_K(p) + k_3 * \theta_{\Pi}(p), \\ (T_2 p + 1) \theta_{\Pi}(p) = k_4 * \theta_{PK}(p) + k_5 * S_{\Pi}(p). \end{cases} \quad (2.4.3.)$$

Виразимо $\theta_{\Pi}(p)$; з другого рівняння даної системи та підставимо у перше.

Отримаємо єдине рівняння відносно $\theta_{PK}(p)$

$$\frac{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1 - k_3 k_4}{(T_2 p + 1)} \theta_{PK}(p) = \frac{k_3 k_5}{(T_2 p + 1)} S_{\Pi}(p) + k_1 S_B(p) + k_2 S_K(p). \quad (2.4.4.)$$

Визначення коефіцієнтів рівнянь

$$T_1 = \frac{m_c C_c}{S_c c_c - kF} = 314.381; \quad T_2 = \frac{m_{\Pi} C_{\Pi}}{S_{\Pi} c_{\Pi} - kF} = 90.323;$$

$$k_1 = \frac{c_B \theta_B}{S_c c_c - kF} = 112.925 ; \quad k_2 = \frac{c_K \theta_K}{S_c c_c - kF} = 33.591 ;$$

$$k_3 = \frac{kF}{S_c c_c - kF} = 0.003507 ; \quad k_4 = \frac{kF}{S_{II} c_{II} - kF} = 0.003585 ;$$

$$k_5 = \frac{c_{II} \theta_{II} + r - c_K \theta_K}{S_{II} c_{II} - kF} = 40.749$$

Передатні функції за каналами керування $W_1(p) S_{II} \rightarrow \theta_{PK}$ та збурення $W_2(p) \theta_{II} \rightarrow \theta_{PK}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1(p) = \frac{\frac{k_4 k_5}{1 - k_3 k_4}}{\frac{T_1 T_2}{1 - k_3 k_4} p^2 + \frac{(T_1 + T_2)}{1 - k_3 k_4} p + 1}, \\ W_2(p) = \frac{k_3}{(T_1 p + 1)}. \end{array} \right. \quad (2.4.5.)$$

Ці передатні функції у цифровому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1(p) = \frac{3.63}{28400p^2 + 404.708p + 1}, \\ W_2(p) = \frac{0.537}{314.381p + 1}. \end{array} \right.$$

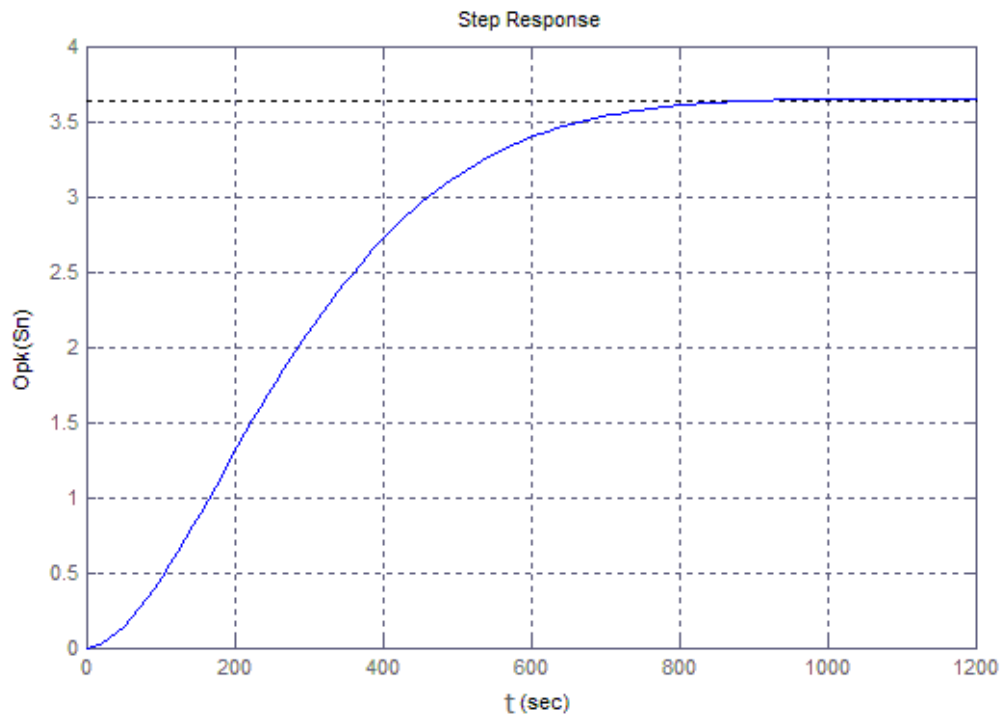


Рис. 2.4.1. Передатна функція за каналом керування $S_{\pi} \rightarrow \theta_{pk}$

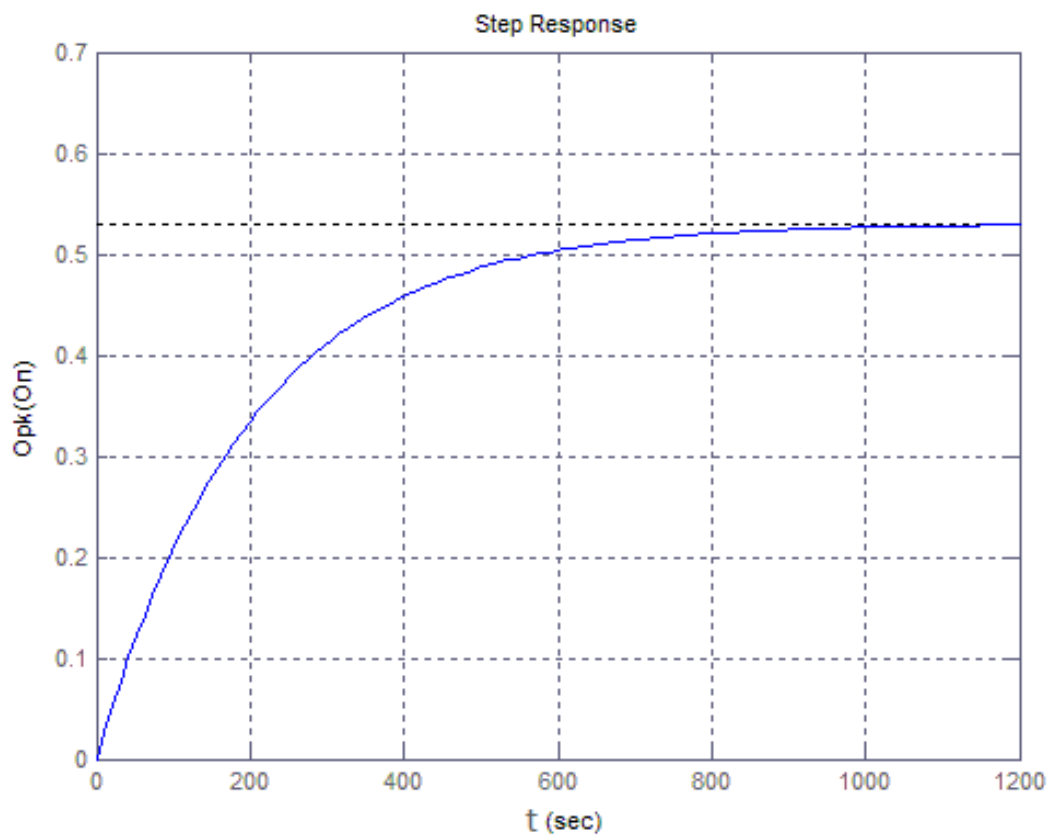


Рис. 2.4.2. Передатна функція за каналом збурення $\theta_{\pi} \rightarrow \theta_{pk}$

2.5. Розрахунок швидкості циркуляції рідини з вільною площею поверхні у апараті з мішалкою

Апарати з мішалками є одним з найбільш поширених видів установ, що використовується в ряді галузей промисловості для проведення різних фізичних і хімічних процесів. Методи розрахунку, що застосовуються для вирішення завдань перемішування, безпосередньо пов'язані з використанням гідродинамічних характеристик потоку. Результати гідродинамічного розрахунку є основою для розрахунку таких практично важливих характеристик, як час перемішування, швидкість протікання процесів переносу перемішуваних речовин, споживча на перемішуванні потужність або коефіцієнти теплопередачі.

При обертальному русі рідини в апараті з мішалкою відбувається утворення центральної вихрової воронки, глибина якої поступово збільшується зі зростанням кутової швидкості рідини. В апаратах з лопатними мішалками утворення яскраво вираженої воронки спостерігається вже при середніх числах Рейнольдса. Перемішування при утворенні воронки пов'язано з рядом труднощів. Якщо глибина воронки стає порівнянною з глибиною установки мішалки, то в рідині можуть бути занурені тільки кінці лопастів. Це призводить до того, що відбувається збільшення повітря в рідині та утворення газорідної суміші в області мішалки. В результаті ударів, одержуваних мішалкою при роботі в цьому середовищі змінної густини, вал мішалки починає коливатися. Виникаючі динамічні навантаження негативно позначаються на надійності підшипників і ущільнень вала. Негативні явища, пов'язані з утворенням воронки, практично виключаються, якщо поверхня воронки знаходиться вище мішалки. Тому розрахунок форми та глибини воронки представляє практичний інтерес. У цій роботі проведено чисельне моделювання асиметричної ламінарної течії незтистаємі в'язкої рідини в апараті з лопатною мішалкою з урахуванням утворення центральної воронки.

Вихідними рівняннями, що описують рух рідини в апараті, будуть відповідно рівняння Нав'є-Стокса і нерозривності у вигляді [5]

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho(\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2.5.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2.5.2)$$

де g - прискорення сили тяжіння.

Рух рідини будемо розглядати в нерухомій циліндричній системі координат x, y, z , в якій компоненти вектора швидкості позначимо відповідно u, v, w . Дане завдання представляє собою завдання із вільною межею. Введемо в розгляд на поверхні рідини локальний базис, що складається з вектора нормалі

$$\vec{n} = \left\{ -\frac{dh}{dx}; 0; 1 \right\} \quad (2.5.3)$$

і двох векторів в дотичній площині

$$\vec{\tau}_1 = \left\{ 1; 0; \frac{dh}{dx} \right\}, \quad \vec{\tau}_2 = \{0; 1; 0\} \quad (2.5.4)$$

де h - висота вільної поверхні рідини над мішалкою.

Граничні умови на вільній поверхні включають в себе кінематичні і динамічні умови. Кінематична умова

$$u \frac{dh}{dx} - w = 0 \quad (2.5.5)$$

відображає той факт, що рідина не може протікати через вільну поверхню і являє собою рівність нулю проекції вектора швидкості на нормаль до поверхні. Динамічні умови полягають у відсутності тертя на поверхні рідини. На вільній поверхні буде розвиватися напруга $\vec{p} = \vec{n} \cdot P$, яке обумовлено деформацією примикають частинок рідини. Тоді динамічні умови запишуться у вигляді рівності нулю проекцій вектора напруги на напрямки дотичних векторів базису (2.5.4) відповідно як

$$(p_{zz} - p_{xx}) \frac{dh}{dx} + \left[1 - \left(\frac{dh}{dx} \right)^2 \right] p_{xz} = 0, \quad (2.5.6)$$

$$p_{yz} - p_{xy} \frac{dh}{dx} = 0, \quad (2.5.7)$$

де P - тензор напружень; p_{yz} , p_{xy} , p_{zz} , p_{xx} , p_{xz} - компоненти тензора напружень.

Граничні умови для складових швидкості на твердих стінках полягають у відсутності відносного руху рідини і твердої поверхні. Тоді на дні і боковій стінці апарату $u = 0$, $v = 0$, $w = 0$, а на поверхні вала і мішалки відповідно $u = 0$, $v = \omega x$, $w = 0$, де ω - кутова швидкість обертання вала і мішалки. На осі обертання потоку під мішалкою приймемо

$$u = 0, \quad v = 0, \quad \frac{dw}{dx}$$

Оскільки форма вільної поверхні рідини невідома і має бути знайдена в результаті розрахунків, то перейдемо від фізичної області течії до розрахункової області з відомими межами. Для цього фізичну область поділимо на дві підобласті, нижню і верхню, горизонтальним перетином, проведеним через верхню поверхню мішалки. Введемо безрозмірні координати і функції

$$t^* = \pi n t, \quad x^* = \frac{x}{d}, \quad y^* = y,$$

$$z^* = \begin{cases} \frac{z}{d} & \text{при } z \leq H_a + b \\ \frac{z - H_a - b}{h} & \text{при } z > H_a + b \end{cases},$$

$$\vec{v}^* = \frac{\vec{v}}{\pi n d}, \quad p^* = \frac{p - p_0}{\rho (\pi n d)^2},$$

де n - число обертів мішалки в одиницю часу; H_a - висота розташування мішалки над дном апарату; b - висота лопасті; p_0 - атмосферний тиск, а в якості характерної довжини і характерною швидкості потоку обрані відповідно діаметр мішалки d і окружна швидкість кінця лопати $\pi n d$. Вільної поверхні рідини при цьому буде відповідати значення $z^* = 1$. Після перетворення координат рівняння нерозривності (2.5.2) збереже форму

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0,$$

в якій проекції вектора швидкості в розрахунковій області U , V , W визначаються як

$$U = \gamma u^*, \quad V = \gamma v^*, \quad W = w^* - u^* z^* \frac{d\gamma}{dx^*},$$

де $\gamma = 1$ для нижньої під області і $\gamma = h^*$ для верхньої під області; $h^* = h/d$ а u^*, v^*, w^* - компоненти вектора швидкості в безрозмірною фізичної області, яка визначається перетворенням

$$x^* = \frac{x}{d}, \quad y^* = y, \quad z^* = \frac{z}{d}.$$

У розрахунковій області рівняння (1) в проекціях на осі координат може бути записано у вигляді узагальненого рівняння переносу

$$\frac{\partial F}{\partial t^*} + \frac{1}{\gamma} \operatorname{div}(\vec{V}F) = \operatorname{div}(G \operatorname{grad}F) + S, \quad (2.5.8)$$

де $G = 1 / (\pi \operatorname{Re})$ - коефіцієнт дифузії; $\operatorname{Re} = \rho n d^2 / \mu$ - відцентрове число Рейнольдса; S - член типу джерела, відповідний шуканої функції F .

Чисельне моделювання течії проведемо методом контрольних обсягів [8], одним з основних плюсів якого є те, що він володіє консервативними властивостями, тобто забезпечує інтегральне виконання законів збереження для всієї розрахункової області. Поділимо розрахункову область на контрольні обсяги (осередки) так, щоб кожна вузлова точка знаходилася в окремій комірці. Грані контрольних обсягів розташуємо посередині між сусідніми вузловими точками. Розміщення всіх вузлових функцій в одних і тих же точках призводить до неузгодженості полів швидкості і тиску, тому виберемо рознесену шахову сітку, в якій точки, де обчислюються компоненти швидкості, зміщені на півкроку в відповідних напрямках щодо основних точок, в яких обчислюється тиск. Проінтегруємо рівняння (8) по контрольному обсягом і часового інтервалу Δt^* . Для апроксимації конвективних членів на гранях осередків використовуємо схему проти потоку. В результаті з урахуванням рівняння нерозривності отримаємо дискретний різницевий аналог, який пов'язує значення шуканої функції F у вузловій точці P з її значеннями в центрах E, W, N, S, K, Q сусідніх комірках у формі

$$a_p F_p = a_E F_E + a_W F_W + a_N F_N + a_S F_S + a_K F_K + a_Q F_Q + \Delta V \left(S_p + \frac{F_p^0}{\Delta t} \right). \quad (2.5.9)$$

Тут S_p - вузлове значення джерельної члена; F^0 - значення F в момент часу t^* ; ΔV - об'єм комірки.

Для розрахунку форми вільної поверхні рідини використовуємо формулу п'єзометричного напору, яку представимо у вигляді

$$h_i^{(k)} = h_i^{(k-1)} + \frac{p_i^{(k)} - p_i^{(k-1)}}{\rho g}, \quad (2.5.10)$$

Де $h_i^{(k)}$ і $h_i^{(k-1)}$ - значення висоти вільної поверхні над мішалкою на двох послідовних ітераціях; Де $p_i^{(k)}$ і $p_i^{(k-1)}$ - відповідні значення тиску на вільній поверхні; i - індекс нумерації вузлів в радіальному напрямку. Таким чином, передбачається, що зміна тиску на вільній поверхні за проміжок часу Δt^* викликає відповідну зміну висоти вільної поверхні.

У розрахунковій області формула (3.5.10) набуде вигляду

$$h_i^{** (k)} = h_i^{* (k-1)} + \pi^2 J r \left[p_i^{* (k)} - p_i^{* (k-1)} \right], \quad (3.5.11)$$

де $J r = n2d / g$ - відцентрове число Фруда.

Зрозуміло, що розраховані за формулою (3.5.11) значення $h_i^{** (k)}$ можуть не задовольняти умові сталості об'єму рідини в апараті. При цьому досить враховувати обсяг рідини над мішалкою. Таким чином, виникає необхідність введення деякої поправки $\delta h^{(k)}$ до величини $h_i^{** (k)}$. Ця поправка зі співвідношення

$$V_0 - V^{(k)} = \pi(R^2 - r_s^2)\delta h^{(k)}, \quad (2.5.12)$$

де R - радіус апарату; r_s - радіус вала; V_0 - об'єм рідини над диском; $V^{(k)}$ - обсяг рідини над диском на k -ій ітерації, який обчислювався на кожній ітерації шляхом чисельного інтегрування за значеннями $h_i^{** (k)}$. Слід зазначити, що відповідно до формули (3.5.12) поправка $\delta h^{(k)}$ не впливає на форму вільної

поверхні, а лише коригує її по висоті. Остаточні з урахуванням поправки $\delta h^{(k)}$ скориговані значення форми вільної поверхні можуть бути знайдені як

$$h_i^{*(k)} = h_i^{**(k)} + \delta h^{(k)}. \quad (2.5.13)$$

Розрахунок поля течії проводився на основі алгоритму SIMPLE, в якому використовується дискретизація рівнянь за методом контрольних обсягів на сітках з розташуванням вузлів в шаховому порядку. Граничні умови на вільній поверхні (2.5.6), (2.5.7) і (2.5.5) використовувалися відповідно при розрахунку компонентів швидкості u^* , v^* , w^* з рівнянь (2.5.9). Форма вільної поверхні рідини, відповідна розрахованому полю течії визначалася за співвідношенням (2.5.11) - (2.5.13) в кінці кожної ітерації. При цьому в якості початкових значень $h_i^{*(0)}$ приймалося значення, що відповідає положенню поверхні рідини. Дискретні рівняння (2.5.9) вирішувалися методом прогонки в радіальному напрямку. Як критерій збіжності розглядалася сума модулів нев'язок по всім контрольним об'ємам для рівнянь (2.5.9). Розрахунки проводилися з цього критерію з точністю до 10^6 на рівномірній сітці. У розрахунках приймалося $H_0 = D$; $d/D = 0.5$; $d_s/D = 0.05$; $b/d = 0.2$; $H_a/H_0 = 0.4$, де D – діаметр апарату; H_0 - висота поверхні рідини над дном апарату; d_s - діаметр вала.

Результати розрахунків представлені на рис.2.5 в меридіональній площині апарату у вигляді ліній струму радіально-осьової циркуляції. Мішалка створює потоки рідини, котрі викликають циркуляцію рідини по об'єму апарату. Окружна циркуляція, яку називають також первинною, пов'язана з обертанням маси рідини навколо осі обертання мішалки. Істотну роль в перемішуванні грає вторинна радіально-осьова циркуляція, яка накладається на основну окружну циркуляцію. Спостерігається утворення двох великомасштабних вихорів, що сприяють перемішуванню рідини і розташованих відповідно зверху і знизу від мішалки. Мішалка викликає обертальний рух рідини в апараті. Коли відцентрові

сили малі, то це рух призводить до незначному зниженні рівня рідини у валу мішалки.

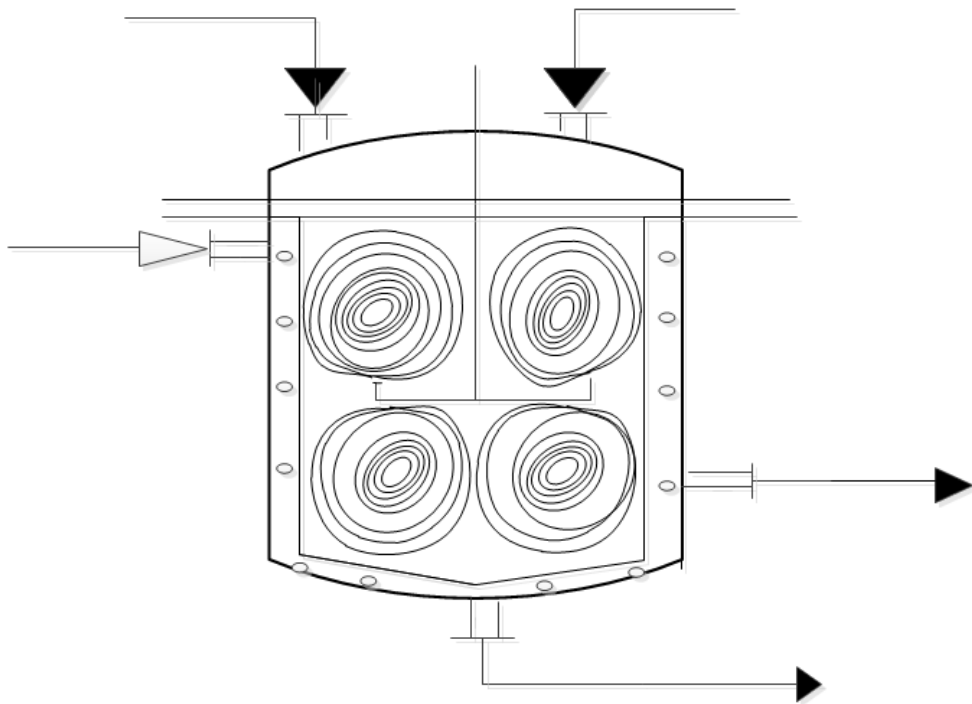


Рис. 2.5. Лінії тока у апараті

3. Система контролю технологічного процесу очистки масляного дистиляту

3.1. Розроблення схеми автоматизації технологічного процесу

3.1.1. Постановка задачі з розробки схеми для дистанційного керування та аварійного захисту електродвигунів технологічного процесу очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбїт натрію

У багатьох технологічних установах на різних підприємствах використовуються електродвигуни. Двигуни мають як електричну, так і механічну систему захисту.

На заводах робота насосів контролюється технічним персоналом відповідно до роботи певного процесу. Розробка системи аварійного захисту та технологічних перешкод для технологічного процесу очищення нафтового дистиляту натрієвими плюмбїтами є важливою частиною всього процесу і потребує догляду при встановленні електродвигунів.

Коли натискається кнопка живлення, магнітний пускач повинен працювати, та контакт, як правило, відкритий, який закриває ланцюг цього магнітного пускача. Сигнальний контакт магнітного пускового виконавця та три силові контакти електродвигуна також блокуються. У той же час нормально закритий контакт сигналу виключення магнітного пускача розблоковано. Захист електродвигуна забезпечує теплове захист, що дозволяє вимикати двигун під час перегріву, а також присутній запобіжник.

Система автоматичного управління електродвигунами для процесу очищення масляного дистиляту за допомогою плюмбїт натрію повинна передбачати:

- автоматичне відключення двигуна від електроживлення під час аварії, а також технологічне блокування інших електродвигунів;
- закриття контрольних клапанів для зупинення постачання сировини до моменту відновлення роботи електродвигуна та створення нормального тиску для подальшого продовження постачання сировини;

- нормальна робота процесу очищення нафтового дистиляту з використанням сухого натрію;

- захист електродвигуна, що дозволяє вимикати двигун під час перегріву, а також використання запобіжника.

При проектуванні схеми аварійного захисту електродвигунів необхідно з'ясувати, яка плата КБЗ підключена до пристрою ІТМ-11. Оскільки плата КБЗ 17-К01 має контакти у вигляді твердотільного реле, що дозволяє підключати цифровий сигнал у вигляді постійного струму 24В.

Завод «МІКРОЛ» виготовляє щити КБЗ, де дискретні сигнали можна відправити на контакти електродвигуна реле напругою 220 В.

Є третя плата КБЗ, де дискретний сигнал може бути застосований до тиристора.

3.1.2. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технологічного процесу очищення масляних дистиляту за допомогою плюмбіт натрію

На принциповій електричній схемі схемі ЛА72мп.02.ДП.00.002.СхЕ наведено дистанційне керування електродвигунами з аварійним захистом для електродвигунів. Всі керуючі ланцюги будуються за замовчуванням.

При роботі з відцентровими насосами часто відбуваються, що тверді частинки потрапляють між корпусом насоса та робочим колесом. Внаслідок цього зупиняється робоче колесо та електромотор, що може спричинити аварію. У цьому випадку повинен бути запущений механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізується.. Одночасно починає збільшуватись число оборотів електродвигуна, так як немає противаги у момент завантаження. Тому електричний захист повинен працювати.

Електричний аварійний захист забезпечує автоматичне вимкнення електродвигуна, коли насос не працює.

При аварійній зупинці відцентрового насоса контакт КМ-10 закривається, і утворюється замкнений контур для електромагніту КМ10. Реле КМ10 спрацьовує, що призведе до перемикання контактів. Контакт КМ10-1 заблоковано, а лампочка червоного індикатора HL21 загориться, вказуючи на те, що аварійне реле запускається. Другий контакт аварійного реле КМ10-2 розблоковано та розриває ланцюг живлення магнітного соленоїда магніту МП4. В результаті потужність електродвигуна М4 у випадку аварії вимикається.

Після ремонту відцентрового насоса двигун М4 активується за допомогою кнопки SB8. Оскільки насос не отримує негайного робочого тиску, кнопка SB8 повинна бути натиснута доки червона лампа HL18 не згасне, якщо вийде лампа, кнопка SB8 може бути звільнена, а ланцюг живлення магнітного пускового пристрою EM4 пройшов через контакти МР4 -1 і МР4 -2

3.1.3. Постановка задачі технологічних блокувань у технологічному процесі очищення масляних дистилатів

Якщо аварія відбувається у відцентровому насосі, а сигнал аварійного захисту формується за допомогою аварійного сигналу, в цьому випадку повинна бути спрацьована система технологічних переривань, яка повинна вимикати вихід контролера, тобто керуючий клапан повинен повністю закрити трубопроводи. Блокування може працювати в кількох випадках: відсутність тиску в трубопроводі на виході з насоса М1. Постачання електродвигуна М1 повинно бути вимкнено, а клапани положення: 3-6 закриті. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М2. Має бути вимкнене живлення двигуна М2 і закриті клапани положення: 9-6. Нестача тиску в трубопроводі на виході з насоса М3. Потужність електродвигуна М3 повинна бути вимкнена, а клапани положення: 4-6 закриті. Відсутність тиску в трубопроводі на виході з насоса М4. Потужність двигуна М4 повинна бути вимкнена, а клапани: 8-6 закриті.

3.1.4.Опис роботи схеми технологічних блокувань.

Якщо аварія відбувається у відцентровому насосі, а сигнал аварійного захисту формується за допомогою аварійного сигналу, в цьому випадку повинна бути спрацьована система технологічних переривань, яка повинна вимикати вихід контролера, тобто керуючий клапан повинен повністю закрити трубопроводи.

Блокування може працювати в кількох випадках:

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

Замикання спрацьовує, коли пристрій закривається, наприклад, (позиція 13-2) при низькому тиску в трубопроводі після насоса. У результаті контакту КМ5-1 реле КМ5 ($U_{жив} = 24В$) загоряється сигнальне світло НЛ12, тоді напруга надходить на реле КМ6. Після цього контакт реле КМ6-1 ($U_{жив} = 220 В$) закривається, а лампа НЛ13 продовжує світитись, що означає, що тиск падає і реле КМ6 працює. У схемі відключення електродвигунів контакти реле КМ6-2 розблоковуються, а двигун вимикається. Крім того, реле КМ6 відключає регулятор від клапана: нормально закритий контакт КМ6-4 розблоковано, і нормально відкритий контакт КМ6-3 блокується, відключивши регулятор від клапана та підключивши його до навантажувального резистора так, щоб налаштування регулятора не збивалися. Після того, як регулятор формує сигнал про невідповідність у майбутньому. Клапан закривається або відкривається залежно від його виконання. Розглянемо приклад схеми технологічного блокування (рисунок 3.1.4.).

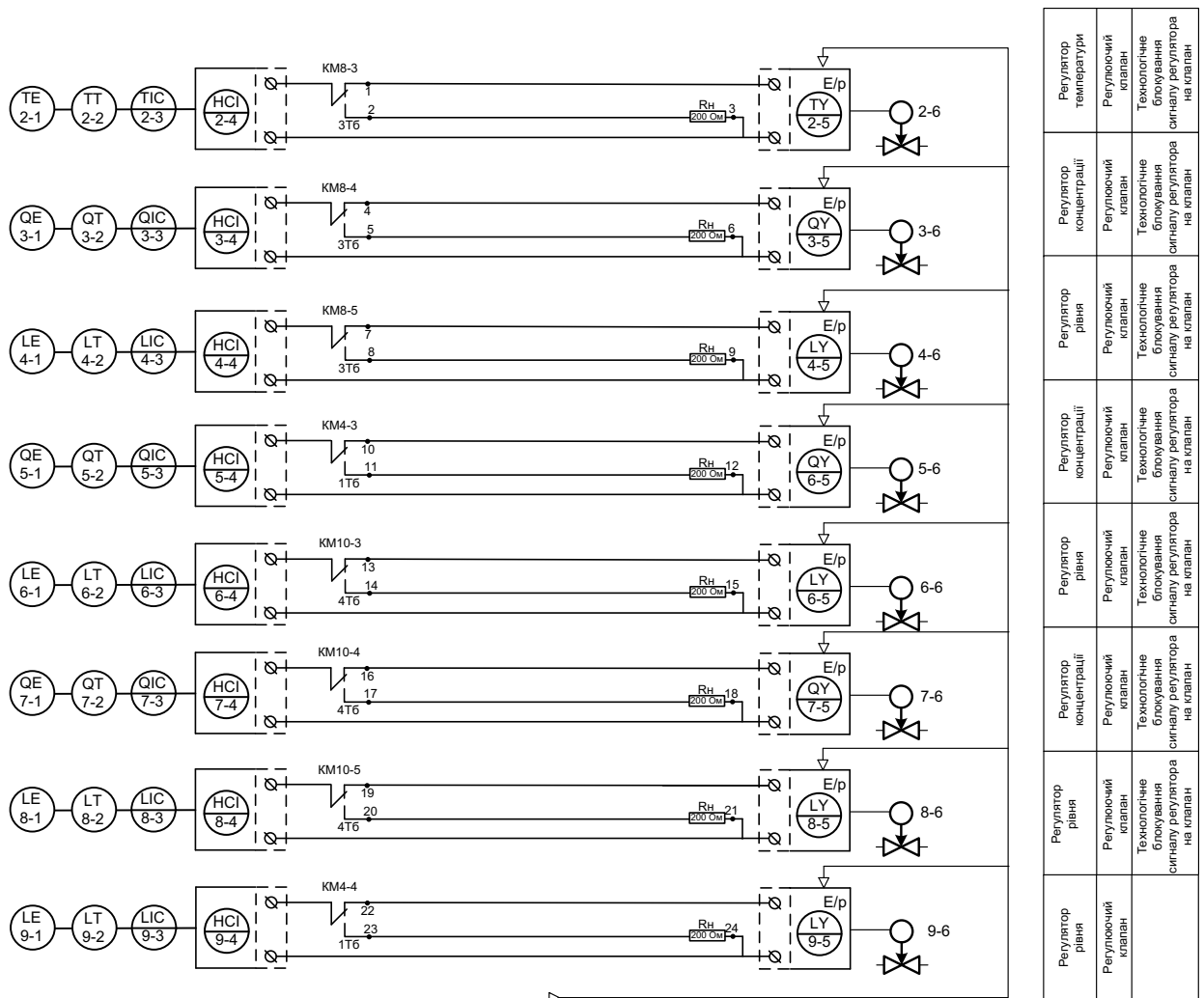


Рис.3.1.4. Функціональна схема з технологічного блокування сигналу до регулювального клапану.

Розробимо монтажну-комутаційну схему для технологічних блокувань з регулювальних клапанів. В схемі зобразимо плати підключення та зовнішній вигляд відповідних приборів. Схема зображена на рис. 3.1.5.

3.1.5. Монтажно-комутаційне з'єднання до принципових електричних схем.

Опис схеми комутаційних з'єднань системи дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань:

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

До контактів 9, 11 підключений нормально відкритий контакт магнітного пуску МР4;

Клемна колодка X2 LTA 12-6.0:

Нулі підведенні до контактів 1,2,3,4;

Вимикач FP8 підключений до контактів 5.11;

До контактів 7.8 підключений автоматичний вимикач FP8-1;

Для контактів 8.9 підключений нормально відкритий контакт магнітного пуску МР4-4;

Електродвигун підключений до контактів 9,10,11;

До контактів 4.1 (X1 LTA 12-6.0) підключений нормально відкритий контакт магнітного пуску МП4-4;

До контактів 6.2 (X1 LTA 12-6.0) підключений нормально відкритий контактний магнітний пусковий пристрій МП4-6;

Клемна колодка X3 LTA 12-6:

До контактів 1.2 додається кнопка SB7;

Контакти 2.9 мають нормально відкритий контакт магнітного пускового пристрою МР4-2;

До контактів 2,5 кнопка SB8 додається;

До контактів 3,4 підключено нормально відкритий контактний магнітний стартер МР4-2;

Штифти 5.6 мають нормально відкритий контакт магнітного стартеру МР4;

З'єднання 4.5 підключені до нормально відкритого контактного реле КМ4-1;

Лампочка HL18 підключена до контактів 6.7;

До контактів 8.9 підключена лампочка HL19;

Контакти магнітного пуску МР4-3 підключені до контактів 7.11;

Клемна колодка X4 LTA 12-6:

Для контактів 1,2,3,4 "+" і "-" були додані блоки живлення BPS 24-2К;

Для контактів 4.5 підключено електромагнітне реле КМ9;

До контактів 1,2,3,5,6,7 прикріплена дошка KB3-17K-01

До контактів 4.5 діод VD9 підключений;

До контактів 6,7 додається пристрій поз. 15-1;

Запобіжник FU4 підключений до контактів 8.1 (X3 LTA 12-6);

Кнопка SA2 підключена до контактів 8.12 (X3 LTA 12-6);

Схема монтажно-комутаційних з'єднань необхідна для правильного підключення пристроїв до схеми управління.

3.2. Налаштування регулятора за допомогою інтерактивного середовища SISOTool

Інтерактивне середовище SISOTool використовується для вирішення проблеми синтезу корекційного пристрою (регулятора) та попереднього фільтра (безпосереднього пристрою зв'язку). Іншими словами, цей інструмент служить для вибору типу та параметрів керуючого пристрою, виходячи з вимог якості проєктованої системи керування в перехідних та добре розвинених процесах. При такому синтезі передбачається, що попередньо отримані (отже відомі) математичні моделі елементів незмінної частини проєктованої системи і що обрано допустимий закон управління, що визначає її структурну схему[5].

Задаємо передатну функцію об'єкта в наступному вигляді і викликаємо інтерактивне середовище налаштування регулятора «SISOTool»:

```
>> num=[3,63];  
  
>> den=[28400 404,709 1];  
  
>> Wp=tf(num,den);  
  
>> Wp.variable='p'
```

Transfer function:

3.63

$28400p^2+404,709p+1$

```
>> sisotool(Wp);
```

У вікні редактора обираємо архітектуру системи:

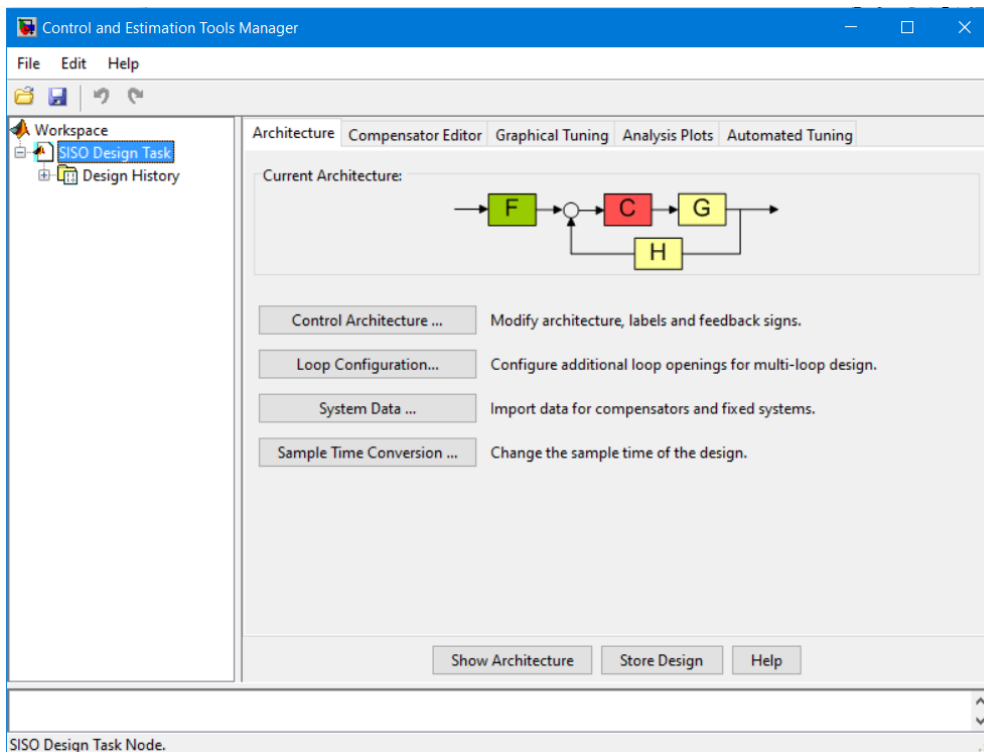


Рис. 3.2.1. Вікно редактора

Підбираємо значення для налаштунок регулятора

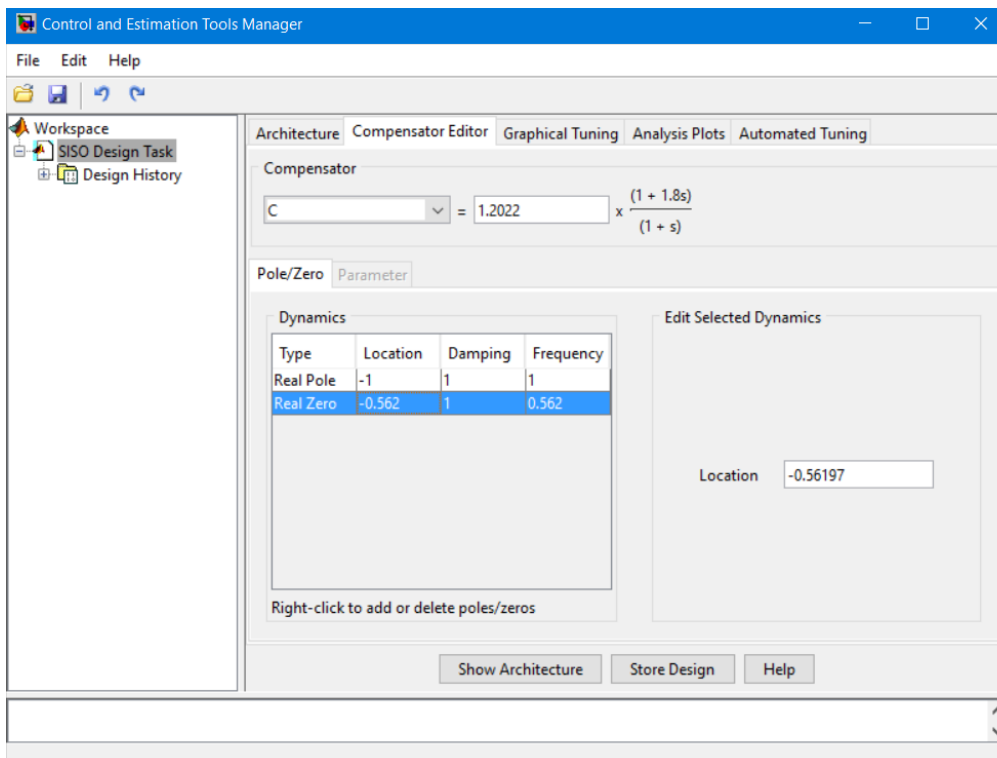


Рис. 3.2.2. Налаштування налаштувань регулятора

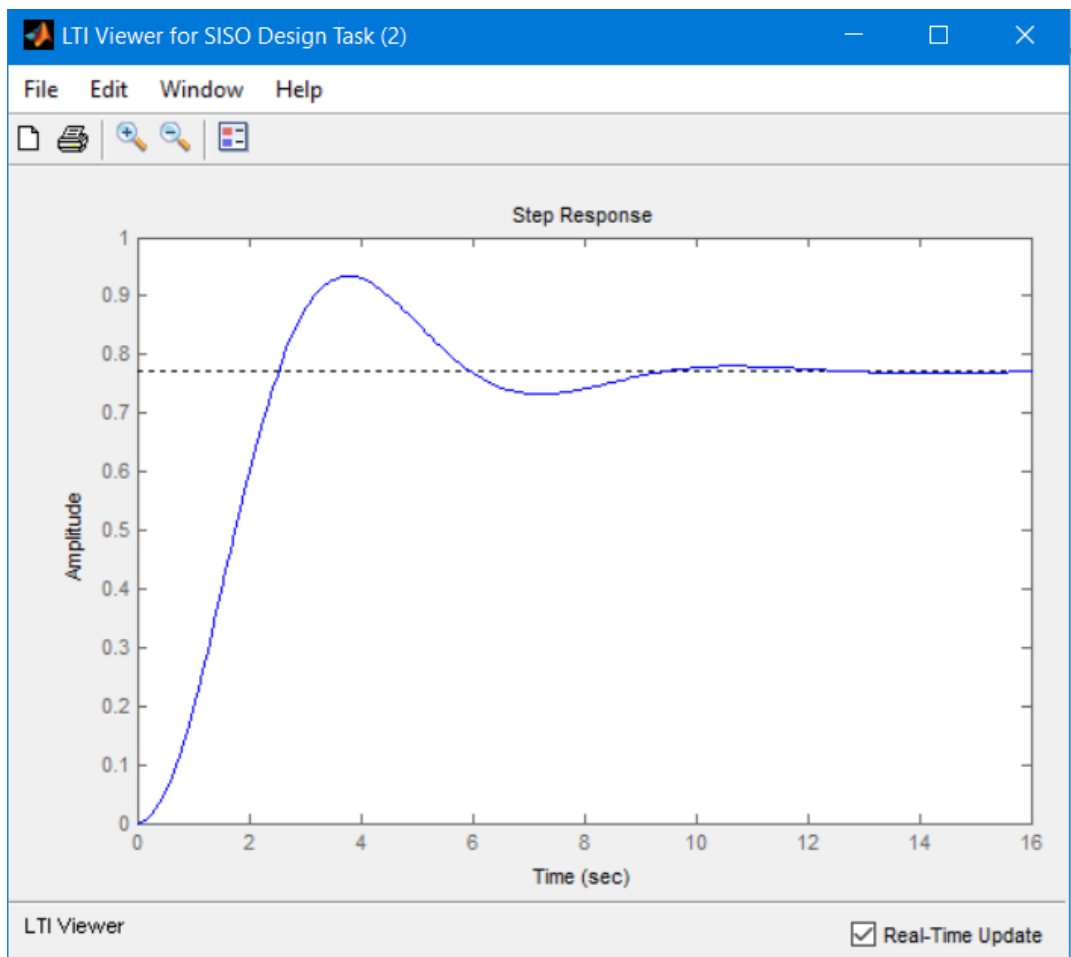


Рис. 3.2.3. Реакція налаштованої системи на ступінчатий сигнал

3.3. Моделювання системи керування у середовищі Simulink

Система Simulink є невід'ємною частиною системи Matlab і призначена для структурного та графічного моделювання різних динамічних об'єктів, як безперервних, так і дискретних. Об'єкт моделювання представлений у вигляді набору готових, завершених блоків, між якими встановлюються з'єднання у типу "введення-виведення". При побудові моделі такі з'єднання представлені просто стрілками [6].

Складемо схему системи керування з ПІД регулятором.

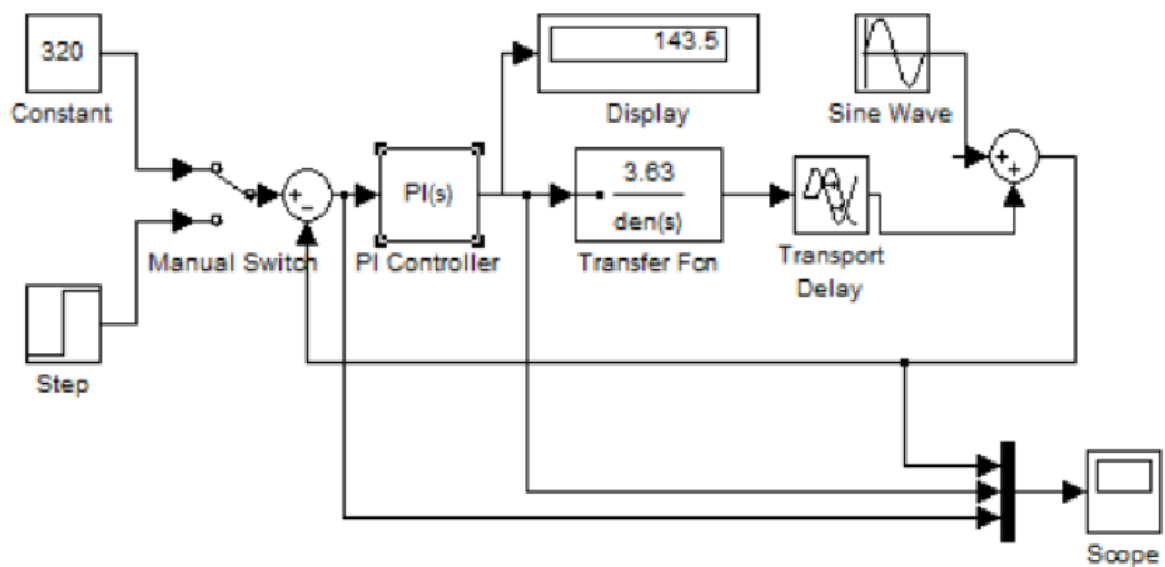


Рис. 3.4.1. Схема системи керування з ПІД-регулятором

Задавши необхідні параметри для об'єкта керування, задатчика та ПІД-регулятора, отримаємо графіки:

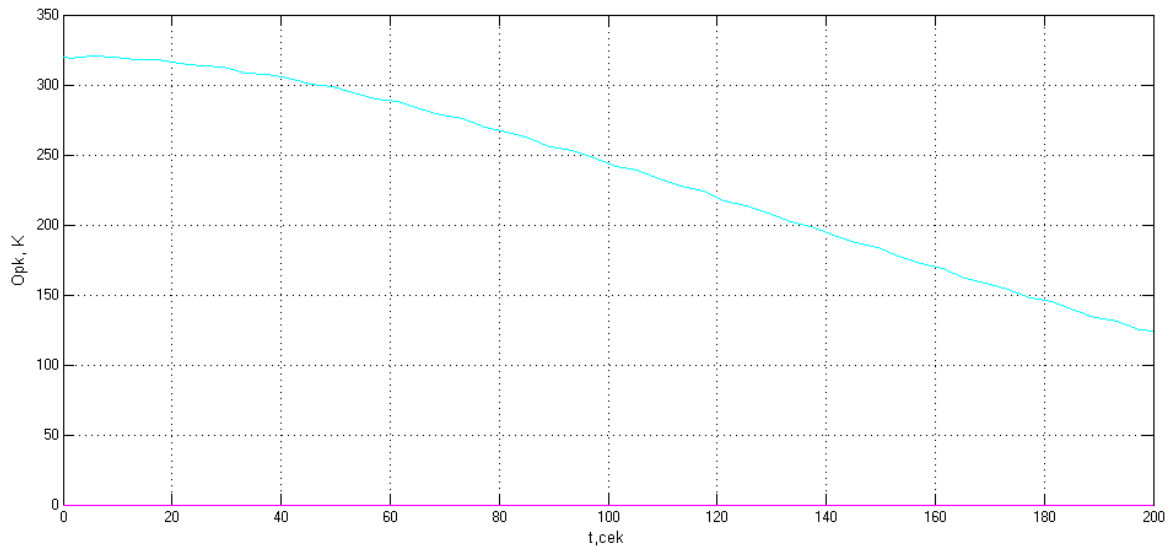


Рис. 3.3.2. Реакція системи на збурення

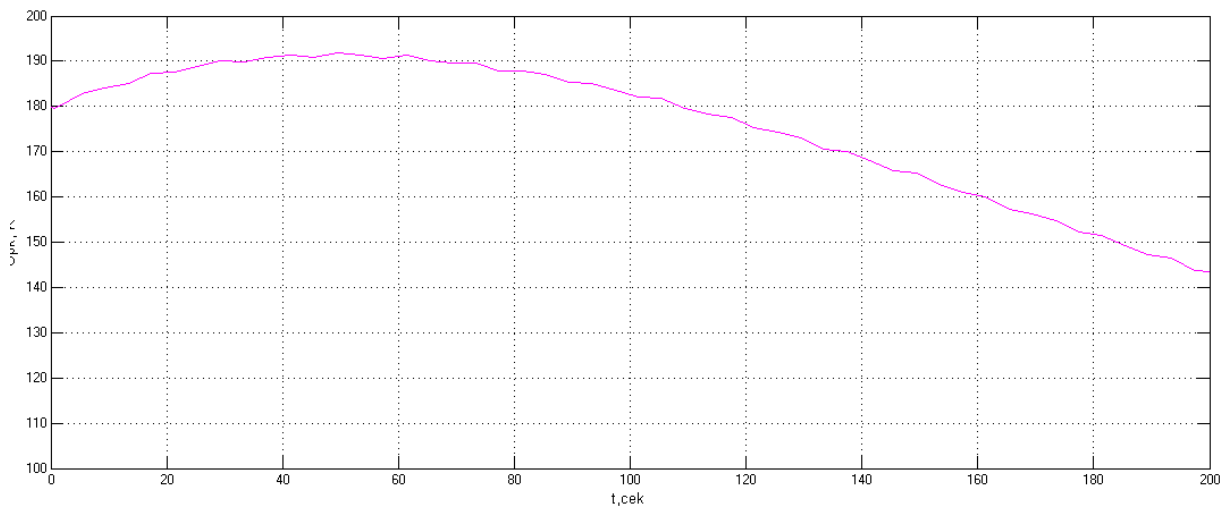


Рис. 3.3.3. Перехідна характеристика ПІД-регулятора

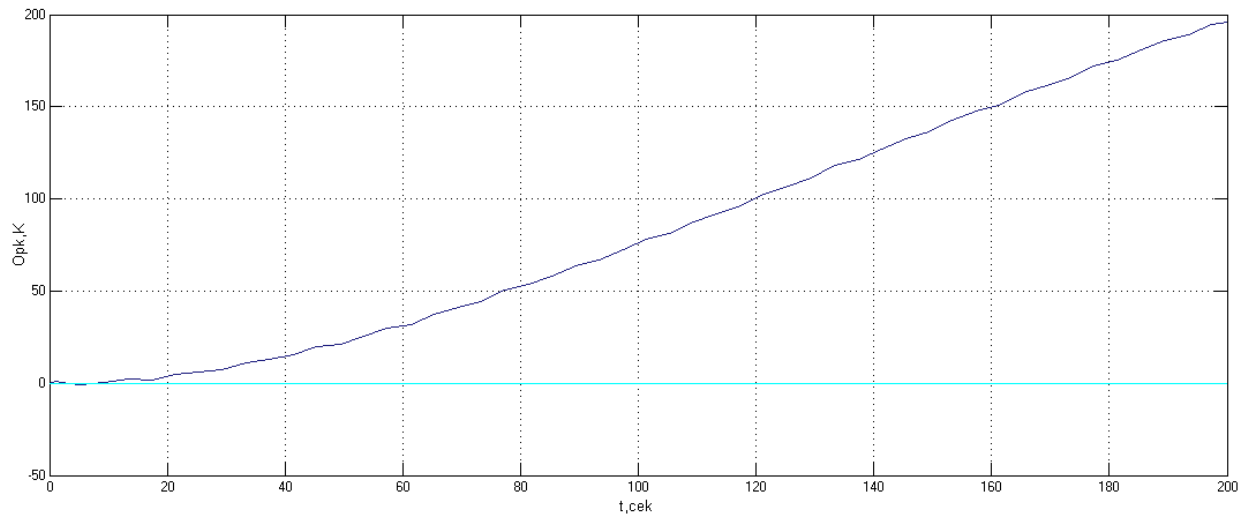


Рис. 3.3.4. Помилка керування

4. Оптимальне керування процесом

4.1. Вибір критерію оптимальності

Завдання: мінімізувати витрату пари, яка подається на сульфуратор та вивести значення температури суміші на виході на заданий рівень.

Щоб вирішити такого типу задачу необхідно обрати інтегральний критерій якості. Необхідно підтримувати на певному рівні температуру пари на виході з реактора. Тобто в критерій оптимальності включаємо температуру суміші на виході з апарата:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [q'(\theta_{\text{рк}} - \theta_{\text{рк}}^{\text{зд}})^2 + r'S_{\text{п}}^2] dt \rightarrow \min$$

Алгоритм оптимального програмного керування

1. Розраховуємо математичну модель в прямому часі при $U = \text{const}$ в прямому часі.
2. Розраховуємо спряжену систему в зворотному часі.
3. Знаходимо оптимальне керування I .
4. Повертаємось до пункту 1, розраховуючи математичну модель при оптимальному керуванні. Отримаємо оптимальну траєкторію переходу. Записуємо похідну в часі, як різницю назад і знаходимо попереднє значення.

4.2. Виведення необхідних умов оптимальності

Спочатку приведемо математичну модель до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d\theta_{\text{рк}}}{dt} = a_{11}\theta_{\text{рк}} + a_{12}S_{\text{в}} + a_{13}S_{\text{к}} + a_{14}S_{\text{с}} + b_1\theta_{\text{п}} \\ \frac{d\theta_{\text{п}}}{dt} = a_{21}\theta_{\text{п}} + a_{22}\theta_{\text{рк}} + b_2S_{\text{п}} \end{cases}$$

Відповідно, маємо:

$$a_{11} = \frac{S_c c_c - kF}{m_c C_c}$$

$$a_{12} = \frac{c_B \theta_B}{m_c C_c}$$

$$a_{13} = \frac{c_K \theta_K}{m_c C_c}$$

$$a_{14} = \frac{q - c_c \theta_{PK}}{m_c C_c}$$

$$b_1 = \frac{kF}{m_c C_c}$$

$$a_{21} = \frac{S_{\Pi} c_{\Pi} - kF}{m_{\Pi} C_{\Pi}}$$

$$a_{22} = \frac{kF}{m_{\Pi} C_{\Pi}}$$

$$b_2 = \frac{c_{\Pi} \theta_{\Pi} + r - c_K \theta_K}{m_{\Pi} C_{\Pi}}$$

$$\begin{cases} \frac{d\theta_{PK}}{dt} = \frac{S_c c_c - kF}{m_c C_c} \theta_{PK} + \frac{c_B \theta_B}{m_c C_c} S_B + \frac{c_K \theta_K}{m_c C_c} S_K + \frac{q - c_c \theta_{PK}}{m_c C_c} S_c + \frac{kF}{m_c C_c} \theta_{\Pi} \\ \frac{d\theta_{\Pi}}{dt} = \frac{S_{\Pi} c_{\Pi} - kF}{m_{\Pi} C_{\Pi}} \theta_{\Pi} + \frac{kF}{m_{\Pi} C_{\Pi}} \theta_{PK} + \frac{c_{\Pi} \theta_{\Pi} + r - c_K \theta_K}{m_{\Pi} C_{\Pi}} S_{\Pi} \end{cases}$$

Функція Гамільтона матиме вигляд:

$$H = \frac{1}{2} q' (\theta_{PK} - \theta_{PK}^{3D})^2 + \frac{1}{2} r' S_{\Pi}^2 + \lambda_1 (a_{11} \theta_{PK} + a_{12} S_B + a_{13} S_K + a_{14} S_c + b_1 \theta_{\Pi}) + \lambda_2 (a_{21} \theta_{\Pi} + a_{22} \theta_{PK} + b_2 S_{\Pi})$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\lambda_1' = -\frac{\partial H}{\partial \theta_{PK}} = -q(\theta_{PK} - \theta_{PK}^{3D}) - \lambda_1 a_{11} + \lambda_2 a_{22}$$

$$\lambda_2' = -\frac{\partial H}{\partial S_{\Pi}} = -\frac{1}{2} r' S_{\Pi} - \lambda_2 b_2$$

$$\lambda_1(t_f) = 0$$

$$\lambda_2(t_f) = 0$$

4.3. Розрахунок оптимального програмного керування

Розрахунок оптимального програмного керування виконано у програмному пакеті *MatLab*. Для розв'язання поставленої задачі, спочатку ініціалізуємо в командному вікні *MatLab* початкове значення ланки зворотного зв'язку

```
>> K = [-1 1; -1 1];
```

Створимо *SIMULINK* – модель (блок-схему) рис. 3.4.3.1

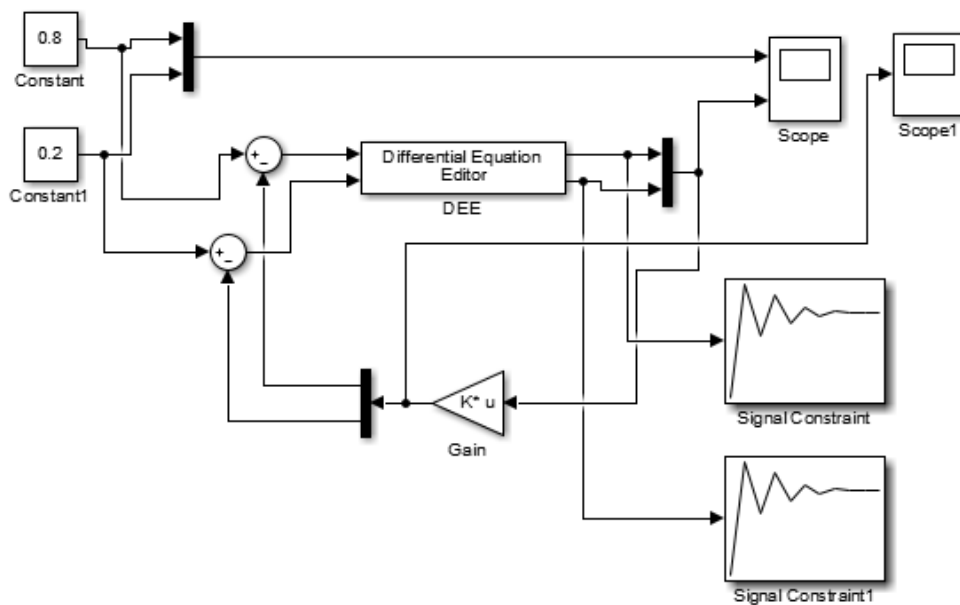


Рис.4.3.1. – Модель системи в *Simulink*

Виконаємо налаштування моделі об'єкта на базі *Differential Equation Editor* (*DEE*) – редактор диференціальних рівнянь, для його виклику необхідно ввести команду в командному вікні *MatLab*:

```
>> dee
```

та виконати настройку блока, як показано на рис. 4.3.2.

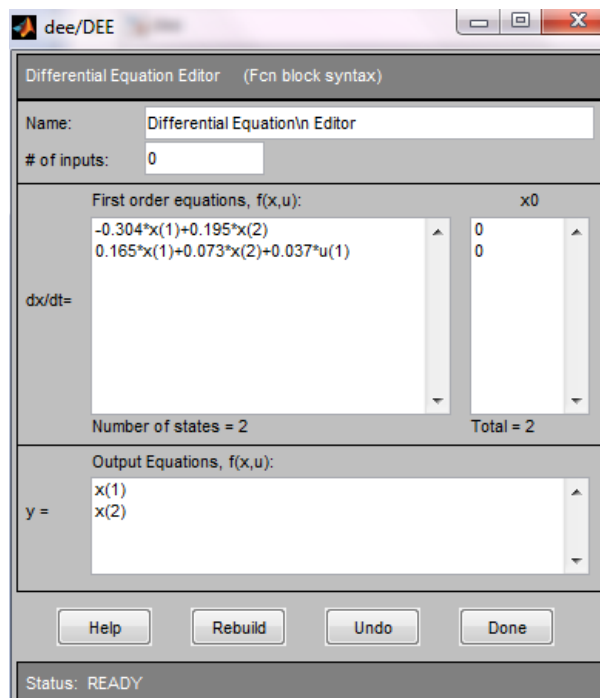


Рис.4.3.2. – Редактор диференційних рівнянь

Для ініціалізації завдання системі регулювання використаємо блоки констант *Constant* та *Constant1*, які знаходяться в бібліотеці *SIMULINK Sources*. Суматори знаходяться в бібліотеці *SIMULINK Math Operations*. Ланка зворотного зв'язку знаходиться в бібліотеці *SIMULINK Math Operations*. З'єднувач та розгалужувачі сигналу знаходяться в бібліотеці *SIMULINK Signal Routing*. Блоки *Signal Constraint* знаходяться в бібліотеці *SIMULINK Simulink Response Optimization*.

Введення параметрів, що настраюються показано на рис. 4.3.3.

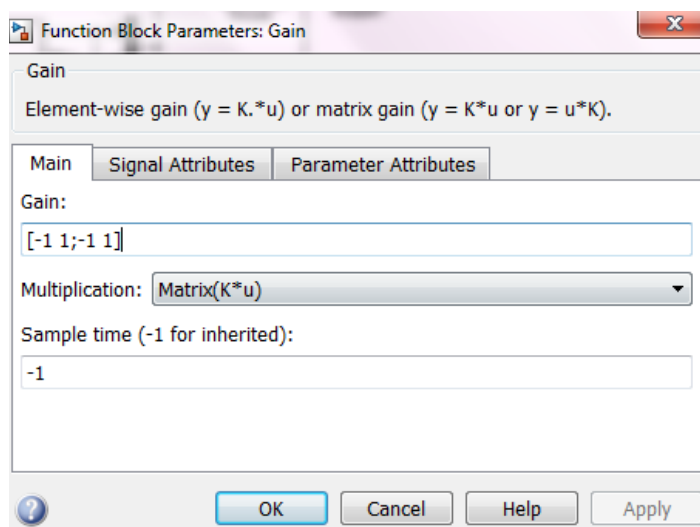


Рис.4.3.3. – Параметри, що настраюються

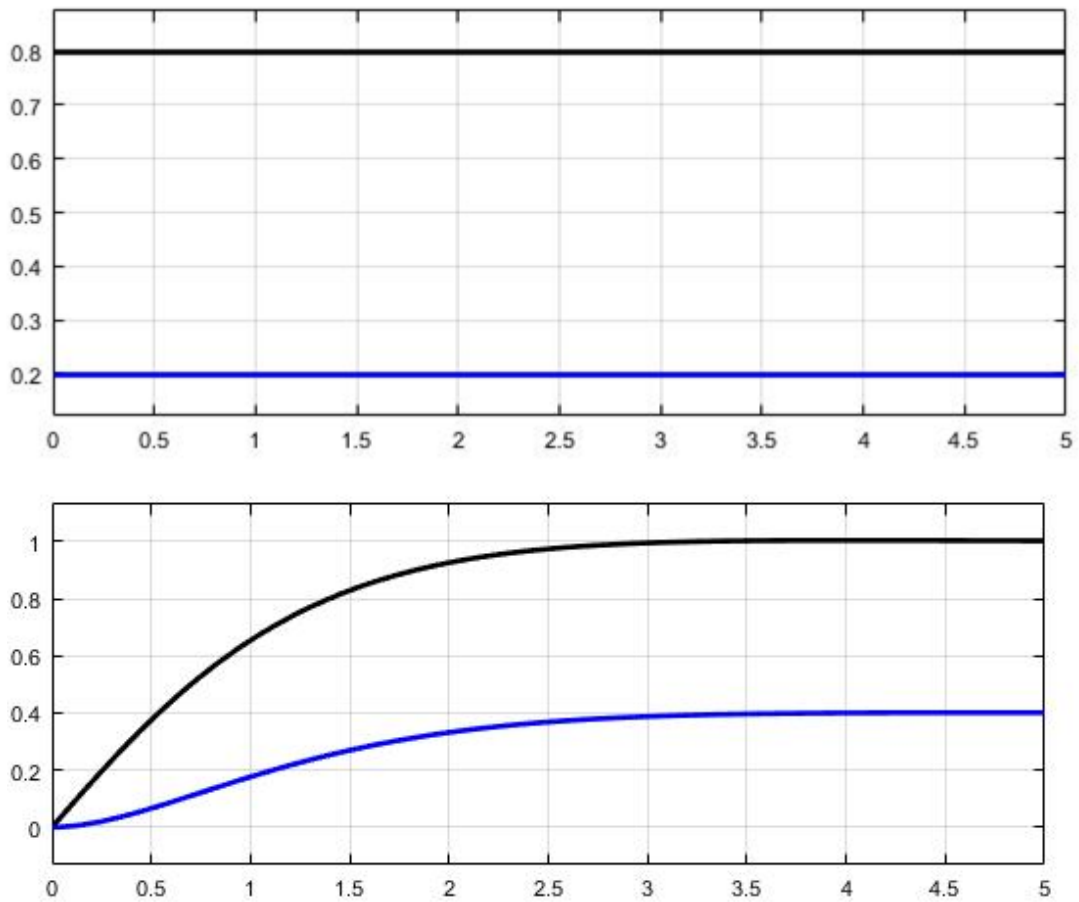


Рис.4.3.4 – Осцилограми завдання та перехідних процесів

Розрахунок спряженої системи у зворотному часі представлено на рис. 4.3.5.

Лістинг програми розрахунку оптимального керування:

```
A=[a11 a12 a13 a14; a21 a22]
B=[0;b]
TAU=0.001;
N=5000;
q=1;
r=1;
x1(1)=tgs0;
x2(1)=tp0;
for i=1:N-1
    x1(i+1)=(a11*x1(i)+a12*x2(i))*TAU+x1(i);
```

```

        x2(i+1)=(a21*x1(i)+a22*x2(i)+b*Fp)*TAU+x2(i);
end
t=1:N;
plot(t,x1,'m')
hold on;
plot(t,x2)
grid;
X=[x1;x2];
Lam1(N)=X(1,N);
Lam2(N)=X(2,N);
for i=N:-1:2
    Lam1(i-1)=Lam1(i)-TAU*(-q*X(1,i)-a11*Lam1(i)-
a21*Lam2(i));
    Lam2(i-1)=Lam2(i)-TAU*(-a21*Lam1(i)-a22*Lam2(i));
end
figure;
plot(t,Lam1,'m')
hold on;
plot(t,Lam2)
grid;
LAM=[Lam1;Lam2];
for i=1:N
    Uopt(i)=-r^(-1)*b*LAM(2,i);
end
figure;
plot(t,Uopt,'m')
grid;

```

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36.378 & -10440 \\ 10150 & 36.378 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,037 \end{bmatrix}$$

$$q = 1; r = 1$$

$$TAU = 0,001$$

$$Lam1_{s-1} = Lam1_s - TAU[-q(X_0)_s - a_{11}Lam1_s - a_{21}Lam2_s]$$

$$Lam2_{s-1} = Lam2_s - TAU[-a_{21}Lam1_s - a_{22}Lam2_s]$$

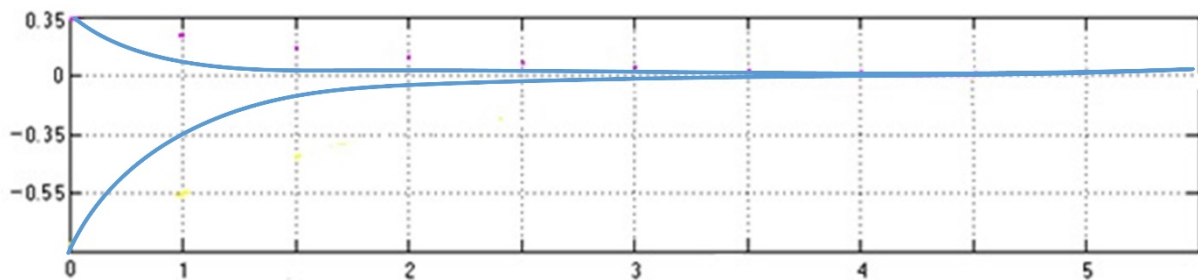


Рис.4.3.5 – Спряжена система в зворотному часі

Розрахунок вектора оптимального керування представлено на рисунку 4.3.6.

$$U_s = -r^{-1} \cdot b(Lam_1)_s$$

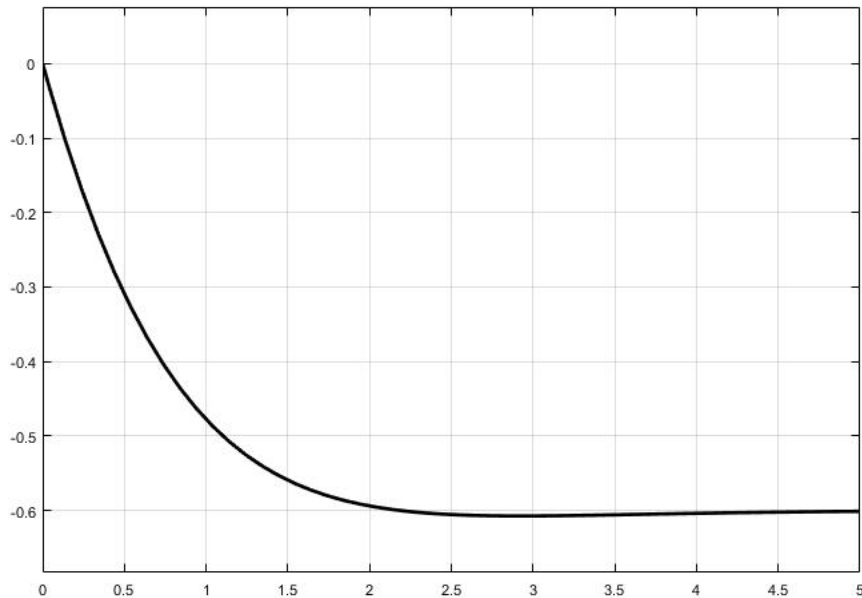


Рис.3.4.3.6 – Вектор оптимального керування

4.4. Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора

На рис. 4.4.1. можна побачити структурну схему контуру керування температурою метану на виході з реактора.

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

Оптимальний лінійний регулятор:

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

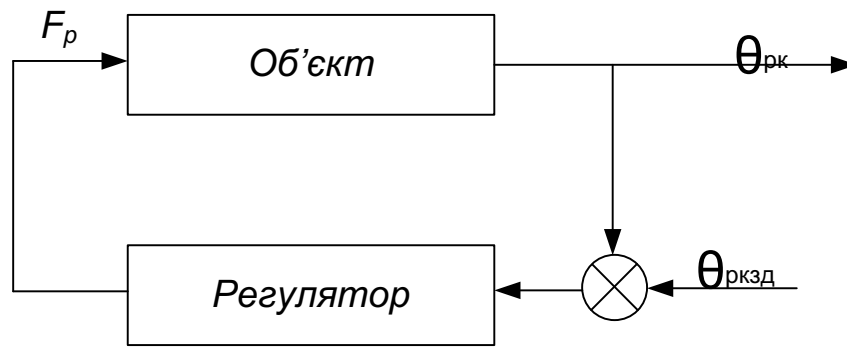


Рис. 4.4.1. – Структурна схема контуру керування

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

Вводячи більш загальний критерій якості

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

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

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

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.

При порівнянні результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком з з'ясувалось, 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.

Розроблена оптимальна система керування зі зворотнім зв'язком з квадратичним критерієм якості виконано у *MatLab*.

Графік зміни коефіцієнтів Ріккати зображено на Рис. 4.4.=.2.

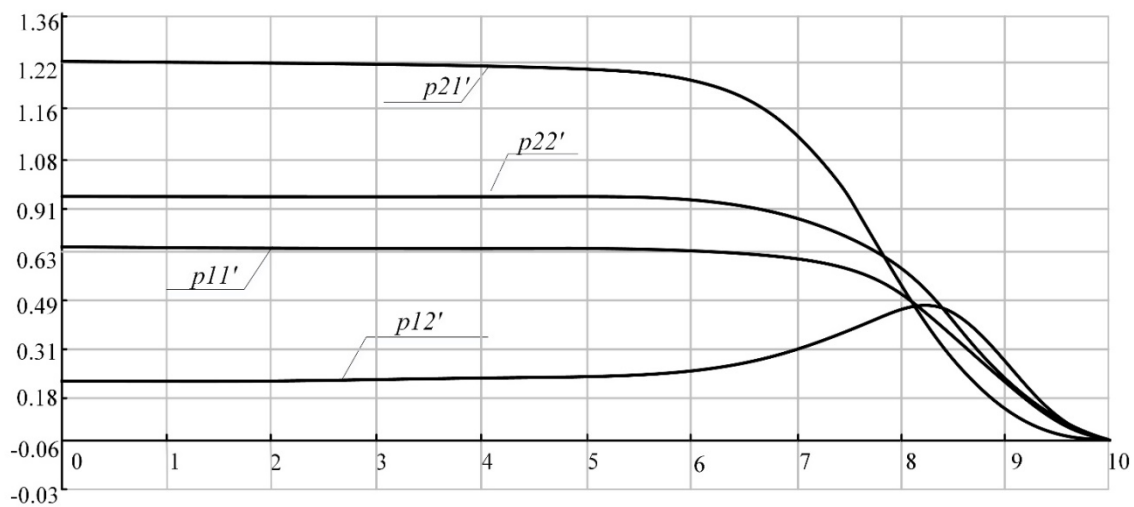


Рис.4.4.2– Графік зміни коефіцієнтів Ріккати

Отриманні графіки зміни стану в часі при застосуванні оптимального лінійного регулятора та оптимального лінійного регулятора з інтегральною складовою.

4.5. Керування за мінімальним часом при обмеженні на керуванні

$$H = \frac{1}{2}q'(\theta_{\text{рк}} - \theta_{\text{рк}}^{\text{зд}})^2 + \frac{1}{2}r'S_{\text{п}}^2 + \lambda_1(a_{11}\theta_{\text{рк}} + a_{12}S_{\text{в}} + a_{13}S_{\text{к}} + a_{14}S_{\text{с}} + b_1\theta_{\text{п}}) + \lambda_2(a_{21}\theta_{\text{п}} + a_{22}\theta_{\text{рк}} + b_2S_{\text{п}})$$

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:

$$I = \frac{1}{2}S_{11}[\theta_{\text{рк}}(t_f) - \theta_{\text{рк}}^{3\text{Д}}]^2 + \frac{1}{2}S_{22}[S_{\text{п}}(t_f) - S_{\text{п}}^{3\text{Д}}]^2 + t_f$$

Накладемо обмеження на керування $S_{\text{п}}$:

$$\begin{aligned} S_{\text{п}min} &\leq S_{\text{п}} \leq S_{\text{п}max} \\ S_{\text{п}max} - S_{\text{п}} &\geq 0 \\ S_{\text{п}} - S_{\text{п}min} &\geq 0 \end{aligned}$$

Звідси перепишемо критерій:

$$\begin{aligned} I = &\frac{1}{2}S_{11}[\theta_{\text{рк}}(t_f) - \theta_{\text{рк}}^{3\text{Д}}]^2 + \frac{1}{2}S_{22}[\theta_{\text{п}}(t_f) - \theta_{\text{п}}^{3\text{Д}}]^2 + t_f + \\ &+ \int [Q(S_{\text{п}max} - S_{\text{п}})(S_{\text{п}} - S_{\text{п}min})H(g_1g_2)] dt \end{aligned}$$

Відповідно функція Гамільтона матиме вигляд:

$$\begin{aligned} H = &Q(S_{\text{п}max} - S_{\text{п}})(S_{\text{п}} - S_{\text{п}min})H(g_1g_2) + \lambda_1(a_{11}\theta_{\text{рк}} + a_{12}S_{\text{в}} + a_{13}S_{\text{к}} + a_{14}S_{\text{с}}) \\ &+ \lambda_2(a_{21}\theta_{\text{п}} + a_{22}\theta_{\text{рк}}) \end{aligned}$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\lambda_1' = -\frac{\partial H}{\partial \theta_{\text{рк}}} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21}$$

$$\lambda_2' = -\frac{\partial H}{\partial \theta_{\text{п}}} = -\lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22}$$

$$\frac{\partial H}{\partial S_{\text{п}}} = -2QS_{\text{п}}H(g_1g_2) + QS_{\text{п}max}S_{\text{п}}H(g_1g_2) + QS_{\text{п}min}S_{\text{п}}H(g_1g_2) + \lambda_1 b$$

$$\lambda_1(t_f) = S_{11}(\theta_{\text{рк}}(t_f) - \theta_{\text{рк}}^{3\text{Д}})$$

$$\lambda_2(t_f) = S_{22}(\theta_{\text{п}}(t_f) - \theta_{\text{п}}^{3\text{Д}})$$

$$\frac{\partial I}{\partial t_f} = 1 + S_{11}(\theta_{\text{рк}}(t_f) - \theta_{\text{рк}}^{3\text{Д}})\theta_{\text{рк}}'(t_f) + S_{22}(\theta_{\text{п}}(t_f) - \theta_{\text{п}}^{3\text{Д}})\theta_{\text{п}}'(t_f) +$$

$$+Q(S_{\Pi_{max}} - S_{\Pi})(S_{\Pi} - S_{\Pi_{min}})H(g_1g_2) = 0$$

Після обрахунків знайдемо час переключення τ_s та побудуємо графік лінії переключення. Загальний вигляд графіку наведено на рис. 4.2.1.

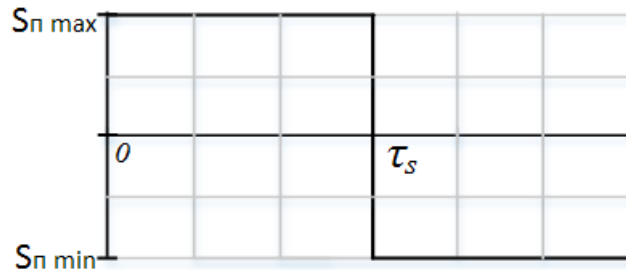


Рис. 4.5.1.– Загальний графік лінії переключення

де час переключення розраховується за формулою:

$$\tau_s = -\frac{\lambda_2(t_f)}{\lambda_1(t_f)} = -\frac{S_{22}(\theta_{\Pi}(t_f) - \theta_{\Pi}^{3D})}{S_{11}(\theta_{PK}(t_f) - \theta_{PK}^{3D})}$$

Лінія переключення керування матиме вигляд:

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

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. 4.2.2).

$$S_{11} = 0.0001$$

$$S_{22} = 0.0001$$

$$Q = 1$$

$$N = 120$$

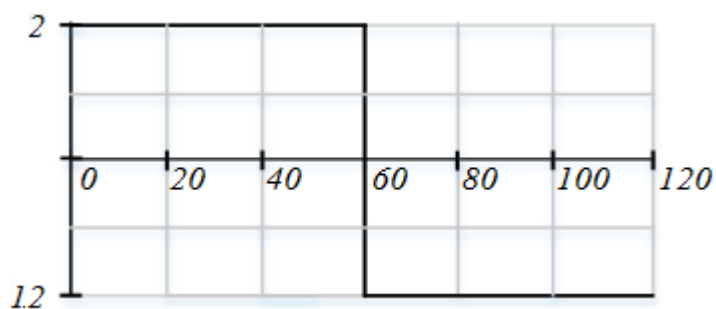


Рис. 4.5.2 – Графік лінії переключення

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

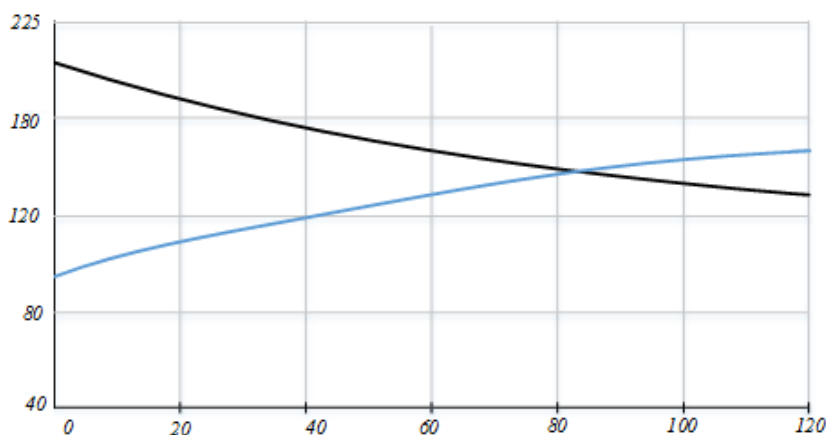


Рис. 4.5.3 – Графік зміни змінних стану до переключення

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

В момент переключення змінні стану мали такі значення:

$$Q_e^{BIX} = 165^{\circ}\text{C}$$

$$Q_B^{BIX} = 147^{\circ}\text{C}$$

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

$$Q_t^{BX} = 161^{\circ}\text{C}$$

$$Q_B^{BX} = 135^{\circ}\text{C}$$

Графіки змінних стану представлені на рисунку 3.6.4.

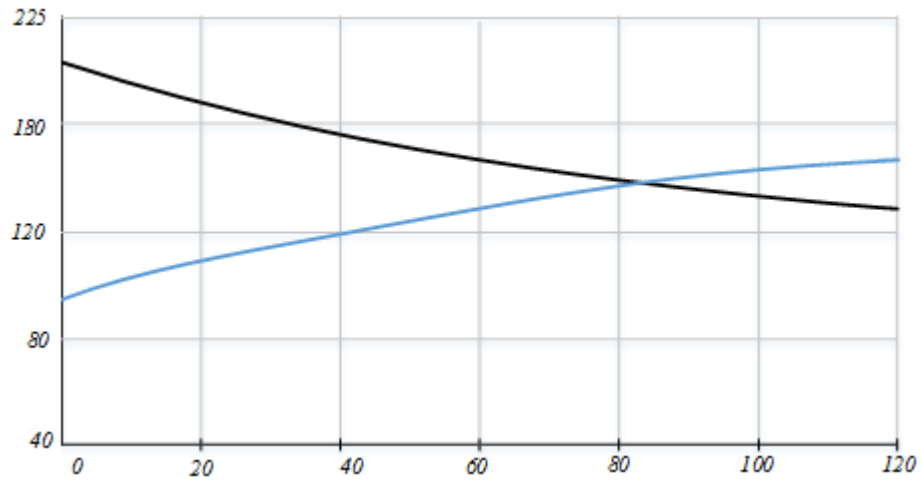


Рис. 4.5.4 – Графік зміни змінних стану після переключення

Кінцева лінія переключення зображена на рисунку 3.6.5

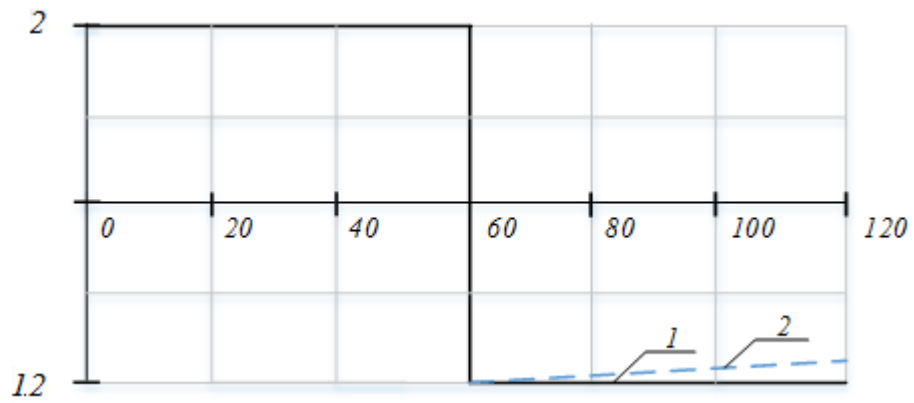


Рис. 4.5.5– Графіки ліній переключення без розрахунку спряженої системи (1) і з розрахунком спряженої системи (2)

5. Розроблення стартап проекту.

5.1 Опис ідеї проекту

Створення комп'ютерної програми , яка буде аналізувати процес виробництва, для виявлення товару з дефектом.. Стартап використовує технології машинного навчання, щоб відстежувати всі процеси на виробництві та визначати помилки. Програм буде надсилати повідомлення при відхиленні параметрів процесу від зазначеного діапазону (температура в апараті пресу, тиск в апараті пресу, концентрація вища нормі та інше). В повідомленні буде текст про пошкодження або про проблему в деякій області. Повідомлення буде надсилатись на ПК чи смартфон, щоб інженер міг миттєво реагувати.

Цільова аудиторія – виробництва з реальними процесами.

Інвестори – інжинірингові компанії, які займаються розробкою ПО для промисловості.

Конкуренти – SCADA системи. Такі як Trace Mode, WinCC.

Переваги – бюджетність, адаптивність до різних об'єктів, швидка розробка та встановлення.

Бюджет – 70 000 грн.

Куди витратити гроші – розробка програми , встановлення датчиків на об'єкті.

Де шукати гроші – інтернет платформа startup.ua.

Команда – 4 людини (розробник програми, інженер для вивчення апарату процесу, інженер для дослідження виробництва, інженер з експлуатації).

5.2 Аналіз конкуренції

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства та можливі дії |
|--|--|---|
| 1. Тип конкуренції – монополістична | Різноманітність продукту та послуг у розробці ПЗ. Важливою є реклама, нецінові ознаки товару, що впливають на вибір клієнта. Легкий вхід нової фірми та легкий вихід з галузі ІТ. | Створення на базі власних досліджень нових програм та вдосконалення тих, що вже існують |
| 2. Рівень конкурентної боротьби – національний | Велика кількість аутсорсингових компаній, які пропонують свої послуги у різних країнах | Забезпечення необхідних умов для діяльності підприємства в країні відповідно до чинного законодавства, а також аналіз динаміки світового ринку та конкурентів |
| 3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева | Галузь ІТ технологій має переваги, над іншими, адже стрімко розвивається зараз. Це проявляється і у фінансовій складовій і в трудових ресурсах і т.д. тому йде внутрішньогалузева конкуренція за потенційного клієнта та людські ресурси | Спрямованість на розвиток у галузі |
| 4. Конкуренція за видами послуг | Конкуренція відбувається між різними підприємствами, їх програмами та стратегіями | Інформувати споживачів про товар та ефективність наданих послуг |

| | | |
|--|--|---|
| 5. Характер конкурентних переваг – неціновий | Перевага полягає в якості та інноваційності наданих послуг | Демонстрування результатів досліджень та тестування щодо ефективного використання програм |
| 6. За інтенсивністю – марочна | Послуга має незначну значимість марки | Основна мета – створення власної марки |

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Постачальники | Клієнти | Товари-замінники |
|------------------|---|---|---|---|---|
| | Перелік | Бар'єри входження в ринок | Фактори сили постачальників | Фактори сили споживачів | Фактори загроз з боку замінників |
| | Vis-design, Inbot, Increate, Telebot, Evergreens і т.д. | Легко увійти на ринок, але потрібно залучити інвесторів, що є не просто, представити свій продукт якісно та доцільно в сучасних умовах. | Мої Послуги інтелектуальний продукт. Постачальниками можуть бути тільки комп'ютерне обладнання, яке досить широко представлене на сучасному ринку | Конкуренція, різноманітність послуг, ціни, реклама. | Загрози є, адже може бути більш точний продукт, бюджетніший, менше енергозатратний, зкожним днем технології розвиваються. |

5.3 Стратегія розвитку

Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|---|--|---|---|--------------------------------------|---|
| 1 | Малі підприємства | Бюджетність та ефективність чат-боту допоможе малому підприємству модернізувати виробництво, такі підприємства готові до такого продукту | Латентний попит, що тільки виявляється у вигляді невеликих замовлень. | Висока. | Вхід у даний сегмент досить складний, оскільки необхідно переконати клієнтів в ефективності запропонованих методів. |
| 2 | Середні підприємства | Автоматизація частини виробництва або ж повністю всього технологічного процесу, підприємства готові до модернізації частини виробництва, до повністю автоматизації всього процесу в сучасних умовах | Повноцінний попит – на автоматизацію частини виробництва. | Невисока конкуренція. | Конкуренція менша, але інвестицій потребується більше. |

| | | | | | |
|--|--|------------|--|--|--|
| | | НЕ ГОТОВІ. | | | |
|--|--|------------|--|--|--|

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---|---|--------------------|--|
| 3 | Великі підприємства | Автоматизація повністю всього виробництва, великі підприємства не готові до таких змін. | Попит, що постійно зменшується в зв'язку з політичною ситуацією | Висока конкуренція | Увійти складно, великі інвестиції та висока конкуренція. |
| Обрано усі 3 цільові групи. | | | | | |

Визначення базової стратегії розвитку

| № | Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку | Ключові конкуренти - спроможні позиції від-повідно до обраної альтернативи | Базова стратегія розвитку |
|---|--------------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | Великі об'єми замовлень | Співвідношення ціна-якість | Фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; сильні клієнти не можуть добитися зниження ціни нижче рівня, прийнятного для найбільш сильного конкурента. | Стратегія лідерства по витратах |
| 2 | Унікальні властивості продукту | Ринкове позиціонування | По відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь замінності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність; прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів | Стратегія диференціації |

Програма просування мого стартапу:

1. Сайт компанії.
2. Налаштування контекстної реклами (індексація в пошукових системах).
3. Реклама в соц.мережах.
4. Реклама в youtube (ролики про чат боти, їх застосування та ефективність для підприємств).

Висновки

У даному дипломному проєкті мною було розглянуто етап очищення масляного дистилляту у сульфураторі. Було зроблено декілька висновків:

При температурі очищення нижче оптимальної в'язкість масел підвищується, ускладнюються процеси перемішування і контактування масла з кислотою, різко подовжується цикл, очищення, В результаті різко погіршується якість.

При очищенні масел сірчаною кислотою температура обробки має першорядне значення. Для кожної групи відпрацьованого масла експериментально повинна бути підібрана оптимальна температура очищення. При температурі вище оптимальної збільшуються швидкості реакцій сірчаної кислоти з вуглеводнями і смолами і підвищується розчинність кислих і полімерних з'єднань. Все це різко погіршує колір очищених мастил.

Таким чином, при очищенні відпрацьованих масел сірчана кислота видаляє з них ненасичені вуглеводні, асфальто-смолисті сполуки і деякі інші продукти старіння.

На основі функціональної схеми була розроблена схема електрична принципіальна в якій детально описано принцип дії всіх приладів, які задіяні в електричних ланцюгах дистанційного керування, а також технологічного блокування і аварійного захисту електродвигунів цього процесу.

Для ясності збірки контурів електродвигунів було спроектовано монтажно-комутаційну схему в якій на основі принципіальної електричної схеми описано правильність збірки ланцюгів живлення для запуску і захисту від перевантаження електродвигуів.

В одному із розділів змодельована математична модель основного апарату (судбфуратора). Розрахунки і графіки динамічних та перехідних характеристик виконувалися за допомогою програмного забезпечення MaTLab

Список використаної літератури

1. Кузнецов Д.А. Производство серной кислоты Учебник для проф. техн. учеб. заведений. М., «Высш. школа», 1968. – 296 с.
2. Джорджи А.Н., Левина Е.С., Тицкая Б.Ф. моторній и реактивніе масла и жидкости: Учебник для проф. техн. учеб. заведений. 4-е изд., перераб. и доп. – М.:Химия, 1963. – 362.
3. Гладушко В.И. Производство серной кислоты. – К.: Техніка, 1966. – 232 с.
4. Брай И.В. Регенерация трансформаторных масел: : Учебник для проф. техн. учеб. заведений. – М.:Химия, 1972. – 401 с.
5. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств: Методическое пособие. Часть 1/ СПбГТИ(ТУ).-СПб., 2003.- 70 с.
6. Иглин. С.П. Математические расчеты на базе Matlab. М.: ДМК_ВНУ-Санкт-Петербург 2005г. – 640 с.

Додатки

Специфікація устаткування, виробів та матеріалів

Додаток Д4

| Позиція на схемі | Назва параметра | Середовище, місце відбору інформації | Граничне значення параметра | Місце монтажу | Назва, технічна характеристика | Тип, марка моделі | Завод-виробник | Кількість, од. |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|---|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Устаткування та прилади | | | | | | | | |
| 1-1 | Температура | Трубопровід | 150 С | По місцю | Вимірювач температури | ДТПК(ХА) | Україна, м.Київ, вул. Політехнічна 28 | 2 |
| 2-1 | Температура | Трубопровід | 200 С | По місцю | | | | |
| 2-2 | Температура | В апараті | 4-20 мА | Місцевий | Підсилювач сигналу | БПО-42 | Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська 5 | 1 |
| 2-3 3-3 | Температура | Прийнятий сигнал | 4-20мА | На пульті керування | Мікропроцесорний регулятор | МІК -111 | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ» | 2 |
| 2-5 | Температура | Біля трубопроводу | 0,2-1,0 кг/см ² | По місцю | Електропневматичний позиціонер | ПР3.33-М1 | М. Пермь «Samson» | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------------|---------|------------------|---|-----------------|--|-------------------|--|---|
| 3-1 5-1 7-1 | Витрата | Трубопровід | 114,83... 1607,61 м ³ /год | Трубопровід | Двопровідний вихровий витратомір, DN15...DN300кг/год, клас:0,5 Вихідний сигнал 4...20 mA | OPTISWIRL 4070 | OPTISWIRL» м. Самара, Росія вул. Долотний пр. 11 | 3 |
| 3-2 5-2 7-2 | Витрата | Прийнятий сигнал | - | Трубопровід | Блок вимірювальний, DN15...DN300кг/год, клас:0,5 Вхідний сигнал 4...20 mA | OPTISWIRL 4070 | OPTISWIRL» м. Самара, Росія вул. Долотний пр. 11 | 3 |
| 5-3 7-3 | Витрата | Прийнятий сигнал | 114,83...160 7,61 м ³ /год | Пульт керування | ПД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20mA | МК-111 | м. Івано- Франківськ, вул. Автолітмашев- ська, 5, ООО «МІКРОЛ» | 2 |
| 3-4 5-4 7-4 | Витрата | Прийнятий сигнал | 114,83...160 7,61 м ³ /год | Пульт керування | Блок ручного управління, АП1= 4...20mA, живлення 220 В, АО1= 4...20mA, | БРУ-5 | . Івано- Франківськ, вул. Автолітмашев- ська, 5, ООО | 3 |
| 4-1 6-1 8-1 9-1 10-1 | Рівень | В апараті | 0.5-4 м | По місцю | Датчик рівня, Діапазон вимірюючи рівень від 0.5 м до 4 м, вихідний сигнал 0...25 mV | Rosemount 5400 | м. Челябінск, Комсомольський просп.,29 «Метран» | 5 |
| 4-2 | Рівень | В апараті | 0.5-4 м | По місцю | Блок перетворення. | Rosemount | м. Челябінск, Комсомольський | 5 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|---|------------|---|---|
| 6-2 8-2 9-2 10-2 | | | | | Діапазон вимірююч. рівня від 0.5 м до 4 м | 5400 | просп.,29 «Метран» | |
| 4-3 6-3 8-3 9-3 10-3 | Регулюючий прилад | На пульті керування | 4...20 мА | На пульті керування | Мікропроцесорний регулятор. Діапазон вимірюючі рівень від 0.5 м до 4 м | МІК-111 | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5 | 5 |
| 4-4 6-4 8-4 9-4 10-4 | Перетворювач сигналу | Корпус регулювального клапану | 4...20 мА | На пульті керування | Перетворювач сигналу. $U_{живл.}=220В$ | БРУ-5 | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5 | 5 |
| 4-5 6-5 8-5 9-5 10-5 | Регулюючий прилад | Корпус регулювального клапану | 0,2...1,0 кг/см ² | По місцю | Перетворювач електричного сигналу в пневматичний. Діапазон контрольованого параметру від 4 до 20 мА. Вихідний сигнал 0,2...1,0 кг/см ² | SIPART PS2 | Росія «ЛГ-Автоматика» | 5 |
| 4-6 | Регулюючий | Корпус | 0...20 | По місцю | Регулювальний клапан | КМР ДУ | Росія | 5 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|----|--|--|-----|--------------------------|--|
| 6-6 8-6 9-6 10-6 | ий прилад | регулювальн ого клапану | мм | | Діапазон контрольованого параметру 0...20 мм | 150 | «ЛГ- Автоматика» 4 | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|----|--|--|-----|--------------------------|--|

| Електроапарати | | | | | | | | |
|---------------------------|--|-------|--|------------------|-------------------------------------|---------------------|---|----|
| SB1, SB2, ..., SB8 | | | | Щит керування | Кнопковий пост керування | КУ-92- 1EXD11BT5 | Трест «Промене ргоавтоматика», м. Київ | 8 |
| МП1, МП2, ..., МП4 | | Насос | | Місцевий | Пускач безконтактний реверсивний | ПБР-3А | ВО «Електропри- бор», м.Чебоксари | 4 |
| SA1, SA2, ..., SA4 | | | | Місцевий | Кнопка запобіжного відмикання | КМЕ-5111У | - | 4 |
| HL1, HL2, ..., HL21 | | | | Щит керування | Лампа електрична сигнальна | ЛС-151 | Трест «Промене- ргоавтоматика», м. Київ | 21 |