

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

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на тему: «Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок
крекінгу та гідрокрекінгу»

Виконав:

Тихонюк А.М.
студент VI курсу, ІХФ
група ЛА-71мп
залікова книжка № ЛА-7110мп

Керівник магістерської дисертації:
к. т. н., доцент Миленький В. В.

Київ 2018

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

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 004.021

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А. І. Жученко

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інформаційні технології»

(код і назва)

на тему: Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

Виконала: студент 6 курсу, групи ЛА-71мп

(шифр групи)

_____ Тихонюк Андрій Миколайович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доц., к. т. н. Миленький В. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

**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

Тихонюк Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації « Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу»

науковий керівник дисертації доц., к. т. н. Миленський В. В. _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 12 » 11 _____ 2018 р. №4143-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження процес деасфальтизації гудрона для установок крекінгу та гідрокрекінгу _____

4. Вихідні дані Математична модель процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу ; імітаційне моделювання роботи контуру регулювання температури в технологічному апараті з процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу _____ .

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Навести аналіз схеми технологічного процесу; вказати особливості перебігу процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу, розробити математичну модель об'єкта керування; моделювання алгоритмів для системи керування;здійснити оптимізацію технологічного процесу _____ .

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

7. Орієнтовний перелік публікацій Тези на тему: «Автоматизація процесу хімічного виробництва полівінілацетату безперервним методом»

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис технологічного процесу та об'єкта керування	03.10.2018	
2	Математичне моделювання процесів в апаратах технологічної схеми переробки вторинного нафтового дистилату	21.10.2018	
3	Оптимізація технологічного процесу	06.11.2018	
4	Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком	14.11.2018	
5	Розробка стартап-проекту	21.11.2018	
6	Оформлення звіту	05.12.2018	

Студент

_____ (підпис)

А.М. Тихонюк

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В.В. Миленський

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Реферат

Дипломний проект на тему "Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу" містить пояснювальну записку об'ємом 83 сторінок, 3 листа креслень форматом А1 та 48 плакатів.

Пояснювальна записка містить 23 рисунки, 3 таблиць, 1 додаток 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, виконано налаштування регулятора відповідно до технологічних вимог ведення даного процесу, представлено основні вимоги з охорони праці.

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

Також у магістерській дисертації було розроблено стартап-проект на тему «Онлайн стрімінгова система аналітики (OLAP)

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНІКАБЕЗПЕКИ, КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ, СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА, СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНЯ ФУНКЦІЯ, ГУДРОН, ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИГНАЛІЗАЦІЯ ТА БЛОКУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОНДЕНСАТОР – ХОЛОДИЛЬНИК.

Abstract

The diploma project on the topic "Automation of the process of tarra deasphalting for cracking and hydrocracking plants" contains an explanatory note of 83 pages, 3 sheets of drawings in the format A1 and 48 posters.

The explanatory note contains 23 drawings, 3 tables, 1 supplement 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, the regulator's settings were made in accordance with the technological requirements of this process, the basic requirements for the protection of labor were presented.

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

Also in the master's thesis a start-up project on the topic "Online Streaming System of Analytics (OLAP)" was developed.

KEY WORDS: SAFETY, CONTROL AND REGULATION OF THE SYNTHESIS REGULATOR CIRCUIT AUTOMATION O'BYECT CONTROL TRANSFER FUNCTION, TAR, TRANSIDENT RESPONSE, DEASFALTYZATSIYA, AUTOMATION, ALARM AND BLOCING PROCESS, A CAPACITOR - A REFRIGERSNOR.

Вступ.....	12
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЇ ГУДРОНУ ДЛЯ УСТАНОВОК КРЕКІНГУ ТА ГІДРОКРЕКІНГУ.....	12
1.1. Актуальність процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу.....	12
1.2. Властивості деасфальтизату.....	13
1.3. Опис технологічної схеми установки.....	17
1.4. Обґрунтування розробки нової схеми автоматизації.....	20
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДО ПРОЦЕСУ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЇ ГУДРОНУ ДЛЯ УСТАНОВОК КРЕКІНГУ ТА ГІДРОКРЕКІНГУ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ.....	20
2.1. Постановка задачі на моделювання.....	20
2.2. Розрахункова схема конденсатор-холодильника.....	22
2.3. Моделювання статичного та динамічного режиму об'єкта.....	23
3. СТРУКТУРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	28
3.1. Структура схеми замкненої системи.....	28
3.2. Налаштування системи керування методом перехідного режиму.....	29
3.3. Налаштування системи керування методом Циглера-Нікельса.....	32
3.4. Порівняльний аналіз методів налаштування регулятора.....	35
3.5. Ручний прибор налаштування ПІД-регулятора.....	36
3.6. Ручне налаштування ПІД-регулятора.....	38
4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	41
4.1. Опис процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу.....	41
4.2. Опис технологічного об'єкта керування: трубчастої печі.....	43
4.3. Моделювання процесу деасфальтизації гудрону.....	47
4.4. Перетворення Лапласа для рівнянь математичної моделі.....	49
4.5. Передатні функції за каналами керування - збурення.....	50
4.6. Перехідні характеристики трубчастої печі за каналами керування - збурення.....	52
5. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ.....	53
5.1. Розрахунок оптимальне керування процесом.....	53
5.1.1 Вибір критерію оптимальності.....	53

5.2. Розрахунок оптимального керування зі зворотним зв'язком.....	59
5.2.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора.....	59
5.2.2 Проектування оптимально лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою	64
5.2.3 Порівняння результатів отриманих для оптимального керування зі зворотнім зв'язком	68
5.3. Керування за мінімальним часом при обмеженні на керування.....	70
5.4. Схема автоматизації процесу деасфальтизації гудрона	73
5.4.1 Контури контролю технологічних параметрів.....	73
6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ОНЛАЙН СТРІМІНГОВОЇ СИСТЕМИ АНАЛІТИКИ (OLAP)».....	76
6.1. Вступ до розробки стартап-проекту	76
6.2. Опис ідеї стартап-проєкту	77
6.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту	78
6.4. Технологічний аудит проекту	79
6.5. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	80
6.6. Розроблення ринкової стратегії.....	90
6.7. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	93
6.8. Реалізація рішення.....	95
6.9. Висновки.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
ЛІТЕРАТУРА.....	100
ДОДАТКИ.....	102
Додаток Д1. Специфікація устаткування, виробів та метеріалів.....	102
Додаток Д2. Автоматизація процесу керування.....	107

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

В – вольт

г – грам

год – година

Гц – герц

дБ – децибел

Дж – джоуль

г/моль – грам на моль

°С – градус Цельсія

дм³ – дециметр кубічний

кг – кілограм

кгс – кілограм сили

кПа – кілопаскаль

Лк – люкс

Лм – люмен

м² – метр квадратний

м³ – метр кубічний

мА – міліампер

мг – міліграм

мм – міліметр

МОм – мегаом

МПа – мегапаскаль

нм – нанометр

с – секунда

см – сантиметр

т – тонна

хв – хвилина

Умовні позначення:

С – теплоємність

D, d – діаметр

k – коефіцієнт тепловіддачі

K_r – коефіцієнт підсилення регулятора

M – показник коливності

T – температура/час

T_i – час ізодрому

F_v – витрата води у конденсаторі-холодильнику, кг/с

F_s – суміші у конденсаторі-холодильнику, кг/с

C_v – питома теплоємність води, кДж/(кг °С)

C_s – питома теплоємність суміші, кДж/(кг °С)

Θ_{v1} – температура води на вході у конденсатор-холодильник, °С

Θ_{v2} – температура води на виході з конденсатора-холодильника, °С

Θ_{s1} – температура суміші на вході у конденсатор-холодильник, °С

Θ_{s2} – температура суміші на виході з конденсатора-холодильника, °С

θ_{2m} – регульована величина

G_p – керувальний вплив

θ_{1m} – збурення

Gain – пропорційна складова

rStr – інтегральна складова

dEri – диференціальна складова

V – об'єм

ρ – густина

Абревіатури та скорочення:

АФХ – амплітудно-фазова характеристика

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ЕРС – електрорушійна сила

ІЧ – інфрачервоний

КПО – коефіцієнт природного освітлення

АТ – атмосферний трубчастий

ВТ – вакуумний трубчастий

АВТ – атмосферно-вакуумно трубчастий

мод. – модель

НДІ – науково-дослідний інститут

НТЦ – науково-технічний центр

об. – частка об'єму

ПІ – пропорційно-інтегральний

поз. – позиція

ТС – технічна система

ЦНДЛ – центральна науково-дослідна лабораторія

ВСТУП

Темою даного дипломного проекту є «Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу».

Основа ціль даного процесу — видалення асфальтенів з гудрону, перед його подальшою глибокою переробкою.

Процес деасфальтизації гудрону особливо цікавий з навчальної точки зору системи керування. Для навчального процесу буде корисним використання програмних модулів для динамічної роботи основних апаратів у технологічному процесі деасфальтизації гудрону та роботи у схемі технічних засобів керування.

Актуальністю теми є те, що асфальтит дуже широко використовується в дорожньому будівництві, електротехніці й хімічній промисловості. Застосовують у суміші з піском, гравієм, щебенем для будівництва доріг, як покрівельний, гідро- і електроізоляційний матеріал, для виробництва замазок, клеїв, лаків і ін. і. Це має велике значення в житті людини.

Новизною даного дипломного проекту являється розробка схеми автоматизації процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу. Саме для цього в даному проекті було застосоване нове устаткування та новітні технологічні засоби автоматизації, відповідають вимогам точності та економічності. Також були обрані для якісної роботи системи такі параметри регуляторів, які повністю забезпечували задані показники якості системи.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЇ ГУДРОНУ ДЛЯ УСТАНОВОК КРЕКІНГУ ТА ГІДРОКРЕКІНГУ

1.1 Актуальність процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

Основне призначення - видалення за допомогою виборчих розчинників смолисто-асфальтенових речовин і поліциклічних вуглеводнів, які мають підвищену Коксівність і низьким індексом в'язкості. Як розчинник звичайно застосовується пропан. Деасфальтизації гудрону застосовується також для отримання сировини установок каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу; в цьому випадку поряд з пропаном використовуються бутан, пентан або легкі бензинові фракції.

Двоступенева Деасфальтизації гудронів рідким пропаном призначена для отримання із залишкової сировини двох деасфальтизатів різної в'язкості.

Отримувані в першому і другому ступенях деасфальтизата I і II далі переробляють окремо або в суміші в залишкові масла.

Деасфальтизація - процес видалення з залишків від перегонки нафти (гудронів і полугудронов) розчинених і диспергованих в них асфальто-смолистих речовин.

Відомі такі способи деасфальтизації: 1) перегонка у вакуумі; 2) обробка сірчаною кислотою з наступною контактною очищенням отбеливающими землями; 3) обробка селективними розчинниками (рідким пропаном, петролейним ефіром і ін.).

Процес деасфальтизації гудронів зрідженими низькомолекулярними вуглеводнями, головним чином рідким пропаном, використовується як при виробництві високов'язких залишкових масел, так і компонентів сировини для каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу.

Головними факторами процесу деасфальтизації є температура, тиск, кратність пропану до сировини, якість пропану і сировини.

1.2 Властивості деасфальтизату

У даному процесі тиск потрібно підтримувати в такому діапазоні 3,6 – 4,2МПа. Тому що зі збільшенням тиску у пропані, його щільність зростає, а це призводить в свою чергу до збільшення виходу деасфальтизату і руйнуванню його якості.

При обраній температурі процесу підвищення подачі пропану до певної межі дозволяє більш селективно осаджувати з сировини смолисто-асфальтенові з'єднання.

Процес деасфальтизації сировини технічним пропаном - рідиннофазної процес, здійснюваний з метою уникнення випаровування розчинника при тиску близько 4 МПа, кратності сировини до розчинника 1: (5-8) за обсягом. Вихід деасфальтизата визначається характером сировини і коливається в діапазоні від 26 до 90 мас. %.

Процес деасфальтизації проводиться на одно- або двоступеневих установках. Деасфальтизата - використовується як проміжний продукт у виробництві залишкових масел або сировину для установок каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу; у виробництві масел іноді застосовується двоступенева Деасфальтизації - з отриманого в першій ступені асфальту виділяється високов'язкий компонент - деасфальтизата II.

Асфальт - служить сировиною для виробництва бітумів або компонентом котельного палива.

В результаті переходу від одноступінчастої деасфальтизації до двоступеневої вихід деасфальтизата при переробці гудронів збільшується на 13-30% (відносних). Приріст залежить головним чином від якості сировини і що пред'являються до продуктів вимог.

На двоступеневої установці бітумний розчин з першої колони деасфальтизації надходить через підігрівач в другу колону, в яку подається додатково рідкий пропан. Розчини деасфальтизата II і бітуму II виводяться відповідно з другої колони зверху і знизу. Деасфальтизата I ступені є сировиною для виробництва

залишкових масел зазвичай в'язкістю 18-23 мм² / с (при 100 ° С), а деасфальтізата II ступені - значно більш в'язких масел, наприклад в'язкістю 30-45 мм² (при 100 ° С). У деасфальтізата II міститься більше ароматичних вуглеводнів; вони також мають більш високі щільність і коксованість. Бітум деасфальтизації - побічний продукт двоступеневого процесу - має високу температуру розм'якшення; його можна використовувати в якості компонента сировини для виробництва нафтових бітумів твердих марок [81].

Головні секції установки наступні (рис. VII-2): Деасфальтизації I ступеня (колона 10 з допоміжним обладнанням); Деасфальтизації II ступені (колона 18 і допоміжні апарати); регенерація пропану при високому тиску з розчину деасфальтізата I, з розчину деасфальтізата II, з бітумного розчину II (три секції); регенерація пропану при низькому тиску з збіднених розчинів, що виходять з попередніх секцій регенерації.

Сировиною I ступені є гудрон або концентрат, а вихідної сумішшю для II ступеня - бітумний розчин, що переходить під тиском з першої колони знизу в другу. На деяких установках деасфальтизації сировини проводять в I ступені в двох паралельно діючих колонах, з яких бітумні розчини надходять в одну загальну колону II ступені.

Установка одноступінчатої деасфальтизації гудронів рідким пропаном
Цільовим продуктом одноступінчатої установки деасфальтизації гудронів рідким пропаном є деасфальтізата, в якому концентрація парафіно-нафтових вуглеводнів значно вище, ніж в сировині. Пропан розчиняє парафіно-нафтові і легкі ароматичні вуглеводні, присутні в гудроні або концентраті. Асфальтени, смоли і поліциклічні ароматичні вуглеводні концентруються в побічному продукті - бітумі деасфальтизації, який відводиться в суміші з пропаном (30-50 мас.% На суміш) з низу деасфальтизаційної колони. Показники якості деасфальтізата:

Середня молекулярна маса

500-650

Щільність при 20 ° С, кг / м³

895-930

В'язкість при 100 ° С, мм² / с

18-26

Коксівність по Конрадсону, мас. %

при виробництві олійної сировини

0,8-1,3

при виробництві сировини для крекінгу

2-3 і більше

Вміст металів (ванадію і нікелю) в деасфальтізата значно менше, ніж у сировині; глибокого знесірчення не спостерігається.

Питома витрата технічного пропану на установках одноступінчатої деасфальтизації - 2-4 кг на 1 т перероблюваної гудрону.

Установка двоступеневої деасфальтизації гудронів рідким пропаном

Двоступенева Деасфальтизації гудронів рідким пропаном призначена для отримання із залишкового сировини двох деасфальтізата різної в'язкості.

Отримувані в першому і другому ступенях деасфальтізата I і II далі переробляють окремо або в суміші з залишковими маслами.

В результаті переходу від одноступінчастої деасфальтизації до двоступеневої вихід деасфальтізата при переробці гудронів збільшується на 13-30 отн. %.

Приріст залежить головним чином від якості сировини і що пред'являються до продукту вимог

На двоступеневої установці бітумний розчин з першої колони деасфальтизації надходить через підігрівач в другу колону, в яку подається додатково рідкий пропан. Розчини деасфальтізата II і бітуму II виводяться відповідно з другої колони зверху і знизу

Деасфальтізата I ступені є сировиною для виробництва залишкових масел, зазвичай в'язкістю 18-23 мм² / с при 100 ° С, а деасфальтізата II ступені - значно більш в'язких масел, наприклад в'язкістю 30-45 мм² / с при 100 ° С. У деасфальтізата II міститься більше ароматичних вуглеводнів; вони також мають більш високі щільність і коксованість.

Бітумний розчин 1 виводиться з низу колони К1, підігрівається водяною парою в апараті ТЗ і вводиться в колону деасфальтизації II ступені.

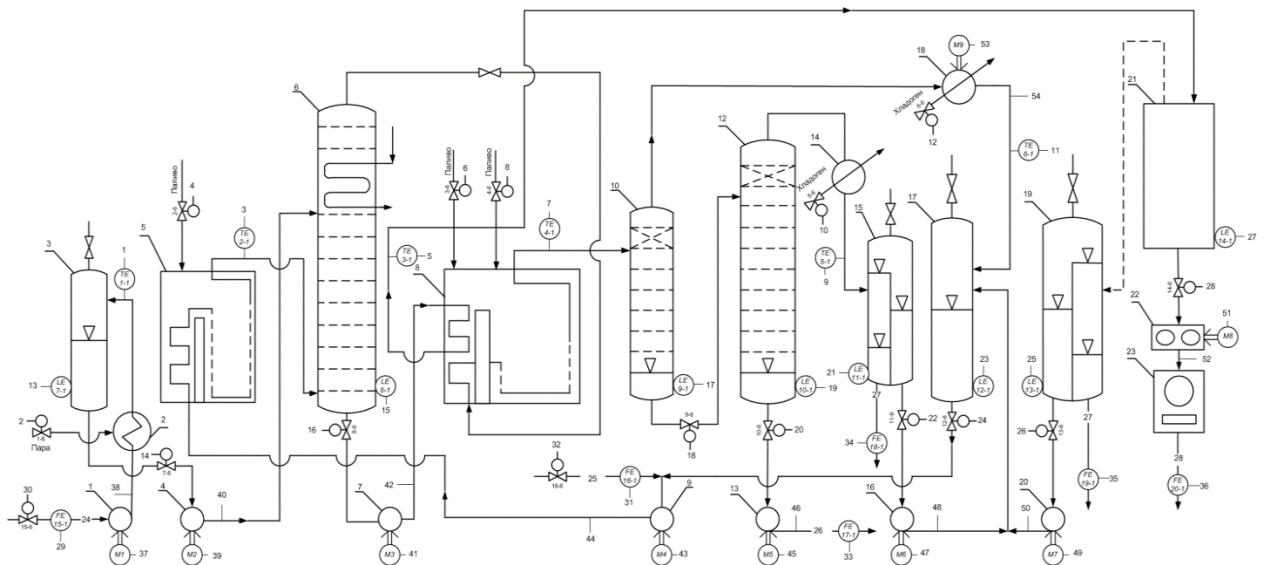
У цій колоні процес здійснюється при меншому тиску і більш низькій температурі, ніж в колоні К1; за рахунок різниці тисків, яка дорівнює 0,4-0,7 МПа, бітумний розчин переміщається з колони К1 в колону К2.

Пропан в колону К2 подається насосом НЗ через холодильник ХЗ. Колона К2 по конструкції подібна колоні К1.

Деасфальтизата II може служити сировиною для вироблення компонента високов'язкого залишкового масла, наприклад П-28

1.3 Опис технологічної схеми установки

Рисунок 1.1 — Схема процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу



1,4,7,9,13,16,20 – насоси 2 – підігрівач гудрону; 3,17 – приймачі; 5,8 – трубчаста піч; 6 – екстрактор; 10 – сепаратор високого тиску; 12 – випарна колона; 14 – конденсатор-холодильник; 15,19 – сепаратори низького тиску; 18 – апарат повітряного охолодження; 21 – секція регенерації розчинника; 22 – шестерний насос; 23 – барабанний охолоджувач.

Технологічний режим установки:

Температура, °С

Сировини при вході в екстрактор	150–160
Розчиннику при вході в екстрактор	130–135
Нагрів асфальтиту в печі 8.	275–280
Різниця температур в екстракторі.	15-20

Надлишковий тиск, Мпа

В екстракторі 6.	2,2-2,5
В сепараторі 10.	1,0
В відпарній колоні 12.	0,15-0,20
На виході розчину асфальтиту з печі 8.	3,2

Технологічна схема представлена на рисунку 1.1

Сировина насосом 1 подається через паровий підігрівач 4 в колону деасфальтизації I ступені 10. У нижню зону цієї ж колони вводиться через холодильник 3 рідкий пропан, що забирається насосом 2 з приймача 5.

Пройшовши верхній вбудований підігрівач 9 і верхню відстійну зону, розчин деасфальтизата I після зниження тиску (приблизно з 4,2 до 2,7 МПа) надходить в секцію регенерації пропану при високому тиску. Необхідний робочий тиск в колоні 10 підтримується за допомогою редуційного клапана 8; колона обладнана тарілками жалюзійного типу.

Бітумний розчин I виводиться з низу колони 10, підігрівається водяною парою в апараті 15 і вводиться в колону 18 деасфальтизації II ступені.

У цій колоні процес здійснюється при меншому тиску і більш низькій температурі, ніж в колоні 10: за рахунок різниці тисків, яка дорівнює 0,4-0,7 МПа, бітумний розчин I переміщається з колони 10 в колону 18. Пропан в колону 18 подається насосом 12 через холодильник 14. Колона 18 по конструкції подібна колоні 10. Кратність пропану до сировини для другого ступеня вибирається вищою, ніж для першої. З розчину деасфальтизата I основна кількість пропану виділяється в послідовно з'єднаних испарителях 21 і

22, а з розчину деасфальтізата II - у випарник 20 і 23. У испарителях 20 і 21, які працюють при порівняно помірних температурах, в якості теплоносія зазвичай використовується вода-, ної пар тиском близько 0,6 МПа, а в

високотемпературних испарителях 22 і 23 - водяна пара тиском 1,0 МПа.

Деасфальтізата I і II практично повністю звільнюються від пропану відповідно в отпарную колонах 29 і 31 тарельчатого типу, де стікають рідини продуваються зустрічним потоком водяної пари. Далі обидва деасфальтізата направляються насосами 27 і 30 відповідно через холодильники 25 і 26 в резервуари

Вихідні з випарників 20 і 21 пари пропану високого тиску (2,7-2,8 МПа)

конденсуються в апараті повітряного охолодження 7; конденсат надходить

через кожухотрубний водяний холодильник 6 в приймач 5. Пари, виділені у

випарник 22 і 23 (працюють при менш високому тиску-близько 1,8 МПа),

конденсуються в апараті повітряного охолодження 17; утворився тут конденсат

стікає в приймач 16. Для заповнення втрат в цей приймач подається технічний

пропан з боку. З приймача 16 пропан подається в приймач 5 насосом 13.

Бітумний розчин II ступені, пройшовши регулятор витрати 11, нагрівається в

трубчастої печі 19; випарувався пропан відділяється від рідини в сепараторі 24.

Що йдуть звідси пари далі надходять в конденсатор-холодильник 7. збіднений

бітумний розчин по виході з сепаратора 24 продувається водяною парою в отпарной колоні 34 (також тарельчатого типу).

Суміші пропанових і водяної пари, що йдуть при невеликому надлишковому

тиску з отпарную колон 29, 31 і 34, надходять в загальний конденсатор-

холодильник змішання 33 з перегородками. Тут при контакті з холодною водою

водяні пари конденсуються, а пари пропану низького тиску, пройшовши

краплевіддільники 32, стискаються компресором 28 до тиску 1,7-1,8 МПа. Під

цим тиском пари пропану конденсуються в конденсаторі-холодильнику 17.

Звільнений від розчинника бітум деасфальтізації після виходу з отпарной

колони направляється насосом 35 через холодильник 36 в резервуар.

Щоб уникнути занесення крапель бітуму деасфальтізації в конденсатор-

холодильник 7 виходять з сепаратора 24 пари пропану зазвичай пропускаються

через горизонтальний циліндричний краплі-відбійник. Для видалення сірководню частина парів пропану проходить через колону, заповнену водним розчином лугу

1.4 Обґрунтування розробки нової схеми автоматизації

У дипломній роботі системи автоматичного керування розробляються на основі різноманітних мікропроцесорних приладів, регуляторів і мікроконтролерів. На кафедрі автоматизації хімічних виробництв спроектована і змонтована комп'ютерна мікропроцесорна система, яка використовується в учбовому процесі підготовки студентів.

Комп'ютерно-мікропроцесорна система оснащена мікропроцесорними приладами і регуляторами марки МІКРОЛ виробництва заводу технічних засобів автоматизації міста Івано-Франківська.

В лабораторних роботах використовується режим налаштування мікропроцесорних приладів і регуляторів в ручному режимі, тобто подача вхідного сигналу від 0 до 5 мА за допомогою блока БРУ-7.

Тому в роботі використовувалась інформація про мікропроцесорні прилади.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДО ПРОЦЕСУ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЇ ГУДРОНУ ДЛЯ УСТАНОВОК КРЕКІНГУ ТА ГІДРОКРЕКІНГУ

2.1 Постановка задачі на моделювання

Як об'єкт керування візьмемо насадковий конденсатор-холодильник (КР.ЛАЗ1.3121.000.01.КХ). Керування яким, здійснюється шляхом підтримування керованих технологічних параметрів на заданому рівні.

У процесі виробництва асфальтиту є багато процесів, але в даному дослідженні ми розкажемо вам про такий технологічний об'єкт, як конденсатор-холодильник.

Конденсатори-холодильники прийняті типу змішання, так як поверхневі конденсатори виходять громіздкими і дорогими внаслідок необхідності застосування легованої сталі або двохслойного металу.

Конденсатори-холодильники служать для конденсації пари і охолодження продуктів до температури, що забезпечує незначні втрати їх від випаровування. Застосовуються конденсатори коробчатого типу і конденсатори, що складаються з однієї або декількох циліндричних трубчаток. Охолодження здійснюється технічною водою.

Конденсатори-холодильники призначені для конденсації фракцій, що відбираються при ректифікації в паровій фазі, і їх охолодження. Найбільш поширені конденсатори з окремих циліндричних трубчаток і суцільнозварні коробчаті. Для охолодження фракцій, що відбираються в рідкому вигляді, застосовуються холодильники погрузного типу.

Конденсатори-холодильники і вся подальша апаратура, насоси, трубопроводи піддаються до сильної корозії розчинами соляної кислоти і сірководню.

Конденсатори-холодильники служать для повної конденсації пари, що надходять з дефлегматора, і охолодження рідкого продукту до температури, при якій втрати його від випаровування досить малі.

Основна маса розчиннику виділяється в сепараторі 10. Пар, що виходить звідси прямує до апарату повітряного охолодження 18; конденсат легкої бензинової фракції, що утворюється в ньому, збирається в приймачі підвищеного тиску 17. Суміш водяних і бензинових парів, що виходить зверху випарника 12, і конденсується у конденсаторі-холодильнику 14.

Розглянемо вхідні потоки конденсатора-холодильника. У вхідні трубопроводи потрапляють суміш водяних та бензинових парів.

В ходу аналізу видно, що параметром Θ_{s2} ми можемо регулювати витратою суміші та води, оскільки на виході ми маємо отримати необхідне нам значення температури Θ_{s2} , а для цього необхідно витратити таку кількість суміші, щоб ми могли компенсувати це витратою води.

Аналізуючи дану схему, та опис процесу, маємо такі висновки: Θ_{s2} – регульована величина, F_s – збурення, F_v – керуюча дія. Θ_{s1} , Θ_{v1} , - константи.

2.2 Дослідження структурно-параметричної схеми об'єкта

Розглянемо розрахункову схему конденсатор-холодильника

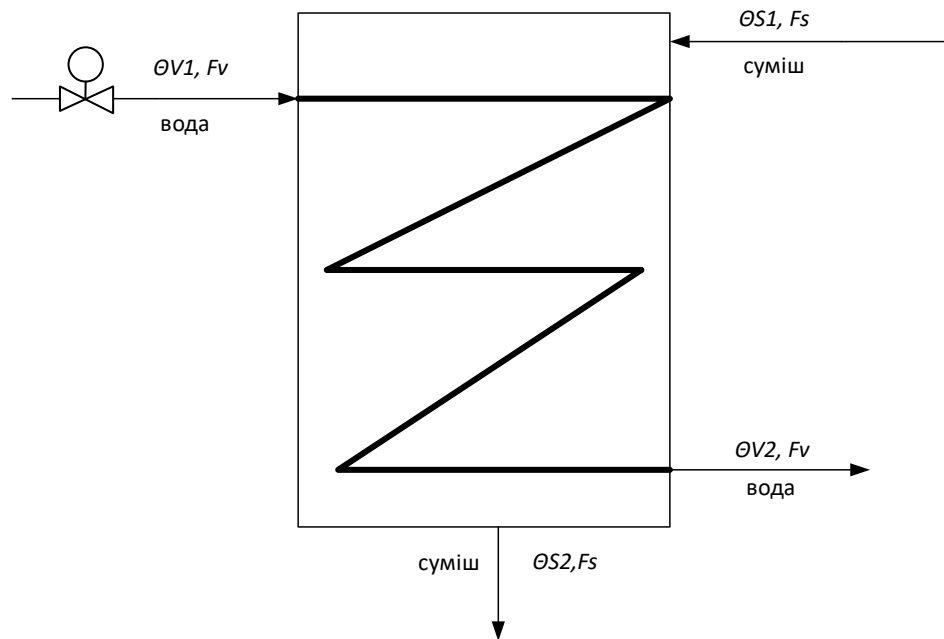


Рис. 2.1 Розрахункова схема конденсатор-холодильника

На схемі конденсатор-холодильника позначені наступні технологічні параметри:

F_v – витрата води у конденсаторі-холодильнику, кг/с;

F_s – суміші у конденсаторі-холодильнику, кг/с;

C_v – питома теплоємність води, кДж/(кг °С);

C_s – питома теплоємність суміші, кДж/(кг °С);

Θ_{v1} – температура води на вході у конденсатор-холодильник, °С;

Θ_{v2} – температура води на виході з конденсатора-холодильника, °С;

Θ_{s1} – температура суміші на вході у конденсатор-холодильник, °С;

Θ_{s2} – температура суміші на виході з конденсатора-холодильника, °С;

2.3 Моделювання статичного та динамічного режиму роботи об'єкта

При моделюванні статичного та динамічного режимів конденсатора-холодильника робимо такі припущення:

1. Втрати тепла в навколишнє середовище незначні, тому знехтуємо ними;
2. Вся пара конденсується;
3. Рівень води в апараті підтримуються на постійному рівні;
4. Акумуляцією тепла в стінках знехтуємо через невелику товщину стінок.
5. Зміну температури у трубі теплообмінника вважаємо лінійною.

Матеріальний баланс по газосировинній суміші:

$$F_s \cdot C_s \cdot \Theta_{s1} - F_s \cdot C_s \cdot \Theta_{s2} + k \cdot S \left(\frac{\Theta_{s1} + \Theta_{s2}}{2} - \Theta_{v2} \right) = V_s \cdot \rho_s \cdot \frac{d(\Theta_{s1} + \Theta_{s2})}{dt} \quad (1)$$

Де V_s - об'єм суміші, ρ_s – густина суміші, S – площа поперечного перерізу, K - коефіцієнт теплопередачі.

Таблиця 2 – Основні параметри статичного режиму

Речовина (індекс позначення)	Технологічний параметр		
	Витрата (F), кг/с	Температура (Θ), °C	Теплоємність (C), кДж/(кг °C)
Води (v)	35	20	4.2
Суміші (s)	0,14	105	2.1

Детермінуємо додаткові параметри статичного режиму:

$$S = 6,5 \text{ м}^2, k = 7.774 \frac{\text{кДж} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°C}}$$

Тепловий баланс для рідини :

$$F_v \cdot C_v \cdot \Theta_{v1} - F_v \cdot C_v \cdot \Theta_{v2} + k \cdot S \left(\frac{\Theta_{s1} + \Theta_{s2}}{2} - \Theta_{v2} \right) = V_v \cdot \rho_v \cdot C_v \cdot \frac{d\Theta_{v2}}{dt} \quad (2)$$

Лінеаризація рівнянь

$$1) \Delta F_s \cdot (C_s \cdot \Theta_{s1} - C_s \cdot \Theta_{s2}) - \Delta \Theta_{s2} \left(F_s \cdot C_s + \frac{k \cdot S}{2} \right) + k \cdot S \cdot \Delta \Theta_{v2} = \frac{V_s \cdot \rho_s}{2} \cdot \frac{d\Theta_{s2}}{dt}$$

$$\frac{\Delta F_s \cdot (C_s \cdot \Theta_{s1} - C_s \cdot \Theta_{s2})}{F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2}} + \frac{k \cdot S}{F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2}} \cdot \Delta \Theta_{v2} = \frac{V_s \cdot \rho_s}{2(F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2})} \cdot \frac{d\Delta \Theta_{s2}}{dt} + \Delta \Theta_{s2}$$

$$2) \Delta F_v \cdot (C_v \cdot \Theta_{v1} - C_v \cdot \Theta_{v2}) - \Theta_{v2} (F_v \cdot C_v + k \cdot S) = V_v \cdot \rho_v \cdot C_v \cdot \frac{d\Delta \Theta_{v2}}{dt} + \Delta \Theta_{s2} \cdot \frac{k \cdot S}{2}$$

$$\Delta \Theta_{s2} \cdot \frac{k \cdot S}{2(F_v \cdot C_v + k \cdot S)} + \Delta F_v \cdot \left(\frac{C_v \cdot \Theta_{v1} - C_v \cdot \Theta_{v2}}{F_v \cdot C_v + k \cdot S} \right) = \frac{V_v \cdot \rho_v \cdot C_v}{F_v \cdot C_v + k \cdot S} \cdot \frac{d\Delta \Theta_{v2}}{dt} + \Delta \Theta_{v2}$$

Рівняння в безрозмірному виді змінних

Для того, щоб перейти до загального вигляду рівняння з безрозмірними змінними, позначимо:

$$\lambda_1(t) = \frac{\Delta \Theta_{v2}(t)}{\Theta_{v0}}, \quad \varphi(t) = \frac{\Delta \Theta_{s2}(t)}{\Theta_{s0}}, \quad \lambda_2(t) = \frac{\Delta F_s(t)}{F_{s0}}, \quad \mu(t) = \frac{\Delta F_v(t)}{F_{v0}} \text{ де}$$

$\Theta_{v0}, \Theta_{s0}, F_{v0}, F_{s0}$ - значення параметрів основного статичного режиму з відповідними розмірностями.

Рівняння в канонічній формі і в формі Коші

Поділивши усі складові рівняння на коефіцієнт при першій степені визначальної величини, позначимо коефіцієнти при інших змінних:

$$T_1 = \frac{V_v \cdot \rho_v \cdot C_v}{F_v \cdot C_v + k \cdot S} - \text{стала часу конденсатора-холодильника (рідина);}$$

$$T_2 = \frac{V_s \cdot \rho_s}{2(F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2})} - \text{стала часу конденсатора-холодильника (суміш);}$$

$$K_{F_v \Theta_{v2}} = \frac{C_v \cdot \Theta_{v1} - C_v \cdot \Theta_{v2}}{F_v \cdot C_v + k \cdot S} - \text{коефіцієнт підсилення каналу витрати води по}$$

температурі води;

$$K_{\Theta_{s2} \Theta_{v2}} = \frac{k \cdot S}{2(F_v \cdot C_v + k \cdot S)} - \text{коефіцієнт підсилення каналу температури суміші}$$

по температурі води;

$$K_{F_s \Theta_{s2}} = \frac{C_s \cdot \Theta_{s1} - C_s \cdot \Theta_{s2}}{F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2}} - \text{коефіцієнт підсилення каналу витрати суміші по}$$

температурі суміші;

$$K_{\Theta v2\Theta s2} = \frac{k \cdot S}{F_s \cdot C_s + \frac{kS}{2}} - \text{коефіцієнт підсилення каналу температури води за}$$

температурою суміші;

Переписавши рівняння з наступними коефіцієнтами у формі Коші, отримаємо таку систему рівнянь:

$$T_2 \frac{d}{dt} \varphi(t) = -\varphi(t) + K_{Fs\Theta s2} \cdot \lambda_2(t) + K_{\Theta v2\Theta s2} \cdot \lambda_1(t)$$

$$T_1 \frac{d}{dt} \lambda_1(t) = -\lambda_1(t) + K_{Fv\Theta v2} \cdot \mu(t) + K_{\Theta s2\Theta v2} \cdot \varphi(t)$$

Диференціальне рівняння описує поведінку системи у динамічному режимі.

Перетворення за Лапласом змінної часу

Для подання системи відповідними передатними функціями треба диференціальне рівняння записати в операційній формі: тобто після перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$

де $\varphi(p), \mu(p), \lambda_1(p), \lambda_2(p)$ - зображення за Лапласом вихідної змінної, керуючої дії, збурень; p – оператор Лапласа.

Визначення коефіцієнтів рівнянь

Звернемо увагу на розмірність коефіцієнтів

$$T_{1,2} = \left[\frac{m^3 \cdot \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}}{\frac{kg}{c} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + \frac{kJ \cdot m \cdot m^2}{m^2 \cdot c \cdot ^\circ C}} \right] = [c]$$

$$K_{Fv\Theta v2} = \left[\frac{\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C - \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C}{\frac{kg}{c} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + \frac{kJ \cdot m \cdot m^2}{m^2 \cdot c \cdot ^\circ C}} \right] = \left[\frac{c \cdot ^\circ C}{kg + kg \cdot m} \right]$$

$$K_{\Theta s2\Theta v2} = \left[\frac{\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C - \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C}{\frac{kg}{c} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + \frac{kJ \cdot m \cdot m^2}{m^2 \cdot c \cdot ^\circ C}} \right] = \left[\frac{c \cdot ^\circ C}{kg + kg \cdot m} \right]$$

$$K_{Fs\Theta s2} = \left[\frac{\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C - \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C}{\frac{kg}{c} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + \frac{kJ \cdot m \cdot m^2}{m^2 \cdot c \cdot ^\circ C}} \right] = \left[\frac{c \cdot ^\circ C}{kg + kg \cdot m} \right]$$

$$K_{\Theta_{v2}\Theta_{s2}} = \left[\frac{\frac{\kappa_{Дж}}{\kappa_{2} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C} - \frac{\kappa_{Дж}}{\kappa_{2} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}}{\frac{\kappa_{Дж}}{c} \cdot \frac{\kappa_{Дж}}{\kappa_{2} \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{\kappa_{Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2 \cdot c \cdot ^\circ\text{C}}} \right] = \left[\frac{c \cdot ^\circ\text{C}}{\kappa_{2} + \kappa_{2} \cdot \text{м}} \right]$$

За формулами з п. 2.4 знайдемо відповідні значення коефіцієнтів: $T_1 = 11.308$, $T_2 = 1.212$, $K_{Fv\Theta_{v2}} = -1.595$, $K_{\Theta_{s2}\Theta_{v2}} = 0.497$, $K_{Fs\Theta_{s2}} = 5.094$, $K_{\Theta_{v2}\Theta_{s2}} = 1.977$

Передатні функції за каналами збурення і керування

Виходячи з рівняння 17, передатна функція каналу керування «витрата суміші в залежності від її температури»:

$$W_{\text{кер}} = \frac{\varphi(p)}{\lambda_2(p)} = \frac{K_{Fs\Theta_{s2}}}{(T_2 \cdot p + 1)} = \frac{5}{(2 \cdot p + 1)}; \quad (3)$$

Передатна функція каналу збурення «витрата води – температура суміші»:

$$W_{\text{збур}} = \frac{\lambda_1(p)}{\mu(p)} = \frac{K_{K_{Fv\Theta_{v2}}}}{(T_1 \cdot p + 1)} = \frac{1.6}{(23 \cdot p + 1)} \quad (4)$$

$$W_{\text{вим}} = \frac{1}{(2 \cdot s + 1)} \text{ та } W_{B.M} = \frac{2}{(6 \cdot s + 1)},$$

маємо передатну ф-ю контуру регулювання тиском:

$$W_{p.o} = W_{\text{кер}} \cdot W_{B.M} \cdot W_{\text{вим}} = \frac{5}{(2 \cdot s + 1)} \cdot \frac{2}{(6 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{(2 \cdot s + 1)} = \frac{10}{24 \cdot s^3 + 28 \cdot s^2 + 10 \cdot s + 1}$$

Отже, маємо аперіодичну ланку 3-го порядку.

Статичні характеристики будуть виглядати наступним чином:

По каналу керування: $\Theta_{s2} = f(Fv)$.

По каналу збурення: $\Theta_{s2} = f(Fs)$.

Виразимо рівняння (1) через рівняння (2) підставивши Θ_{s2} :

$$\Delta\Theta_{s2} = \frac{T_1 \cdot \frac{d\Delta\Theta_{v2}}{dt} + \Delta\Theta_{v2} - \Delta F_v \cdot K_{Fv\Theta_{v2}}}{K_{\Theta_{s2}\Theta_{v2}}}$$

$$\Delta\Theta_{s2} = -T_2 \cdot \frac{d\Delta\Theta_{s2}}{dt} + K_{F2\Theta_{s2}} \cdot \Delta\Theta_{v2} + \Delta F_s \cdot K_{\Theta_{v2}\Theta_{s2}}$$

$$\frac{T_1 \cdot \frac{d\Delta\Theta_{v2}}{dt} + \Delta\Theta_{v2} - \Delta F_v \cdot K_{Fv\Theta_{v2}}}{K_{\Theta_{s2}\Theta_{v2}}} = -T_2 \cdot \frac{d\Delta\Theta_{s2}}{dt} + K_{F2\Theta_{s2}} \cdot \Delta\Theta_{v2} + \Delta F_s \cdot K_{\Theta_{v2}\Theta_{s2}} \quad (7)$$

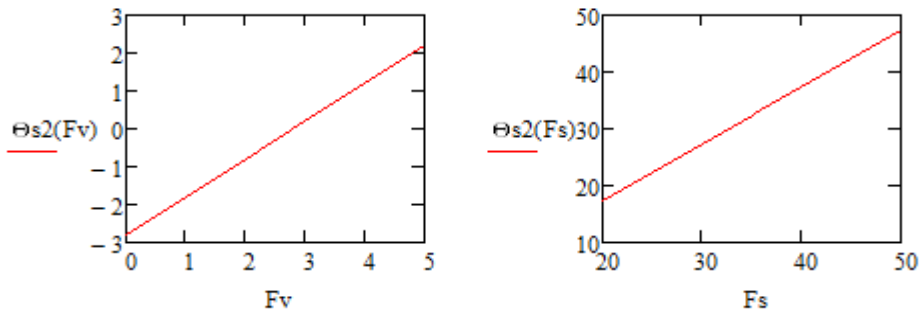


Рис. 2.1 Статичні характеристики конденсатор-холодильника

В середовищі MathCAD за допомогою зворотного перетворення Лапласа отримаємо перехідну характеристику контуру регулювання з його передатної функції.

$$W_{tok}(s) := W1(s) \cdot W2(s) \cdot W3(s)$$

Де $W1(s)$ – $W_{кер}$, $W2(s)$ – $W_{в.м.}$, $W3(s)$ – $W_{вим.}$.

$$W_{tok}(s) \rightarrow \frac{10}{(2 \cdot s + 1)^2 \cdot (6 \cdot s + 1)} \xrightarrow{\text{expand}} \frac{10}{24 \cdot s^3 + 28 \cdot s^2 + 10 \cdot s + 1}$$

$$H_{ker}(t) := \frac{W_{tok}(s)}{s} \begin{cases} \text{invlaplace, } s \\ \text{simplify} \\ \text{float, } 5 \end{cases} \rightarrow -22.5 \cdot e^{-0.16667 \cdot t} + 12.5 \cdot e^{-0.5 \cdot t} + 2.5 \cdot t \cdot e^{-0.5 \cdot t} + 10.0$$

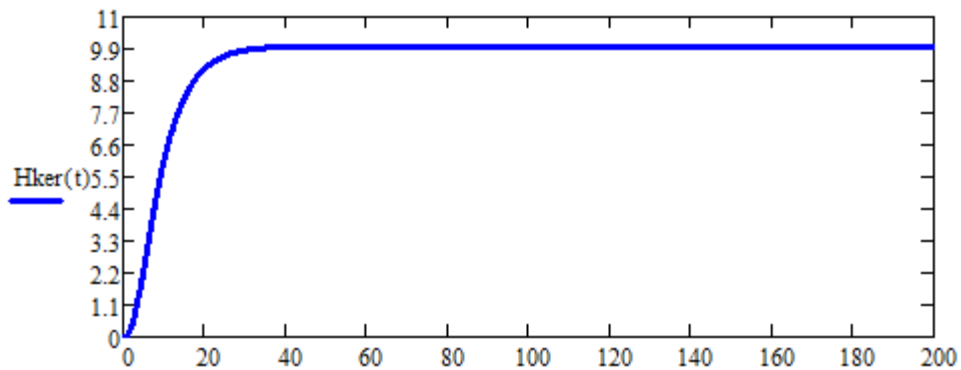


Рис. 2.2 Перехідна характеристика ТОК

РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Структурна схема замкненої системи

Даний процес деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу при допомозі бензину є складний процесом, який потребує постійного контролю і підтримання на заданому рівні його параметрів. Саме це є основною функцією автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Як об'єкт математичного моделювання нами було обрано конденсатор-холодильник, який конденсує суміш водяних і бензинових парів, тому було проведено синтез системи керування саме для цього об'єкта.

Рівняння динаміки:

$$\begin{aligned} & G_m \cdot \Theta_{1m} \cdot C_{1m} + G_v C_v \Theta_v + G_p Q_p^H - G_m C_{1m} (\Theta_{2m} - \Theta_{1m}) - \\ & - G_m \cdot \Theta_{2m} \cdot C_{2m} - G_{pg} \cdot \Theta_{pg} \cdot C_{pg} - 0,14 \cdot (G_p Q_p^H + G_v C_v \Theta_v) = \\ & = \rho_m \cdot V \cdot C_{2m} \frac{d\Theta_{2m}}{dt} \end{aligned}$$

Змінні:

- θ_{2m} – регульована величина;
- G_p – керувальний вплив;
- θ_{1m} – збурення.

Після лінеаризації відносно змінних та перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$ із рівняння отримаємо передатна функцію по каналу керування (витрата палива – вихідна температура мастила):

$$W_{p.o} = \frac{10}{24 \cdot s^3 + 28 \cdot s^2 + 10 \cdot s + 1},$$

де $k_{ob} = 0,86 \cdot Q_p^H = 8490 \cdot 0,86 = 7301,4;$

$$T = \frac{\rho_m \cdot V \cdot C_{2m}}{G_m \cdot C_{1m}} = \frac{940 \cdot 5 \cdot 0,29}{10000 \cdot 0,305} = 20,45$$

Згідно вихідних даних та теоретичного матеріалу, оберемо ПІ-регулятор з наступних міркувань:

20,45

- статична похибка регулювання буде дорівнювати нулю;
- достатньо простий в налаштуванні, залежить від коефіцієнту підсилення та сталої інтегрування, що забезпечує керування з мінімально можливою середньоквадратичною похибкою регулювання;
- мала чутливість до шумів в каналі вимірювання, на відміну від ПІД-регулятора;
- при можливій появі значного запізнювання, різниці в якості керування між ПІД- і ПІ-регулятором не виникне.

Передатна функція ПІ-регулятора:

$$W_{p.o} = \frac{10}{24 \cdot s^3 + 28 \cdot s^2 + 10 \cdot s + 1}$$

Структурна схема, отриманої замкненої системи, має вигляд:

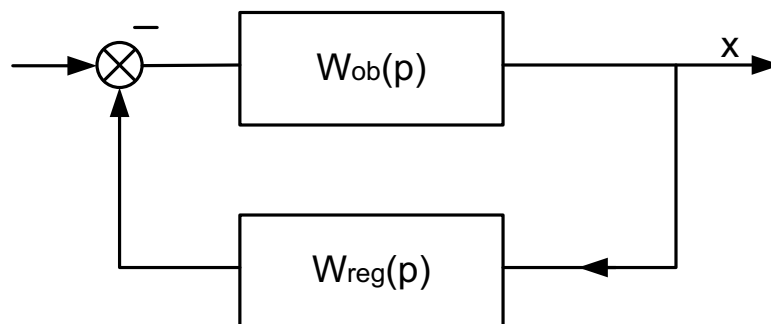


Рисунок 3.1 – Структурна схема замкненої системи

3.2 Налаштування системи керування методом перехідного режиму

У практичній діяльності для налагодження систем регулювання, як правило, використовують наближені методи розрахунку параметрів регулятора. Такий підхід дозволяє досить швидко, без проведення складних попередніх досліджень розв'язати задачу вибору властивостей регулятора згідно до прийнятого критерію керування та в залежності від властивостей ОК. Для наближеної оцінки динамічних властивостей використовують спрощені математичні моделі ОК у вигляді передаточних функцій.

Отримано та використовується багато евристичних правил щодо настройки параметрів регулятора: один із них - метод перехідного режиму. Згідно даного

методу параметри настройки регулятора визначаються із величин, що характеризують ОК.

$$\underline{K} := 5.094 \quad \underline{T} := 1.212 \quad \tau := 4$$

$$\frac{\tau}{T} = 3.3003$$

$$\underline{W}(s) := \frac{K}{T \cdot s + 1} \cdot W_{zap}(s)$$

$$W_{zap}(s) := \frac{1 - \frac{\tau}{2} \cdot s + \frac{\tau^2}{12} \cdot s^2}{1 + \frac{\tau}{2} \cdot s + \frac{\tau^2}{12} \cdot s^2}$$

P

$$K_{rp1} := \frac{\frac{\tau}{T} + 0.7}{2.6 \cdot K \cdot \left(\frac{\tau}{T} - 0.08 \right)} \quad K_{rp1} = 0.891$$

PI

$$K_{rpi1} := \frac{\frac{\tau}{T} + 0.6}{2.6 \cdot K \cdot \left(\frac{\tau}{T} - 0.08 \right)} \quad K_{rpi1} = 0.914$$

$$T_{pi1} := \frac{0.8 \cdot T}{\tau} \quad T_{pi1} = 0.2424$$

PID

$$K_{rpid1} := \frac{\frac{\tau}{T} + 1.5}{3.7 \cdot K \cdot \left(\frac{\tau}{T} - 0.13 \right)} \quad K_{rpid1} = 0.938$$

$$T_{pid1} := T \quad T_{pid1} = 1.212$$

$$\underline{T}_{pid1} := 0.15 T_{pid1} \quad T_{pid1} = 0.1818$$

$$K_{r1} := \begin{pmatrix} K_{rp1} & 0 & 0 \\ 0 & K_{rpi1} & 0 \\ 0 & 0 & K_{rpid1} \end{pmatrix} \quad T_{i1} := \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_{pi1}} \\ \frac{1}{T_{pid1}} \end{pmatrix} \quad T_{d1} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{pid1} \end{pmatrix}$$

$$K_{r2} := \begin{pmatrix} K_{rp2} & 0 & 0 \\ 0 & K_{rpi2} & 0 \\ 0 & 0 & K_{rpid2} \end{pmatrix} \quad T_{i2} := \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_{pi2}} \\ \frac{1}{T_{pid2}} \end{pmatrix} \quad T_{d2} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{pid2} \end{pmatrix}$$

$$Wp1(s) := Kr1 \cdot \left(1 + \frac{Ti1}{s} + Td1 \cdot s \right) \quad Wp2(s) := Kr2 \cdot \left(1 + \frac{Ti2}{s} + Td2 \cdot s \right)$$

$$Hp1(t) := \frac{W(s) \cdot Wp1(s)_0}{1 + W(s) \cdot Wp1(s)_0} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 2.1284e-9 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + -0.35102 \cdot e^{-2.2831 \cdot t} + 0.027713 \cdot e^{-0.21807 \cdot t}$$

$$Hpi1(t) := \frac{W(s) \cdot Wp1(s)_1}{1 + W(s) \cdot Wp1(s)_1} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow -4.4405e-11 \cdot e^{-0.000094607 \cdot t} + -1.0 \cdot e^{-0.00017878 \cdot t} \cdot \cos(0.007$$

$$Hpi1(t) := \frac{W(s) \cdot Wp1(s)_1}{1 + W(s) \cdot Wp1(s)_1} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 5.9599e-7 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + -0.47502 \cdot \cos(0.44562 \cdot t) \cdot e^{0.26368 \cdot t}$$

$$Hpid1(t) := \frac{W(s) \cdot Wp1(s)_2}{1 + W(s) \cdot Wp1(s)_2} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 5.96e-7 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + -0.46119 \cdot \cos(0.44888 \cdot t) \cdot e^{0.28692 \cdot t}$$

$$Hp2(t) := \frac{W(s) \cdot Wp2(s)_0}{1 + W(s) \cdot Wp2(s)_0} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 2.1284e-9 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + -0.28899 \cdot e^{-1.7628 \cdot t} + -2.2548e-9 \cdot c$$

$$Hpi2(t) := \frac{W(s) \cdot Wp2(s)_1}{1 + W(s) \cdot Wp2(s)_1} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 5.96e-7 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + 3.4423e-7 \cdot \cos(0.43301 \cdot t) \cdot e^{-0.75 \cdot t}$$

$$Hpid2(t) := \frac{W(s) \cdot Wp2(s)_2}{1 + W(s) \cdot Wp2(s)_2} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 5.96e-7 \cdot e^{-0.82508 \cdot t} + 0.16977 \cdot \cos(0.88444 \cdot t) \cdot e^{-0.50497 \cdot t}$$

$$t := 0, 1.. 100000$$

За допомогою отриманих перехідних процесів у системі регулювання із передаточною функцією та П-, ПІ- та ПІД-регуляторів був побудований графік:

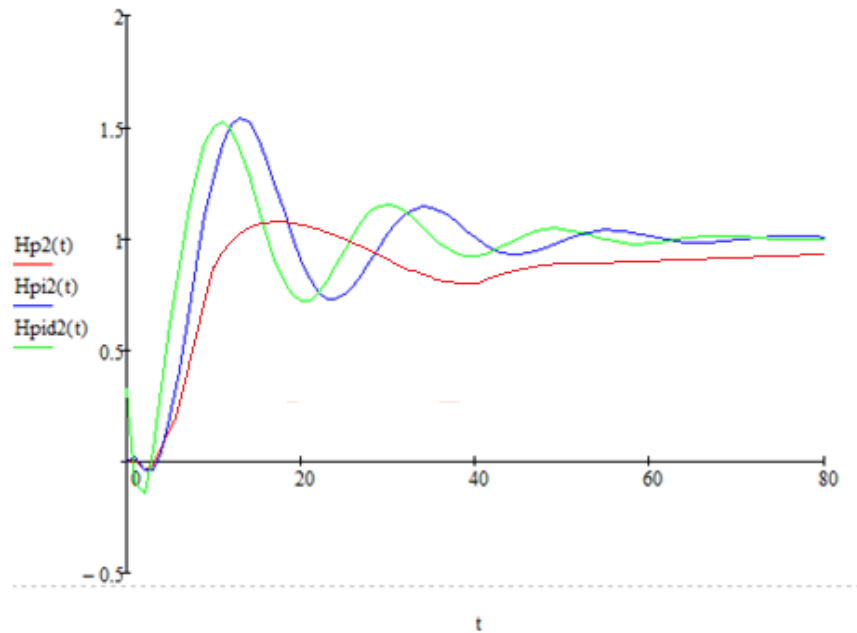


Рис. 3.2 Перехідні процеси у системі регулювання із передаточною функцією та П-, ПІ-, ПІД-регуляторами (за значеннями настройки регуляторів із таблиці 3).

Із графіка можна побачити, що пропорційна складова виробляє сигнал, який протидіє відхиленню регульованої величини в даний момент часу. Інтегральна складова накопичує результуюче значення, усуваючи, таким чином, недолік П-регулятора — наявність статичної помилки. ПІД-регулятор володіє Д-складовою, яка як би прогнозує відхилення від завдання і стежить за швидкістю відхилення, тому є найшвидшою в даному алгоритмі. По суті, це є перевагою і недоліком одночасно.

3.3 Налаштування системи керування методом Ціглера-Нікельса

Згідно даного методу замкнену систему керування із П-регулятором виводять на границю стійкості поступово збільшуючи коефіцієнт підсилення регулятора K_P . Для отриманого коливного режиму визначають критичне значення коефіцієнта підсилення регулятора K_{KP} та критичний період коливань T_{KP} , що встановився. За визначеними параметрами K_{KP} та T_{KP} розраховують оптимальні параметри настройки регулятора користуючись залежностями:

- для П-регулятора: $K_{OPT}=0,55 K_{KP}$;
- для ПІ-регулятора: $K_{OPT}=0,35 K_{KP}$;

Метод Ціглера-Нікольса досить простий для розрахунку, дозволяє забезпечити у системі керування необхідний запас стійкості, але не гарантує екстремального значення інтегрального критерію якості.

$$\underline{T} := 2 \quad \underline{K} := 5$$

$$K_{reg_nast} := 140 \quad W_{zap}(p) := \frac{1 - \frac{\tau}{2} \cdot p + \frac{\tau^2}{12} \cdot p^2}{1 + \frac{\tau}{2} \cdot p + \frac{\tau^2}{12} \cdot p^2}$$

$$W_{ob}(p) := \frac{K}{T \cdot p + 1} \cdot W_{zap}(p)$$

$$W_{regNast} := K_{reg_nast}$$

$$W_{zsNast}(p) := \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regNast}}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regNast}}$$

$$H_{nastr}(t) := \frac{W_{zsNast}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 1 \end{array} \right. \rightarrow -1.0 \cdot \cos(4.0 \cdot t) \cdot e^{-0.02 \cdot t} + -0.005 \cdot \sin(4.0 \cdot t) \cdot e^{-0.02 \cdot t} + 1.0$$

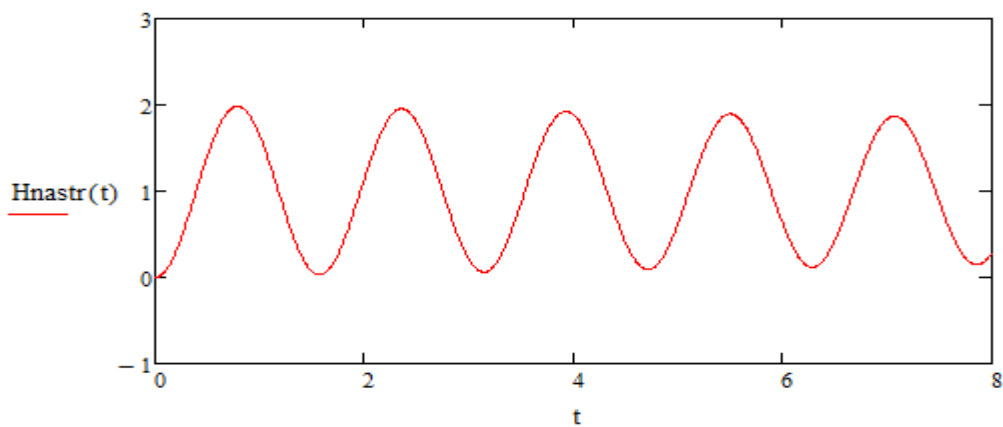


Рис. 3.3. Перехідна характеристика замкненої коливної системи.

$$K_{reg_p} := 0.55 \cdot K_{reg_nast}$$

$$t := 0, 0.01 \dots 1000$$

$$K_{reg_pi} := 0.35 K_{reg_nast}$$

$$W_{regP} := K_{reg_p}$$

$$W_{zsP}(p) := \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regP}}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regP}}$$

$$H_{preg}(t) := \frac{W_{zsP}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 2 \end{array} \right. \rightarrow -1.0 \cdot \cos(2.6 \cdot t) \cdot e^{-0.018 \cdot t} + -0.0068 \cdot \sin(2.6 \cdot t) \cdot e^{-0.018 \cdot t} + 1.0$$

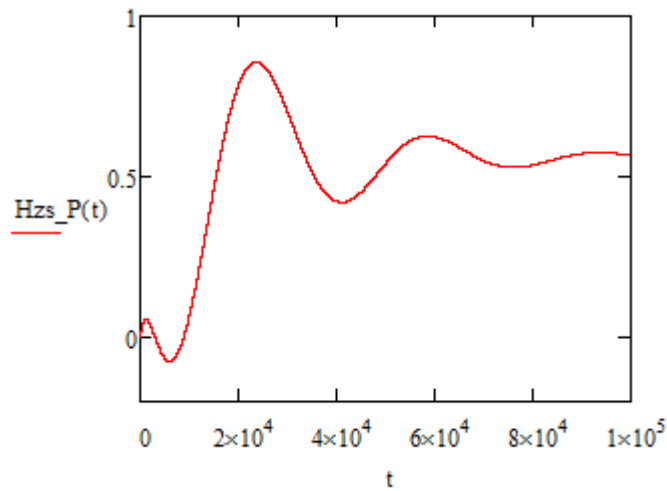


Рис. 3.4. Перехідна характеристика замкненої коливної системи з П-регулятором.

$$\begin{aligned}
 T_{ikr} &:= 12800 \\
 T_{i_opt} &:= 1.25T_{ikr} \\
 W_{regPI}(p) &:= K_{reg_pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{i_opt} \cdot p} \right) \\
 W_{zsPI}(p) &:= \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regPI}(p)}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regPI}(p)} \\
 HPIreg(t) &:= \frac{W_{zsPI}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 1 \end{array} \right. \rightarrow -1.0 \cdot \cos(2.0 \cdot t) + -0.0003 \cdot \sin(2.0 \cdot t) + -0.04 \cdot e^{-0.004 \cdot t}
 \end{aligned}$$

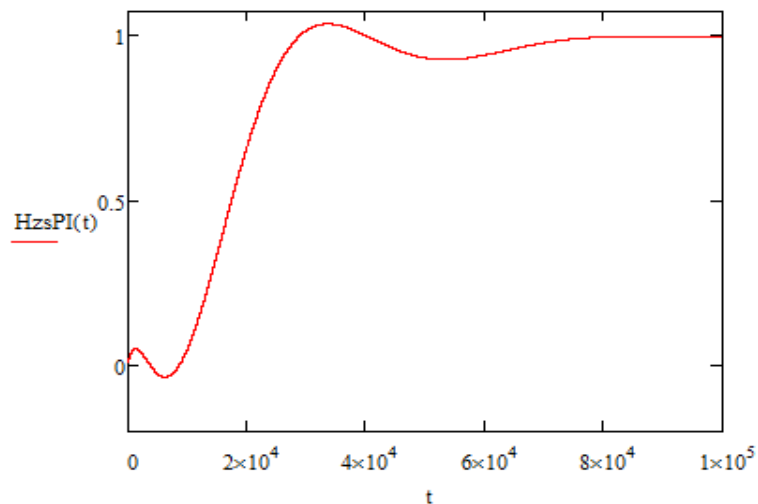


Рис. 3.5. Перехідна характеристика замкненої коливної системи з ПІ-регулятором

З отриманих графіків для замкненої коливної системи з використанням П та ПІ регуляторів можна побачити, що найкращим для використання у практиці є ПІ-

регулятор, оскільки він забезпечує задовільну якість регулювання: достатньо малий час виходу на сталий режим і невелику чуттєвість до збурень.

3.4 Порівняння методів налаштування регулятора

У п.п. 3.3.1 та п.п. 3.3.2 було використано два методи настройки ПІ-регулятора: метод перехідного режиму та метод настройки регулятора – Циглера-Нікольса.

В результаті настройки регулятора було отримано перехідну характеристику замкненої системи з регулятором настроєним вище перерахованими методами.

Використовуючи програму *MathCAD*, побудуємо в одній системі координат перехідну характеристику кожного з методів. Результат показано на рис. 3.7.

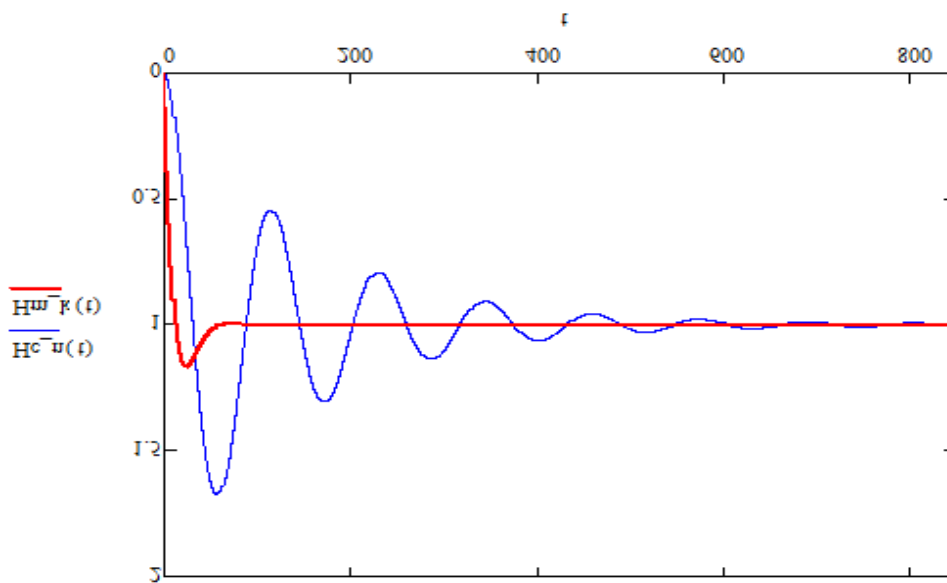


Рис. 3.6. Порівняння перехідних характеристик замкненої системи, знайдених двома методами: синій – Метод Циглера-Нікольса, червоний – метод перехідного режиму

Виходячи з дослідження графіка, можна зробити висновок, що метод настройки регулятора - перехідного режиму, найкраще підходить для обраного технологічного об'єкта – конденсатор-холодильник. При даному методі настройки, перехідний процес виходить на сталий рівень за 85 хвилину, коли в

свою чергу при налаштуванні регулятора методом Циглера-Нікольса – це займало 580 хвилин, тобто в 6 раз довше. Також ми побачили, що при використанні метода - перехідного режиму, майже відсутнє перерегулювання та коливність.

Зважаючи на складність технологічного процесу у конденсатор-холодильник, метод настройки регулятора, а саме перехідного режиму є доцільнішим.

3.5. Ручний прибор налаштування ПІД-регулятора

Після проходження практики у фармацевтичній фірмі «Дарниця», головний інженер з автоматизації надав нам детальну інструкцію по ручному налаштуванні ПІД-регулятора. В ній пошарово описано всі дії, які потрібно зробити, аби успішно налаштувати наш регулятор, якщо підібрані нами значення незадовільні для застосування, треба далі підбирати параметри **PID**, застосовуючи такі правила, які наведені нижче (таблиця 1)

Конструкція прибору



Лицьова частина прибору (мал. 1)

Прилад виконаний в пластмасовому корпусі, призначеному для щитового кріплення.

ПТ – перетворювач термоелектричний

На лицьовій панелі приладу, вид якої наведено на малюнку 1, розташовані чотирьохрозрядний цифровий індикатор, для відображення буквено-цифрової інформації, два двоколірних світлодіодних індикатора і два одноколірових

світлодіодних індикатора, що сигналізують про режими роботи приладу, і три кнопки управління.

На задній стінці приладу розміщені п'ять груп клемників "під гвинт", призначених для підключення ПТ, ланцюги живлення, внутрішніх навантажень.

Чотирьохрозрядний цифровий індикатор призначений, в основному, для відображення результатів вимірювань.

Чотири світлодіода сигналізують про особливості роботи приладу:

- зелене світло двоколірного світлодіода "К1" або "К2" сигналізує про виведення на цифровий індикатор результатів вимірювання по першому або другому каналу;


- зелене одночасне світіння двоколірних світлодіодів "К1" і "К2" сигналізує про програмування приладу;



- миготливе зелене світіння двоколірних світлодіодів "К1" і / або "К2" сигналізує про повторне вимірювання температури, після впливу перешкоди за відповідним каналом;



- миготливе червоне світіння двоколірних світлодіодів "К1" і / або "К2" сигналізує про виникнення помилки за відповідним каналом;

- червоне світіння двоколірних світлодіодів "К1" і / або "К2" сигналізує про наявність на індикаторі миттєвих значень результатів вимірювання температури по відповідному каналі;

- жовте світіння світлодіодів "В1" і / або "В2" сигналізує про формування сигналу для управління виконавчим пристроєм за відповідним каналу.

Кнопка  ("Цикл") призначена, в основному, для циклічного перегляду результатів вимірювання або встановлених параметрів.

3.2.5 Кнопки  ("Вгору") і  ("Ліворуч") призначені для введення заданих значень температури, а також параметрів характеристики перетворення ПВ.

Кнопка  забезпечує вибір знакомісця, в якому буде змінена цифра, а кнопка  - циклічне зміни цифр на обраному знакомісці.

Колібрування приладу з ПТ

А.1 Підключіть до приладу замість ПТ калібратор напруг і струмів програмований типу ПЗ21 або подібний до нього з класом точності не гірше 0,05 (див. малюнок 8.1).

А.2 Подайте напругу живлення на прилад. Не менше ніж через 15 ... 20 с проведіть калібрування приладу, для чого виконайте дії в порядку і послідовності, зазначених на малюнку 3.12, з урахуванням наступних уточнень.

При наявності на напівпровідниковому індикаторі повідомлення LO, у якого символи блимають, встановіть на калібраторі типу ПЗ21 значення напруги, рівне значенню напруги ПТ на нижній межі діапазоні вимірювань.

Натисніть одночасно кнопки "Вгору" та "Ліворуч". Після закінчення вимірювання установленної напруги, миготіння символів припиниться, що вказує на закінчення калібровки блоку на нижній межі вимірювання температури.

Виконайте аналогічні операції для верхньої межі вимірювання температури.

А.3 Перевірте результати калібрування. Для цього проконтролюйте по цифровому індикатору значення температури, що відповідає напрузі ПТ при різних температурах.

Напруги ПТ при різних температурах визначте по його номінальній статичній характеристиці перетворення і встановіть їх на калібраторі напруг і струмів програмованому типу ПЗ21.

3.6 Ручне налаштування ПІД-регулятора

Gain – пропорційна складова

rStr – інтегральна складова

dEri – диференціальна складова

Б.1 Вимкнути електроживлення виконавчого механізму. Переконайтеся, що температура стабілізувалася біля якого-небудь значення.

Б.2 У режимі "Робота" встановити значення St рівним температурі регулювання, тобто рівним тому, що в подальшому буде підтримувати прилад.

Б.3 Увійти в режим "Константи ПІД" (див. Розд. 3.3.5).

Б.4 Вибрати і встановити у відповідному параметрі прийнятне для конкретного вихідного пристрою значення періоду проходження імпульсів T_{fol} .

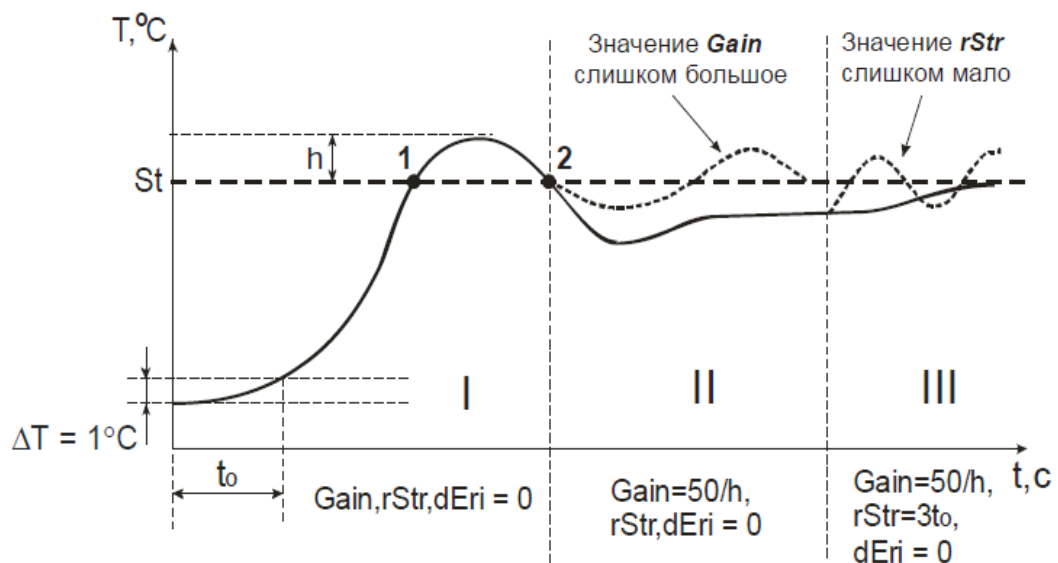
Б.5 Встановити значення коефіцієнтів **Gain**, **rStr** і **dEri** рівними 0.

Після переходу в режим регулювання (режим "Робота", див. Малюнок) виконуючий механізм буде включений до тих пір, поки не буде досягнута температура регулювання (уставка) St .

Б.6 Включити електроживлення виконавчого механізму. Виміряти t_0 - час від моменту включення виконавчого механізму до моменту зміни температури на 1 градус.

Б.7 Після виключення виконавчого механізму (точка 1) деякий час температура буде змінюватися за інерцією. Визначити максимальне відхилення температури від уставки $T_{max} - St = h$.

Б. 8. Після того як, температура знову стане нижче уставки St (точка 2) встановити значення **Gain** = 50 / h (стадія II на малюнку). Переконайтеся, що при даному значенні **Gain** не виконується досягнення установки St . В противному випадку значення **Gain** слід зменшити.



Б.9 Якщо при значенні $Gain = 50 / h$ різниця між усталеною температурою і уставкой $St > h$ занадто велика, то значення $Gain$ слід збільшити.

Б.10 Встановити значення $rStr = 3t_0$. Переконалися, що при даному значенні $rStr$ не виникають коливання температури навколо уставки (стадія III на малюнку).

Б.11 Для зменшення коливань збільшити значення $rStr$, для збільшення швидкості виходу на уставку - зменшити $rStr$.

Б.12 Отримане в попередньому пункті значення $rStr$ розділити на 5 і записати результат в параметр $dEri$.

Б.13 Значення параметрів PID , визначені завдяки описаним вище процедурам, підібрані тільки приблизно. Якщо їх застосування незадовільно, треба далі підбирати параметри PID , застосовуючи такі правила:

Порядок підбирання	Причина	Вирішення
Полоса пропорційності (P) $Gain$	Дуже повільна відповідь	Збільшити $Gain$
	Велике пере регулювання або осиляція	Зменшити $Gain$
Час інтегрування (I) $rStr$	Дуже повільна відповідь	Зменшити $rStr$
	Непостійність або осиляція	Збільшити $rStr$
Час диференціювання (D) $dEri$	Дуже повільна відповідь або осиляція	Зменшити $dEri$
	Велике перерегулювання	Збільшити $dEri$

Правила для налаштування параметрів ПІД (табл. 1)



Розділ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

4.1. Опис процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

Ціль даного процесу – відбирання асфальтенів з гудрону, перед тим, як його детально перероблять. В схемах детальної переробки сировини нафтової, нафтовий асфальтит може бути підлеглий газифікації; використовують його в якості теплогідроізоляційного матеріалу, замість природнього асфальтиту, у дуже великому асортименті різних нафтохімічних продуктів і також у виробництві нафтових бітумів.

Автоматизацію процесу деасфальтизації гудрону, найчастіше використовують для видалення розчинників смолисто-асфальтинових речовин. Пропан вбільшості використовують, як розчинник. Також деасфальтизація гудрону використовується для отримання сировини різних установок каталітичного крекінгу та для гідрокрекінгу.

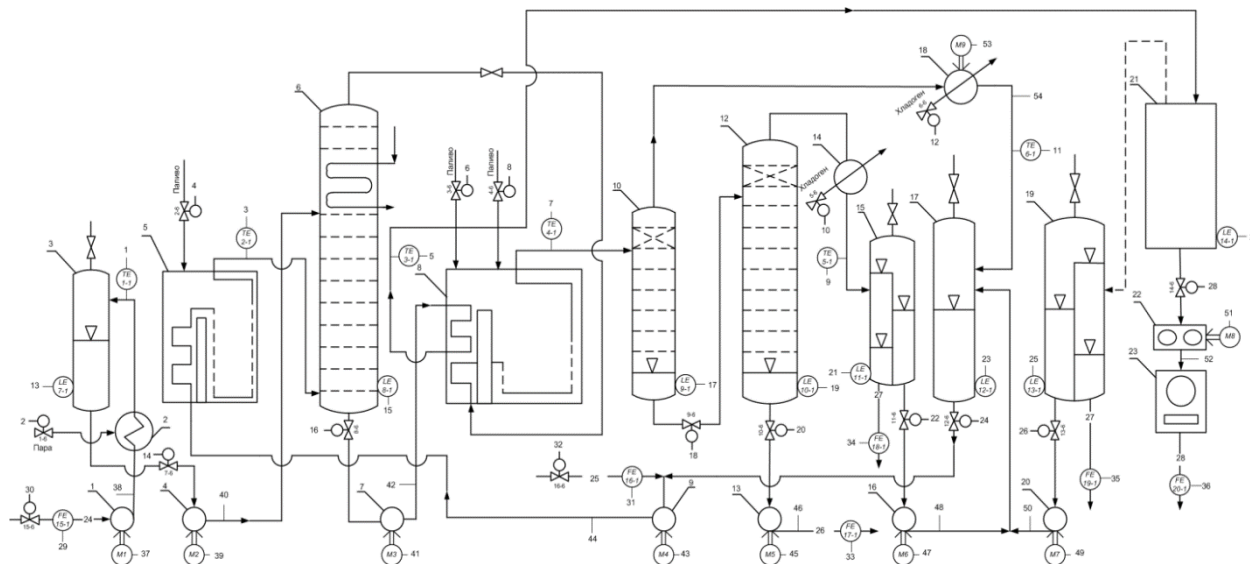


Рис. 5.1 Технологічна схема установки деасфальтизації гудрону за допомогою бензину: 1,4,7,9,13,16,20 – насоси 2 – підігрівач гудрону; 3,17 – приймачі; 5,8 – трубчаста піч; 6 – екстрактор; 10 – сепаратор високого тиску; 12 – випарна колона; 14 – конденсатор-холодильник; 15,19 – сепаратори низького тиску; 18 – апарат

повітряного охолодження;21 – секція регенерації розчиннику;22 – шестерний насос;23 – барабанний охолоджувач.

Режим роботи установки:

Залишковий тиск у колоні вакуумного осушення, кПа	13,3
Перепад тиску в реакторі, МПа	0,1
Об'ємна швидкість подачі сировини, год ⁻¹	1-3
Витрата деасфальтизату на рідку сировину, м ³ /м ³	300 - 500
Концентрація H ₂ у деасфальтизаті, % (об.)	не менше 75
Каталізатор	Алюмокобальтомолібденовий або

алюмонікеломолібденовий

Таблиця 5.1 Температура і тиск потоків в основних апаратах

Продукт	Температура, °С	Надлишковий тиск, МПа
Розчин деасфальтизату на вході		
у змійовик печі	>160	-
у реакторі	280-300	< 4,0
Суміш бензинових та водяних парів у сепараторі		
високотемпературному	200-230	3,5-3,8
низькотемпературному	40	3,5-3,8
Асфальтит		
перед фільтром	<130	-
у відпарній колоні	190-225	0,3

Тривалість роботи каталізатора від 10 до 60 місяців, витрати його 0,01 – 0,03 кг на 1 т очищеної сировини. Каталізатор регенерує близько 1,5 доби, приблизно такий же час потрібно для виконання допоміжних операцій. На ряді установок відпрацьований каталізатор не регенерують, а замінюють свіжим.

Вказані вище результати аналізу наведені у таблиці 1.

Таблиця 5.2 Параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Витрати гудрону, піч	Витрата	1000 кг/год	Контроль
2	Деасфальтизат	Витрата	8,4 кг/год	Контроль, сигналізація
3	Бензинова фракція, на виході з печі	Температура	240 °С	Контроль, сигналізація
4	Асфальтитовий розчин, піч	Температура	1400 °С	Контроль

4.2. Опис технологічного об'єкта керування: трубчаста піч

Як об'єкт керування візьмемо трубчасту піч. Керування якою, здійснюється шляхом підтримування керованих технологічних параметрів на заданому рівні [2].

Трубчаста піч - це циліндрична пустотіла конструкція, трохи нахилена до горизонту. Вона повільно обертається навколо своєї осі. Матеріал, що обробляється, завантажується у верхній кінець циліндра. Так як піч обертається, матеріал повільно рухається у напрямку до нижнього кінця та може при цьому перемішуватися. Гарячі гази проходять крізь піч, іноді в тому ж напрямку що і оброблюваний матеріал (попутний потік), але зазвичай у зворотному напрямку (зустрічний потік). Гарячі гази можуть бути створені у зовнішній топці, або можуть бути створені факелом всередині печі. Такий факел створюється

пальником, що працює за принципом пальника Бунзена. Паливом для нього може бути газ, мазут, або порошкове вугілля. В насадковій колоні встановлюють тарілку, призначену для перерозподілення рідини по висоті колонного апарату, при наявності декількох шарів насадки.

Представимо контрольвані параметри трубчастої печі:

1) вихідні величини (параметри стану):

θ_1 - температура гудрону на виході з печі;

θ_{d1} - температура асфальтитового розчину на виході з печі;

2) вхідні величини:

F_g - витрата деасфальтизату в печі

F_{Π} - витрата повітря, яке подається в піч

θ_0 - температура бензинових фракцій на вході в піч;

F_o - витрати гудрону, яка подається до печі для нагрівання і виходить з неї

;

F_d - витрата асфальтитового розчину, який утворився в печі;

θ_{do} - температура асфальтитового розчину в печі.

Основною регульованою величиною печі є температура асфальтитового розчину на виході з неї θ_1 – для цього піч і призначена.

Керувальним впливом при регулюванні температури θ_1 є витрата деасфальтизату F_g .

Збуреннями при регулюванні температури θ_1 можуть бути: θ_0 - температура бензинових фракцій на вході в піч, F_{Π} - витрата повітря, яке подається в піч, F_o - витрати деасфальтизату, яка подається до печі для нагрівання, а також θ_{do} - температура асфальтитового розчину в печі.

В подальшому будемо розглядати схему регулювання температури бензинових фракцій на виході з печі θ_1 за допомогою зміни витрати деасфальтизату F_g під дією збурення θ_0 - температури бензинових фракцій на вході в піч.

В табл.5.2 наведено основні параметри процесу.

Таблиця 5.2. Основні параметри процесу

Назва	Позначення	Числове значення	Розмірність
Кількість деасфальтизату на вході	F_o	1000	$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$
Теплоємність гудрону	C_o	2000	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Температура бензинових фракцій на вході	θ_o	60	$^\circ\text{C}$
Температура бензинових фракцій на виході	θ_1	240	$^\circ\text{C}$
Площа поверхні теплообміну, і коефіцієнт теплопередачі	SK	$0,55 \cdot 10^6$	$\frac{\text{Дж}}{\text{год} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{кг}}$
Кількість деасфальтизату що подається	F_g	8,41	$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$
Теплоємність асфальтитового розчину	C_d	1100	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Температура асфальтитового розчину в середині печі	θ_{d0}	1400	$^\circ\text{C}$
Температура асфальтитового розчину на виході	θ_{d1}	200	$^\circ\text{C}$

Наведемо структурно-параметричну схему трубчастої печі (рис.5.2.)

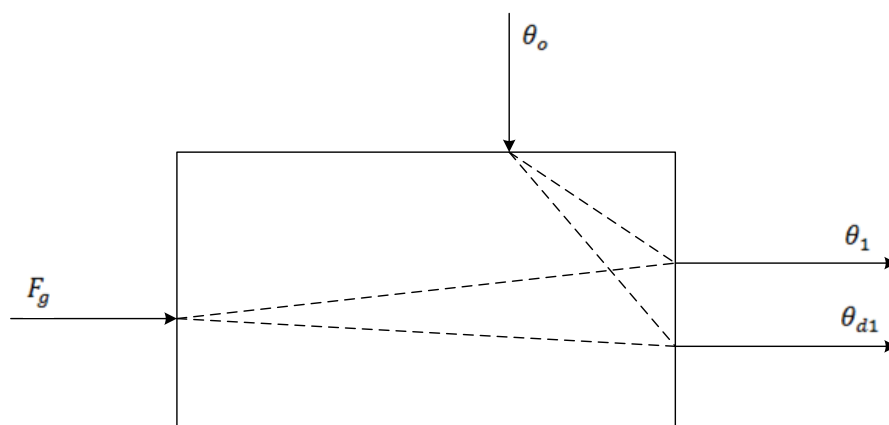


Рис.5.2. Структурно-параметрична схема трубчастої печі

Вихідним регульованим параметром для вибраного об'єкта керування є температура бензинових фракцій.

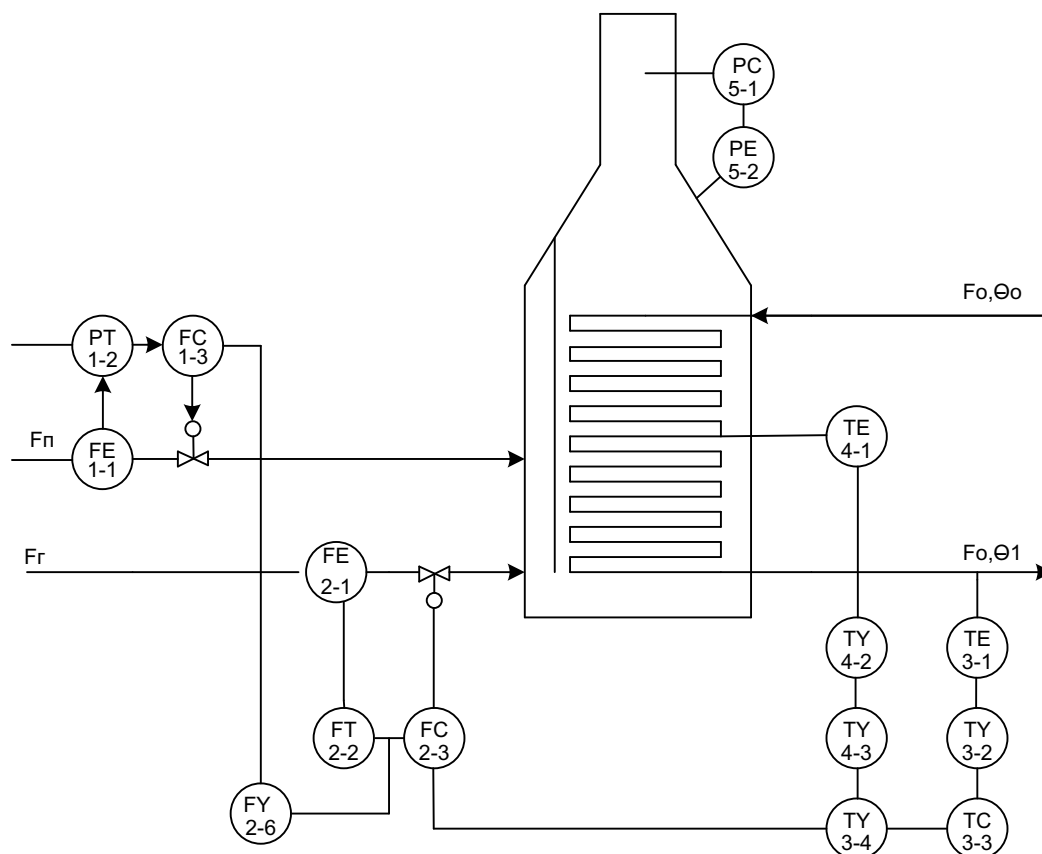


Рис.5.3. ФСА основних параметрів

Головним контуром керування є третій контур. Тобто, регулювання температури бензинових фракцій, що виходить з трубчастої печі.

4.3. Моделювання процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

На рис. 5.3. зображено структурно-параметричну схему деасфальтизації гудрону за допомогою бензину.

Спочатку розглянемо статичний режим. Рівняння матеріального балансу мають вигляд:

- Бензинових фракцій:

$$F_g \cdot \theta_{d0} \cdot C_d - F_d \cdot \theta_{d1} \cdot C_d + F_{\Pi} \cdot C_{\Pi} \cdot \theta_{\Pi} - K \cdot S \cdot \frac{\theta_{d0} + \theta_{d1} - \theta_o - \theta_1}{2} = V_g \cdot C_d \cdot \rho_d \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\theta_{d0} + \theta_{d1}}{2} \right) \quad (1)$$

- асфальтитового розчину:

$$F_o \cdot C_o \cdot \theta_o - F_o \cdot C_o \cdot \theta_1 + S \cdot K \cdot \frac{\theta_{d0} + \theta_{d1} - \theta_o - \theta_1}{2} = V_g \cdot \rho_o \cdot C_o \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\theta_o + \theta_1}{2} \right). \quad (2)$$

Лінеаризації підлягають параметри стану $\theta_1(t)$ та $\theta_{d1}(t)$, керуюча дія $F_g(t)$ та збурення $\theta_o(t)$ згідно з

$$\theta_1(t) = \theta_{1o} + \Delta\theta_1(t)$$

$$\theta_{d1}(t) = \theta_{do} + \Delta\theta_{d1}(t)$$

$$F_g(t) = F_{go} + \Delta F_g(t)$$

$$\theta_o(t) = \theta_{oo} + \Delta\theta_o(t), \quad (5.3)$$

де $\theta_{1o}, \theta_{do}, F_{go}, \theta_{oo}$ – значення температур бензинових фракцій на виході з трубчастої печі, температури асфальтитового розчину, витрати гудрону та температури бензинових фракцій на вході в піч, взятих в статичному режимі, з таблиці 4.1;

$\Delta\theta_1(t)$, $\Delta\theta_{d1}(t)$, $\Delta F_g(t)$, $\Delta\theta_o(t)$ – відхилення від статичного режиму цих же параметрів.

В результаті підстановки (5.3) в (5.1), врахування рівнянь статики (4.1) та (4.2) і нехтуванням доданками другого порядку малості отримаємо диференційне рівняння у відхиленнях відносно статичного режиму:

$$\Delta F_g \left[(1 + \alpha) \cdot \theta_{d0} \cdot C_d - (1 + \alpha) \cdot \theta_{d1} \cdot C_d \right] - \Delta\theta_{d1} \left[F_d(1 + \alpha) \cdot C_d + \frac{S \cdot K}{2} \right] + \Delta\theta_o \cdot \frac{S \cdot K}{2} \cdot \Delta\theta_1 \cdot \frac{S \cdot K}{2} = \frac{V_d \cdot \rho_d \cdot C_d}{2} \cdot \frac{d\Delta\theta_{d1}}{dt} \quad (5.4)$$

Перенесем змінні стану та їх похідні в ліву сторону:

$$\frac{V_d \cdot \rho_d \cdot C_d}{2} \cdot \frac{d\Delta\theta_{d1}}{dt} + \Delta\theta_{d1} \left[F_d(1 + \alpha) \cdot C_d + \frac{S \cdot K}{2} \right] - \Delta\theta_1 \cdot \frac{S \cdot K}{2} = \Delta F_g \left[(1 + \alpha) \cdot \theta_{d0} \cdot C_d - (1 + \alpha) \cdot \theta_{d1} \cdot C_d \right] + \Delta\theta_o \cdot \frac{S \cdot K}{2} \quad (5.5)$$

Для запису рівняння в канонічній формі зробимо наступні позначення:

$$A = F_d(1 + \alpha) \cdot C_d + \frac{S \cdot K}{2} \quad (5.6)$$

$$B = (1 + \alpha) \cdot \theta_{d0} \cdot C_d - (1 + \alpha) \cdot \theta_{d1} \cdot C_d \quad (5.7)$$

і поділимо наше рівняння на даний коефіцієнт A .

Постійна часу буде дорівнювати:

$$T_d = \frac{V_d \cdot \rho_d \cdot C_d}{2A};$$

$$K_{\theta_1\theta_{d1}} = \frac{S \cdot K}{2A}$$

$$K_{F_g\theta_{d1}} = \frac{B}{A}$$

$$K_{\theta_o\theta_{d1}} = \frac{S \cdot K}{2A}$$

Підставимо всі заміни та отримаємо рівняння у відхиленнях:

$$T_d \cdot \frac{d\Delta\theta_{d1}}{dt} + \Delta\theta_{d1} - K_{\theta_1\theta_{d1}} \cdot \Delta\theta_1 = K_{F_g\theta_{d1}} \cdot \Delta F_g + K_{\theta_o\theta_{d1}} \cdot \Delta\theta_o \quad \dots(5.8)$$

Проведемо аналогічні дії для другого рівняння:

$$F_o \cdot C_o \cdot \theta_o - F_o \cdot C_o \cdot \theta_1 + S \cdot K \cdot \frac{\theta_{d_o} + \theta_{d_1} - \theta_o + \theta_1}{2} = V_o \cdot \rho_o \cdot C_o \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\theta_o + \theta_1}{2} \right) \quad (5.9)$$

Перенесем змінні стану в одну сторону:

$$\Delta\theta_o \left[F_o \cdot C_o - \frac{K \cdot S}{2} \right] - \Delta\theta_1 \left[F_o \cdot C_o + \frac{K \cdot S}{2} \right] - \Delta\theta_{d_1} \cdot \frac{K \cdot S}{2} = \frac{1}{2} \cdot V_o \cdot \rho_o \cdot C_o \cdot \frac{d}{dt} (\theta_o + \theta_1) \quad (5.10)$$

Для запису рівняння в канонічній формі зробимо наступні позначення:

$$\begin{aligned} D &= F_o \cdot C_o - \frac{K \cdot S}{2} \\ T_1 &= \frac{V_o \cdot \rho_o \cdot C_o}{2D} \\ K_{\theta_o\theta_1} &= \frac{2F_o \cdot 2C_o - K \cdot S}{2D} \\ K_{\theta_{d_1}\theta_1} &= \frac{K \cdot S}{2D} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Підставимо всі заміни та отримаємо рівняння у відхиленнях:

$$T_1 \cdot \left(\frac{d\theta_1}{dt} \right) + \Delta\theta_1 - K_{\theta_{d_1}\theta_1} \cdot \Delta\theta_{d_1} = T_1 \cdot \left(\frac{d\theta_o}{dt} - K_{\theta_o\theta_1} \cdot \Delta\theta_o \right) \quad (5.12)$$

Система рівнянь (5.10) і (5.12) представляє собою систему диференціальних рівнянь у відхиленнях або лінеаризовану математичну модель трубчатої печі в канонічній формі.

4.4. Перетворення Лапласа для рівнянь математичної моделі

Проведемо перетворення змінної часу в лінеаризованій математичній моделі у відхиленнях за Лапласом $t \rightarrow p$ при нульових початкових умовах, враховуючи, що:

$$\Delta\theta_{d_1}(t) \rightarrow \theta_{d_1}(p)$$

$$\Delta F_g(t) \rightarrow F_g(p)$$

$$\Delta\theta_1(t) \rightarrow \theta_1(p)$$

$$\Delta\theta_o(t) \rightarrow \theta_o(p)$$

Тоді рівняння (5.10) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} (T_d \cdot p + 1) \cdot \theta_{d1}(p) - K_{\theta_1\theta_{d1}} \cdot \theta_1(p) &= \\ = K_{F_g\theta_{d1}} \cdot F_g(p) + K_{\theta_o\theta_{d1}} \cdot \theta_o(p) & \end{aligned} \quad (5.13)$$

Аналогічно проведемо перетворення змінної часу другого рівняння (5.12) за Лапласом $t \rightarrow p$ при нульових початкових умовах.

В результаті отримаємо:

$$(T_1p + 1) \cdot \theta_1(p) - K_{\theta_{d1}\theta_1} \cdot \theta_{d1}(p) = (T_1p - K_{\theta_o\theta_1}) \cdot \theta_o(p) \quad (5.14)$$

Запишемо отриману систему двох рівнянь, які є математичною моделлю трубчастої печі в перетвореннях за Лапласом:

$$\begin{cases} (T_dp + 1) \cdot \theta_{d1}(p) - K_{\theta_1\theta_{d1}} \cdot \theta_1(p) = K_{F_g\theta_{d1}} \cdot F_g(p) + K_{\theta_o\theta_{d1}} \cdot \theta_o(p) \\ (T_1p + 1) \cdot \theta_1(p) - K_{\theta_{d1}\theta_1} \cdot \theta_{d1}(p) = (T_1p - K_{\theta_o\theta_1}) \cdot \theta_o(p) \end{cases} \quad (5.15)$$

4.5. Передатні функції за каналами керування - збурення

Для отримання передатних функцій об'єкту керування – трубчастої печі - необхідно рішити систему лінійних рівнянь (5.15) відносно регульованої величини $\theta_I(p)$ як функції керування $F_g(p)$ та збурення $\theta_o(p)$:

$$\theta_I(p) = W_{F_g\theta_I}(p) \cdot F_g(p) + W_{\theta_o\theta_I}(p) \cdot \theta_o(p) \quad (5.16)$$

де $W_{F_g\theta_I}(p)$ - передатна функція за каналом керування $F_g(p) \rightarrow \theta_I(p)$,

$W_{\theta_o\theta_I}(p)$ – передатна функція за каналом збурення $\theta_o(p) \rightarrow \theta_I(p)$.

Рішимо систему рівнянь (5.15) відносно регульованої величини методом Крамера.

Запишемо визначник системи (5.15):

$$\Delta = \begin{vmatrix} T_d p + 1 & -K_{\theta_1 \theta_{d1}} \\ -K_{\theta_{d1} \theta_1} & T_1 p + 1 \end{vmatrix} = (T_d p + 1) \cdot (T_1 p + 1) - K_{\theta_1 \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} = T_d \cdot T_1 \cdot p^2 + T_d p + T_1 p + 1 - K_{\theta_1 \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} = T_d T_1 p^2 + (T_d + T_1) \cdot p + 1 - K_{\theta_1 \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} \quad (5.17)$$

Вектор стовпець керуючої дії буде дорівнювати:

$$F_g = \begin{bmatrix} K_{F_g \theta_{d1}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

Вектор стовпець збурення буде дорівнювати:

$$\theta_o = \begin{bmatrix} K_{\theta_o \theta_{d1}} \\ T_1 p - K_{\theta_o \theta_1} \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Запишемо доповнення для впливу каналу керуючої дії:

$$\Delta F_{g \theta_1} = \begin{bmatrix} T_d p + 1 & K_{F_g \theta_{d1}} \\ -K_{\theta_{d1} \theta_1} & 0 \end{bmatrix} = 0 + K_{F_g \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} \quad (5.20)$$

Знайдемо вираз для передатної функції за каналом керування $F_g(p) \rightarrow \Theta_1(p)$:

$$W_{F_g \theta_1}(p) = \frac{\Delta F_{g \theta_1}}{\Delta} = \frac{K_{F_g \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1}}{T_d T_1 p^2 + T_d p + T_1 p + 1 - K_{\theta_1 \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1}} \quad (5.21)$$

Знайдемо аналогічним шляхом передатну функцію за каналом збурення:

$$\Delta \theta_{o \theta_1} = \begin{bmatrix} T_d p + 1 & K_{\theta_o \theta_{d1}} \\ -K_{\theta_{d1} \theta_1} & T_1 p - K_{\theta_o \theta_1} \end{bmatrix} = (T_d p + 1) \cdot (T_1 p - K_{\theta_o \theta_1}) + K_{\theta_o \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} = T_d T_1 p^2 - (T_d \cdot K_{\theta_o \theta_1} + T_1) \cdot p - K_{\theta_o \theta_1} + K_{\theta_o \theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1} \theta_1} \quad (5.22)$$

Знайдемо вираз для передатної функції за каналом збурення $\theta_o(p) \rightarrow \Theta_1(p)$:

$$W_{\theta_o\theta_1}(p) = \frac{\Delta\theta_{o\theta_1}}{\Delta} = \frac{T_d T_1 p^2 - (T_d \cdot K_{\theta_o\theta_1} + T_1) \cdot p - K_{\theta_o\theta_1} + K_{\theta_o\theta_{d1}} \cdot K_{\theta_{d1}\theta_1}}{T_d T_1 p^2 + (T_d + T_1) \cdot p + 1 - K_{\theta_{1\theta_{d1}}} \cdot K_{\theta_{d1}\theta_1}} \quad (5.23)$$

Враховуючи значення параметрів статичного режиму, наведених в таблиці 4.1, числові значення для передатних функцій будуть:

За каналом керування $F_g(p) \rightarrow \Theta_l(p)$:

$$W_{F_g\theta_1}(p) = \frac{1,87}{0,047p^2 + 1,86p - 0,985} \quad (5.24)$$

За каналом збурення $\theta_o(p) \rightarrow \Theta_l(p)$:

$$W_{\theta_o\theta_1}(p) = \frac{0,047p^2 + 3p - 0,85}{0,047p^2 + 2,163p - 0,985} \quad (5.25)$$

4.6. Перехідні характеристики трубчастої печі за каналами керування та збурення

Перехідні характеристики трубчастої печі за каналами керування і збурення знайдемо як зворотнє перетворення за Лапласом її передатних функцій за цими каналами при одиничній вхідній дії $l(t)$, використовуючи пакет Mathcad: Перехідна характеристика за каналом керування $F_g(p) \rightarrow \Theta_l(p)$:

$$h_{F_g\theta_1}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} W_{F_g\theta_1}(p)\right] \quad (5.26)$$

Перехідна характеристика за каналом збурення $\theta_o(p) \rightarrow \Theta_l(p)$:

$$h_{\theta_o\theta_1}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} W_{\theta_o\theta_1}(p)\right] \quad (5.27)$$

Для каналу завдання – вихід:

$$k := 1.000$$

$$T_d := 1.05710^4$$

$$Wob(p) := \frac{k}{T_d \cdot p + 1}$$

$$hob(t) := \frac{Wob(p)}{p} \Bigg|_{\text{float}, 2}^{\text{invlaplace}, p} \rightarrow -1.0e^{-0.000094 \cdot t} + 1.0$$

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗІ ЗВОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

5.1 Оптимальне керування процесом

5.1.1 Вибір критерію оптимальності

Для вирішення даної задачі оберемо квадратичний критерій, бо дана модель лінійна (штучно створюємо нелінійність).

Нам необхідно підтримувати на певному рівні концентрацію бензинової фракції на виході з печі і при цьому мінімізувати витрату водяної пари. Критерій оптимальності матиме вигляд:

$$I = \frac{1}{2} q (Q - Q_{\text{кін}}^{\text{зд}})^2 + \frac{1}{2} r L^2 \rightarrow \min$$

5.4.1. Виведення необхідних умов оптимальності

$$0.047Q''_1 + 1.86Q'_1 - 0.985Q_1 = 1.87F_g$$

$$\frac{0.047Q''_1}{0.985} + \frac{1.86Q'_1}{0.985} - \frac{0.985Q_1}{0.985} = \frac{1.87F_g}{0.985}$$

Введемо заміну:

$$X'_1 = X_2$$

$$X'_2 = -\frac{1}{0.047}X_1 - \frac{1.86}{0.047}X_2 + \frac{1.87}{0.047}F_g$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{0.047} & -\frac{1.86}{0.047} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 39.787 \end{bmatrix}$$

Та приведемо математичну модель до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{dY_k}{dt} = a_{11}Y_k + a_{12}X_k \\ \frac{dQ_k}{dt} = a_{21}Y_k + a_{22}Q_k + bL \end{cases}$$

Відповідно, маємо:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{-G - 1/2K_{\Gamma}F_{\Gamma}}{V_{\Gamma}/2} & a_{21} &= \frac{1/2K_p F_p H_0}{V_p/2} \\ a_{12} &= \frac{-1/2K_{\Gamma}F_{\Gamma}H_0}{V_{\Gamma}/2} & a_{22} &= \frac{-L + 1/2K_p F_p H_0}{V_p/2} \\ & & b &= \frac{X_k - X_H}{V_p/2} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \frac{dY_k}{dt} = \frac{-G - 1/2K_{\Gamma}F_{\Gamma}}{V_{\Gamma}/2} Y_k + \frac{-1/2K_{\Gamma}F_{\Gamma}H_0}{V_{\Gamma}/2} X_k \\ \frac{dX_k}{dt} = \frac{1/2K_p F_p H_0}{V_p/2} Y_k + \frac{-L + 1/2K_p F_p H_0}{V_p/2} X_k + \frac{X_k - X_H}{V_p/2} L \end{cases}$$

Гамільтоніан матиме вигляд:

$$H = \frac{1}{2} q (Q - Q_{\text{кін}}^{\text{зд}})^2 + \frac{1}{2} r L^2 + \lambda_1 (a_{11}Y_k + a_{12}Q_k) + \lambda_2 (a_{21}Y_k + a_{22}Q_k + bL)$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\lambda_1' = -\frac{\partial H}{\partial Y_k} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21}$$

$$\lambda_2' = -\frac{\partial H}{\partial X_k} = -q(\theta - \theta^{\text{зд}}) - \lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22}$$

$$\frac{\partial H}{\partial L} = rL + b\lambda_2 = 0$$

$$\lambda_1(t_f) = 0$$

$$\lambda_2(t_f) = 0$$

5.4.3 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. 5.4.

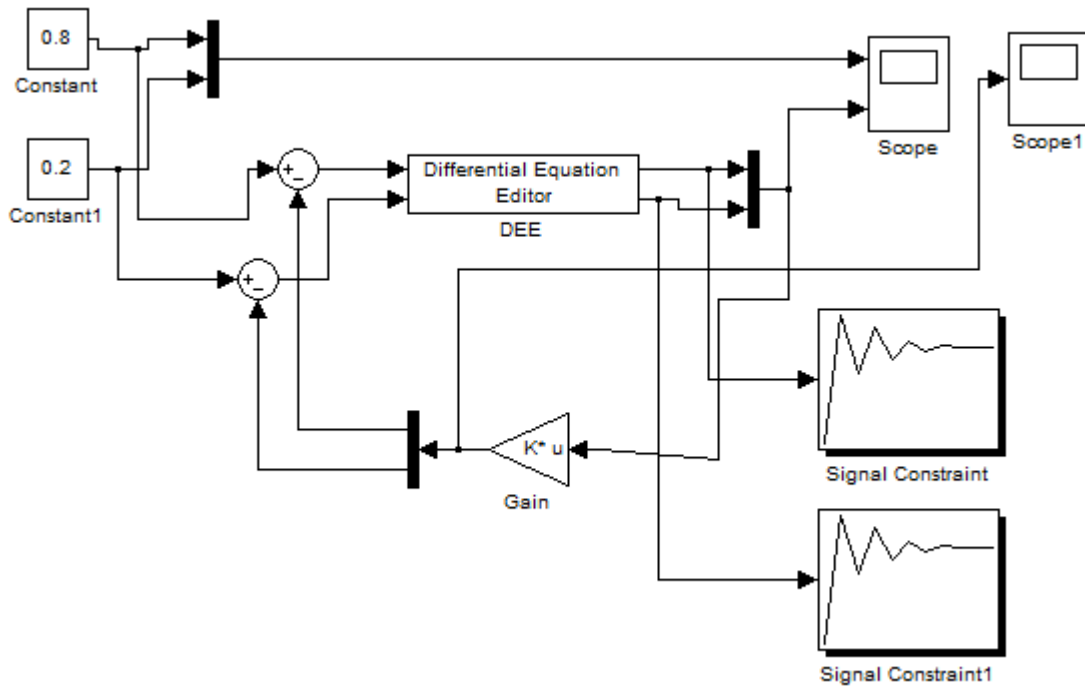


Рис.5.4 – Модель системи в *Simulink*

Виконаємо налаштування моделі об'єкта на базі *Differential Equation Editor (DEE)* – редактор диференціальних рівнянь, для його виклику необхідно ввести команду в командному вікні *MatLab* [5,7]:

```
>> dee
```

та виконати настройку блока, як показано на рис. 5.5.

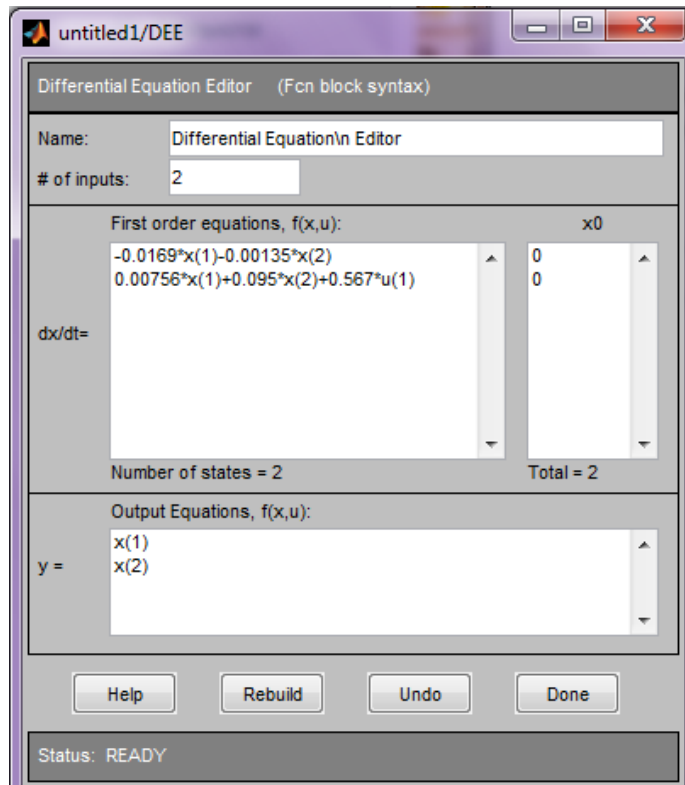


Рис.5.5 – Редактор диференційних рівнянь

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* [5,7].

Введення параметрів, що настраюються показано на рис. 5.6.

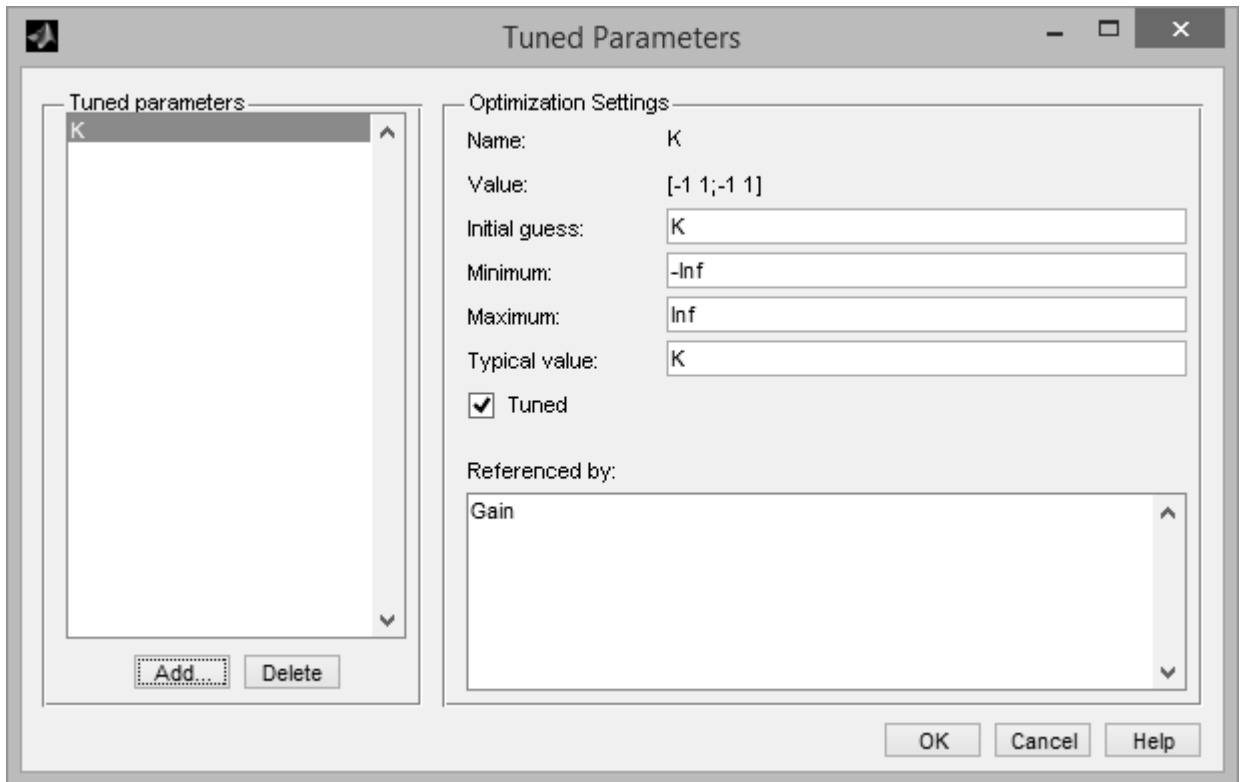


Рис.5.6 – Параметри, що настраюються

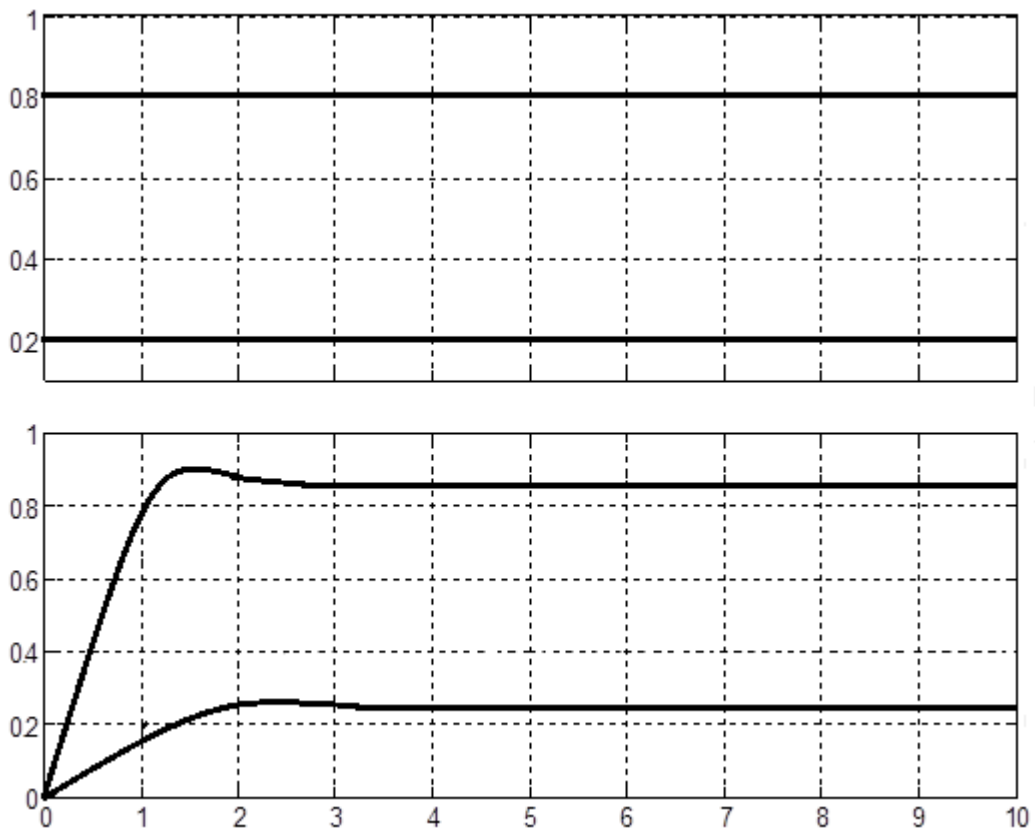


Рис.5.7 – Осцилограми завдання та перехідних процесів

Розрахунок спряженої системи у зворотному часі представлено на рис. 5.8.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0169 & -0,00135 \\ 0,00756 & 0,095 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,567 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$q = 1; r = 1$$

$$TAU = 0,001$$

$$Lam1_{s-1} = Lam1_s - TAU[-a_{11}Lam1_s - a_{12}Lam2_s]$$

$$Lam2_{s-1} = Lam2_s - TAU[-q(X_0 - X_0^{3D})_s - a_{21}Lam2_s - a_{22}Lam2_s]$$

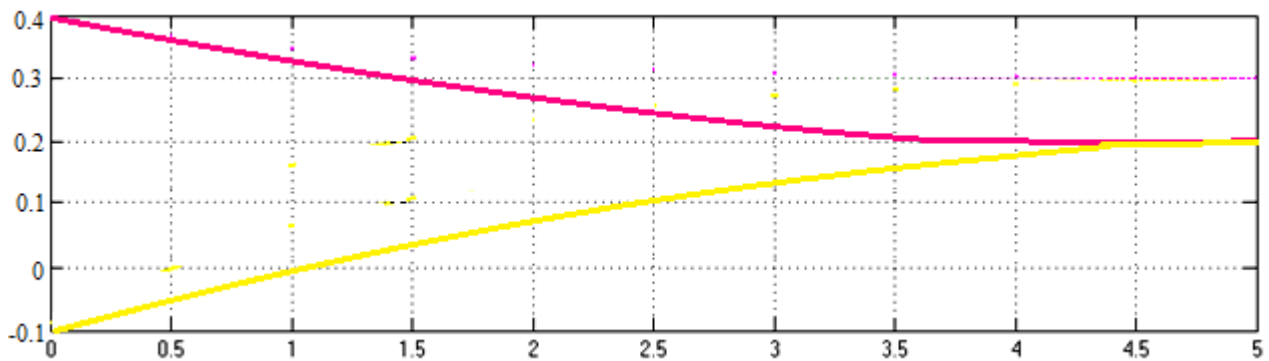


Рис.5.8 – Спряжена система в зворотному часі

Розрахунок вектора оптимального керування представлено на рисунку 5.9.

$$U_s = -r^{-1} \cdot b(Lam2)_s$$

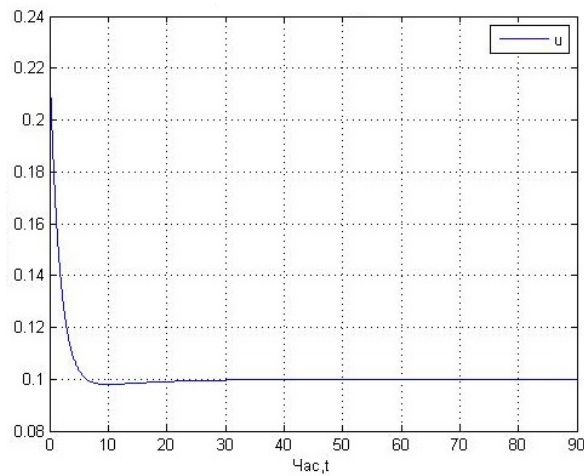


Рис.5.9 – Вектор оптимального керування

5.2. Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком

5.2.1 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора

Структурна схема контуру керування концентрації бензинової фракції на виході з печі представлена на рисунку 5.10.

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

Оптимальний лінійний регулятор:

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

де

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

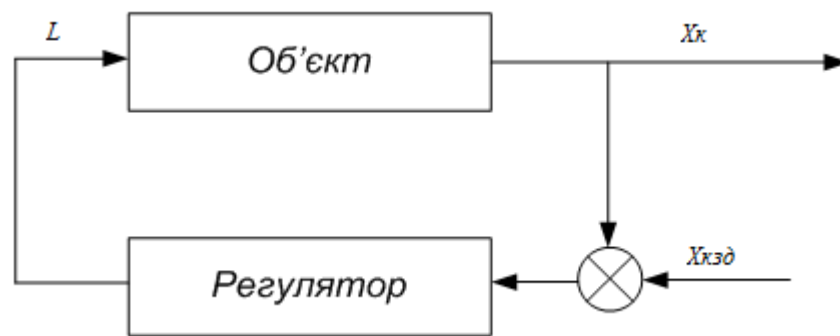


Рис.5.10 – Структурна схема контуру керування

Виведені залежності, визначають 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

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

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 [7].

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

```
function Lin_Reg
disp('Матриця A:')
A = [-0.0169 -0.00135; 0.00756 0.095] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [0.567 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 = [0.1 0.9]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [0.2 0.3]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.1 % Завдання відхилень значень керування
disp('Час спостереження tf:')
tf = 90 % 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)');
legend('x_1','x_2')
% Побудова вектора керування
figure(2)
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); ylabel('Керування, U(t)');
legend('u')

```

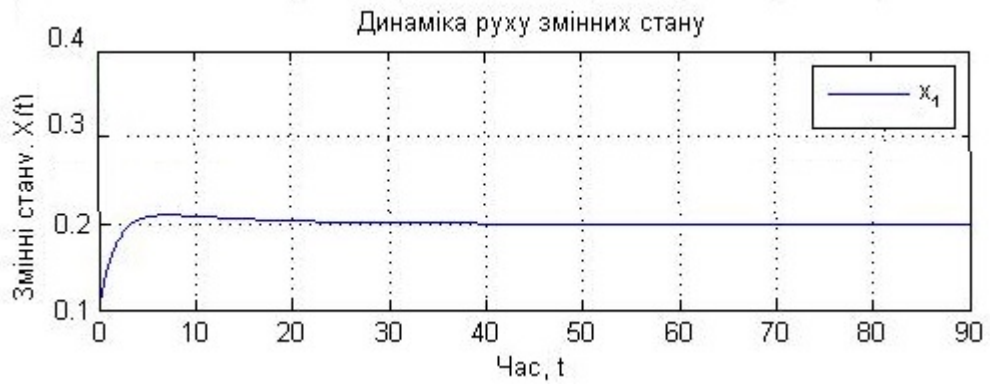


Рис.5.11 – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором

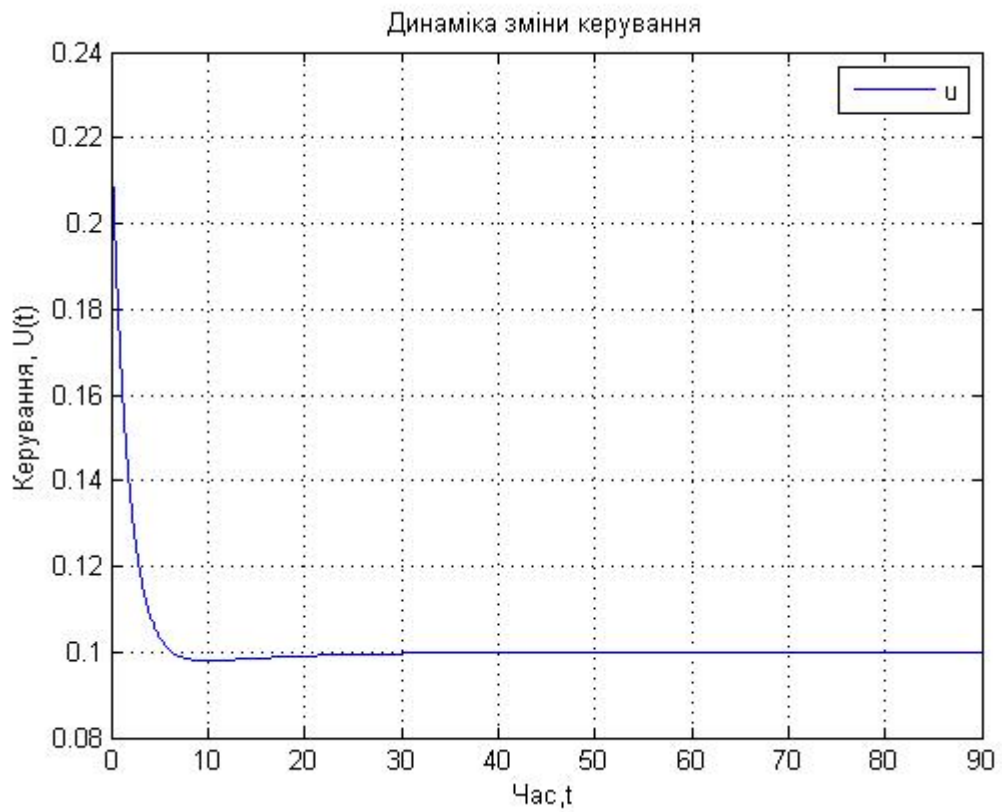


Рис.5.12 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором

5.2.2 Проектування оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою

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

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 мінливих 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 [7].

Якщо порівняти лінійний оптимальний регулятор з інтегральною складовою з звичайним ПІ – регулятором, то результати моделювання свідчать про значні переваги оптимального. Звичайні регулятори характеризуються значним перерегулюванням, в той же час оптимальна система практично не зазнає впливу збурень.

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 = [-0.0169 -0.00135; 0.00756 0.095] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [0.567; 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 = [0.1 0.9]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [0.2 0.3]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.1 % Завдання відхилень значень керування
disp('Час спостереження tf:')
tf = 90 % Завдання часу спостереження
disp('Довжина кроку dt:')
dt = 0.01 % Завдання довжини кроку
disp('Кількість кроків n:')
n = tf/dt
disp('Матриця A1:')
A1 = [zeros(2) eye(2); zeros(2) A] % Формування матриці A1
disp('Матриця B1:')
B1 = [zeros(2,1); B] % Формування матриці B1
disp('Матриця Q1:')
Q1 = [Q zeros(2); zeros(2) zeros(2)] % Формування матриці Q1
[K P E] = lqr(A1,B1,Q1,R,N); % Синтез регулятора
disp('Матриця зворотнього зв'язку:'); K
disp('Розв'язок рівняння Ріккати:'); P
disp('Власні значення замкненої системи:'); E
% Визначення розмірності задачі
SA = size(A); SA = SA(1); SB = size(B); SB = SB(2); SK = size(K); SK = SK(2);

```

```

% Формування векторів x, u та v
x = zeros(SA,n); u = zeros(SB,n-1); v =zeros(SA,n);
% Формування початкового стану
x(:,1) = x0;
% Відокремлення 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)');
legend('x_1')
% Побудова вектора керування
figure(2)
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); ylabel('Керування, U(t)');
legend('u')

```



Рис.5.13 – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

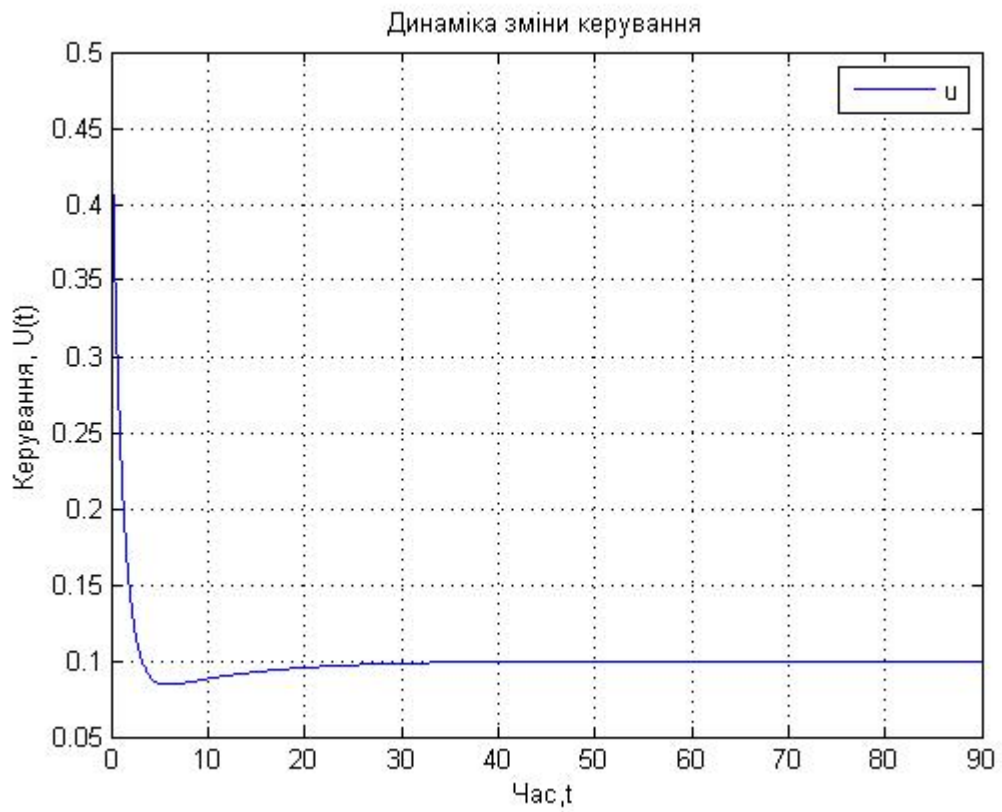


Рис.5.14 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

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

Графіки зміни змінних стану для оптимального керування показано на рисунку 5.15.



Рис.5.15 – Графіки зміни змінних стану

З рис. 4.3.1. видно, що застосування лінійно-квадратичного регулятора для пошуку оптимального керування для системи зі зворотнім зв'язком покращує якість керування.

Графіки зміни керувань показано на рис. 5.16.

З рис. 5.16. видно, що для даної системи кращим є керування за допомогою лінійно-квадратичного регулятора, його й обираємо.

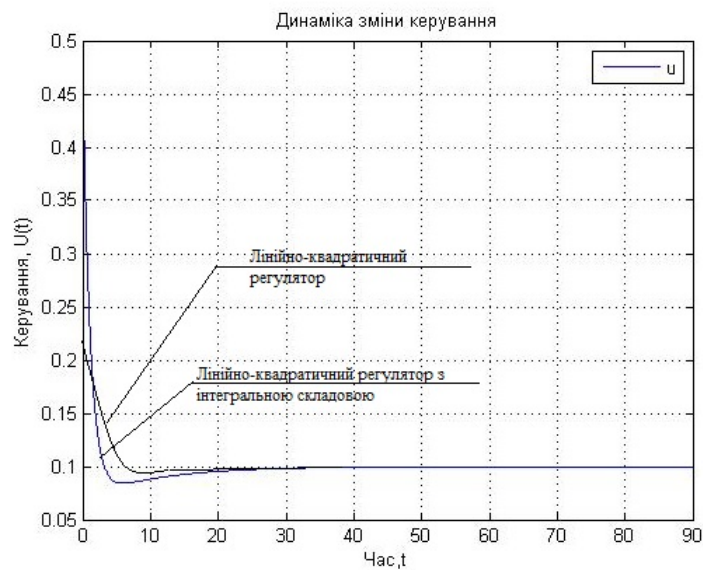


Рис.5.16 – Графіки зміни керувань

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

A = [-0.0169 -0.00135; 0.00756 0.095] ; % Введення матриці A

B = [0.567 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 =	L =	G =	report =
0.0023	-0.5672		
0.0518	-0.0953	1.3062 29.3969	2.7184e-015
0.0518 4.5438			

5.3. 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:

$$I = \frac{1}{2}S_{11}[Yk(t_f) - Yk^{3Д}]^2 + \frac{1}{2}S_{11}[Xk(t_f) - Xk^{3Д}]^2 + t_f$$

Накладемо обмеження на керування F_p :

$$L_{min} \leq L \leq L_{max}$$

$$L_{max} - L \geq 0$$

$$L - L_{min} \geq 0$$

Звідси перепишемо критерій:

$$I = \frac{1}{2}S_{11}[Yk(t_f) - Yk^{3Д}]^2 + \frac{1}{2}S_{22}[Xk(t_f) - Xk^{3Д}]^2 + t_f + \int [Q(L_{max} - L)(L - L_{min})H(g_1g_2)] dt$$

Відповідно функція Гамільтона матиме вигляд:

$$H = Q(L_{max} - L)(L - L_{min})H(g_1g_2) + \lambda_1(a_{11}Yk + a_{12}Xk) + \lambda_2(a_{21}Yk + a_{22}Xk + bL)$$

Запишемо умови оптимальності:

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

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

$$\frac{\partial H}{\partial L} = -2QLH(g_1g_2) + QL_{max}LH(g_1g_2) + QL_{min}LH(g_1g_2) + \lambda_2 b$$

$$\lambda_1(t_f) = S_{11}(Yk(t_f) - Yk^{3Д})$$

$$\lambda_2(t_f) = S_{22}(Xk(t_f) - Xk^{3Д})$$

$$\frac{\partial I}{\partial t_f} = 1 + S_{11}(Yk(t_f) - Yk^{3Д})Yk'(t_f) + S_{22}(Xk(t_f) - Xk^{3Д})Xk'(t_f) +$$

$$+Q(L_{max} - L)(L - L_{min})H(g_1g_2) = 0$$

Після обчислень знайдемо час переключення τ_s та побудуємо графік лінії переключення. Загальний вигляд графіку наведено на рис. 5.17.

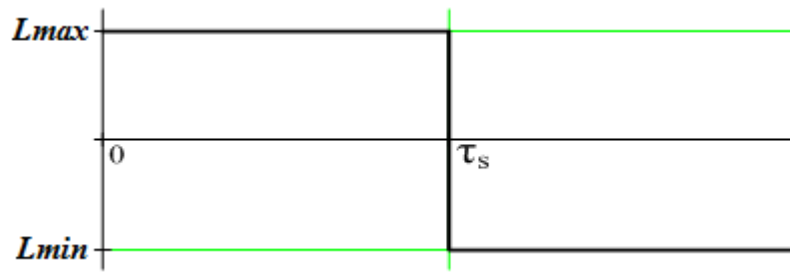


Рис.5.17 – Загальний графік лінії переключення

Де час переключення розраховується за формулою:

$$\tau_s = -\frac{\lambda_2(t_f)}{\lambda_1(t_f)} = -\frac{S_{22}(Xk(t_f) - Xk^{3A})}{S_{11}(Yk(t_f) - Yk^{3A})}$$

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. 5.18).

$$S_{11} = 0.0001$$

$$S_{22} = 0.0001$$

$$Q = 1$$

$$N = 90$$

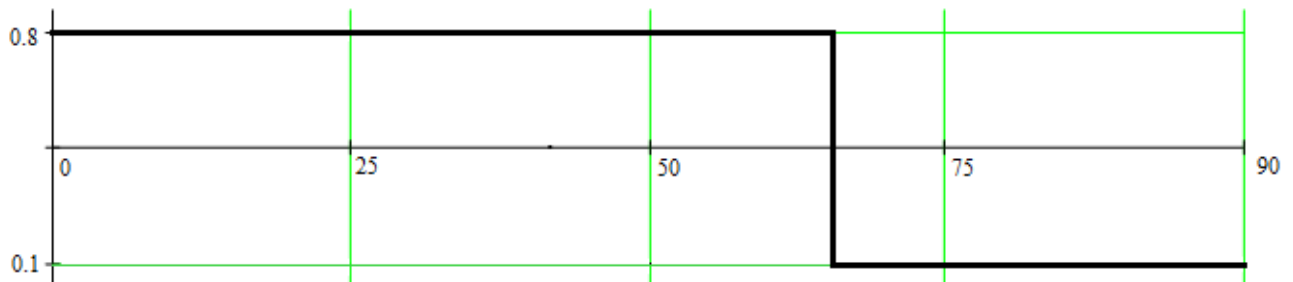


Рис.5.18 – Графік лінії переключення

В результаті виконання програми було отримано, що час переключення повинен становити 67.

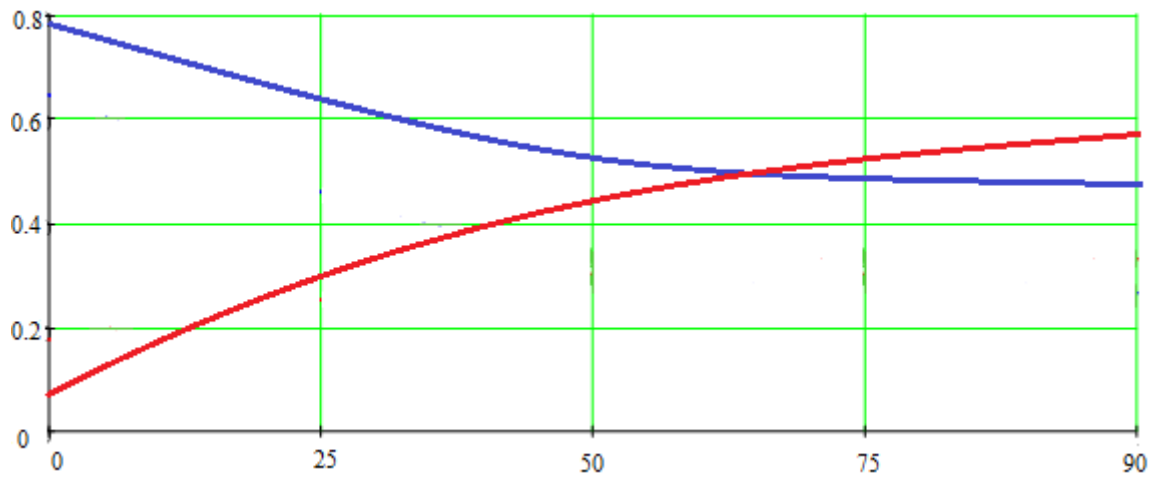


Рис.5.19 – Графік зміни змінних стану до переключення

Після 90 секунд система не вийшла на заданий рівень, отже переключення необхідно скорегувати, розрахувавши спряжену систему.

В момент переключення змінні стану мали такі значення:

$$Y_k = 0.48 \%$$

$$X_k = 0.57 \%$$

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

$$Y_k = 0.2 \%$$

$$X_k = 0.8 \%$$

Графіки змінних стану представлені на рисунку 5.20.

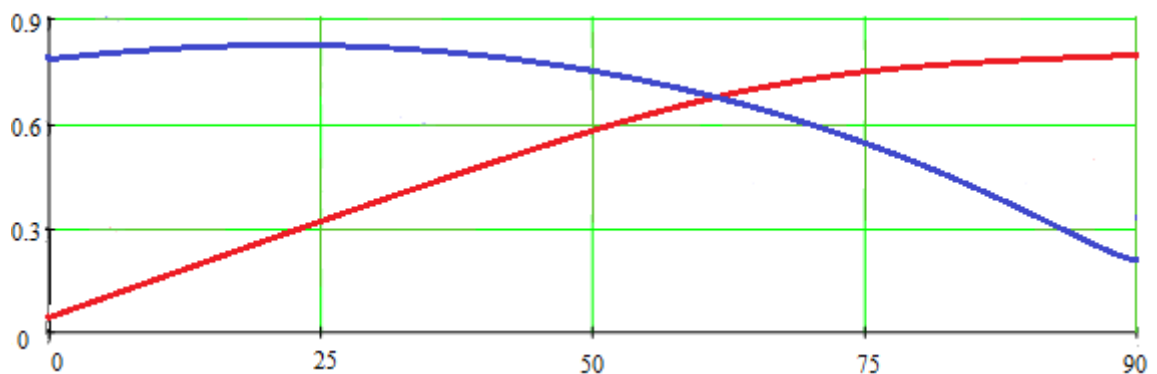


Рис.5.20 – Графік зміни змінних стану після переключення

Кінцева лінія переключення зображена на рисунку 5.21.

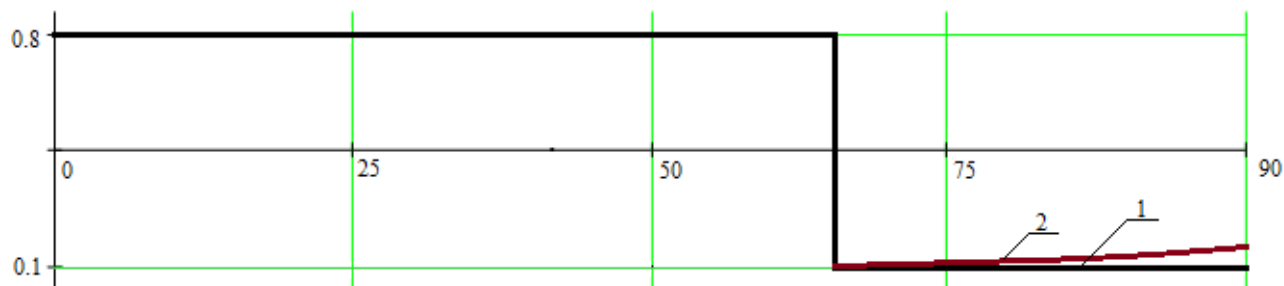


Рис.5.21 – Графіки ліній переключення без розрахунку спряженої системи (1)
і з розрахунком спряженої системи (2)

5.4 Схема автоматизації процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

5.4.1 Контури контролю технологічних параметрів

Для нормальної роботи усього технологічного устаткування, мінімізації можливих людських помилок, збільшення продуктивності, підвищення якості продукту, стабілізації, контролю та реєстрації технологічних параметрів розроблено схему автоматизації, яка покликана вирішувати всі ці завдання. Схема автоматизації включає низку контурів автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу.

Схема автоматичного контролю процесу деасфальтизації гудрону за допомогою бензину містить ряд контурів контролю і сигналізації витрати, рівня, концентрації та температури [6]. Нижче подано короткий опис кожного з них (таблиця 5.2).

Таблиця 5.4. Опис контурів схеми автоматизації

Номер контуру	Наявність сигналізації	Параметр, що контролюється	ТЗА
1	2	3	4
1	-	Витрата деасфальтизату	(1-1) – діафрагма камерна ДКС; (1-2) – дифманометр; (1-3) – прилад вторинний

			пневматичний, показувальний, реєструвальний
2	+	Витрата гудрону	(2-1) – діафрагма камерна ДКС; (2-2) – дифманометр тензометричний; (2-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; HL1, HL2 – лампи електричні сигнальні жовтого кольору
3	+	Температура в трубчастій печі на виході	(3-1) – термоперетворювач опору; (3-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; (3-3) – перетворювач нормувальний одноканальний; HL3, HL4 – лампи електричні сигнальні жовтого кольору

Продовження табл.5.2.

1	2	3	4
4	-	Рівень гудрону в трубчастій печі	(4-1) – рівнемір радарний вибухозахищений; (4-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад
5	-	Температура	(5-1) – термоперетворювач

		бензинових фракцій на вході в піч	опору; (5-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; (5-3) – перетворювач нормувальний одноканальний; HL3, HL4 – лампи електричні сигнальні жовтого кольору
--	--	-----------------------------------	--

6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

6.1 Вступ до розроблення стартап – проекту

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 ко-рпорацій, які успішно використовують уже наявні продукти, а розробкою і створенням нових майже не займаються. Тому стартапи, завдяки своїй мобі-льності 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 біжить 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.

6.2 Опис ідеї стартап-проекта

Автоматизація технологічних процесів є ключовою ланкою у загальній системі функціонування будь-якого хімічного виробництва. Сучасна автоматизація – це не лише персональні комп'ютери, контролери, промислові мережі, а і, звичайно ж, програмне забезпечення. Основною проблемою на більшості виробництв України і світу, які навіть оснащені найдорожчими і найточнішими пристроями є складні процеси та проблема їх аналізу та представлення для швидкого та якісного прийняття рішень.

Основною ідеєю стартап проекту є створення онлайн стрімінгової системи аналітики(OLAP) для підприємства, в частковому випадку – для виробництва деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу та пов'язання цих даних з відкритими даними, які знаходяться на ринку.

Можливість застосування таких систем буде у будь-якого хімічного виробництва (і не лише).

На сьогоднішній день відкритих рішень такого типу немає – існують лише закриті корпоративні рішення, які коштують дуже дорого. Ті що відкриті – не мають спрямування на підприємства.

Реалізація такої системи розглядається для виробництва деасфальтизації гудрону, оскільки комерційними даними підприємства ми не володіємо буде розглянуто лише на прикладі відкритих даних, які можуть нас цікавити. Проте інтегрувати дане рішення з комерційними даними – достатньо просто.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї проету

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Сервіс по онлайн аналітиці в реальному часі базуючись на відкритих даних	Бюджетування	Економія коштів підприємства
	Планування	
	Аналіз ринку	Розширення ринку збуту

6.3 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Визначимо перелік слабких (W), сильних (S) та нейтральних характеристик (N) та властивостей ідеї проекту для формування його конкурентоспроможності. Для цього використаємо стандарту таблицю для типового WSN аналізу.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних сторін стартап проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Застосування систем в будь-якій сфері виробництва							+
2.	Отримання реальних даних з «полів»							+
3.	Застосування для оперативного планування бюджету						+	
4.	Застосування для оперативного планування продаж							+

6.4. Технологічний аудит проекту

Для того, щоб зрозуміти, як реалізувати ідею технічно нам необхідно провести технологічний аудит проекту за стандартними техніками – для початку цього буде достатньо. Основною ідеєю є розробка сервіса онлайн аналітики, а тому, будемо шукати схожі технології, які дозволять нам вирішити дану задачу.

Таблиця 6.3 – Технічний аудит проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Сервіс по онлайн аналітиці в реальному часі базуючись на відкритих даних	Використання ВІ модулю superset: (apache/superset)	Так, необхідне допрацювання	Так
2	Сервіс по онлайн аналітиці в реальному часі базуючись на відкритих даних	Використання QlikView/Sense	Так	Частково
3	Сервіс по онлайн аналітиці в реальному	Використання платформи Tableau	Так	Ні

	часі базуючись на відкритих даних			
--	--	--	--	--

Виходячи з проаналізованих даних було обрано технологічне рішення на якому буде базуватись наше рішення: apache superset: оскільки воно є безкоштовним і достатньо гнучим для доробок. Також воно є найдоступнішим

6.5. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики та формуємо орієнтовний перелік вимог до рекупераційних систем, як товару для кожної групи (табл. 6.4).

Таблиця 6.4. – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп	Вимоги споживачів до товару
-------	--------------------------	--	--	-----------------------------

1.	Базова потреба, яку задовольняє товар (згідно концепції потенційного товару)	Визначити потенційні цільові групи клієнтів, що можуть бути зацікавлені у задоволенні означеної потреби	Вписати фактори, що формують поведінку клієнта (стандарти, технічні регламенти, інші фактори цінового та нецінового характеру) та особливості купівлі та експлуатації	- до продукції - до компанії-постачальника
2.	Необхідність швидкого реагування на зміну ринку	Виробництва, підприємці	Фінансовий план	Отримання даних в реальному часі.
3.	Необхідність ефективного планування бюджету	Виробництва, підприємці	Фінансовий план, ISA-95	Отримання даних для прийняття рішень
4.	Створення централізованої системи для аналітики	Виробництва, підприємці	ISA-95, ДСТУ	Швидкий доступ до всіх даних підприємства

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища з використання аналітичних систем. Тому складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Фактори загроз

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

1.	Спад виробництва в галузях господарства	Нема потреби у продукті	
2.	Економічне відкриття кордонів	Прихід нових технологій	Використання нових технологій
3.	Зростання інфляції	Падіння платоспроможності в тому числі і підприємств з якими співпрацюємо	Гнучке ціноутворення, планування

Таблиця 6.6 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Політика протекціонізму	Захист вітчизняного виробника внаслідок чого буде розвиватися галузь споживача стартапу.	Залучення у коло споживачів споріднених галузей
2.	Стимулювання розвитку інноваційного підприємництва	Зменшення податкового тиску на стартап.	Масштабування стартапу

Проводимо аналіз (табл. 6.7.) пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку з використання рекупераційних систем.

Таблиця 6.7 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути
Тип конкуренції	Монополістична конкуренція	Конкуренція, ринкова ситуація, за якої відносно велика кількість невеликих виробників пропонують схожу але не ідентичну продукцію.
Рівень конкурентної боротьби	Національний рівень	Національна конкуренція і конкурентоспроможність окремих фірм, підприємств і організацій відбувається і проявляється на національному
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Застосування аналітичних систем можливе на будь-яких підприємствах
Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція	Відстеження тенденцій на ринку з можливістю появи на ринку продуктів-замінників.
За характером конкурентних переваг	Цінова	Гнучке ціноутворення з урахуванням динаміки попиту. Удосконалення технології, що спрямована на підвищення базових переваг.
За інтенсивністю - марочна/не марочна	Немарочна	Забезпечення масштабованості стартапу в найближчій перспективі для створення стійкого сприйняття стартапу як окремої бізнес одиниці.

Проводимо оцінку привабливості стратегічної зони господарювання (СЗГ) стартапу із застосуванням методу Дельфі. На першому етапі була проведена оцінка зміни в прогнозованому збільшенні стратегічної зони господарювання (G) методом Дельфі (табл. 6.8).

Таблиця 6.8 – Аналіз зміни в прогнозованому збільшенні СЗГ (G)

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

На другому етапі проведено оцінку прогнозованих тенденцій зміни рентабельності СЗГ (Р) (табл. 6.9)

Таблиця 6.9 – Аналіз оцінки змін рентабельності СЗГ (Р)

Параметри	Шкала інтенсивності											
	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	
1. Темп збільшення галузі												●
2. Приріст числа споживачів								●				
3. Динаміка розширення ринку								●				
4. Ступінь оновлення продукції												
5. Ступінь оновлення технології							●					
6. Рівень насичення попиту												●
7. Суспільне сприйняття товару												
8. Державне регулювання збільшення												
9. Збільшення числа конкурентів												
10. Ступінь застарівання продукції												
Загальна оцінка змін рентабельності на перспективу	+17											

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

Таблиця 6.10– Оцінка зовнішніх погроз і можливостей для підприємства

Група чинників	Чинники	Значущість групи чинників	Значущість чинника в групі	Оцінка чинника	Зважена оцінка	
					загрози	можливості
1	2	3	4	5	6	7
1. Економічні	Темпи інфляції	2,8	0,14	4		1,7
	Стабільність курсу Гривни		0,39	3		2,55
	Тарифи на транспорт і енергоресурси		0,21	-3	-1,675	
	Податкові ставки		0,23	-2	-1	
2. Політичні	Державне регулювання ринків	0,8	0,2	4		0,48
	Інвестиційна політика		0,32	3		0,56
	Політична Стабільність		0,19	-3	-0,38	
	Законодавча база для регулювання підприємницької Діяльності		0,27	0	0	
3. Ринкові	Інтенсивність Конкуренції	1,6	0,14	2		0,59
	Ціни на чинники виробництва		0,26	1		0,38
	Укладення прямих договорів		0,45	-4	-2,45	
	Динаміка попиту і пропозиції		0,16	3		0,64
4. Чинники конкуренції	Агресивність конкуренції	1,9	0,38	4		2,1
	Тенденції зміни числа конкурентів		0,49	-3	-2,035	
	Переваги лідерів галузі		0,22	3		0,8
5. Виробничо-технологічні	Стан виробництва	2,8	0,23	-2	-1,15	
	Можливість нових технологічних		0,36	1		0,8
	Рівень технології конкурентів		0,19	3		1,376
	Доступність ресурсів		0,32	-2	-1,53	
6. Соціальні	Соціальна напруженість в галузі	1,5	0,35	2		1,05
			0,27	4		1,62
	Підвищення кваліфікації кадрів		0,38	-2	-1,14	

	Юридичні обмеження в бізнесі					
	Підсумкова оцінка	11,4	-	-	-11,36	14,646

На підставі отриманих результатів розраховано значення привабливості СЗГ за формулою:

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

$$\text{де } \alpha = 0.4, \beta = 0.3, \gamma = 0.3;$$

G - зміни в прогнозованому збільшенні СЗГ;

P - зміни в рентабельності СЗГ;

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

$$\text{Привабливість СЗГ} = 0,4 \cdot 10 + 0,3 \cdot 17 + 0,3 \cdot (14,646 - 11,36) = 10,0858.$$

На четвертому етапі оцінюємо (табл. 6.11) рівень привабливості за відповідною шкалою.

Таблиця 6.11 – Шкала оцінювання привабливості СЗГ

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

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

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 6.5.9).

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

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

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження про-екту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 6.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на осно-ві аналізу факторів загроз та факторів можливостей марке-тингового середо-вища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 6.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• контроль за здійсненням витрат, пошук можливостей щодо їхнього зниження;• інвестиційна привабливість підприємства;• зважена цінова політика;• врахування потреб споживачів.	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• частка ринку;• результативність рекламної політики;• організація системи комунікацій.
--	---

<p><i>Можливості:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • зростання грошових доходів населення; • застосування сучасних технологій організації товароруху; • впровадження різних форм організації 	<p><i>Загрози:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • недосконалість та змінюваність законодавства; • інфляційні процеси; • високий рівень безробіття.
---	---

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

Визначені альтернативи аналізуються (табл. 6.13) з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

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

Обрано стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу

6.6. Розроблення ринкової стратегії

Розроблення ринкової стратегії (табл. 6.14) передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи	Готовність споживача прийняти продукт	Орієнтовний попит	Інтесивність конкуренції	Простота входу у сегмент
1	Виробництво(продавець)	Готові	Високий	Середня	Низька
2	Виробництво(покупець)	Готові	Високий	Висока	Низька
3	Моніторингові групи	Готові	Середній	Висока	Висока

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

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

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи
--------------------------------------	---------------------------	--

<p>Стратегія диференціації</p>	<p>Ринкове позиціонування</p>	<ul style="list-style-type: none">• по відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь заміності 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;• підвищена рентабельність збільшує стійкість до можливого зростання витрат в результаті дій сильного постачальника;• відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників.
--------------------------------	-------------------------------	---

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

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо страте-гію позиціонування (табл. 6.16), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 6.16 – Визначення стратегії позиціонування

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

6.7 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції до товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.17 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує Товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Необхідність швидкого реагування на зміну ринку	Аналітика в реальному часі	Можливість аналітики в реальному часі
	Всі дані в одному місці	Всі дані зберігаються в одній БД
	Оцінка роботи підприємства	Можливість оцінити якість підприємства
	Оцінка планування	Можливість гнучкого планування

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.18), що спирається на попередню обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів.

Таблиця 6.18 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1.	Обережний вибір потенційних контрагентів, що зумовлено особливістю ринку	Інтернет-розсилки	Технологія	Привернути увагу до систем з аналітикою в
2.		Контекстна реклама	Технологія	

3.	з використання Інформаційних технологій	Спеціалізовані виставки, форуми	Технологія	реальному часі
----	---	------------------------------------	------------	----------------

6.8 Реалізація рішення

Рішення було реалізовано за допомогою фреймворку superset. Виглядає воно наступним чином. Для цього була проведена процедура отримання даних з прикладного програмного інтерфейсу та інтегрування її в три існуючі бази даних. Приклади отриманих результатів наведені нижче.

Аналіз середнього чеку по сегментам постачальників підприємства наведений на Рис 6.8.1

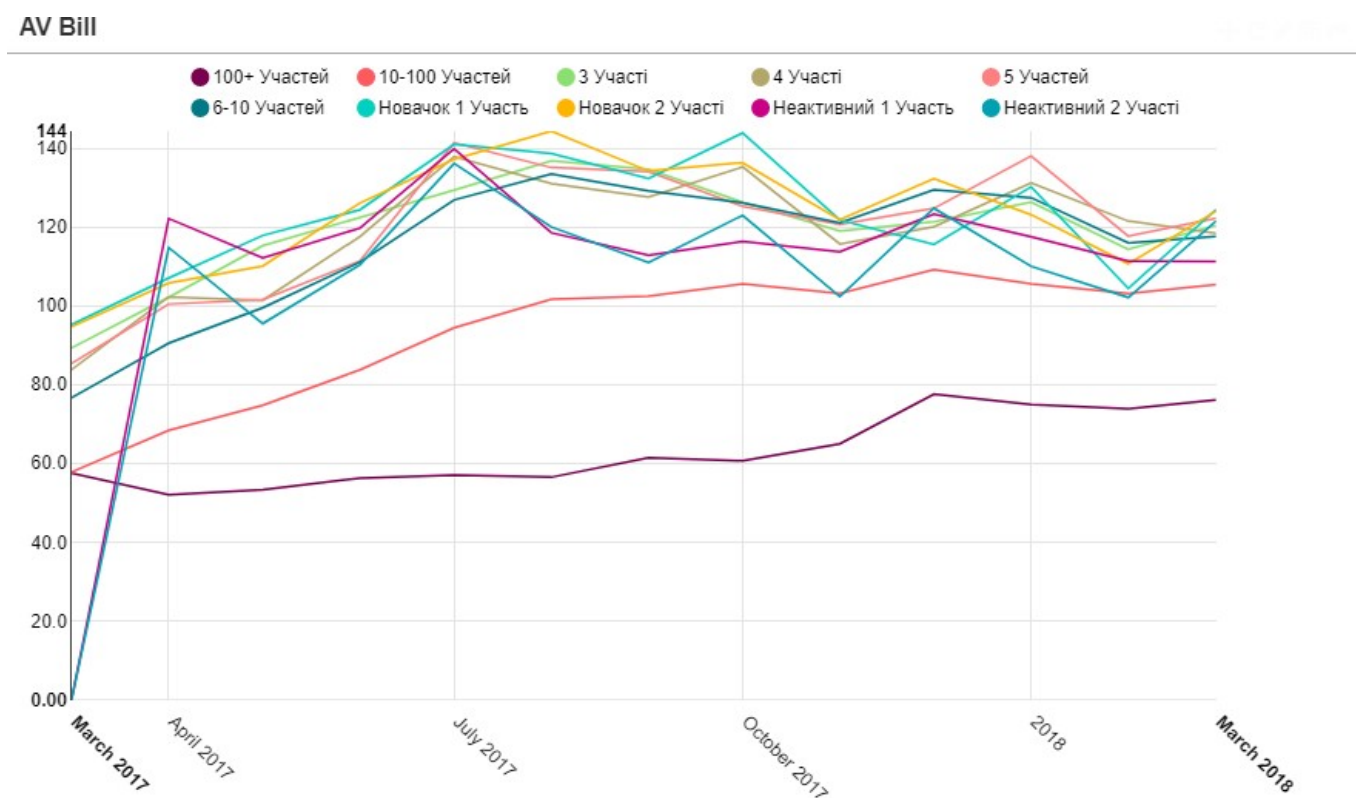


Рис 6.8.1 – Аналіз середнього чеку по сегментам постачальників підприємства

Динаміка клієнтської бази

Баланс

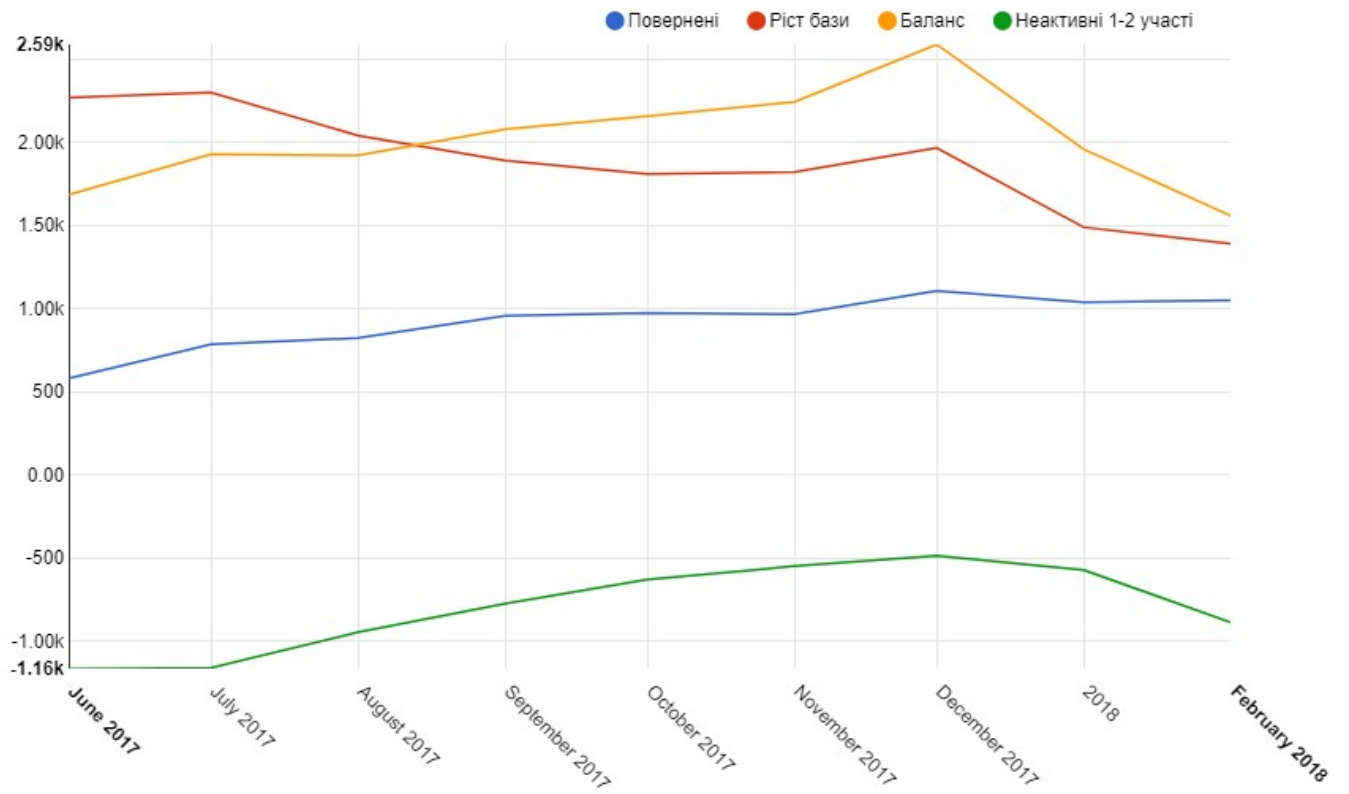


Рис 6.8.2 – Динаміка клієнтської бази

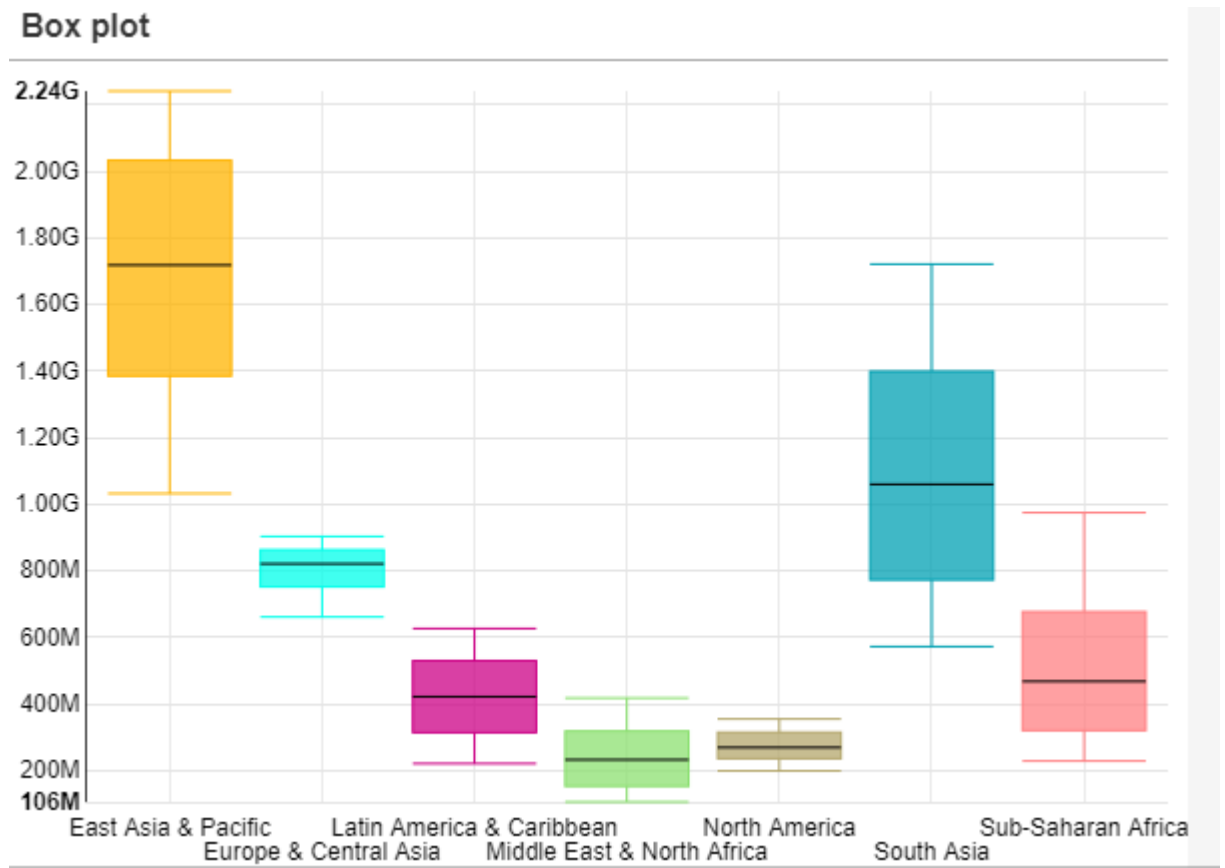


Рис 6.8.3 – Розподіл постачальників в грн

6.9 Висновки

Переглянувши всі позитивні і негативні риси аналітичних систем для технологічних процесів, можемо зробити висновок, що представлена ідея є актуальною та цілком адекватною для застосування. Технологія є доступною в плані ціни та застосування на власних підприємствах чи устано-вах.

Оскільки ринок монополістична конкуренція, то бар'єри входу на ринок – високі. Найважливіша конкуренція високої концентрації середнього рівня інтенсивності. Для ринкової реалізації проекту обрано стратегію диференційованого маркетингу, яка передбачає чітку ідентифікацію окремих сегментів, з якими планує взаємодіяти стартап, зокрема це галузі хімічного виробництва, та й в цілому будь-яке підприємство. Доцільна подальша імплементація проекту.

Розвиток запропонованого стартап-проекту буде пов'язаний з можливістю інтенсифікації економічного розвитку в Україні, бо життєздатність стартап

визначатиметься темпами зростання хімічної промисловості та споріднених галузей, де необхідний моніторинг та управління процесами в апаратах.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської дисертації було розглянуто технологічний процес деасфальтизації гудрону. Темою роботи була «Автоматизація процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу».

Для конденсатор-холодильник було створено математичну модель, статичного та динамічного режимів роботи, було визначено, що для цього об'єкта керування, найбільше підходить метод налаштування регулятора – «перехідного режиму». Отримано передаточну функцію по каналі «температура суміші на вході – витрата палива» Було розроблено схему аварійного захисту електродвигунів та принципово- електричну схему, налаштоване дистанційне керування електроприводу, реалізована сигналізація, блокування та захист.

Також було досліджено, оптимізацію технологічного об'єкта керування, а саме оптимізацію трубчастої печі і було досліджено оптимальне керування процесом, і з графіків було видно, що для даної системи кращим є керування за допомогою лінійно – квадратичного регулятора.

Синтезували аналогову та цифрову систему керування з ПІ-регулятором. Після аналізу якості показників перехідних процесів в системі з ПІ-регулятором, було зроблено рекомендацію по його застосуванні. Всі результати досліджень були показані на графіках.

В ході виконання магістерської дисертації та оформленні проектної документації було застосовано такі програмні середовища: MATLAB, MS Office, MS Visio, MathCad.

Список використаної літератури

1. **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. 64–71.2. Грищенко А.З., Автоматическое управление в производстве химических волокон. – М.: Химия, 1975. – 296 с.
3. **Юкельсон И. И.** Технология основного органического синтеза. – М.: Химия, 1989. – 368 с. : ил. – Библиогр.: с. 60–65. – 60 пр.
4. Общая химическая технология: учебное пособие: в 2 ч. / К.В. Брянкин, Н.П. Утробин, В.С. Орехов, Т.П. Дьячкова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 2 – 172 с.
5. **Іванов А. О.** Теорія автоматичного керування: Підручник. / А. О. Іванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
6. **Лукінюк М. В.**, Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2007. – 436 с.
7. **Лукінюк М. В.**, Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології» – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
8. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг.ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28с
9. **Кубрак А.И.** Идентификация динамических характеристик элементов систем управления. К.: ИСДО, 1995. — 208 с.
10. **Шевяков А.А.**, Яковлева Р.В. Инженерные методы расчета теплообменных аппаратов - М: Машиностроение, 1968. - 320 с.

11. **Архипов Г.В.** Автоматическое регулирование поверхностных теплообменников. – М.: Энергия, 1971. – 304с.
12. **Голубятников В.А., Шувалов В.В.** Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

Додаток Д1

Таблиця 1 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та технічна характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ								
1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2, 6-2, 7-2, 8-2, 9-2, 10-2	— "	— " —	— " —	По місцю	Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також вихідні сигнали ТП НСХ <i>B, K, L, S, R</i> .	БПО-32	5	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
15-1, 16-1, 17-1, 18-1, 19-1 20-1	Витрата сировини	Вхідний трубопровід з потоком сировини	— " —	По місцю	Витратомір електромагнітний Тиск: 0.05-4МПа; Температура : від -29 ⁰ С до 180 ⁰ С; Вихідний сигнал: 4-20 мА Похибка вимірювання: 0.5%.	Optimass 7000	8	м. Київ, вул. Васильківська 1 офіс 210, «КА-НЕКС КРОНЕ»
1-3, 2-3, 3-3, 4-3, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-3, 11-3, 12-3, 13-3, 14-3, 15-3, 16-3, 17-3, 18-3, 19-3, 20-3	— "	— " —	— " —	Пульт керування	ПД-регулятор мікропроцесорний, плата комутації КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20мА	МИК-21	21	ТОВ «Микрол», м. Івано-Франківськ

11-2, 12-2, 13-2, 14-2, 15-2, 16-2, 17-2, 18-2, 19-2, 20-2	— "	— " —	— " —	По місцю	Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також вихідні сигнали ТП НСХ <i>B,K,L,S,R</i> .	БПО-32	8	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
1-4, 2-4, 3-4, 4-4, 5-4 6-4, 7-4, 8-4, 9-4, 10-4, 11-4, 12-4, 13-4 14-4 15-4, 16-4, 17-4, 20-4,	— "	Трубопровід	-	Щит керування	Мікропроцесорний регулятор Період вимірювання: 0.1 сек; Вхідний сигнал: 4-20 мА; Температура навколишнього середовища: від -40°C до 70°C; Вихідний сигнал: аналоговий 4-20 мА та 4-и дискретних; Похибка вимірювання: 0.2% Напруга живлення: 220В	БУ-18	18	Remit Смурфит Каппа с.р.о. Жимровиуе Чеська республіка
1-5, 2-5, 3-5, 4-5, 5-5 6-5, 7-5, 8-5, 9-5, 10-5, 11-5, 12-5, 13-5, 14-5, 15-5, 16-5,	— "	Трубопровід	-	По місцю	Перетворювач електричного сигналу в пневматичний сигнал, АП1= 4...20 мА / 0,2...1,0 кг/см ² , вихідний тиск – 20...100 кПа	ЭПП-300	17	м. Київ, вул. проспект Возз'єднання 15, офіс 803 ООО «СОФТЕК»
1-6, 2-6, 3-6, 4-6, 5-6 6-6 7-6,	— "	— " —	— " —	Трубопровід	Клапан пневматичний Робоча температура - 10°C до 400°C;	8С	14	ТОВ „ІТО” м. Біла Церква

8-6, 9-6, 10-6, 11-6, 12-6, 13-6, 14-6, 15-6, 16-6,					Матеріал: 1.06196P2406H; Ущільнення метал по металу; Клас герметичності IV (<0,01%kvs) $P_{жив}=0,05$ МПа			
21-1 22-1, 23-1, 24-1, 25-1, 26-1, 27-1 28-1, 29-1,	Тиск	Трубопрові д	8 атм	По місцю	Пневмоелектрични й перетворювач ПЕП-11 Вхідний сигнал: 0- 200кПа; Вихідний сигнал: аналоговий 4-20 мА; Напруга живлення: 24В, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; $I_{вих} = 0...5$ мА	ПЕП- 11	11	МИКРОЛ м. Івано- Франківськ
17-3, 18-3, 19-3, 20-3	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит ке- рування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад {із блоком добування квадратного кореня} {з пристроєм сигналізації}; вхідні сигнали: 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ пе- ретворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК- 300П	6	ВАТ «Гортехинвес т», м. Харків
1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1	Темпера тура	Трубопрові д	200-210°C	По місцю	Клапан пневматичний Робоча температура - 10°C до 520°C; Матеріал: 1.06196P2406H; Ущільнення метал по металу; Клас герметичності IV (<0,01%kvs); $P_y=10$ МПа;	БПО- 32	7	МИКРОЛ м. Івано- Франківськ

					вихідний сигнал 4...20 мА, інер- ційність 10 с; клас В			
7-1, 8-1, 9-1, 10-1, 11-1 12-1 13-1 14-1	Рівень	Трубопрові д	-	По місцю	Вимірювач рівня Ultra Meter (Ультра Метер) Температура: від -20 ⁰ С до 135 ⁰ С; Вихідний сигнал: 4- 20 мА та релейний контакт; Точність: 1% від діапазону вимірювання.	UM-T- PB	10	KSB KUEBLER Представники в Україні ТОВ „ІТО” м. Біла Церква

ЕЛЕКТРОПАРАТИ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SB1 ... SB18	Підключення або відключення МП	— " —	— " —	Щит керування	Кулачковий перемикач ланцюга живлення	4G2 5- 10- US5 - R11 2	1 7	м. Івано- Франківськ , вул. Красівськ ого, 20
SA1 ... SA9	Вмикання, вимикання живлення елек тродвигуна	— " —	— " —	По місцю	Кнопка управління, типу АСКО, червона «Стоп», зелена «Старт»	XB2 - BA3 1 XB2 - BA4 2	7	м. Київ, вул. Магнітогор ська 1а, «ТЕХНОТ ОН»
МП1 ... МП9	Вмикання або вимикання живлення електродвигуна	Насос потоку сировини	380 В, 10 кВт	По місцю	Магнітний пускач, робочій струм 23 А, допустима потужність електродвигуна 10кВт, живлення 380 В, з тепловим реле ТРН-8	ПМ Е- 222	1 1	м. Київ вул. Магнітогор ська 1а «ТЕХНОТ ОН»
HL1 ...HL 44	Сигналізація з вмикання, вимикання живлення	— " —	220 В	Щит керування	Лампа «червона», «зелена», потуж- ність 40 Вт, 220 В, світ- ловий потік 415 лм, рабо- чий час 1000 годин, тип цоколю E27/27	B21 5- 225- 40	3 8	м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА »

Додаток Д2

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦІЇ ГУДРОНУ ДЛЯ УСТАНОВОК КРЕКІНГУ ТА ГІДРОКРЕКІНГУ

2.1 Автоматизація виробничих процесів

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.

Автоматизацією називається галузь науки й техніки, що охоплює теорію й принципи побудови систем керування, а також сукупність технічних засобів для їхньої реалізації. Під автоматизацією мається на увазі комплекс організаційно-технічних заходів, що приводить до зменшення або повного виключення участі людини в здійсненні виробничого процесу.

Нашою метою було розробити схему автоматизації процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу на основі опису процесу та технологічних параметрів для досягнення ефективного функціонування апаратів у процесі, та забезпечення автоматизованого управління процесом, а також для запобігання можливого виникнення аварійних ситуацій у ході процесу, для чого в схемі автоматизації буде запропоновано систему аварійного захисту та технологічних блокувань.

2.2 Розроблення схеми автоматичного регулювання процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу

Схема автоматизації технологічного процесу деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу включає системи технологічного контролю за технологічними параметрами, системи автоматичного регулювання технологічних параметрів, системи технологічної сигналізації та захисту, системи дистанційного керування виконавчими механізмами, систему контролю наявності полум'я.

Призначення системи автоматичного регулювання полягає в забезпеченні стабілізації якості деасфальтизації гудрону й зниження витрати вихідних реагентів при заданій продуктивності. Інакше кажучи, ця система призначена для підтримки параметрів в різних апаратах процесу.

Табл. 2.1. Параметри контролю виробництва

№ Конт.	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1.	Трубопровід після підігрівача гудрону	Температура	–	Контроль, регулювання
2.	Трубопровід після труб. печі 5	Температура	–	Контроль, регулювання
3.	Трубопровід перед секцією регенерації	Температура	–	Контроль, регулювання
4.	Трубопровід перед сепаратором	Температура	–	Контроль, регулювання
5.	Трубопровід на виході з холодильника	Температура	–	Контроль, регулювання

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6.	Трубопровід після холодильного апарату	Температур	–	Контроль, регулювання
7.	Приймач сировини	Рівень	–	Контроль, регулювання
8.	Екстрактор	Рівень	–	Контроль, регулювання
9.	Сепаратор	Рівень	–	Контроль, регулювання,
10.	Відпарна колона	Рівень	–	Контроль, регулювання
11.	Сепаратор низького тиску	Рівень	–	Контроль, регулювання
12.	Приймач сировини	Рівень	–	Контроль, регулювання
13.	Сепаратор низького тиску	Рівень	–	Контроль, регулювання
14.	Секція регенерації розчиннику	Рівень	–	Контроль, регулювання
15.	Трубопровід перед підігрівачем	Витрата	–	Контроль, регулювання

Закінчення табл. 2.1

1	2	3	4	5
16.	Трубопровід перед піччю 5	Витрата	–	Контроль, регулювання
17.	Трубопровід після випарної колони	Витрата	–	Контроль, сигналізація

18.	Трубопровід після сепаратору низького тиску	Витрата	—	Контроль, сигналізація
19.	Трубопровід після сепаратору низького тиску	Витрата	—	Контроль, сигналізація
20.	Трубопровід після Охолоджувача асфальтиту	Витрата	—	Контроль, сигналізація
21.	Трубопровід після насосу	Тиск	—	Контроль, регулювання, сигналізація
...
29.	Трубопровід після насосу	Тиск	—	Контроль, регулювання, сигналізація

2.3 Автоматичний контроль технологічних параметрів процесу

У процесі деасфальтизації гудрону для установок крекінгу та гідрокрекінгу необхідно забезпечувати автоматичний контроль технологічних параметрів таких як температура в різних точках процесу, витрати та рівні на апаратах.

Контроль необхідно забезпечувати з метою отримання продукту необхідної якості, контрольовані параметри обов'язково повинні бути в межах встановленого технологічного регламенту процесу.

Враховуючи особливості технологічного процесу деасфальтизації гудрону слід забезпечити автоматичний контроль таких параметрів:

- Температуру сировини після підігрівача гудрону термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.1-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 1-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 1-3);

- Температуру розчиннику після труб. печі 5 термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.2-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 2-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 2-3);
- Температуру асфальтового розчину перед секцією регенерації термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.3-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 3-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 3-3);
- Температуру бенз.фракції перед сепаратором термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.4-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 4-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 4-3);
- Температуру сировини на виході з холодильника термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.5-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 5-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 5-3);
- Температуру суміші після холодильного апарату термоперетворювачем опору ТСМУ-Ех (поз.6-1), нормувальним перетворювачем П282 (поз. 6-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 6-3);
- Рівень підігрітого гудрону в приймачі сировини рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 7-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 7-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 7-3);
- Рівень суміші в екстракторі рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 8-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 8-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 8-3);
- Рівень суміші в сепараторі рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 9-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 9-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 9-3);
- Рівень речовини мил в відпарній колоні рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 10-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 10-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 10-3);
- Рівень сировини в сепараторі низького тиску рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 11-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 11-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 11-3);

- Рівень сировини в приймачі сировини рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 12-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 12-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 12-3);
- Рівень розчиннику в сепараторі низького тиску рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 13-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 13-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 13-3);
- Рівень деасфальтизату в секції регенерації розчиннику рівнеміром радарним Барс 322МИ (поз. 14-1), автоматичний показувальний реєструвальний ДИСК 250М (поз. 14-2), ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 14-3);

- Витрату гудрону в трубопроводі перед підігрівачем первинним приладом ДКС0,6-125 (поз. 15-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз. 15-2).
- Витрату розчиннику в трубопроводі перед піччю 5 первинним приладом ДКС0,6-125 (поз. 16-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз. 16-2).
- Витрату фракції в трубопроводі після випарної колони первинним приладом ДКС0,6-125 (поз. 17-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз. 17-2).
- Витрату конденсату в трубопроводі після сепаратору низького тиску 9 первинним приладом ДКС0,6-125 (поз. 18-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз. 18-2).
- Витрату конденсату в трубопроводі після сепаратору низького тиску первинним приладом ДКС0,6-125 (поз. 19-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз. 19-2).
- Витрату асфальтиту після барабанного охолоджувача ДКС0,6-125 (поз.20-1), вимірювальний тензоперетворювач перепаду тисків «Сапфир-22ДД» (поз.20-2).

2.4 Процес автоматичного регулювання технологічних параметрів

Для того, щоб підтримувати задане технологічному регламенті значення параметрів для процесу було розроблено контури для регулювання таких технологічних параметрів:

- Температури гудрону після підігрівача гудрону 2 шляхом вимірювання термоперетворювачем опору ТСП-1288 (поз.1-1), нормування перетворювачем П282 (поз.1-2), регулювання ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 1-3), подачею пари, що надходить у підігрівник клапаном МИМП ППХ 05В (поз.1-6) із попереднім перетворенням сигналу електро-пневматичним перетворювачем МТМ 810 (поз.1-5), також передбачена можливість ручного керування блоком керування БУ-12 (поз. 1-4);

Для решти контурів (2,3,4,5,6) регулювання температури відбувається аналогічно.

- Рівню у приймачі гудрону 3 шляхом вимірювання значення рівню первинним перетворювачем Барс 322МИ (поз. 7-1), нормуванням сигналу перетворювачем П282 (поз. 7-2), регулювання приладом МИК-51 (поз. 7-3) ступеня відкриття спускного клапану МИМП ППХ 05В (поз. 7-6) із попереднім перетворенням сигналу електро-пневматичним перетворювачем МТМ 810 (поз. 7-5), також передбачена можливість ручного керування блоком керування БУ-12 (поз. 7-4);

Для решти контурів (8,9,10,11,12,13,14) регулювання рівню відбувається аналогічно.

- Витрати гудрону в трубопроводі перед підігрівачем шляхом вимірювання витрати первинним перетворювачем ДКС1,6-125 (поз. 15-1), нормуванням сигналу перетворювачем П282 (поз. 15-2), регулювання приладом ПИД-регулятором МИК-51 (поз. 15-3) ступеня відкриття клапану МИМП ППХ 05В (поз. 15-6) із попереднім перетворенням сигналу електро-пневматичним перетворювачем МТМ 810 (поз. 15-5), також передбачена можливість ручного керування блоком керування БУ-12 (поз. 15-4);

Для решти контурів (16) регулювання витрати відбувається аналогічно.

- Витрати некондиційного матеріалу на виході з трубопроводу шляхом вимірювання витрати первинним перетворювачем ДКС1,6-125 (поз. 17-1), нормуванням сигналу перетворювачем П282 (поз. 17-2), сигналізацією верхньої і нижньої межі витрат;

Для решти контура(18, 19,20) регулювання витрати відбувається аналогічно.

2.5 Реалізація сигналізації, блокування та захист в процесі

Сигналізація, блокування і захист являються надзвичайно важливими елементами а схемі автоматизації, адже захищають обладнання від поломок внаслідок збоїв у процесі виробництва продукції, а також повідомляють оператору про відхилення від технологічного регламенту параметрів, які впливають на якість продукції, що випускається, тому цим системам (сигналізації, блокування і захисту) варто приділити значну увагу.

У схемі автоматизації реалізовано такі контури сигналізації:

- Роботи і зупинки електричних двигунів М1 (поз.37), М2 (поз. 39), М3 (поз. 41), М4(поз. 43), М5 (поз. 45), М6 (поз. 47), М7 (поз. 49), М8 (поз.51), М9 (поз. 53)що мають сигнальні лампочки HL5-HL58, одна з яких (зеленого кольору) сигналізує про роботу двигуна, а інша (червоного кольору) про його зупинку;

-Сигналізацію верхньої та нижньої межі витрат некондиційного матеріалу на виході трубопроводу а також на виході трубопроводу затарювання (HL1, HL2, HL3, HL4)

Система блокувань у процесі реалізована для того, щоб зупинити процес в разі поломки якогось обладнання, для того, щоб забезпечити вихід якісного продукту і подальшу дієздатність технологічного обладнання. В схемі блокування реалізовано таким чином:

- Після кожного насосу встановлено вимірник тиску , якщо значення тиску занадто низьке, це може свідчити про зупинку , в такому випадку спрацьовують технологічні блокування, які зупиняють електродвигуни, що приводять в дію ці

насоси. Це технологічні блокування 1 Тб, 2 Тб, 3 Тб, 4 Тб, 5 Тб, 6 Тб, 7 Тб, 8 Тб, 9 Тб для моторів М1, М2, М3, М4, М5, М6, М7, М8, М9 відповідно.

Захист реалізовано для того, щоб запобігти поломці обладнання внаслідок збоїв у роботі. Електричний захист реалізований таким чином:

- Для кожного електродвигуна насосу реалізовано аварійний захист, який спрацьовує, коли тиск після насосу падає, що дозволяє зберегти робочим обладнання. Це механічний захист у вигляді шпонки і електричний, що реалізується впливом на магнітний пускач двигуна.

2.6 Дистанційне керування електроприводу

Для дистанційного запуску електродвигунів насосів використовуються магнітні пускачі МП1-МП9, які керуються з щита керування кнопками SB1, SB3, SB5, SB7, SB9, SB11, SB13, SB15, SB17 - для увімкнення та SB2, SB4, SB6, SB8, SB10, SB12, SB14, SB16, SB18, - для вимкнення. Сигнальні лампи HL9- HL44 - є індикаторами увімкнення або вимкнення двигуна. КО1-КО9 - кнопки запобіжного відключення, які знаходяться на двигуні.

Дистанційному керуванню підлягають:

- електропривод насоса М1 (кнопка Н, КО1 на щиті);
- електропривод двигуна М2 (кнопка Н, КО2 на щиті);
- електропривод двигуна М3 (кнопка Н, КО3 на щиті);
- електропривод насоса М4 (кнопка Н, КО4 на щиті);
- електропривод насоса М5 (кнопка Н, КО5 на щиті);
- електропривод насоса М6 (кнопка Н, КО6 на щиті);
- електропривод насоса М7 (кнопка Н, КО7 на щиті);
- електропривод насоса М8 (кнопка Н, КО8 на щиті);
- електропривод насоса М9 (кнопка Н, КО9 на щиті);

2.7 Схема аварійного захисту електродвигунів та принципово-електрична

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка

зупиняється і зупиняється електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинна спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження.

Тому повинен спрацювати електричний захист.

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

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт в приладі і утворюється замкнений ланцюг живлення для електромагніту КМ1. Реле КМ1 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ1-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ1, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ1-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП1.

У результаті цього контакти МП1-4, МП1-5, МП1-6 розмикаються і живлення електродвигуна М1 при аварії вимикається.

Після проведення очищення та ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М1 включається за допомогою кнопки SB1. Так як насос миттєво робочий тиск не набирає, кнопку SB1 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка НЛ1, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB1 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП1 проходить через контакти МП1-1 і КМ1-2.

Принципова електрична схема управління та аварійного захисту електродвигунів наведено в Додатку 1. На схемі показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для чотирьох електромоторів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

2.8 Хвильово-радарний вимірювальний перетворювач малої та середньої дальності SITRANS LG200

Після проходження практики у фармацевтичній фірмі «Дарниця» я дізнався багато нового про сферу автоматизації. Нам показали своє виробництво, ознайомили з новітніми приладами, показали свою документацію окремих приладів, ознайомили з контрольно - вимірювальними приладами компанії «Siemens». Після цього я вирішив, що актуально було б додати до свого процесу якийсь підходящий датчик. Я знайшов цю чудову документацію по їхнім всім приладам «Siemens» і вирішив додати до своєї схеми автоматизації датчик вимірювання рівня, який буде регулювати рівень у *екстракторі*. Вийшло так що це було нелегко знайти підходящого, так як їх там дуже багато і у кожного свої властивості і характеристики, також у моєму процесі дуже висока температура, що також вплинуло на пошук датчика і матеріал потрібно було також підібрати.

Неперервне вимірювання рівня – хвильово-радарний вимірювальний перетворювач

В хвильово-радарних вимірювальних перетворювачах реалізовані технології TDR (Time Domain Reflectometry – динамічна рефлектометрія) і ETS (Equivalent Time Sampling – вибірка в еквівалентному часі), в приборах застосовується сучасні слабо точні схеми.

TDR (Time Domain Reflectometry – динамічна рефлектометрія)

TDR – імпульси електромагнітної енергії використовуються для вимірювання відстані або рівня. Коли імпульс досягає діелектричного розриву (на поверхні вимірюваного середовища), він частково відображається. Чим більша різниця між діелектричними показниками, тим більша амплітуда (сила) відображення.

ETS (Equivalent Time Sampling – вибірка в еквівалентному часі)

Технологія ETS використовується для вимірювання електромагнітних імпульсів з малою потужністю і високою швидкістю. Технологія ETS критично важлива, її необхідно використовувати разом з технологією TDR в процесі вимірювання рівня в резервуарах. Електромагнітну енергію, яка розповсюджується з високою швидкістю, важко вимірювати на коротких відстанях з дозволяючою можливістю, достатньої для використання в

переробленій промисловості. ETS захвачує електромагнітні сигнали в режимі реального часу і перетворює їх з врахуванням еквівалентного часу (мілісекунди), тікі сигнали набагато краще виміряти за допомогою сучасних технологій.

Методика ETS полягає в скануванні воловода и формуванні тисяч вибірок. Сканування виконується приблизно 8 раз в секунду, кожний прохід дає більше 30000 образців.

З цього розділу датчиків я обрав SITRANS LG200.



SITRANS LG200 – хвильово-радарний вимірювальний перетворювач малої та середньої дальності для вимірювання рівня і об'єму сумішей і сухих речовин, а також для визначення розділу фаз. Зміна технологічного процесу, вплив високих температур, тиску і пара не впливають на результати вимірювання, що для нас є дуже вигідно. Тобто, якщо на протязі всього нашого процесу будуть якісь перешкоди, то це ніяк не вплине на роботу датчика.

Переваги:

- Коаксіальні, жорсткі і гнучкі, стандартні і подвійні стержні розширюють сферу застосування приладу.
- Висока точність вимірювань.
- Точність хвильово-радарного вимірювального перетворювача досягає 2.5 мм.
- Вимірює рівень і знаходить розділ фаз у важких середовищах, включаючи піну.

- Програмування виконується за допомогою трикнопочного інтерфейсу.
- Точне вимірювання рівня у важких умовах з тиском до 430 бар і температурах до +427 °C
- Відповідність до вимог безпеки SIL-1 і SIL-2 (вважається повний звіт FMEDA)

FMEDA: Режим відмови, ефекти і діагностичний аналіз.

Застосування:

SITRANS LG200 забезпечує точне вимірювання рівня і обсягу, а також визначає розділ фаз. Прилади доступні в стандартній комплектації і з подовженнями, LG200 доставляється з коаксіальними, одинарними або подвійними стрижневими або кабельними зондами довжиною до 22,5 м.

SITRANS LG200 точно вимірює рівень рідин або суспензій при наявності корозійних парів, піни, насиченого пара, речовин з високою в'язкістю, може застосовуватися в резервуарах, які швидко заповнюються і опустошаються, надійно визначає низький рівень, працює з речовинами з різними діелектричними параметрами і щільністю.

Ідеально підходить для модернізації систем, що включають торсіонні трубки, зонд SITRANS LG200 може встановлюватися в існуючі камери або клітки для забезпечення максимально точних вимірювань.

Основні сфери застосування: переробка вуглеводнів, вимірювання рівня, знаходження поділу фаз, високі температури, в'язкі рідини, суспензії, сухі речовини, високий тиск.

Технические характеристики

Принцип работы

Принцип измерения

Волноводно-радарная технология измерений

Диапазон измерения

0,15...22,5 м

Выход

Аналоговый токовый выход (мА), цифровой сигнал HART

4...20 мА (с оптической изоляцией), макс. 620 Вт.

Диапазон выхода

- Аналоговый
- Пусковой ток

3,8...20,5 мА (применимый)
4,0 мА

Диагностическая сигнализация

Регулируемые, 3,6 мА, 22 мА, УДЕРЖАНИЕ

Цифровая связь

HART Версия 5.x, поддержка многоточечной линии

Производительность

Нормальные условия 1,82 м
Коаксиальный зонд с водой при +20 °С и порог CFD

Нелинейность

- Коаксиальный/сдвоенные стержневые зонды

< 0,1 % длины зонда или 2,5 мм, выбирается наибольшая величина [(верхние 60 см сдвоенных стержневых зондов 30 мм]

- Одинарные стержневые зонды

< 0,3 % или 8 мм (выбирается наибольшая величина)

<ul style="list-style-type: none"> • Модели с функцией определения раздела фаз 	<p>Взлив: $\pm 25,4$ мм. Слой на границе раздела: $\pm 25,4$ мм. (при наличии четкой границы раздела)</p> <p>$\leq 2,5$ мм</p>
<p>Разрешение и воспроизводимость</p> <p>Точность</p> <ul style="list-style-type: none"> • Коаксиальный/сдвоенные стержневые зонды 	<p>$< 0,1$ % от длины зонда или $2,5$ мм (выбирается наибольшая величина) [верхние 60 см сдвоенных стержневых зондов 30 мм]</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Одинарные стержневые зонды 	<p>$\pm 0,5$ % от длины зонда или 13 мм (выбирается наибольшая величина)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Модели с функцией определения раздела фаз <p>Электромагнитная совместимость</p>	<p>± 25 мм (при наличии четкой границы раздела)</p> <p>Соответствует требованиям CE (EN 61326-1/2006) (с целью обеспечения соответствия требованиям CE, в металлических резервуарах или измерительных колодцах необходимо использовать одинарные или сдвоенные стержневые зонды)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Время отклика • Время вхождения в режим • Температурная погрешность 	<p>< 1 секунда</p> <p>< 5 секунд</p> <p>$+ 0,02$ % от фактической длины зонда/$^{\circ}\text{C}$ для зондов $\geq 2,5$ м</p>

Рабочие условия¹⁾

<p>Температура окружающей среды (корпус)</p>	<p>$-40\dots+80$ $^{\circ}\text{C}$</p>
<p>Диапазон температур выбирается в меню, отображаемом на ЖК-дисплее</p>	<p>$-20\dots+70$ $^{\circ}\text{C}$</p>
<p>Размещение</p>	<p>Внутри/снаружи</p>
<p>Категория установки</p>	<p>II</p>
<p>Степень загрязнения</p>	<p>2</p>
<p>Влажность</p>	<p>0-99 % (без конденсации)</p>

Типичные условия¹⁾

<p>Диэлектрическая постоянная</p>	<p>$dK \geq 1.4$</p>
<p>Интервал температур процесса²⁾</p>	<p>$-196\dots+427$ $^{\circ}\text{C}$</p>
<p>Давление в резервуаре³⁾</p>	<p>Полный вакуум, до 431 бар изб., в зависимости от зонда</p>

Конструкция

Вес измерительного преобразователя с цельной крышкой

1,28 кг

Вес измерительного преобразователя с крышкой со стеклянным окном

1,6 кг

Материалы

- Корпус

Алюминиевый, покрыт эпоксидной краской

- Степень защиты

Типе 4/NEMA 4, IP65

- Кабельный ввод

2 x M20x1.5 или 2 x 1/2" NPT

Подключение к процессу

- Резьбовое соединение

G 3/4" [(BSPP), EN ISO 228-1], 1", 1 1/2", 2" NPT [(Taper), ANSI/ASME B1.20.1] и G 2" [(BSPP), EN ISO 228-1]

- Фланцевое соединение

3/4...4" фланцы ASME, DIN

- Гигиеническое соединение

3/4...4", соединение Triclover

Программирование

Локальное

Три кнопки, ввод данных с помощью меню, возможность установки паролей

Удаленное

SIMATIC PDM через HART

Питание

11...36 В пост. тока