

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-.29.00.000 ПЗ

Група АКПзд-23-2К

Мар`ян Васютник

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Васютик Мар'ян Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

УДК

658.012.011.56:622.692.4

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи керування процесом вторинної ректифікації бензину

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

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

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

асистент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПзд-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

М.М. Васютик

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М.І. Когутяк

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень Перший (бакалаврський)

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТ

А.І.Лагойда

«___» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Васютик Мар'ян Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи керування процесом вторинної ректифікації бензину

керівник роботи Когутяк Мирослав Іванович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 07 » 05 2025 року № 53/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічна документація на технологічну установку. Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз технологічного процесу вторинної ректифікації бензину як об'єкта автоматизації 2) Математичне моделювання об'єкта керування; 3) Синтез та аналіз автоматичних систем регулювання процесу підігріву бензину; 4) Розроблення проектної документації АСР установки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист1-Функціональна схема автоматизації- БР.АКПзд-29.00.00.000 01

Лист2 -Ідентифікація каналів регулювання печі- БР.АКПдз-29.00.00.000 02

Лист3 -Аналіз та синтез одноконтурної АСР- БР.АКПзд.29.00.00.000 03

Лист4 -Аналіз та синтез каскадної АСР -БР.АКПзд-29.00.00.000 04

Лист5 - Ієрархічна структура АСК установки -БР.АКПзд-29.00.00.000 05

Лист6- Програмне забезпечення контролера -БР.АКПзд-03.00.00.000 06

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу вторинної ректифікації бензину як об'єкта автоматизації	13.05.2025	
2	Математичне моделювання об'єкта керування	20.05.2025	
3	Синтез та аналіз автоматичних систем регулювання процесу підігріву бензину	23.05.25	
4	Розроблення проектної документації АСР установки	25.05.25	
5	Висновки та підготовка графіки.	10.06.25	

Студент _____
(підпис)

Васютик М.М _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Когутяк М.І _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 55 сторінок друкованого тексту, 25 рисунків, 5 таблиць, 10 посилання на джерела.

Тема : ” Удосконалення системи керування процесом вторинної ректифікації бензину ”

Об’єктом дослідження: установка вторинної ректифікації бензину.

Мета проекту : удосконалення автоматичної системи керування процесу вторинної ректифікації бензину на установці вторинної ректифікації бензину.

Методи дослідження: експериментальне та аналітичне моделювання об’єкта та автоматичної системи керування установки вторинної ректифікації бензину.

Результати бакалаврської роботи: для досягнення заданої мети проведений аналіз технологічної установки вторинної ректифікації бензину як об’єкта автоматизації .

Отримана математичні моделі основних каналів трубчастої печі на основі експериментальних даних.

Синтезовано одноконтурну та каскадну систему регулювання температури в печі та проведено імітаційні експерименти по дослідженню систем регулювання при зміні заданої точки.

Спроектовано ієрархічну комп’ютерно інтегровану систему керування установкою комплексної підготовки газу та розроблено необхідні супровідні проектні документи.

Ключові слова: імітаційна модель , система автоматизованого керування, система регулювання, промисловий контролер , регулятор .

ABSTRACT

The bachelor thesis contains: 55 pages of printed text, 25 figures, 5 tables, 10 references to sources.

The topic of the bachelor's thesis: "Improving the control system of the process of secondary rectification of gasoline"

The object of the research is the installation of secondary rectification of gasoline.

The goal of the project is to improve the automatic control system of the secondary gasoline rectification process at the gasoline secondary rectification plant

Research methods: experimental and analytical modeling of the object and the automatic control system of the secondary rectification of gasoline.

The results of the bachelor's thesis: to achieve the given goal, an analysis of the technological installation of secondary rectification of gasoline as an object of automation was carried out.

The obtained mathematical models of the main channels of the tubular furnace based on experimental data.

The single-circuit and cascade temperature regulation system in the furnace has been synthesized and simulation experiments were performed on the study of regulatory systems when changing the given point.

A hierarchical computer integrated system of installation of comprehensive gas preparation and the necessary accompanying project documents are designed.

Key words: simulation model, automated control system, regulation system, industrial controller, regulator.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВТОРИННОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ БЕНЗИНУ, ЯК ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1 Призначення установки вторинної ректифікації бензину і суть процесу ректифікації.....	10
1.2 Характеристика сировини та одержуваних продуктів.....	11
1.3 Аналіз технологічної схеми установки вторинної ректифікації бензину, як об'єкта автоматизації.....	12
1.4 Параметри контролю та регулювання	13
Висновки до розділу.....	16
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	17
2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	17
2.2 Аналіз технологічного об'єкта з точки зору автоматичного регулювання.....	17
2.3 Формування мети регулювання та вимог до автоматичної системи. Вибір та обґрунтування показників якості і критеріїв оптимальності.....	19
2.4 Визначення динамічних характеристик та експериментальне моделювання роботи печі	20
Висновки до розділу.....	25
3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ БЕНЗИНУ.....	26
3.1 Розрахунок одноконтурної АСР	26
3.2 Теоретичні основи побудови та синтез LQR-регулятора.....	28
3.3 Аналіз та синтез каскадної АСР трубчастої печі.....	31
Висновки до розділу	33

					БР. АКПзд - 29.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Васютик М.М			Удосконалення системи керування процесом вторинної ректифікації бензину	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Когутяк М.І.					6	2
Реценз.		Фешанич Л.І.				ІФНТУНГ АКПзд-23-2К		
Н. Контр.		Лагойда Л.І						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ АСР

УСТАНОВКИ	35
4.1 Структура комп'ютерно-інтегрованої системи управління.....	35
4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації.....	36
4.3 Розрахунок регулюючого органу.....	41
4.4 Розробка ФСА процесу переробки бензину на базі локальних контролерів.....	44
4.5 Розроблення програми управління контролера для автоматизації печі.....	46
4.6 Розрахунок проектної надійності системи регулювання температури в печі ЦС-1.....	50
Висновки до розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	55

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання;
ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
ВК – вимірювальний канал;
ВМ – виконавчий механізм;
в.к.к. – висококиплячий компонент;
к.к. – кінець кипіння;
КО – керований об'єкт.
МПК – мікропроцесорний контролер;
н.к.к. – низькокиплячий компонент;
п.к. – початок кипіння;
РО – регулюючий орган;
САК – система автоматичного регулювання;
ТП – технологічний процес;
ТЗА – технічні засоби автоматизації;
ФСА – функціональна схема автоматизації;

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

В нафтопереробній і нафтохімічній промисловості автоматизація має відносно високий рівень, однак і він уже не задовольняє ті високі вимоги і можливості, які ставлять до автоматизації і розвиток виробництва.

Автоматизація технологічних процесів в певній мірі гарантується ритмічність роботи, точність виконання операцій, оптимізація режиму технології; контролюється технологічний процес виготовлення продукції, але точність та швидкодія регулювання процесу вимагає покращення.

Наявність недоліків в процесі роботи установки негативно впливає на якість отримуваних продуктів. Збільшується кількість відмов технічних засобів автоматизації та технологічного обладнання. Це приводить відповідно до аварійних ситуацій, під час яких виникає небезпека для обслуговуючого персоналу установки. Тому важливим є модернізація системи автоматизації .

Метою роботи є удосконалення автоматичної системи керування процесу вторинної ректифікації бензину на установці вторинної ректифікації бензину.

Можливими варіантами впровадження нових систем автоматизації є регулювання з застосуванням каскадних систем або мікропроцесорної техніки, а саме мікропроцесорного контролера МИК-52. Це дозволить більш повно врахувати зміни параметрів технологічного процесу. Зросте загальний рівень автоматизації установки.

При виконанні досліджень застосоване експериментальне і аналітичне моделювання об'єкта та автоматичної системи керування установки вторинної ректифікації бензину.

Основні проєктні рішення, розроблені в межах роботи, можуть бути рекомендовані для впровадження у промислових умовах.

Бакалаврська роботи містить вступ, чотири розділи, загальні висновки, перелік посилань на джерела і має загальний обсяг у 55 сторінок.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВТОРИННОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ БЕНЗИНУ, ЯК ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення установки та принцип процесу ректифікації

Установка підготовки сировини для комплексу каталітичного реформінгу призначена для вторинної ректифікації бензинової фракції з температурним інтервалом початку кипіння до 210 °С з метою отримання фракції 85–180 °С, придатної як сировина для подальших процесів.

Процес розділення бензину реалізується методом ректифікації в колоні К-1, обладнаній 46 клапанними тарілками. Робочі параметри включають температуру внизу колони 230–250 °С, температуру верху — 85–115 °С, та тиск у межах 0,08–0,2 МПа.

Принцип ректифікації базується на багатократному циклі конденсації парової та випаровування рідкої фаз, який супроводжується масо- і теплообміном на контактних елементах (тарілках). У результаті цих процесів досягається поступове наближення до термодинамічної рівноваги.

На вході до колони суміш розділяється на парову фазу, збагачену низькокиплячим компонентом (НКК), та рідку фазу з переважанням висококиплячого компонента (ВКК). При барботажі пари через рідину на тарілках відбувається конденсація частини ВКК та випаровування залишків НКК, що забезпечує прогресивне розділення компонентів по висоті колони.

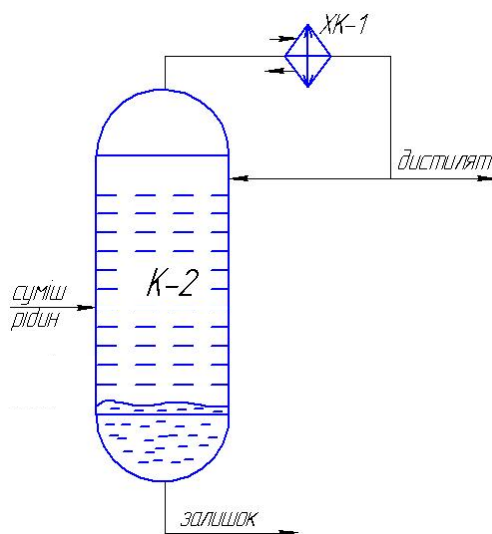


Рисунок 1.1 - Робота ректифікаційної колони

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

У верхній частині колони досягається стабілізація складу парової фази — дистилляту, а в нижній — рідинної фази — кубового залишку.

1.2 Характеристика сировини та отримуваних фракцій

У таблиці 1.1 наведено основні показники якості сировини та отриманих фракцій згідно з нормативною документацією.

Таблиця 1.1. - Характеристика сировини і одержуваної продукції

Назва сировини, одержуваної продукції	Показники якості, обов'язкові для перевірки	Норма	Область використання
Сировина-бензин прямогонний фр.п.к.-210°C	Фракційний склад: -кінець кипіння, °C, не вище -залишок і втрати, %, не більше Вміст механічних домішок і води Вміст водорозчинних кислот і лугів Випробування на мідній пластинці Колір	210 4 відсутні відсутні витримує прозор.	Сировина установки
Фракція п.к.-85°C	Октанове число за моторним методом, не нижче Фракційний склад: -кінець кипіння, °C, не вище	70 115	Компонент бензину
Фракція 85-180°C	Густина, кг/м ³ Фракційний склад: -початок кипіння, °C, не нижче -кінець кипіння, °C, не вище Вміст сірки, % мас., не більше Випробування на мідній пластинці Вміст водорозчинних кислот і лугів Вміст води і механічних домішок Колір	не норм., 85 180 0,04 витрим. відсутн. відсутн. прозор.	Сировина установки каталітичного реформінгу

1.3 Аналіз технологічної схеми установки як об'єкта автоматизації

Сировина (фракція п.к.–210 °С) з резервуарів Р-1 або Р-2 подається на прийом насосів Н-1/1,2, далі транспортується через змієвик печі ЦС-1 до колони К-1. Температурний режим внизу колони становить до 240 °С, тиск — до 0,3 МПа.

Парова фракція з верхньої частини колони надходить до холодильників ХК-2/1,2, охолоджується до 50–60 °С та акумулюється в ємності Е-1. Рідка фаза за допомогою насосів Н-3/1,2 частково спрямовується на зрошення верхньої частини колони, решта — в резервуари.

Газоподібні вуглеводні з Е-1 нагріваються у випарнику В-1 до 90–100 °С та подаються на форсунки печі ЦС-1 як паливо.

Бічна фракція (85–180 °С) з відбірного рівня 23–27 тарілок колони К-1 спрямовується до акумулятора К-2, звідки за допомогою насосів Н-4/1,2 та системи теплообмінників охолоджується до 45–65 °С і надходить до парку сировини каталітичного реформінгу.

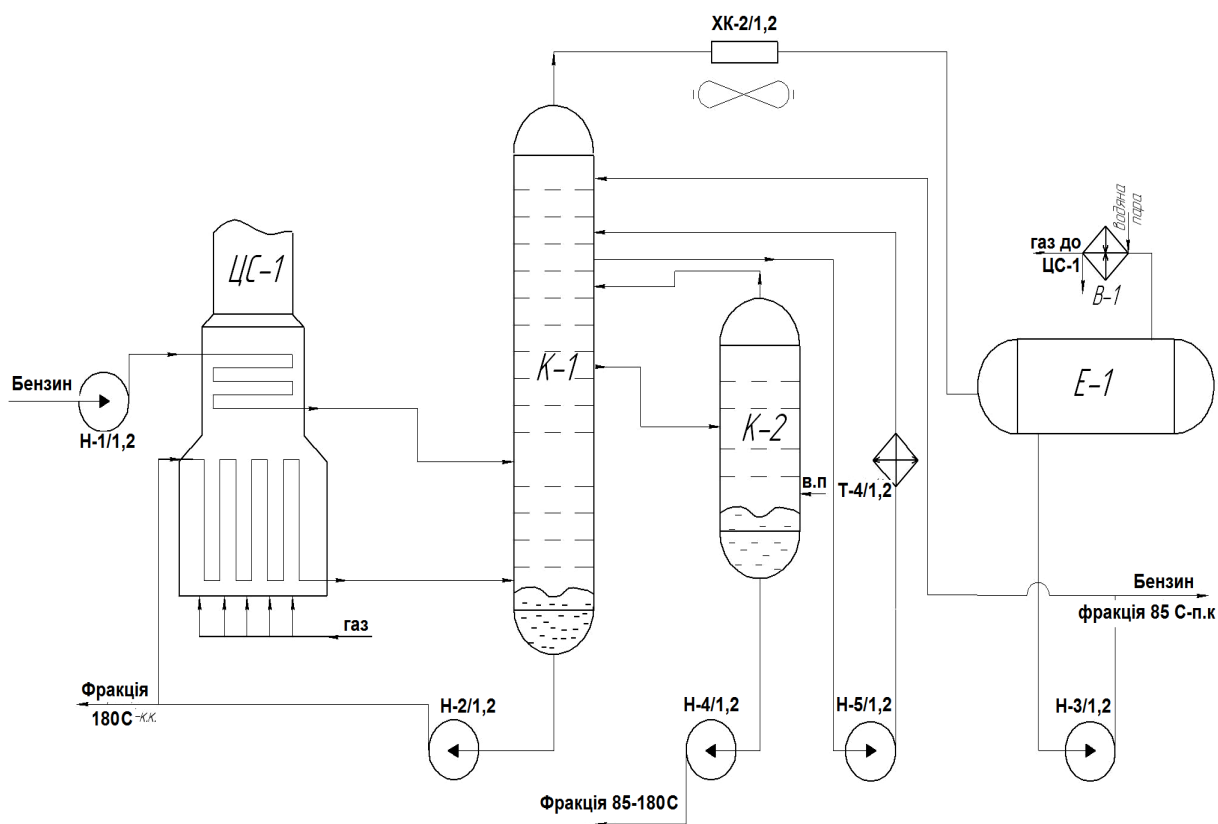


Рисунок 1.2 - Технологічна схема установки вторинної ректифікації бензину

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Нижній продукт (фракція 180 °С-к.к.) за допомогою насосів Н-2/1,2 частково подається через радіантну частину печі для повторного вводу в колону, решта — охолоджується та спрямовується до резервуарного парку.

Для регулювання теплового балансу реалізовано циркуляційне зрошення: бензин із 32–33 тарілок охолоджується в теплообмінниках Т-4/1,2 та повертається на тарілки 35–36.

1.4 Параметри контролю та регулювання

Процес вторинної ректифікації бензину супроводжується одночасним протіканням низки взаємопов'язаних фізико-хімічних явищ, що зумовлює складність об'єкта з точки зору автоматизації. Для забезпечення стабільності технологічного режиму необхідна надійна система контролю, регулювання та реєстрації основних параметрів процесу.

Нижче наведено основні параметри контролю та регулювання:

- *Регулювання витрати сировини з установки АВТ-2 на установку вторинної ректифікації.* Цей параметр безпосередньо впливає на продуктивність установки та тиск у зміювиках конвекційної частини печі ЦС-1.
- *Регулювання витрати паливного газу залежно від витрати "гарячого струменя", який подається знизу колони К-1 через насоси Н-2/1,2 в радіантну частину печі ЦС-1, а також залежно від температури цього струменя на виході з печі.* Зменшення витрати паливного газу призводить до зниження температури в нижній частині колони К-1.
- *Регулювання витрати паливного газу також здійснюється залежно від тиску та витрати самого газу.* Це забезпечує контроль температури продуктів на виході з печі, що впливає на температурний режим у колоні К-1.
- *Регулювання температури верхньої частини колони К-1 здійснюється залежно від витрати фракції п.к.–85 °С, що подається з*

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосів Н-3/1,2 на зрошення верхньої частини колони. Це дозволяє підтримувати температуру у межах 85–115 °С.

- *Дистанційний контроль і реєстрація тиску та витрати фракції 180 °С–кін. кипіння* на вході в радіантну частину печі ЦС-1 забезпечує безперервне спостереження за параметрами "гарячого струменя", що дає змогу оперативно реагувати на відхилення температурного режиму та запобігати аварійним ситуаціям.

- *Регулювання рівня в колоні К-1* залежно від тиску всередині неї. Від цього залежить стабільність тиску, рівня та температурного режиму в нижній частині колони, що критично важливо для забезпечення ефективної ректифікації.

- *Регулювання рівня в акумуляторі К-2* відповідно до тиску в ньому. Параметри рівня і тиску впливають на якість відбору бічної фракції 85–180 °С.

- *Регулювання рівня в рефлюксній ємності Е-1* здійснюється залежно від тиску в ємності. Це регулювання визначає параметри подачі паливного газу до печі ЦС-1, а також стабільність рівня в ємності.

- *Регулювання температури зони зрошення колони К-1* залежно від витрати та температури циркуляційного бензину. Циркуляційне зрошення забезпечує ефективний відвід надлишкового тепла з колони, впливаючи на температурний режим у середині колони.

- *Контроль та реєстрація температури у 12 технологічних точках:* в печі ЦС-1, колоні К-1 та акумуляторі К-2. Це дозволяє оперативно реагувати на зміну температурного режиму на критичних ділянках установки.

Значення основних параметрів контролю і регулювання, а також допустимі межі їх коливань, наведено в таблиці 1.2.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Значення параметрів контролю і регулювання

Назва параметра	№ позиц. на ФСА	Одиниці виміру	Допустимі межі технологічного параметра
Витрата сировини на установку після насосу Н-1/1.2	4	м ³ /Год	40-60
Витрата “гарячої струмینی” на виході в радіантну частину печі ЦС-1 (загальна)	12	м ³ /Год	20-30
Витрата “гарячої струмینی” на виході в піч ЦС-1 (по потоках)	5	м ³ /Год	10-15
Тиск “гарячої струмینی” на вході в ЦС-1 (по потоках)	7	МПа	1,05-1,25
Температура “гарячої струмینی” на виході з радіантної частини печі ЦС-1	3	°С	230-280
Тиск паливного газу	6	МПа	0,1-0,45
Витрата паливного газу	6	м ³ /Год	80-120
Температура:	1	°С	650-850
- димових газів на перевалі печі	3	°С	140-180
- сировини на виході з конвекційної частини печі ЦС-1	3	°С	90-100
- паливного газу	2	°С	85-115
- верха колони К-1	3	°С	115-130
- зони циркуляційного орошення колони К-1	3	°С	205-250
- низа колони К-1	3	°С	150-165
- низа акумулятора К-2	3	°С	30-40
- фракції ПК - 85 °С з колони К-1 в ємкість Е-1	8	°С	40-90
- циркуляційного бензину після Т-4/1,2	9	МПа	0,08-0,3
Тиск в колоні К-1	8	м ³ /Год	20-50
Витрата циркуляційного орошення	9	м	0-1,6
Рівень в колоні К-1	10	м	0-1,6
Рівень в акумуляторі К-2	11	м	0-0,8
Рівень в ємкості Е-1			

Порушення встановлених меж технологічних параметрів призводить до відхилення від нормального режиму роботи установки, що може викликати аварійні ситуації, значні матеріальні збитки та створює загрозу здоров'ю та життю персоналу.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Висновки до розділу

У даному розділі проведено аналіз технологічного процесу вторинної ректифікації бензину як об'єкта автоматизації. Описано принцип роботи установки, структуру технологічної схеми та основні апарати. Розглянуто параметри контролю та регулювання, що забезпечують ефективність та безпечність функціонування технологічного процесу. Також розглянуто вплив змін технологічних параметрів на режим роботи установки.

У результаті аналізу зроблено висновок про необхідність впровадження автоматизованої системи керування для забезпечення стабільної роботи установки.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

У даному розділі роботи в якості об'єкта автоматизації розглянуто вертикальну циліндричну трубчасту піч типу ПД-4504-12. Для обґрунтування вибору об'єкта проведено аналіз процесу вторинної ректифікації бензину. Згідно з технологічною схемою установки, сировина (бензин), що надходить з установки АВТ-3, подається до печі, де нагрівається до необхідної температури. Температурний режим у печі визначається витратою палива, яке надходить до зони горіння.

Після підігріву в печі сировина подається до ректифікаційної колони К-1, де відбувається розподіл бензину на фракції. Для забезпечення стабільної роботи колони необхідно підтримувати температуру сировини, що надходить до неї, у заданих межах. Таким чином, критичним з точки зору автоматизації є саме процес підігріву сировини. З огляду на це піч розглядається як об'єкт автоматизації з метою вдосконалення системи керування технологічним процесом.

2.2 Аналіз технологічного об'єкта з точки зору автоматичного регулювання

В якості об'єкта регулювання вибрана вертикальна трубчаста піч ПД-4504-12, яка забезпечує нагрів фракції 180 °С к.к. до температури в межах 230–280 °С перед подачею під нижню тарілку ректифікаційної колони К-1.

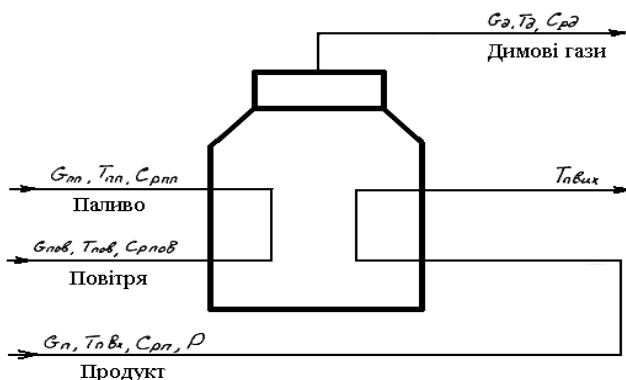


Рисунок 2.1 - Принципова схема циліндричної печі типу ПД-4504-12

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

У трубчастій печі теплова енергія забезпечується за рахунок згоряння газоподібного палива (рис. 2.1).

Рівняння теплового балансу для печі можна записати у вигляді:

$$G_n C_{pn} (T_{n\text{вих}} - T_{n\text{вх}}) = G_d C_{pd} (T_z - T_d)$$

Для процесу згоряння палива отримаємо:

$$G_{nn} q_{nn} = (G_{nn} C_{pnn} + G_{нов} C_{рнов}) T_z - G_{nn} C_{pnn} T_{nn} - G_{нов} C_{рнов} T_{нов} ,$$

де q_{nn} - питома теплота згоряння палива;

G_{nn} , G_n , G_d , $G_{нов}$ - витрата відповідно палива, продукту, димових газів, повітря;

$T_{n\text{вих}}$, $T_{n\text{вх}}$ - температура продукту на виході та вході відповідно;

T_z , $T_{нов}$, T_d - температура горіння відповідно газу, повітря та димових газів;

C_{pn} , C_{pd} , C_{pnn} , $C_{рнов}$ - питома теплоємність продуктів, димових газів, палива, повітря відповідно.

Виходячи з матеріального балансу, температура продукту на виході з печі визначається як:

$$T_{n\text{вих}} = T_{n\text{вх}} - \frac{G_d C_{pd}}{G_n C_{pn}} T_d + \frac{G_{nn} (\gamma - 1) C_{pd}}{G_n C_{pn} (C_{pn} + \gamma C_{рнов})} (q_{nn} + C_{pnn} T_{nn} + \gamma C_{рнов} T_{рнов})$$

де γ - коефіцієнт співвідношення повітря та палива,

$$\gamma = \frac{G_{нов}}{G_{nn}} .$$

На основі проведеного аналізу сформовано структурну схему об'єкта керування, зображену на рис. 2.2.

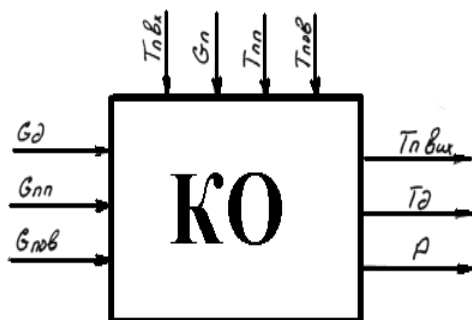


Рисунок 2.2 - Структурна схема трубчатої циліндричної печі

До основних вхідних впливів належать:

- температуру входу продукту $T_{нвх}$,
- витрату продукту G_n ,
- температуру палива $T_{пн}$,
- температуру повітря $T_{пов}$.

До вихідних параметрів відносяться:

- температура продукту на виході $T_{нвих}$,
- температура димових газів $T_{д}$,
- концентрація кисню у димових газах, яка характеризує інтенсивність горіння.

2.3 Формування мети регулювання та вимог до автоматичної системи.

Основною метою автоматичного регулювання є підтримання стабільної температури фракції 180 °С к.к. на виході з печі. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови для подальшої ректифікації.

У зв'язку з тим, що теплова енергія в печі утворюється шляхом згорання палива, керуючим впливом є подача паливно-повітряної суміші. При цьому виникає необхідність у зниженні витрат енергоносіїв без погіршення якості регулювання.

Критерій оптимальності регулювання формулюється як мінімізація витрати паливно-повітряної суміші:

$$Q_n = \sum_{i=1}^m \int_{t_0}^{t_k} r_i(y_i(t)) dt \rightarrow \min y(t),$$

$Q_n \rightarrow \min y(t)$, що є критерієм оптимальності.

де:

- де Q_n - об'ємна витрата паливно-повітряної суміші, м³/год;
- r_i - вагові коефіцієнти витрат керуючих дій;
- $y_i(t)$ - значення керуючих дій у момент часу t .

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.4 Визначення динамічних характеристик та експериментальне моделювання роботи печі

Піч типу ПД-4504-12 є ключовим елементом установки вторинної ректифікації бензину, оскільки тепловий режим, що в ній реалізується, істотно впливає на стабільність та ефективність подальших стадій технологічного процесу.

Необхідність експериментального моделювання обумовлена наступними чинниками:

- обмеженим вивченням теплофізичних характеристик;
- відсутністю повноцінних математичних моделей;
- нестачею методів та засобів автоматизованого розрахунку й синтезу ефективних систем керування.

Основною змінною, що контролюється, є температура продукту на виході з печі, яка підтримується на сталому рівні шляхом регулювання подачі палива. При цьому процес піддається впливу зовнішніх та внутрішніх збурень, які можуть спричинити інерційні відхилення регульованої змінної.

Для визначення динамічних характеристик об'єкта використано метод активного експерименту із збуренням типу "стрибок". Такий підхід дозволяє отримати перехідну характеристику об'єкта. В рамках експерименту передбачено три етапи:

- планування (визначення вхідних/вихідних змінних, підготовка обладнання);
- проведення збурення;
- обробка експериментальних даних.

В якості вхідного впливу обрано відсоток відкриття регулюючого органу, а в якості вихідної змінної — температура продукту. Для реєстрації використовувались самописці з "утопленням" нулем та змінною швидкістю руху діаграмного блоку.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збурення задавалося у вигляді одноразового збільшення подачі паливно-повітряної суміші на 9–15 %, після чого реєструвалася температура в часі. Після досягнення сталого значення температура складала 309 °С.

Результати експерименту наведено у табл. 2.1. На основі нормалізованих даних побудовано перехідну характеристику та проведено ідентифікацію динамічного каналу "витрата газу — температура на виході печі" у MATLAB (рис. 2.3–2.5). У результаті отримано передавальну функцію із точністю апроксимації 96,31 %:

Таблиця 2.1 – Результати проведення експерименту по каналу регулювання “витрата газу – температура на виході печі”

t, с	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
NGg,%	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
T,°C	270	272	274	276	281	286	291	295	298	301	303	305	306	307	308	309	309	309	309

Для якісної апроксимації будемо нормовану перехідну характеристику.

Таблиця 2.2 Нормування експериментальних даних

t, с	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
T,°C	0.00	0.051	0.103	0.154	0.282	0.410	0.538	0.641	0.718	0.795	0.846	0.897	0.923	0.949	0.974	1.000	1.000	1.000	1.000

У відповідності з табл. 2.2 експериментальну перехідну характеристику по каналу регулювання “витрата газу – температура на виході печі” (рис. 2.3).

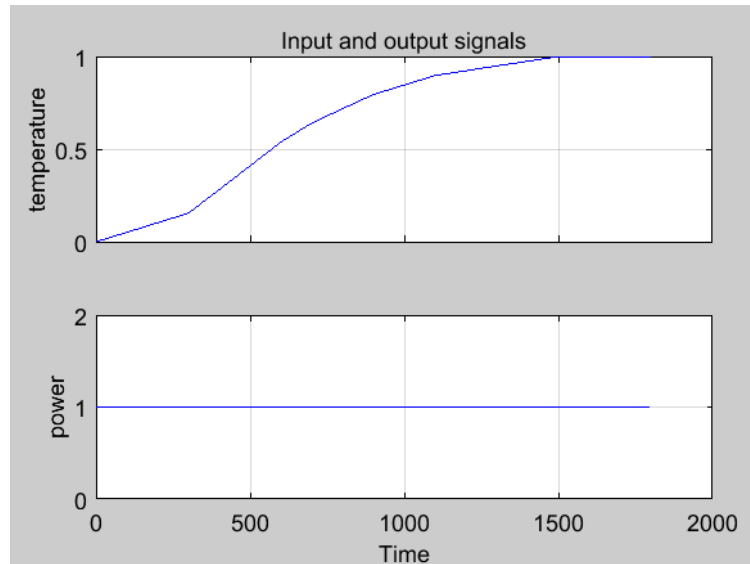


Рисунок 2.3 – Нормалізована експериментальна перехідна характеристика по каналу регулювання “витрата газу – температура на виході печі”

Структура моделі об’єкта встановлювалась в процесі ітераційної процедури підбору з типових , які надає програмний продукт. Підсумкові результати апроксимації приведені на рис. 2.4 -2.5.

Transfer Function

$$\frac{K(1 + T_z s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2 Underdamped

Zero

Delay

Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	4.2091	Auto	[-Inf Inf]
Tw	<input type="checkbox"/>	369.9065	Auto	[0 1162586.5]
Zeta	<input type="checkbox"/>	0.74394	Auto	[0 Inf]
Tr3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	-10.8195	Auto	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]

Initial Guess

Auto-selected

From existing model:

User-defined

Fit to estimation data: 96.31% , FPE: 0.5064, MSE: 0.2633

Рисунок 2.4- Процес та результати ідентифікації.

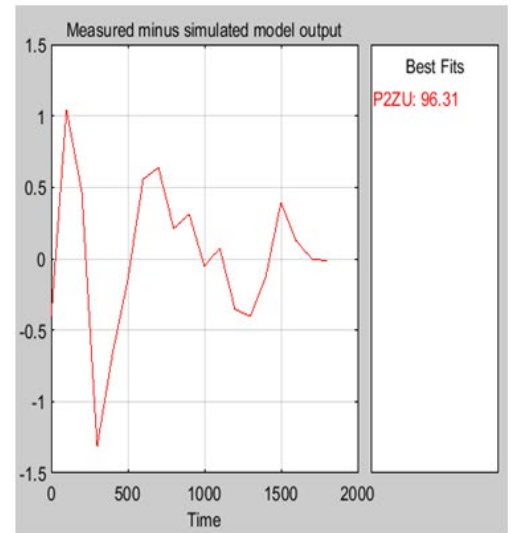
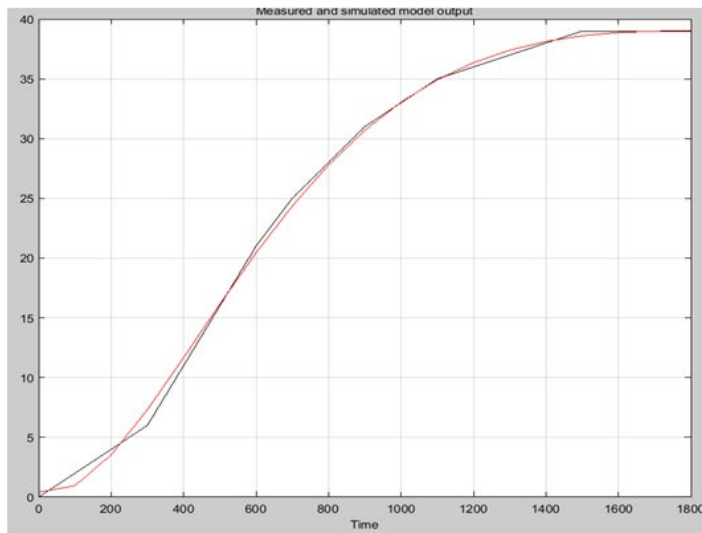


Рисунок 2.5- Результати апроксимації динамічного каналу “витрата газу – температура на виході печі” (реальні дані)

Таким чином передавальна функція буде мати вигляд

$$W_{Gg \rightarrow T_{\text{вих}}}(s) = \frac{4.21(-10.82s + 1)}{136830.82s^2 + 275.19s + 1}, \text{ а похибка апроксимації не перевищує 3\%.}$$

Аналогічно проведено ідентифікацію каналу "витрата газу — температура перевалу печі", результати якого наведено у табл. 2.3 та на рисунках 2.6–2.8

Таблиця 2.3 – Результати проведення експерименту по каналу регулювання “витрата газу – температура перевалу печі”

t, c	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
Gg,%	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Tп,°C	500	509	518	532	560	572	600	618	632	650	664	670	680	686	690	696	698	700	700	700	700	700

У відповідності з табл. 2.3 після нормалізації побудуємо експериментальну перехідну характеристику по каналу регулювання “витрата газу – температура перевалу печі” (рис. 2.6).

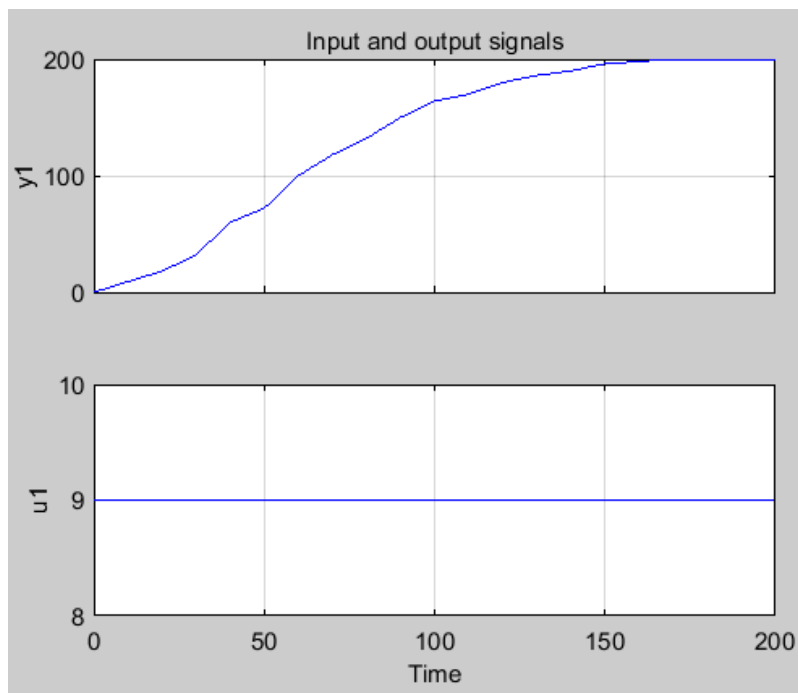


Рисунок 2.6 – Експериментальна перехідна характеристика по каналу регулювання “витрата газу – температура перевалу печі” в безрозмірних одиницях

В процесі ідентифікації вибрана найкраща структура моделі , яка мінімізує похибку апроксимації. Результати ідентифікації приведені на рис.2.7-2.8

Transfer Function

$$\frac{K(1 + Tz s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } Tw) s + (Tw s)^2)}$$

Poles

2 Underdamped

Zero
 Delay
 Integrator

Par	Known	Value
K	<input type="checkbox"/>	21.5941
Tw	<input type="checkbox"/>	40.5664
Zeta	<input type="checkbox"/>	0.74382
Tr3	<input type="checkbox"/>	0
Tz	<input type="checkbox"/>	0.6778
Td	<input type="checkbox"/>	0

Initial Guess

Auto-selected
 From existing model:
 User-defined

Рисунок 2.7-Вибір структури моделі і результати ідентифікації

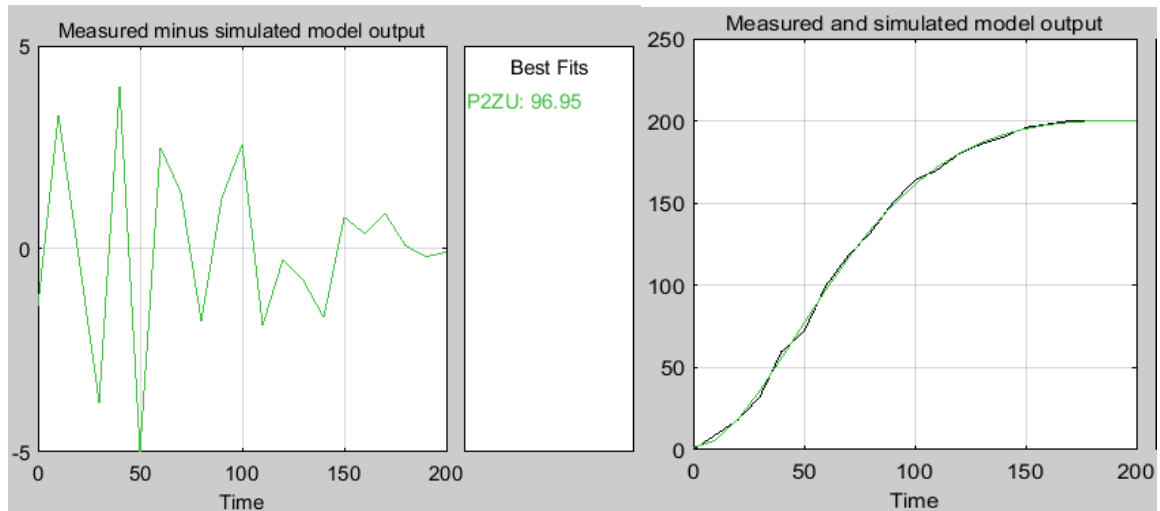


Рисунок 2.8- Підсумкові результати апроксимації динамічного каналу “витрата газу –температура наперевалі печі”

У підсумку , канал “витрата газу –температура наперевалі печі” можна описати функцією передачі

$$W_{Gg \rightarrow T_{nep}}(s) = \frac{21.59(0.678s + 1)}{1645.63s^2 + 30.17s + 1} \text{ з похибкою апроксимації не вище 2,5\%.$$

Висновки до розділу

У розділі обґрунтовано вибір трубчастої печі як об’єкта автоматизації, проведено її аналіз з позицій систем автоматичного регулювання, сформульовано мету регулювання та критерії оптимальності. Проведено експериментальне дослідження каналів керування, визначено їх динамічні характеристики та побудовано відповідні передавальні функції. Отримані результати забезпечують основу для подальшого синтезу ефективної системи автоматичного регулювання температури.

3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ БЕНЗИНУ

Для автоматизації процесу підігріву бензину у трубчастій печі застосовують два класи систем регулювання : одноконтурні та каскадні. Проведемо синтез та аналіз роботи даних систем.

3.1 Розрахунок одноконтурної АСР

Система складається з регулятора та основного каналу керованого об'єкта « подача паливного газу- температура продукта на виході з печі». Всі дослідження проведемо в Simulink із застосуванням інструментарія для тюнінга регулятора. Синтезована імітаційна модель АСР представлена на рис.3.1.

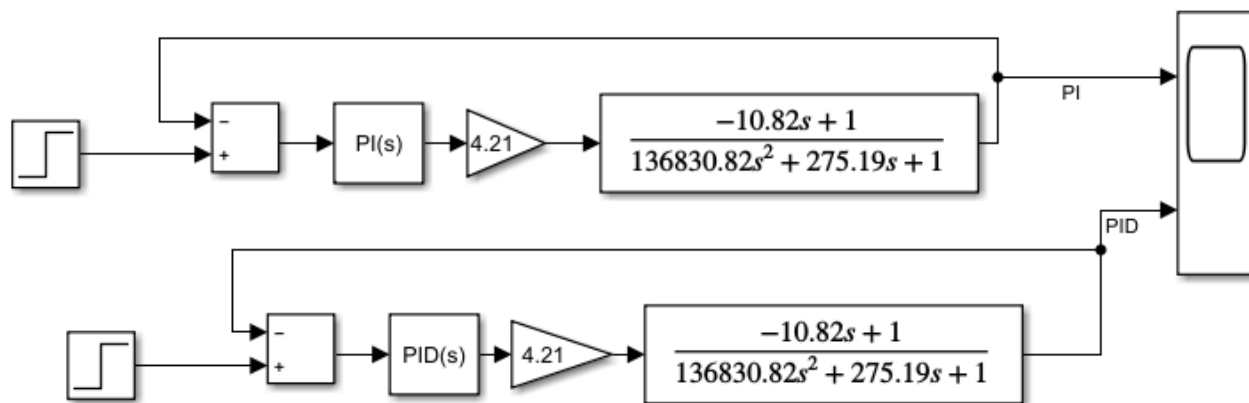


Рисунок 3.1- Імітаційна модель одноконтурної АСР

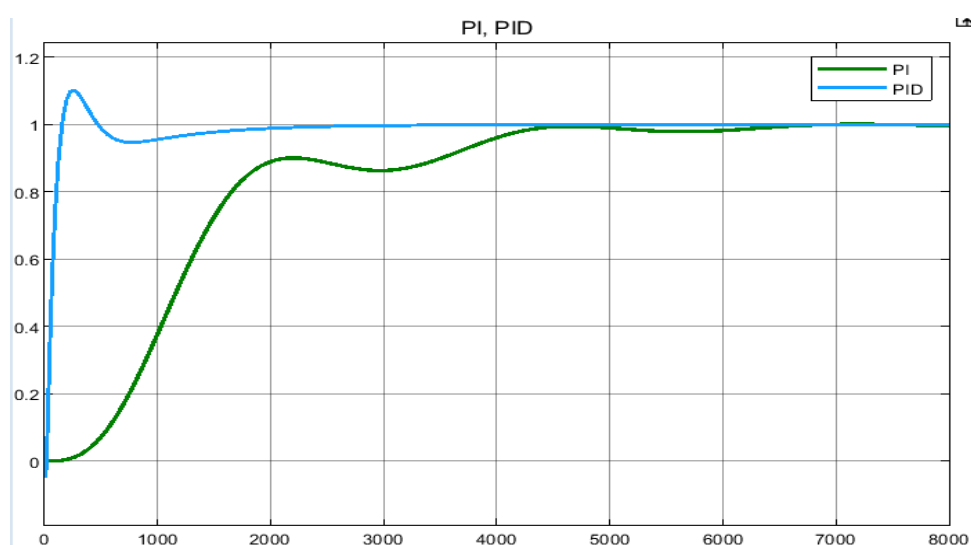


Рисунок 3.2- Результати дослідження в одноконтурній АСР

Імітаційна модель дозволяє провести дослідження і налаштування однотипної АСР з різними регуляторами. Застосовувались ПІ та ПІД-регулятор. Процедура налаштування регуляторів проведена в додатку TUNIG з подальшим ручним підлаштуванням для отримання найкращих налаштувань. Результати налаштованих АСР відповідно представлені на рис. 3.2 і 3.3

Controller Parameters	
	Tuned
P	0
I	0.00016454
D	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	1.57e+03 seconds
Settling time	5.81e+03 seconds
Overshoot	0.126 %
Peak	1
Gain margin	9.07 dB @ 0.00267 rad/s
Phase margin	77.3 deg @ 0.00073 ra...
Closed-loop stability	Stable

Controller Parameters	
	Block
P	1.9486
I	0.0022922
D	362.1129
N	0.13226
Performance and Robu:	
	Block
Rise time	97.5 seconds
Settling time	1.53e+03 seconds
Overshoot	10.2 %
Peak	1.1
Gain margin	17.8 dB @ 0.107 rad/s
Phase margin	63 deg @ 0.0126 rad/s
Closed-loop stability	Stable

а) ПІ- регулятор

б) ПІД-регулятор

Рисунок 3.3- Результати аналізу роботи одноконтурних АСР з різними регуляторами

З аналізу підсумкових показників роботи АСР можна зробити наступні висновки:

- Обидві АСР є стійкими;
- Кращі показники якості роботи характерні для АСР з ПІД-регулятором (за часом наростання , часом регулювання , запасом по фазі та амплітуді);
- Перерегулювання в АСР з ПІД-регулятором є вищим ніж для ПІ-регулятора , проте є достатнім при практичному використанні.

Таким чином в класі одноконтурних АСР для даного об'єкта доцільно застосовувати ПД-регулятор, оскільки інтегрально за більшістю параметрів він має кращі показники.

3.2 Теоретичні основи побудови та синтез LQR-регулятора

LQR-регулятор (від англ. Linear Quadratic Regulator) є одним з найбільш ефективних методів оптимального керування для лінійних динамічних систем. Його основна мета полягає у побудові такого закону керування, який мінімізує квадратичний функціонал якості, що враховує як відхилення станів системи, так і витрати на управління.

Лінійну систему у просторі станів можна описати наступним рівнянням:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t),$$

де: $x(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор станів;

$u(t) \in \mathbb{R}^m$ — вектор керуючих дій;

$A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$ — матриці системи.

Оптимальне керування визначається як таке, що мінімізує наступний функціонал якості:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)) dt,$$

де: $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$ — симетрична невід'ємно визначена матриця, яка відображає "вартість" відхилення станів;

$R \in \mathbb{R}^{m \times m}$ — симетрична додатньо визначена матриця, що враховує енергетичні витрати на управління.

Оптимальне керування має вигляд:

$$u(t) = -Kx(t),$$

де матриця зворотного зв'язку K обчислюється за допомогою розв'язання алгебраїчного рівняння Ріккати:

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

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після знаходження матриці P , матриця зворотного зв'язку K визначається як:

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

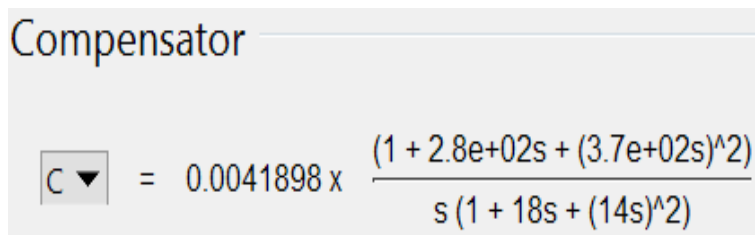
Застосування LQR-регулятора дозволяє забезпечити:

- асимптотичну стабільність замкненої системи;
- мінімізацію функціоналу якості;
- баланс між точністю регулювання та енергетичними витратами.

Метод LQR має широке застосування в автоматизованих системах керування технологічними процесами завдяки аналітичній побудові стабілізуючого керування та можливості гнучкого налаштування за допомогою вагових коефіцієнтів матриць Q та R .

В пакеті *sisotool* Матлаб отримані такі результати синтезу LQR-регулятора:

- Передавальна функція регулятора


$$C \nabla = 0.0041898 \times \frac{(1 + 2.8e+02s + (3.7e+02s)^2)}{s(1 + 18s + (14s)^2)}$$

або

$$C(s) = \frac{3.02 (s^2 + 0.002011s + 7.308e-06)}{s (s^2 + 0.09228s + 0.005268)}$$

-Буде діаграма представлена на рис.3.4

- Step характеристика зображена на рис.3.5

Якісні показники роботи АСР:

1. Час регулювання – 154с.
2. Перерегулювання -6,7%.
3. Запас по фазі -60,1 град.
4. Запас по амплітуді-8,36 дБ.

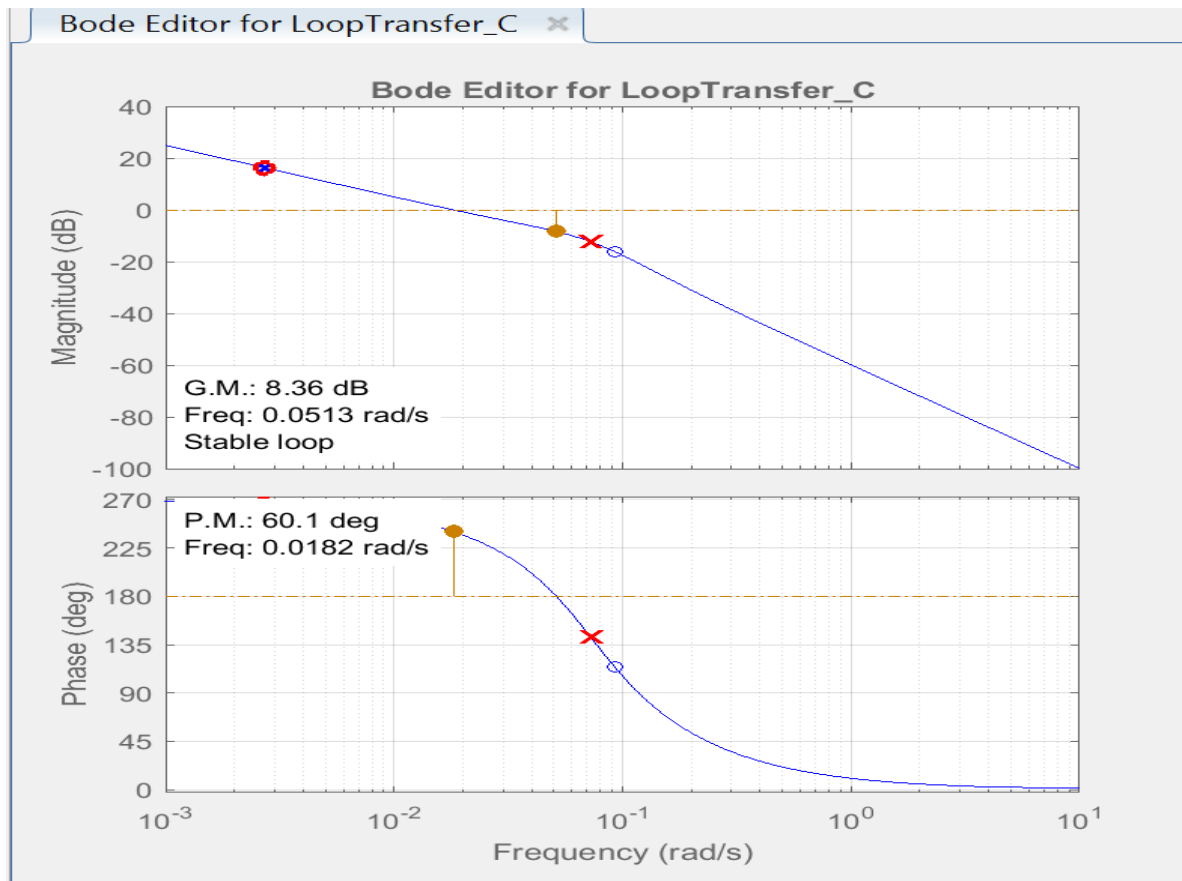


Рисунок 3.4 - Фазочастотні характеристики АСР з LQR-регулятором

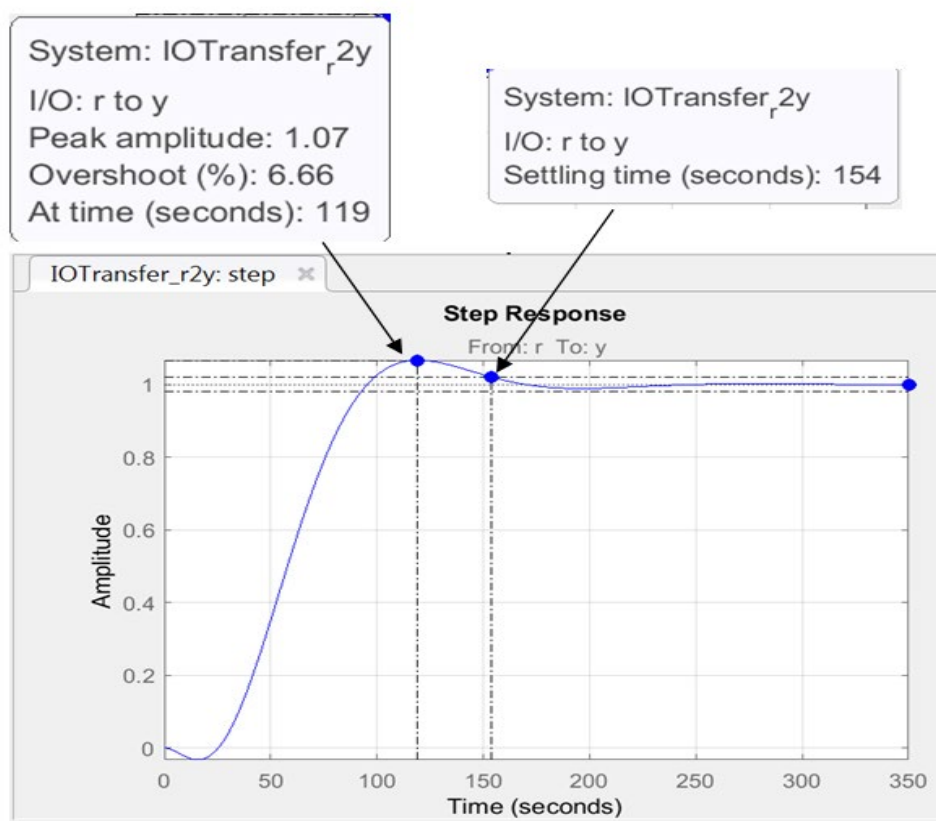


Рисунок 3.5 - Step-діаграма регулювання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.3 Аналіз та синтез каскадної АСР трубчастої печі

Система автоматичного керування складається з двох регуляторів та об'єкта керування, що характеризується наявністю основного та допоміжного каналів. Основним каналом вважається зв'язок між подачею паливного газу та температурою продукту на виході з печі, тоді як допоміжний канал описує залежність між подачею паливного газу та температурою продуктів згоряння на перевалі печі.

З метою реалізації каскадної системи автоматичного регулювання було проведено дослідження функціонування систем з різними комбінаціями типів регуляторів у каскадному з'єднанні: П–ПІД, ПІ–ПІД та ПІД–ПІД.

Типова імітаційна модель такої системи наведена на рисунку 3.6.

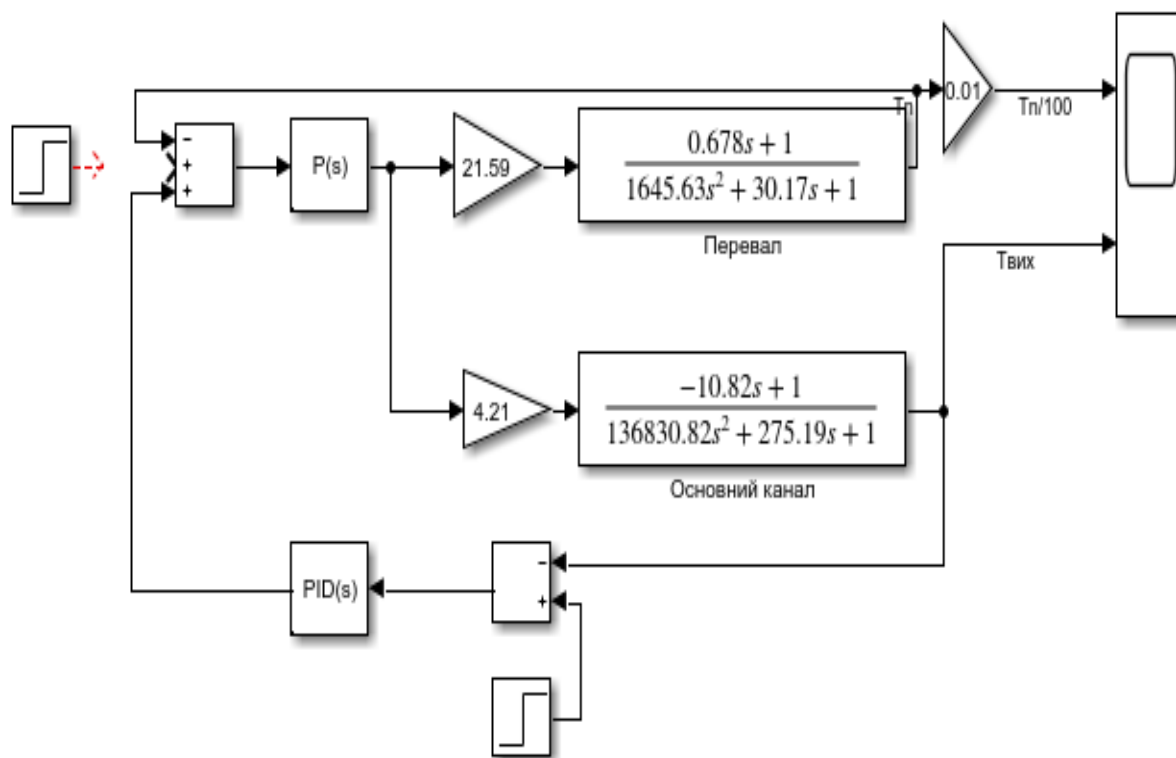


Рисунок 3.6-Імітаційна модель каскадної АСР

Налаштування регуляторів у каскадній системі здійснюється за ітераційним підходом. Спочатку виконується оптимізація параметрів внутрішнього регулятора за умови відключеного зовнішнього регулятора. Після завершення первинного налаштування внутрішнього регулятора до системи підключається зовнішній регулятор, після чого проводиться його налаштування. Подальше уточнення параметрів здійснюється в умовах роботи

обох регуляторів з метою забезпечення узгодженого функціонування всієї системи.

Зовнішній контур керування реалізується за допомогою ПІД-регулятора, тоді як внутрішній регулятор у процесі дослідження змінює свою структуру — розглянуто варіанти з пропорційним (П), пропорційно-інтегральним (ПІ) та пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД) законами регулювання.

Результати моделювання системи з різними конфігураціями регуляторів представлені на рисунках 3.7–3.9.

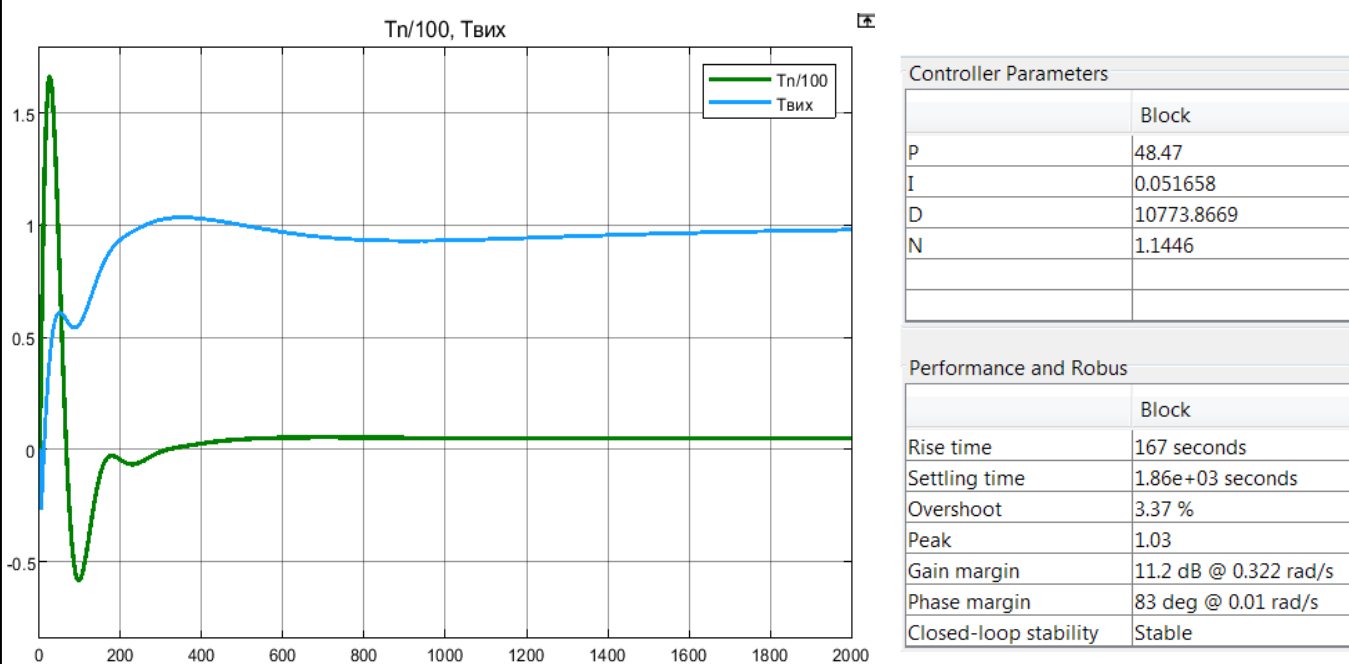


Рисунок 3.7-Результати моделювання АСР з ПІД структурою регуляторів

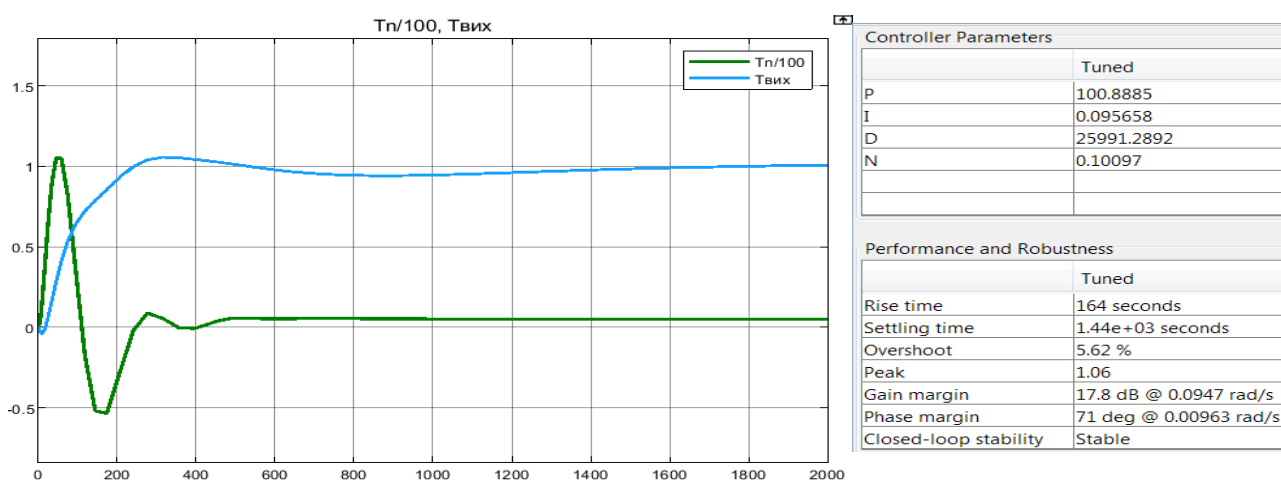
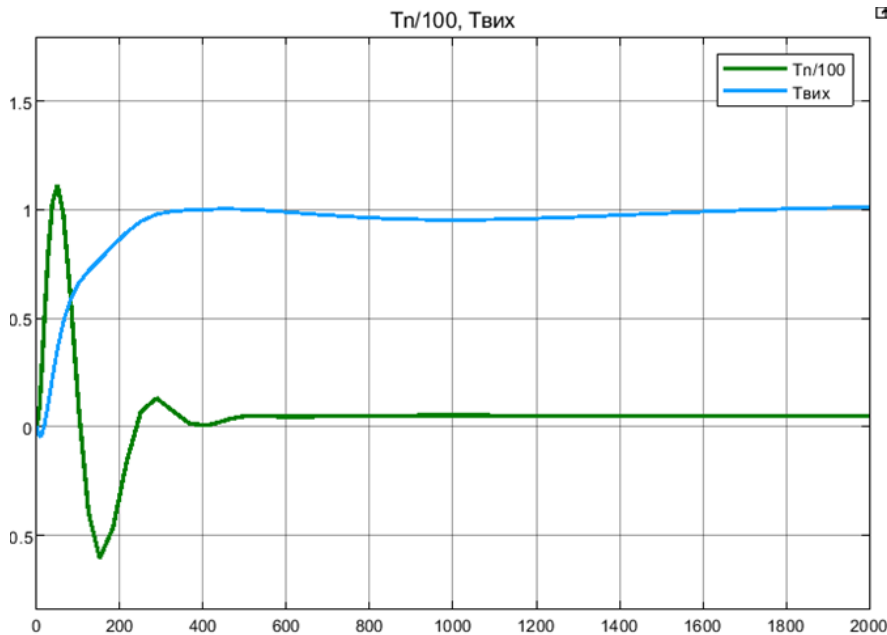


Рисунок 3.8-Результати моделювання АСР з ПІД структурою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Controller Parameters	
	Tuned
P	104.6694
I	0.065585
D	37778.0666
N	0.099796
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	191 seconds
Settling time	288 seconds
Overshoot	0.275 %
Peak	1
Gain margin	17 dB @ 0.0982 rad/s
Phase margin	82 deg @ 0.00951 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рисунок 3.9-Результати моделювання АСР з ПІД-ПІД структурою регуляторів

Аналіз якісних характеристик функціонування каскадної автоматичної системи регулювання (АСР) засвідчив, що структура з регуляторами типу ПІД-ПІД забезпечує значно кращі динамічні показники у порівнянні з іншими розглянутими варіантами.

Порівняльний аналіз традиційної одноконтурної АСР з ПІД-регулятором і каскадної системи з ПІД-ПІД конфігурацією показав, що використання каскадної структури дозволило скоротити час регулювання у п'ять разів (з 1530 с до 288 с), а також суттєво зменшити перерегулювання (з 10,2 % до 0,3 %).

Запропонована АСР з оптимальним LQR-регулятором демонструє наближені до каскадної ПІД-ПІД системи якісні показники. Зокрема, час регулювання у даному випадку становить 154 с, що майже вдвічі краще, ніж у каскадній системі. Водночас перерегулювання у системі з LQR-регулятором дещо більше у порівнянні з ПІД-ПІД структурою.

Висновки до розділу

У даному розділі проведено синтез імітаційних моделей одноконтурної та каскадної системи автоматичного регулювання температури в трубчастій печі. Встановлено, що в класі одноконтурних систем найкращі показники має

АСР з LQR-регулятором. У класі каскадних систем перевагу слід надати структурі ПД–ПД, незважаючи на те, що у літературі переважно рекомендується використання простіших регуляторів у внутрішньому контурі. Застосування LQR-регулятора, а також реалізація каскадної структури регулювання дозволяють суттєво підвищити якість функціонування системи автоматичного регулювання.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ АСР УСТАНОВКИ

4.1 Структура комп'ютерно-інтегрованої системи управління

Узагальнена структура комп'ютерно-інтегрованої системи керування установкою вторинної ректифікації бензину наведена на рис. 4.1.

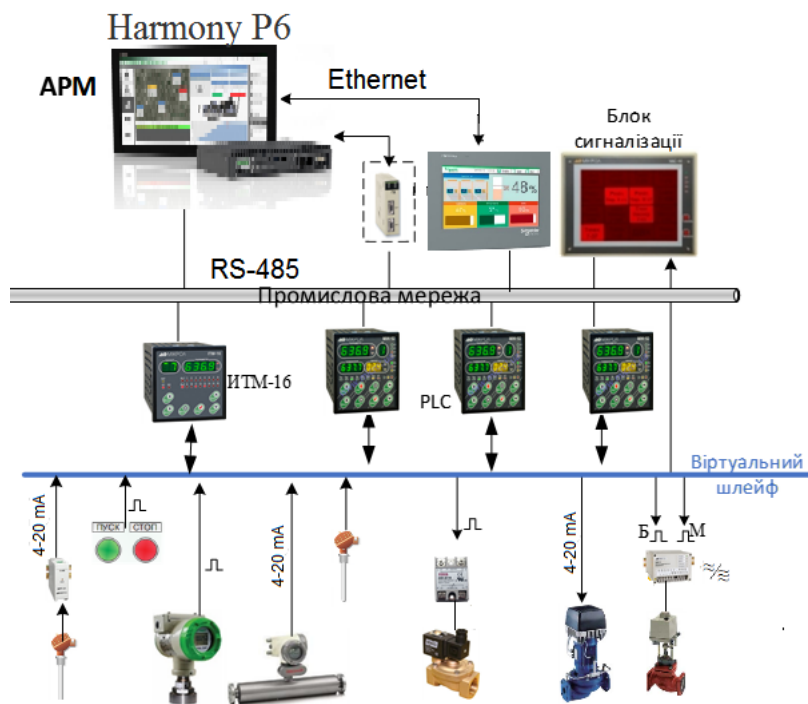


Рисунок 4.1 – Ієрархічна структура системи керування установкою вторинної ректифікації бензину

Проектована система керування має чітко виражену ієрархічну архітектуру, що відповідає концепції розподілених систем автоматизації, та включає три функціональні рівні, реалізовані відповідно до стандартів ІЕС 62264 та ISA-95.

Нижній рівень є фізичним рівнем взаємодії з технологічним процесом. Він охоплює засоби первинного вимірювання основних параметрів (температури, тиску, витрати, рівня), пости ручного керування, а також регулюючі і запірні органи (електроприводи, пневмоприводи), оснащені відповідними інтерфейсами для інтеграції з контролерним обладнанням. Основна функція цього рівня — забезпечення збору первинної інформації та впливу на об'єкт керування в реальному часі.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Середній рівень виконує функції локального регулювання та попередньої обробки даних. У його складі — програмовані логічні контролери (ПЛК), багатоканальні цифрові індикатори, а також засоби технологічної сигналізації. Цей рівень забезпечує реалізацію алгоритмів автоматичного керування, включаючи ПД- і каскадне регулювання, та слугує інтерфейсом між польовими пристроями і системами верхнього рівня.

Верхній рівень представлений автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора або інженера з автоматизації, реалізованим на базі промислового комп'ютера з інстальованим програмним забезпеченням SCADA-класу (наприклад, Vijeo Citect, WinCC, або EcoStruxure Operator Terminal Expert). SCADA-система виконує функції моніторингу, архівування, аналізу технологічних даних та дистанційного керування у відповідності до концепції Industry 4.0.

Взаємодія між середнім та верхнім рівнями реалізована за допомогою промислової цифрової мережі на базі інтерфейсу **RS-485** із застосуванням протоколу **Modbus RTU**, що забезпечує надійну та детерміновану передачу даних. Така архітектура дозволяє досягти високого рівня надійності, масштабованості та гнучкості при зміні конфігурації системи.

З наукової точки зору, розроблена структура відповідає принципам побудови кіберфізичних систем, де відбувається інтеграція фізичних процесів і програмного керування, що є основою для побудови інтелектуальних систем керування в енерготехнологічній промисловості.

4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

Розглянувши технологічний об'єкт та особливості його роботи, вимоги до технологічних параметрів та загальний рівень автоматизації досліджуваного виробництва здійснимо вибір технічних засобів автоматизації.

Комплекс технічних засобів включає в себе: засоби отримання інформації про стан технологічного процесу, засоби формування та передачі

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

інформації, засоби представлення інформації обслуговуючому персоналу, виконавчі механізми.

Оскільки досліджування виробництва відноситься до пожежно- та вибухонебезпечних, то у відповідності до цієї специфіки проводимо вибір конкретних типів технічних засобів. Встановлені по місцю первинні перетворювачі та прилади в операторній виконані в іскробезпечному виконанні.

Система автоматизації установки вторинної ректифікації бензину вимагає задіяння таких ТЗА:

- первинні перетворювачі температури, тиску, витрат та рівня;
- вторинні прилади технологічної індикації;
- виконавчі механізми;
- мікропроцесорні контролери.

Промисловий комп'ютер Harmony Р6

Промисловий комп'ютер Harmony Р6 є ключовим елементом верхнього рівня комп'ютерно-інтегрованої системи управління, який забезпечує об'єднання операційних технологій (ОТ) із інформаційними технологіями (ІТ) у рамках концепції промислового Інтернету речей (ІоТ). Завдяки інтегрованим функціям Node-RED, Wi-Fi, Bluetooth та підтримці операційної системи Windows, дана платформа забезпечує гнучке середовище для реалізації алгоритмів обробки даних, візуалізації, віддаленого доступу та локального керування процесом.

Обчислювальні ресурси базуються на процесорах серії Intel Core/Celeron, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних у реальному часі. Модульна архітектура з розширюваними слотами для HDD/SSD та PCI/PCIe модулів забезпечує масштабованість системи відповідно до зростаючих вимог технологічного процесу. Подвійні Ethernet-порти дозволяють фізично розділити мережі ОТ і ІТ, що відповідає принципам кібербезпеки промислових систем.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Панель оператора Harmony ET6

Для забезпечення взаємодії оператора з технологічним процесом застосовується панель оператора Harmony ET6 з підтримкою Ethernet та RS-485 інтерфейсів, що забезпечує універсальність підключення до різноманітних контролерів та промислових мереж.

Панель має високоякісний кольоровий дисплей з роздільною здатністю, що підтримує 16 млн кольорів, та доступна в конфігураціях з діагоналями 7", 10", 12" і 15,6", що дозволяє обрати оптимальний розмір для конкретного об'єкта керування. Вбудований мікропроцесор з частотою 800 МГц забезпечує високу швидкодію при зміні екранів, виконанні скриптів і відображенні анімацій.

Наявність 256 МБ внутрішньої пам'яті дозволяє реалізовувати проєкти з використанням HD-графіки, архівів, журналів подій і сценаріїв. Додатково, підтримується підключення USB-носіїв для резервного копіювання та переносу конфігурацій.

Панель програмується за допомогою спеціалізованого ПЗ, яке включає базові елементи НМІ-функціоналу: реєстрація трендів у реальному часі, керування нагадуваннями, зберігання та виклик рецептів, мультивіконне керування тощо.

Вибір первинних вимірювальних перетворювачів

Датчики температури

З огляду на те, що температура у всіх технологічних апаратах установки вторинної ректифікації бензину не перевищує 300 °С, а середовище експлуатації є агресивним, для вимірювання температури доцільно застосовувати термоелектричні перетворювачі типу ТХК-Метран-232, встановлені в захисній арматурі.

Ці термомпари мають номінальну статичну характеристику НСХ: L, що відповідає високій стабільності та надійності вимірювання у діапазоні температур 0...400 °С. Довжина термомперетворювачів підбирається з

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

урахуванням геометрії апаратів та необхідного ступеня занурення у вимірювальне середовище для забезпечення точності результатів.

Датчики тиску

Для вимірювання тиску в установці застосовуються інтелектуальні перетворювачі тиску Rosemount 3051С, які формують уніфікований струмовий сигнал 4–20 мА з цифровою надбудовою по протоколу HART. Прилади мають широкий діапазон верхніх меж вимірювання — від 0,025 кПа до 27,58 МПа, що дозволяє їх використання для контролю як низьких, так і високих тисків у різних технологічних вузлах.

Конструкція обраного типу 3051С — копланарна, із сенсором на основі емнісної або п'єзорезистивної технології, що забезпечує високу точність, стабільність, а також стійкість до перевантажень і температурних впливів.

Датчики витрати

Для вимірювання витрати бензину, бензинових фракцій і паливного газу застосовується вторинний витратомір Метран-350MFA, побудований на базі диференціальної трубки Annubar. Така конструкція забезпечує низький гідравлічний опір, що важливо для зменшення енергетичних втрат при транспортуванні продукту. Робочий тиск витратоміра — до 25 МПа, а вихідний сигнал відповідає уніфікованому струмовому інтервалу 4–20 мА з підтримкою HART-протоколу.

Датчики рівня

Для вимірювання рівня рідких продуктів у складних умовах експлуатації (високі температури, тиск, агресивні середовища) доцільно використовувати хвилеводні радарні рівнеміри Rosemount 3301, які реалізують принцип відображення електромагнітної хвилі в межах хвилеводу.

Особливості та переваги застосування рівнемірів серії Rosemount 3300:

- Вимірювання не залежить від фізико-хімічних властивостей середовища: діелектричної проникності, густини, рН, температури та тиску;

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Можливість підбору зонда відповідно до форми резервуара та технологічних вимог;
- Проста інсталяція та двохпровідна схема підключення;
- Надійна робота в умовах високої турбулентності, вібрацій, пароутворення **або** запиленості середовища.

Аналізатор кисню в димових газах.

Цей аналізатор ідеально підходить для моніторингу вмісту кисню в димових газах, що дозволяє оптимізувати процеси горіння та підвищити енергоефективність систем. Завдяки вбудованому дизайну, він забезпечує швидкий відгук та високу точність вимірювань без необхідності використання складних систем відбору проб.

Основні технічні характеристики

- Тип аналізатора: In Situ (вбудований в газовий потік)
- Принцип дії: Застосування цирконієвого сенсора для вимірювання концентрації кисню
- Діапазон робочих температур процесу: до 705 °С; з опціональним байпасом та охолодженням — до 1050 °С.
- Час відгуку (T90): до 8 секунд
- Довжина зонда: від 0,46 м до 5,49 м.
- Робоча температура навколишнього середовища: від -40 до 80 °С.
- Комунікаційні інтерфейси: 4–20 мА з HART або FOUNDATION Fieldbus
- Живлення: 90–250 В змінного струму, 48/62 Гц

Вибір засобів індикації та сигналізації технологічних параметрів.

Для контролю температури, тиску та витрати застосовується 16-канальний індикатор ІТМ-16 виробництва ТОВ «Мікрол». Цей прилад має універсальні входні канали, що забезпечують можливість підключення датчиків температури безпосередньо або через нормалізатори сигналів. На виході пристрою формуються дискретні сигнали за результатами логічної

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

обробки вхідних даних, що дозволяє використовувати його у схемах сигналізації та блокування.

Для сигналізації перевищення технологічними параметрами встановлених уставок використовується панель сигналізації УАС-16МИ. Вона значно спрощує побудову схем сигналізації та є компактним і ефективним рішенням для даного випадку.

Вибір засобів регулювання

У якості основного засобу керування технологічним процесом використовується мікропроцесорний високопродуктивний контролер МІК-52-07. Вибір даного пристрою обумовлений його високою надійністю, швидкодією та здатністю забезпечувати високу точність підтримання регульованих параметрів на заданому рівні.

Модель контролера обрана з урахуванням складності системи автоматизації установки та характеристик вхідних сигналів, що надходять від первинних вимірювальних засобів. Оскільки система автоматизації установки включає велику кількість контурів регулювання, для реалізації керування технологічним процесом застосовуються три мікропроцесорні контролери МІК-52-07.

4.3 Розрахунок регулюючого органу

Кожний регулюючий орган в залежності від своїх конструктивних можливостей може бути охарактеризований якісними показниками, які визначають можливість його використання в конкретних умовах. Це пропускна здатність і витратна характеристика.

Для розрахунку нам потрібні такі вихідні дані:

- вимірювальне середовище - паливний газ;
- максимальна витрата газу $G_{\max}=300$ кг/год;
- мінімальна витрата газу $G_{\min}=200$ кг/год;
- тиск в газовій магістралі після РО $P_0=0,25$ МПа;
- тиск в газовій магістралі до РО $P_m=0,45$ МПа;

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- температура паливного газу $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- динамічна в'язкість паливного газу $\mu=0,585\cdot 10^{-6}\text{ кгс/см}^2$;
- показник адіабати $\chi=1,31$;
- густина паливного газу $\rho=0,760\text{ кг/м}^3$;
- різниця висот початкової і кінцевої ділянок газопроводу $\Delta h=-3,5\text{ м}$;
- діаметр трубопроводу $D=0,1\text{ м}$.

Визначимо гідравлічний напір, що відповідає різниці рівнів верхньої і нижньої відміток газопроводу

$$\Delta P_2 = \Delta h \cdot \rho$$

$$\text{або } \Delta P_2 = -3,5 \cdot 0,76 = -2,66 \cdot 10^{-5}\text{ МПа.}$$

Знайдемо значення тиску в мережі

$$\Delta P_{\text{мережі}} = P_0 - P_m - \Delta P_2$$

$$\Delta P_{\text{мережі}} = 0,45 - 0,25 + 2,66 \cdot 10^{-5} = 0,20\text{ МПа}$$

Обчислимо число Рейнольдса

$$R_e = 36,1 \cdot 10^{-3} \frac{G_{\text{max}}}{D \cdot \mu}$$

$$\text{або } R_e = 36,1 \cdot 10^{-3} \frac{300}{0,1 \cdot 0,585 \cdot 10^{-6}} = 185129,8$$

Перевіримо умову гідравлічної гладкості трубопроводу

$$R_e < 27 \left(\frac{D}{n_1} \right)^{8/7}, \text{ де } n_1 - \text{шорсткість трубопроводу; } n_1 = 0,2\text{ мм.}$$

Підставивши дані в умову, отримаємо

$$185129,8 < 27 \left(\frac{100}{0,2} \right)^{8/7} = 32802.$$

Отже, дана умова не виконується так як газопровід не є гідравлічно гладким, то коефіцієнт тертя λ визначається в залежності від числа Рейнольдса R_e і співвідношення D/n_1 . Отже, $\lambda=0,015$.

Знаходимо середню швидкість в газопроводі при максимальній витраті

$$v_{\text{сер}} = \frac{4G_{\text{max}}}{\rho \pi D^2} \text{ або}$$

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_{сер} = \frac{4 \cdot 300}{0,76 \cdot 3,14 \cdot (0,1)^2 \cdot 3600} = 13,96 \text{ м/с}.$$

Визначаємо втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу

$$\Delta P_{np} = \lambda \frac{\rho \cdot L \cdot v_{\max}^2}{2 \cdot D},$$

де L - сумарна довжина газопроводу; L=5 м.

Отже

$$\Delta P_{np} = 0,015 \frac{0,76 \cdot 5 \cdot (13,96)^2}{2 \cdot 0,1} = 5,55 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}$$

Визначаємо витрати тиску в місцевих опорах трубопроводу

$$\Delta P_m = (\zeta_{ex} + \zeta_{вих} + \zeta_{90} + \zeta_{заг}) \frac{\rho v_{сер}^2}{2}$$

де ζ_{ex} , $\zeta_{вих}$, ζ_{90} , $\zeta_{заг}$ - коефіцієнти місцевих опорів;

$$\zeta_{ex} = 0,5; \zeta_{вих} = 10; \zeta_{90} = 0,66; \zeta_{заг} = 0,08.$$

Тоді

$$\Delta P_m = (0,5 + 10 + 0,66 + 0,08) \frac{0,76 \cdot (13,96)^2}{2} = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Відповідно загальні витрати тиску в лінії

$$\Delta P_{л} = \Delta P_m + \Delta P_{np}$$

$$\text{або } \Delta P_{л} = 1,66 \cdot 10^{-4} + 5,55 \cdot 10^{-4} = 7,21 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Визначаємо перепад тиску на РО при мінімальній витраті паливного газу

$$\Delta P_{po \min} = P_0 - P_б$$

$$\text{або } \Delta P_{po \min} = 0,45 - 0,25 = 0,20 \text{ МПа}.$$

Таким чином, перепад тиску на регулюючому органі практично не змінився.

Оскільки

$$\frac{\Delta P_{PO \min}}{P_0} = \frac{0,2}{0,45} = 0,44 < 0,5,$$

тоді знаходимо максимальну пропускну здатність регулюючого органу за формулою

$$K_{v \max} = \frac{G_{\max}}{74 \sqrt{\rho \cdot P_0}}$$

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або

$$K_{v\max} = \frac{300}{74\sqrt{0,76 \cdot 0,25}} = 9,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Вибираємо клапан з умовою пропускною здатністю $K_v=12,5 \text{ м}^3/\text{год}$, яка визначається з умови $K_v=1,2 \cdot K_{v\max}$. Діаметр умовного проходу 50 мм.

Визначаємо відношення перепаду тиску в лінії до перепаду тиску на регулюючому органі при максимальній витраті

$$\frac{\Delta P_{\text{л}}}{\Delta P_{\text{ро}}} = \frac{7,21 \cdot 10^{-4}}{0,19901} = 3,6 \cdot 10^{-3}.$$

Оскільки за умовою витратна характеристика повинна бути лінійна, то при $n=0$, слід вибрати регулюючий орган з лінійною пропускною здатністю.

Визначаємо максимальну витрату для вибраного регулюючого органу

$$G_{\max} = G_{\max} \frac{K_v}{K_{v\max}} \quad \text{або} \quad G_{\max} = 300 \frac{12,5}{9,3} = 403,2 \text{ кг/ год}$$

Визначаємо відносні значення витрат паливного газу

$$\mu_{\max} = \frac{G_{\max}}{G_{\max}}; \quad \mu_{\min} = \frac{G_{\min}}{G_{\max}};$$

$$\text{або } \mu_{\max} = \frac{300}{403,2} = 0,744; \quad \mu_{\min} = \frac{200}{403,2} = 0,496.$$

Знаходимо діапазон переміщення РО з лінійною характеристикою при $n=0$.

$$\Delta S = M_{\max} - M_{\min} \quad \text{або} \quad \Delta S = 0,744 - 0,496 = 0,248.$$

За результатами розрахунку вибираємо клапан регулюючий типу GX з цифровим позиціонером DVC2000 фірми Fisher.

4.4 Розробка ФСА процесу переробки бензину на базі локальних контролерів

Функціональна система автоматизації (ФСА) – це основний технічний документ, який визначає функціональну структуру і об'єкт автоматизації технологічної установки.

Розробленою ФСА передбачено :

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витрата бензину, що проходить з установки АВТ-2 на установку вторинної ректифікації бензину, регулюється за допомогою вимірювального перетворювача типу Метран-350МФА (поз. 5-а), сигнал від якого поступає на МСА мікроконтролера, а згодом через позиціонер (поз. 5-в) на регулюючий клапан (поз. 5-г);

- витрата паливного газу в залежності від температури “гарячої струмини” на виході з радіантної частини печі ЦС-1 та температури димових газів регулюється за допомогою термопар (поз. 3-б, 3-д) сигнал з яких поступає на МИК-52, з виходу якого сигнал поступає на регулюючий клапан з позиціонером(поз. 6-в);

- каскадне регулювання витрати паливного газу в залежності від тиску та витрати газу який поступає на форсунки печі ЦС-1 здійснюється за допомогою перетворювача тиску типу Rosemount 3051С (поз.7-б), витратоміра Метран-350МФА (поз. 7-а), стандартний електричний уніфікований сигнал з яких поступає МИК-52, а після мікропроцесора через позиціонер (поз.7-г) на регулюючий клапан (поз. 7-д);

- регулювання температури верху колони К-1 здійснюється за допомогою термоелектричного перетворювача типу ТХК-Метран-232 (поз. 1-а), сигнал з якого поступає на МИК -52, а далі через позиціонер (поз. 1-в на регулюючий пристрій (поз. 1-г);

- дистанційний контроль та реєстрація витрати “гарячої струмини” перед радіантною частиною печі ЦС-1 здійснюється за допомогою вимірювального перетворювача типу Метран-350МФА (поз. 8-а), стандартний електричний уніфікований сигнал з яких поступають на технологічний індикатор ИТМ-16(поз. 8-б);

- регулювання тиску “гарячої струмини ” перед радіантною частиною печі ЦС-1 здійснюється за допомогою перетворювача тиску типу Rosemount 3051С (поз. 4-а), стандартний електричний уніфікований сигнал з якого поступає на МИК-52 , а далі через позиціонер(поз. 4-в) на регулюючий клапан (поз. 4-г);

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- каскадне регулювання рівня в колоні К-1 з корекцією по тиску в колоні К-1 здійснюється за допомогою хвилеводного рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 9-а) та перетворювача тиску типу Rosemount 3051С (поз. 9-б), електричний уніфікований сигнал з яких поступає МИК-52, а згодом через позиціонер (поз. 9-г), на регулюючий клапан типу (поз. 9-д);

- каскадне регулювання рівня в акумуляторі К-2 з корекцією по тиску в акумуляторі К-2 здійснюється за допомогою рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 10-а) та перетворювача тиску типу Rosemount 3051С (поз. 10-б), електричний уніфікований сигнал з яких поступає МИК-52, а далі сигнал поступає на позиціонер (поз. 10-г), після якого на регулюючий клапан (поз. 10-д);

- каскадне регулювання рівня в рефлексній ємкості Е-1 з корекцією по тиску газу в цій ємкості Е-1 здійснюється за допомогою рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 11-а) та перетворювача тиску типу Rosemount 3051С (поз. 11-б), стандартний електричний сигнал з яких поступає на МИК-52, а згодом через електропневмоперетворювач (поз. 11-г) на регулюючий клапан (поз. 11-д);

- каскадне регулювання температури зони зрошення в колоні К-1 в залежності від витрати та температури циркуляційного бензину здійснюється за допомогою вимірального перетворювача типу Метран-350МФА (поз. 2-а, 2-б), термоелектричного перетворювача типу ТХК-Метран-232 (поз. 2-в), сигнал з якого поступає на МИК-52, а згодом через електропневмоперетворювач (поз. 2-д) на регулюючий клапан (поз. 2-е);

- контроль по 12-ти точок температур в печі ЦС-1, колоні К-1, акумуляторі К-2, в рефлексній ємкості Е-1 здійснюється за допомогою термоелектричних перетворювачів типу ТХК-Метран-232 (поз. 3-а—3-п), сигнал з яких поступає на технологічний індикатор ИТМ-16(поз. 3-р).

4.5 Розроблення програми управління контролера для автоматизації печі

Для автоматизації трубчастої печі вибрано один з варіантів типової схеми автоматизації. Схема втоматизації представлена на рис. 4.2.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

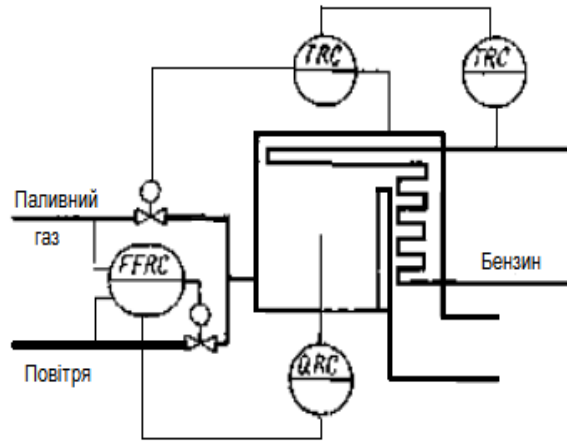


Рисунок 4.2-Типова схема автоматизації печі.

В схемі передбачено два контури регулювання:

-каскадне регулювання подачі палива за температурою на виході печі та перевалі;

-регулювання співвідношення подачі повітря до палива з корекцією по вмісту кисню у димових газах.

Програмна реалізація вказаних контурів регулювання в контролері МИК-52 показана на рис.4.3 - 4.4

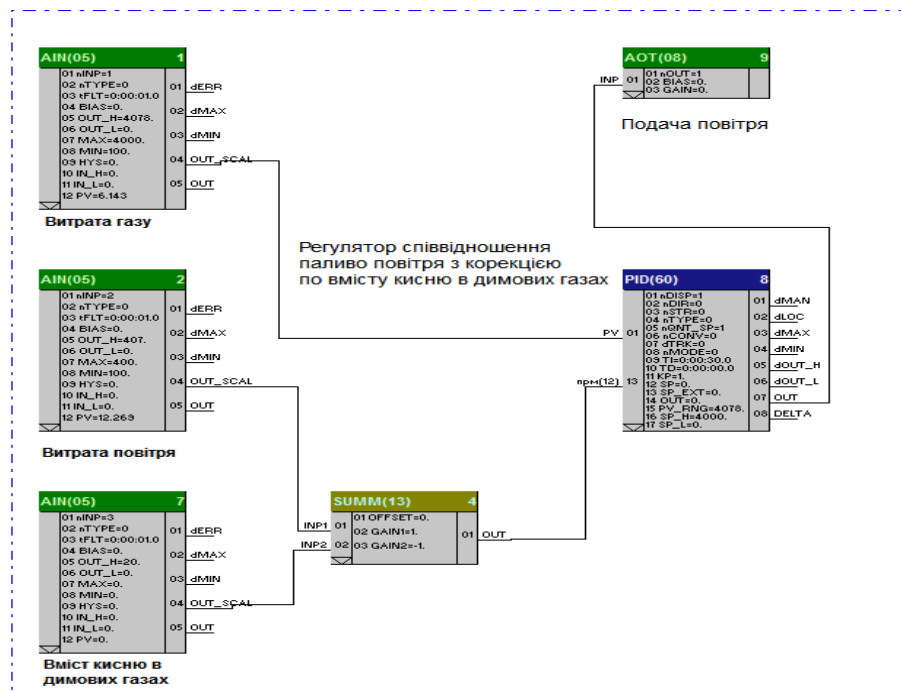


Рисунок 4.3- Контур регулювання співвідношення паливо-повітря.

В програмній реалізації FBD- блоках маємо ПІД-регулятор співвідношення (блок 8) , сигнали для якого підводяться від давачів витрат палива , повітря та аналізатора вмісту кисню у димових газах. Корекція співвідношення по кисню здійснюється в блоці 4. Вихід регулятора керує клапаном подачі повітря.

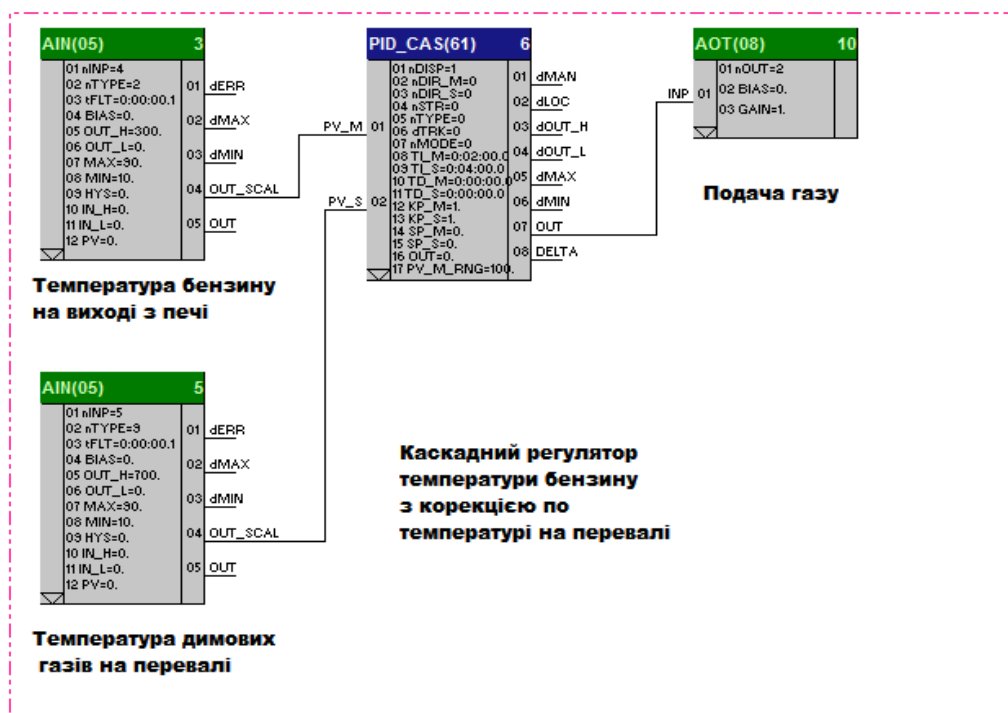


Рисунок 4.4-Каскадне регулювання температурного режиму печі.

Каскадний регулятор (блок 6) містить два регулятори включених по схемі каскадного регулювання. Сигнал з давача температури на перевалі печі подається на ведений регулятор (вхід 02), а сигнал з давача температури бензину на майстер регулятор (вхід 01). Вихід регулятора керує клапаном на лінії подачі паливного газу.

Програмна реалізація LQR- регулятора

Для реалізації даного регулятора вираз отриманий в процесі синтезу необхідно перетворити в програмовану функцію. Скористаємось фрагментом програми для виконання даної процедури.

```
P1=tf([1 0.002011 7.308e-06],[1 0.09228 0.005268])*3.02*tf(1,[1 0])
tc=0.1; % час дискретизації
wzt=c2d(P1,tc);
%перетворення по степенях z^-1
w2=filt(wzt.num,wzt.den)
```

P1 =

$$3.02 s^2 + 0.006073 s + 2.207e-05$$

$$s^3 + 0.09228 s^2 + 0.005268 s$$

Continuous-time transfer function.

w2 =

$$0.3006 z^{-1} - 0.6012 z^{-2} + 0.3006 z^{-3}$$

$$1 - 2.991 z^{-1} + 2.982 z^{-2} - 0.9908 z^{-3}$$

Тоді програмований вираз цифрової реалізації LQR- регулятора прийме

ВИГЛЯД :

$$y[kT] = 2.991y[(k-1)T] - 2.982y[(k-2)T] + 0.9908y[(k-3)T] + \\ + 0.3006x[(k-1)T] - 0.6012x[(k-2)T] + 0.3006x[(k-3)T],$$

де : $y[kT]$, $y[(k-1)T] \dots y[(k-3)T]$ -керувальна дія регулятора k , $k-1 \dots k-3$ тактах керування;

$x[(k-1)T] \dots x[(k-3)T]$ -сигнал на вході регулятора на відповідних тактах;

$T=0.1c$ – такт роботи контролера.

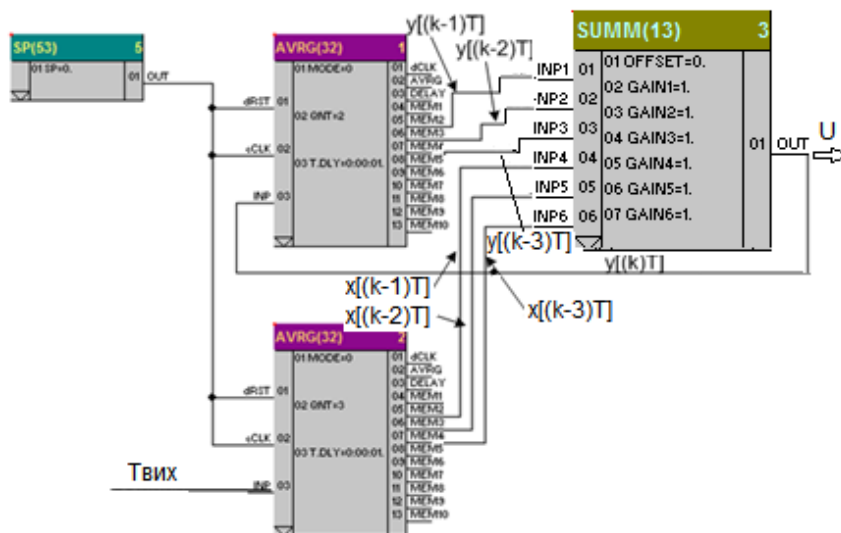


Рисунок 4.5 Програмна реалізація LQR-регулятора

Тепер синтезуємо програму коректора на FBD-блоках. Значення сигналів на попередніх тактах отримуємо на елементах затримки алгоритму *AVRG*, а сумарне рівняння на алгоблочі блоку суматора. Коефіцієнти рівняння необхідно задати в суматорі по кожному входу коефіцієнтом *GAIN*.

4.6 Розрахунок проектної надійності системи регулювання температури в печі ЦС-1

Важливість забезпечення надійності розробленої системи обумовлюють дані того, що надійність визначається як одна з основних властивостей засобів і систем, що характеризує їх здатність виконувати задані функції у процесі експлуатації, тобто зберігати надійні показники, працювати безвідмовно,

Розробка логічних систем розрахунку АСР

Основною і найбільш точною оцінкою надійності є ймовірність безвідмовної роботи ймовірність того, що в заданому інтервалі часу t в елемент або систему не прийде відмова. Якщо позначити час до першої відмови T , то ймовірність того, що елемент або система буде працювати безвідмовно

$$P(t) = P\{T \geq t\}.$$

Оскільки час T є показником, тобто величиною випадковою, то в практиці розраховують показники надійності.

Математичне очікування $M(t)$, яке називається середнім часом безвідмовної роботи, або роботи до відмови. Для оцінки ймовірності відмови елемента або системи в момент часу t застосовують функцію

$$Q(t) = Q\{T < t\}$$

Функція $Q(t)$ характеризує “не надійність” елемента або системи, тобто показує яка ймовірність того, що елемент чи система вийде з ладу раніше моменту часу t .

Із визначенням функцій $P(t)$ та $Q(t)$ очевидно, що

$$P(t) + Q(t) = 1$$

Характеризувати надійність елементів функцією $P(t)$ не завжди зручно, оскільки при малих значеннях t ймовірність безвідмовної роботи близька до одиниці і мало відрізняється від функції $Q(t)$.

Тому для оцінки характеристик надійності часто застосовують функцію

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$F(t)$, яка називається густиною розподілу часу безвідмовної роботи елемента.

$$f(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{dP}{dt}$$

Відношення $f(t)/P(t)$ характеризується інтенсивністю відмов і одержало назву характеристики

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

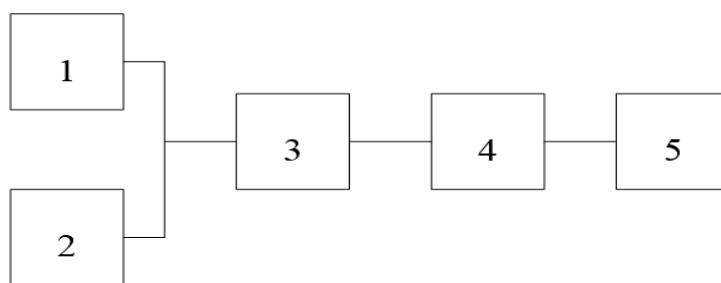
Ця оцінка є основою для характеристики надійності елементів і найбільш частіше проводиться в довідкових матеріалах. Оскільки означені функції часу - суть ймовірності оцінки для їх числового визначення застосовують закони розподілу випадкових величин. Приведемо тут доведення, що основні залежності не впливають на експоненціальний закон розподілу.

$$\lambda(t) = \text{const}; \quad P(t) = e^{-\lambda t}; \quad Q(t) = 1 - e^{-\lambda t};$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad T = 1/\lambda;$$

Для аналізу надійності системи автоматичного регулювання складаються логічні схеми розрахунку надійності, в основі якої лежить принцип з'єднання елементів в залежності від їх впливу на загальну надійність системи з врахуванням їх взаємозв'язку.

Розглянемо контур регулювання температури в печі ЦС-1, логічна схема якого показана на рис.4.6



1 – термопара; 2 – термопара; 3 – мікропроцесорний контролер МИК-52;
4 – виконавчий механізм; 5 – регулюючий орган.

Рисунок 4.6- Структурна схема розрахунку надійності контуру регулювання температури продукту печі ЦС-1.

Задамоємо параметр інтенсивності відмови окремих елементів системи:

$$\begin{aligned}\lambda_{1,2} &= 5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_3 &= 30 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_4 &= 60 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \lambda_5 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.\end{aligned}$$

Тоді інтенсивність відмов рівня

$$\lambda = \sum_{i=1}^5 \lambda_i. \text{ Тоді } \lambda = (5 \cdot 2 + 30 + 60 + 12) \cdot 10^{-6} = 1.12 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Знайдемо час наробки на відмову за формулою

$$T = \frac{1}{1.12 \cdot 10^{-4}} = 8928,5 \text{ год}$$

Згідно формули знайдемо ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P(2000) = e^{-1.12 \cdot 10^{-4} \cdot 2000} = 0,799$$

Тоді ймовірність відмови рівна

$$Q(2000) = -e^{-1.12 \cdot 10^{-4} \cdot 2000} + 1 = 0,2$$

Частота відмов знаходиться за формулою

$$f = 1,12 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-1.12 \cdot 10^{-4} \cdot 2000} = 0,8 \cdot 10^{-4}$$

Схема розрахунку надійності каналу регулювання температури, яка приведена на рисунку містить послідовність з'єднання елементів, тому відмова жодного з елементів у контурі регулювання веде до відмови цілого контуру регулювання. Загальні показники надійності є достатніми для впровадження системи .

Висновки до розділу

Розроблено структурну схему ієрархічної системи автоматизації керованого об'єкту на базі мікропроцесорного контролера МИК-52 . Проведено вибір технічних засобів автоматизації установки. Розроблено функціональну схему автоматизації. Розроблено програмне забезпечення контролера МИК-52. Проведено розрахунок та підбір регулюючого органа. Виконано розрахунок надійності контуру регулювання температури у вертикальній циліндричній печі типу ПД-4504-12 на базі малоканалного мікропроцесорного контролера МИК-52.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Згідно проведених розрахунків можна зробити висновок, що контур регулювання температури володіє досить високими надійними показниками, зокрема ймовірність безвідмовної роботи $P(2000)=0,799$, а час нароби на відмову $T=8928$ год.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена висвітленню та вирішенню проблем комплексної автоматизації і комп'ютеризації хімічних виробництв нафтогазової промисловості на прикладі установки вторинної ректифікації бензину.

У межах роботи проведено аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації та визначено основні точки контролю і регулювання.

На основі активного експерименту здійснено ідентифікацію основних каналів регулювання трубчастої печі, обраної як об'єкт подальших досліджень.

Проведено аналіз і синтез одноконтурних та каскадних систем регулювання печі з різними структурами регуляторів. Встановлено ефективність функціонування печі за умов використання каскадної структури ПД–ПД-регуляторів. Крім того, синтезовано оптимальний LQR-регулятор, який за ефективністю наближається до каскадної структури регулювання.

На основі обраних технічних засобів автоматизації спроектовано комп'ютерно-інтегровану систему керування, для якої розроблено низку проєктних документів. Зокрема, створено функціональну схему автоматизації, програмне забезпечення контролера, виконано проєктні розрахунки регулювального органу та надійності контуру регулювання температури в печі.

Основні проєктні рішення, розроблені в межах роботи, можуть бути рекомендовані для впровадження у промислових умовах.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Курта С.А. Основи нафтохімії / Сергій Андрійович Курта — Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2020 —193 с.
2. Гурвіч, Л. Г. Наукові основи переробки нафти/Л.Г. Гурвіч. – К.: Книга на вимогу, 2012.
3. Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Сучасні методи переробки нафти. Хімотологія бензинів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 41 с.
4. Practical Advances in Petroleum Processing - Chang Samuel Hsu, Paul R. Robinson, 2018.
5. Гуменецький В. В.. Процеси та обладнання нафтопереробних заводів. Львів, Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2003 р.
5. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Технологія видобування нафти. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «ХП», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2022. – 308 с.
6. Коржик М.В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab / Навч. посібн. для студентів вищих навч. закл. – Київ : НТУУ «КП», 2016. – 174 с.
7. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с
8. Когутяк М.І., Когуч Я. Р. Автоматизація неперервних технологічних процесів в нафтовій і газовій промисловості .Навчальний посібник. Івано – Франківськ, -2006 –225с
10. Семенцов Г.Н., Горбійчук М.І., Жуган Л.І., Чеховський С.А. Автоматизація процесів переробки нафти і газу.- Львів:Світ,1992.

					БР.АКТзд-29.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55