БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-05.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Володимир Головчак

2026

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

Головчак Володимир Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.51:665.63
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу вторинної ректифікації бензину
(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль
доцент О.В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент
асистент Г.Г. Зварич
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня
АКП-22-1 В.І. Головчак
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник
доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ - 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АКІТ

_____.
«___» _____ 20__ року

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

Головчак Володимир Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу вторинної ректифікації бензину

керівник роботи Лагойда Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «___» _____20__ року №_____

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Дослідження технологічного процесу вторинної ректифікації бензину як об'єкта автоматизованого контролю та регулювання. 2. Побудова математичних моделей та структурна ідентифікація об'єкта керування. 3. Синтез структури системи автоматичного керування. 4. Розроблення та реалізація SCADA-системи у середовищі AVEVA InTouch. 5. Підготовка технічної документації для впровадження САК. Висновки. Перелік посилань на джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-05.00.00.001;
Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-05.00.00.002;
Лист 3 - Аналіз і синтез одноконтурної та каскадної АСК - БР.АКП-05.00.00.003;
Лист 4 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКП-05.00.00.004;
Лист 5 - Схема підєднань - БР.АКП-05.00.00.005;
Лист 6 - Загальний вигляд щита керування - БР.АКП-05.00.00.006.

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	Дослідження технологічного процесу		
	вторинної ректифікації бензину як		
	об’єкта автоматизованого контролю		
	та регулювання		
2	Побудова математичних моделей та		
	структурна ідентифікація об’єкта		
	керування		
3	Синтез структури системи		
	автоматичного керування		
4	Розроблення та реалізація SCADA-		
	системи у середовищі AVEVA		
	InTouch		
5	Підготовка технічної документації		
	для впровадження САК		

Студент _____ В.І. Головчак
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ А.І. Лагойда
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 67 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 7 таблиць, 9 переліків посилань на джерела і 3 додатка.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу вторинної ректифікації бензину».

Об’єкт дослідження: установка вторинної ректифікації бензину.

Мета проекту: удосконалення автоматичної системи керування процесом вторинної ректифікації бензину.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи.

Результати кваліфікаційної роботи: у ході виконання роботи встановлено, що функціонування установки вторинної ректифікації бензину супроводжується недостатньою ефективністю наявної системи автоматизації, що свідчить про її технічну недосконаліть. У зв’язку з цим обґрунтовано необхідність розроблення модернізованої системи автоматичного керування на основі мікропроцесорного контролера МІК-51, а також доведено доцільність її впровадження.

У межах кваліфікаційної роботи здійснено комплексний аналіз існуючих підходів до керування даним технологічним об’єктом та виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження розроблюваної автоматизованої системи керування. Експериментальним шляхом визначено перехідні характеристики об’єкта, сформульовано цілі керування та встановлено основні вимоги до системи. Проведено синтез і аналіз структури автоматичної системи керування, розраховано оптимальні налаштування регуляторів та виконано перевірку системи на стійкість. Моделювання динамічних режимів функціонування здійснено з використанням програмного середовища MATLAB, що дало змогу оцінити якісні показники системи. Завершальним етапом стало розроблення повного комплекту технічної документації для впровадження автоматизованої системи керування.

Ключові слова: автоматичне керування, моделювання, контролер, налаштування регулятора.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 67 pages of printed text, 19 figures, 7 tables, 9 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: "Improvement of the automation system of the technological process of secondary rectification of gasoline".

Object of research: secondary rectification of gasoline.

Project goal: improvement of the automatic control system of the secondary rectification of gasoline.

Research methods: experimental modeling of the automatic system.

Results of the qualification work: during the work, it was established that the functioning of the secondary rectification of gasoline is accompanied by insufficient efficiency of the existing automation system, which indicates its technical imperfection. In this regard, the need to develop a modernized automatic control system based on the MIK-51 microprocessor controller was substantiated, and the feasibility of its implementation was also proven.

As part of the qualification work, a comprehensive analysis of existing approaches to controlling this technological facility was carried out and a feasibility study for the implementation of the developed automated control system was performed. The transient characteristics of the facility were experimentally determined, control objectives were formulated, and the basic requirements for the system were established. The structure of the automatic control system was synthesized and analyzed, the optimal settings of the regulators were calculated, and the system was tested for stability. Modeling of dynamic operating modes was carried out using the MATLAB software environment, which made it possible to assess the quality indicators of the system. The final stage was the development of a full set of technical documentation for the implementation of the automated control system.

Keywords: automatic control, modeling, controller, regulator settings.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ..... 8

ВСТУП..... 9

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВТОРИННОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ БЕНЗИНУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ..... 10

1.1 Загальна характеристика установки вторинної ректифікації бензину 10

1.2 Загальні характеристика сировини та вихідних продуктів..... 11

1.3 Аналіз технологічного процесу вторинної ректифікації бензину..... 13

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання установки..... 16

1.5 Параметри контролю та регулювання..... 17

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу..... 20

Висновки до розділу..... 22

2 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ..... 23

2.1 Теоретичне обґрунтування та аналіз обраного об'єкта автоматизації 23

2.2 Дослідження характеристик технологічного об'єкта як ланки системи автоматичного регулювання..... 23

2.3 Виділення показників якості системи керування..... 24

2.4 Дослідження динаміки та експериментальне моделювання процесів у циліндричній печі..... 25

2.4.1 Підготовка і проведення експерименту..... 25

2.4.2 Обробка результатів експерименту..... 27

Висновки до розділу..... 32

3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ..... 33

3.1 Розрахунок одноконтурної АСР..... 33

3.2 Розрахунок каскадної АСР..... 34
3.3 Аналіз стійкості одноконтурної АСР..... 36
3.4 Дослідження на стійкість каскадної АСР..... 37
3.5 Оцінка якості розроблених систем керування..... 38
Висновки до розділу..... 39
4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ AVEVA InTouch..... 40
Висновки до розділу..... 43
5 ПІДГОТОВКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ САК..... 44
5.1 Вибір технічних засобів автоматизації..... 44
5.1.1 Вибір давачів температури..... 44
5.1.2 Вибір давачів тиску..... 45
5.1.3 Вибір давачів витрати..... 46
5.1.4 Вибір давачів рівня..... 47
5.1.5 Вибір вторинних засобів автоматизації..... 49
5.1.6 Вибір регуляторів..... 49
5.2 Технічна реалізація системи автоматизації процесу переробки бензину та розробка проектних документів..... 51
5.2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації..... 51
5.2.2 Розробка загального вигляду щита..... 53
5.2.3 Розробка схеми зовнішніх під’єднань..... 54
Висновки до розділу..... 55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА..... 57
ДОДАТКИ
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВМ - виконавчий механізм;

к.к. - кінець кипіння;

в.к.к. - висококиплячий компонент;

КО - керований об’єкт.

н.к.к. - низькокиплячий компонент;

п.к. - початок кипіння;

ТЗА - технічні засоби автоматизації;

ФСА - функціональна схема автоматизації;

САК - система автоматичного регулювання;

ВСТУП

Автоматизація у нафтохімічній а також нафтопереробній промисловості має надзвичайно важливе значення.

Установка вторинної ректифікації бензину являється однією із базових установок нафтопереробної та нафтохімічної промисловостей. Зазначена установка призначена для одержання високооктанових базових компонентів автомобільних бензинів.

Основним завданням автоматизації, в даному випадку, є підтримання технологічних параметрів на встановленому регламентом рівні.

На якість одержання продуктів негативно впливає наявність будь яких недоліків, які можуть виникнути у процесі роботи установки. У таких випадках підвищується кількість відмов задіяного технічного обладнання. Такі явища приводять до появи аварійних ситуацій у процесі яких виникають небезпеки для задіяного персоналу.

На установці вторинної ректифікації бензину задіяна система автоматизації з одноконтурним, та каскадним регулюванням.

Вдосконаленням наявних САК може являтися регулювання із використанням каскадних систем, яке можна реалізувати за допомогою мікропроцесорних контролерів МІК-51.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВТОРИННОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ БЕНЗИНУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ

1.1 Загальна характеристика установки вторинної ректифікації бензину

Технологічна установка каталітичного реформінгу являється призначеною для вторинної пергонки бензинової фракції п.к. - 210 ºС з метою одержання сировини каталітичного реформінгу - фракція 85-180 ºС і складає основу всіх нафтопереробних заводів.

За допомогою ректифікації відбувається розділення бензину у складній колоні К-1. Зазначена колона складається із 46-ти клапанних тарілок. У ній температура низу колони коливається у межах від 230 до 250 ºС, а температура верху коливається від 85 до 115 ºС. Тиск у колоні становить від 0,08 до 0,2 МПа.

Ректифікація представляє собою дифузійний процес, який виконує розділ різноманітних рідких сумішей взаємно розчинних компонентів котрі можна розрізнити за температурами кипіння, котрий виконують шляхом протиточного, багаторазового контакту наявних незрівноваженої парової а також рідкої фаз.

Фізичною суттю процесу ректифікації являється двосторонній масо- а відповідно і теплообмін між абсолютно незрівноваженими наявними потоками пари а також рідини за значної турбулізації фаз, які контактують. Результатом масообміну являється збагачення пара низькокиплячими компонентами, а відповідно рідини збагачення висококиплячими компонентами. За певного числа контактів отримаються пари, котрі в основному складаються із низькокиплячих, відповідно а рідина складається із висококиплячих компонентів.

Процес ректифікації відбувається у протитечії парової та рідкої фаз, що відповідно гарантує деяку відмінність температур а також певну нерівномірність складів потоків, які зустрічаються.

У випадку проведення процесу одноразового випару чи наприклад одноразової конденсації можна отримати пару, яка являється багатшою н.к.к., ніж та яка була у початковій системі, а відповідно рідину яка буде багатшою в.к.к..

Значної якості розподілу сировини у одноразових процесах подібного класу досягти не вдається.

У випадку багатократної або поступової конденсації чи випару може бути забезпечене одержання парової а відповідно і рідкої фаз із абсолютно будь-якою концентрацією кожного із компонентів. У таких випадках вихід парової чи відповідно рідкої фази з необхідною такою концентрацією являтиметься незначним порівняно із кількістю початкової суміші. У таких випадках проблема розв'язується тільки якісно, але не кількісно.

Чіткого розподілу компонентів у таких випадках досягнуто не буде, тому, що під час технологічного процесу отримаються досить значні кількості парових чи відповідно рідких фаз, компонентні склади котрих суттєво відрізняються від необхідних складів.

Парова та рідка фази, що вступають у контакт не перебувають у рівновазі, але прагнуть її досягти чи можливо наблизитися до зазначеного стану. У такому випадку відбувається певне вирівнювання температур та тисків у даних фазах а відповідно і компонентний перерозподіл між ними. Процес отримання стану рівноваги являється ідеальним чи ще інакше теоретичним, а відповідно пристрій, котрий забезпечує зазначений контакт називається теоретичною тарілкою.

1.2 Загальні характеристика сировини та вихідних продуктів

У таблиці 1.1 представлена характеристика сировини а також одержуваних продуктів.

Таблиця 1.1 - Загальні характеристика сировини та вихідних продуктів

Назва одержуваної продукції, сировини	Обов'язкові показники якості	Значення	Область застосування
Сировина-бензин прямо-гінний фр.п.к. - 210˚С	Фракційний склад: - кінець кипіння,˚С, (значення не вище) - залишок і втрати, %, (значення не більше)	210 4	Сировина установки

Продовження таблиці 1.1

Назва одержуваної продукції, сировини	Обов'язкові показники якості	Значення	Область застосування
	Вміст механічних домішок і води Вміст водорозчинних кислот і лугів Випробування на мідній пластинці Колір	відсутні відсутні витримує прозор.	
Фракція п.к.-85˚С	Октанове число за моторним методом, (значення не нижче) Кінець кипіння,˚С, (значення не вище)	70 115	Компо-нент бензину
Фракція 85-180˚С	Густина, кг/м^3 Фракційний склад: - кінець кипіння,˚С, (значення не вище) - початок кипіння,˚С, (значення не нижче) Вміст сірки, % мас., (значення не більше) Випробування мідною пластиною Наявність водорозчинних лугів та кислот	не норм., 180 85 0,04 витрим. відсутн.	Сировина установ- ки каталітич-ного рефор-мінгу

Продовження таблиці 1.1

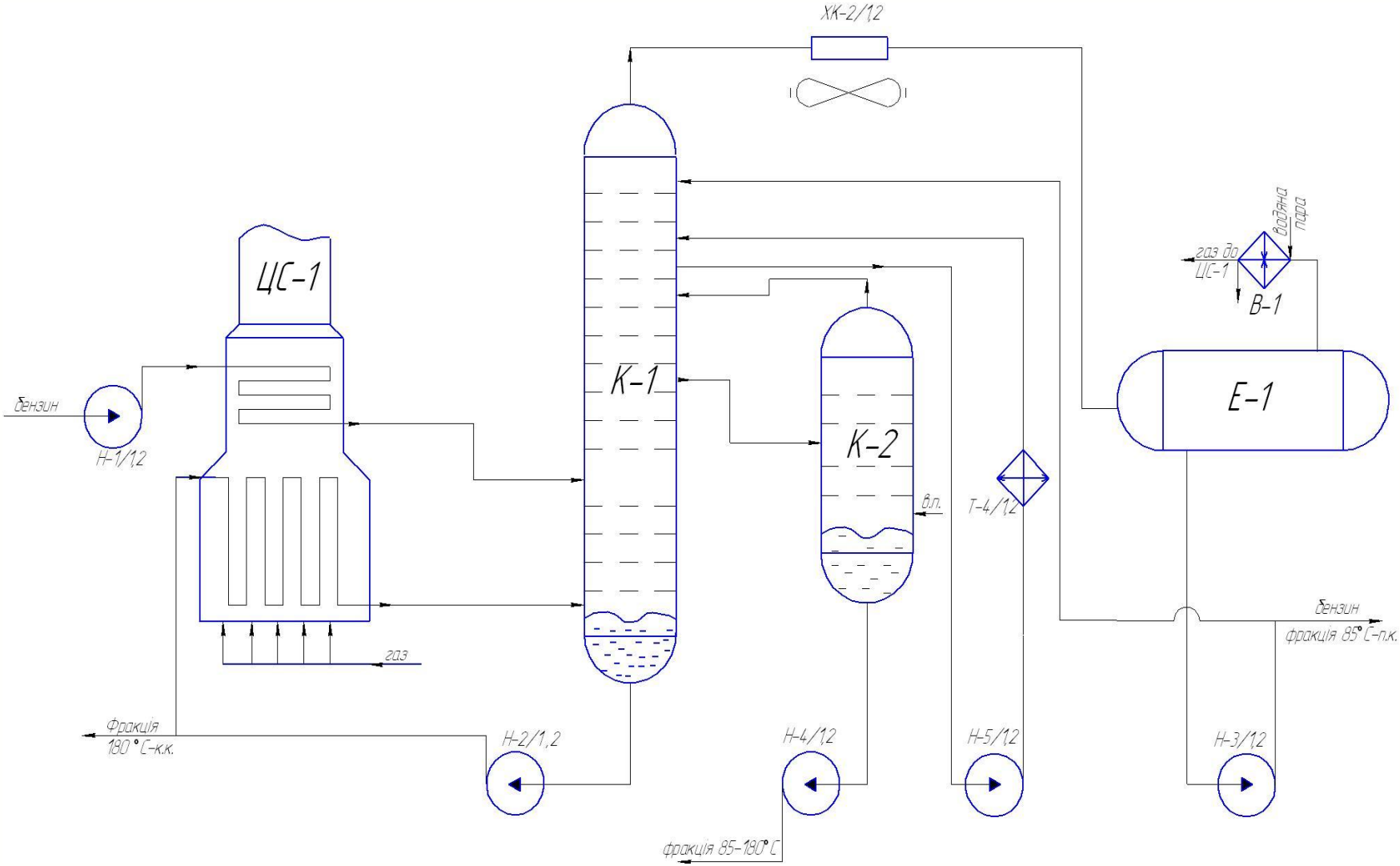
Назва одержуваної продукції, сировини	Обов'язкові показники якості	Значення	Область застосування
	Вміст води і механічних домішок Колір	відсутн. прозор.	
Фракція 180-210˚С	Фракційний склад: - кінець кипіння.˚С, (значення не вище) - початок кипіння,˚С, (значення не нижче)	210 180	Компонент зимового дизельного палива

1.3 Аналіз технологічного процесу вторинної ректифікації бензину

Сировиною установки являється фракція, яка має температуру почвтку кипіння 210 ºС. Дана сировина із резервуарів проміжного парку (Р-1, Р-2) потрапляє на прийом до насосу сировини Н-1/1,2. Сировина під тиском 1,50 - 1,60 МПа та у кількості до 60 м^3/год потрапляє у змійовик печі ЦС-1 (конвекційна частина), а з неї у колону К-1 (рис. 1.1).

Із верхньої частини колони К-1 пара фракції, яка характеризується температурою початку кипіння 85 ºС а також температурою 95-115 ºС направляються у холодильники-конденсатори, які характеризуються повітряним охолодженням ХК-2/1,2, де відповідно охолоджуються до необхідної температури від 50 до 60 ºС. Після зазначених холодильників-конденсаторів охолоджена фракція потрапляє у ємність Е-1.

Із зазначеної ємності Е-1 бензин (рідка фаза) надходить до насосів Н-3/1,2, із виходу котрих частина у певній кількості (10-30 м^3/год) поступає на зрошення верхньої частини колони К-1, а інша частина рідкої фази перекачується у резервуари проміжного парку.



ЦС-1 - трубчата піч; К-1 - колона вторинної перегонки; К-2 - акумулятор, стабілізаційна колона; ХК-2/1,2 - конденсатор-холодильник; Т-4/1,2 - теплообмінник; Е-1 - рефлексна ємність; В-1 - підігрівач паливного газу; Н-1-5/1,2 - насоси

Рисунок 1.1 - Технолгічна схема установки вторинної ректифікації бензину

Із ємності Е-1 вуглеводневий газ потрапляє у випарник В-1, де відбцвається процес його нагрівання до температури приблизно 90-100 ºС, а після нього відправляється у піч ЦС-1 як його паливо.

Фракція 85-180 ºС, яка являється боковою, із тарілок від 23 до 27 технологічної колони К-1 за допомогою самопливу потравляє у акумулятор К-2 із температурою від 125 до 165 ºС.

За температури нижньої частини колони К-1 менше 240 ºС а також тиску меншого 0,3 МПа відбувається відбір фракції.

Фракція 85-180 ºС з К-2 поступає у насоси Н-4/1,2. Через систему теплообмінників фракція після насосів Н-4/1,2 охолоджується до температури від 45 до 65 ºС. Дальше дана фракція потрапляє у сировинний парк установки каталітичного реформінгу.

Із колоною К-1 верх акумулятора К-2 обєднаний зрівноважуючою лінією, яка призначається для ефективного зрівноваження тисків у акумуляторі К-2 та колоні К-1.

Циркуляційне зрошення, яке виконане з метою відведення надлишкової кількості тепла із колони К-1 виконане між 32-33 тарілками. Бензин, який циркулює надходить до насосу Н-5/1,2. За тиску не більше 1 МПа після насосу Н-5/1,2 бензин перекачується через теплообмінники Т-4/1,2 у яких охолоджується до температури у межах від 40 до 90 ºС а потім поступає на 35-36 тарілки колони К-1.

З нижньої частини колони К-1 фракція 180 ºС потрапляє на прийом насоса Н-2/1,2. Із викида насосу Н-2/1,2 частина фракції якою являється "гаряча струмина" за тиску 1,25 МПа перекачується через змійовики печі ЦС-1 у якій відповідно нагрівається до необхідної температури у межах від 230 до 280 ºС та потрапляє під саму нижню тарілку ректифікаційної колони К-1.

Із виходу насосу Н-2/1,2 інша частина фракції 180 ºС перекачується через труби теплообмінника а також холодильники які являються зануреними, і віддаючи своє наявне тепло до температури від 40 до 80 ºС виводиться із технологічної установки ув резервуарний парк для паливного мазуту.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання установки

Технічна характеристика технологічного устаткування представлена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Характеристики обладнання

Назва	Познач	К-сть	Технічна характеристика
Трубчата піч безполум'яного горіння	ЦС-1	1	$P_{роб} = 0{,}8 \div 1{,}2$ МПа; $D = 1{,}6$ м; $D_{труб} = (162 * 8) \cdot 10^{-3}$ м; $H = 24{,}835$ м
Колона вторинної перегонки	К-1	1	$D = 3{,}0$ м; $H = 35{,}3$ м; $V = 18{,}7$ м^3; $m = 235 \cdot 10^3$ кг; $P_{роб} = 0{,}3$ МПа
Акумулятор, стабілізаційна колона	К-2	1	$D = 2{,}8$ м; $H = 29{,}4$ м; $V = 159$ м^3; $m = 202 \cdot 10^3$ кг; $P_{роб} = 0{,}3$ МПа
Конденсатор-холодильник повітряного охолодження	ХК-2/1,2	1	$O_{кол} = 5{,}0$ м; $n = 250$ об/хв; $P = 4{,}5$ кПа; $N_{дв} = 100$ кВт; $n_{дв} = 1480$ об/хв; $P_{роб} = 0{,}6$ МПа; продуктивність $666 \cdot 10^3$ м^3/год
Теплообмінник	Т-4/1,2	1	$D = 0{,}8$ м; $H = 7{,}425$ м; $F = 450$ м^2; $P_{роб} = 2{,}5$ МПа
Підігрівач паливного газу	В-1	1	$D = 1{,}6$ м; $H = 8{,}35$ м; $P = 0{,}3$ МПа
Рефлексна ємність	Е-1	1	$n = 2975$ об/хв; $N_{дв} = 100$ кВт; $Q = 116$ м^3/год; $H = 0{,}199$ м
Насос для подачі сировини	Н-1/1,2	1	$N_{дв} = 100$ кВт; $n = 2975$ об/хв; $Q = 116$ м^3/год; $H = 0{,}199$ м

Продовження табл. 1.2

Назва	Познач	К-сть	Технічна характеристика
Насос для подачі циркуляційної флегми	Н-2/1,2	1	$N_{дв} = 100$ кВт; $n = 2975$ об/хв; $Q = 116$ м^3/год; $H = 0{,}199$ м
Насос для подачі орошення і відкачки фракції п.к.-85 °С	Н-3/1,2	1	$Q = 90$ м^3/год; $N_{дв} = 40$ кВт; $n = 2975$ об/хв
Відкачка бокового погона фракції 85-180 °С	Н-4/1,2	1	$Q = 55$ м^3/год; $N_{дв} = 25$ кВт; $n = 2975$ об/хв
Насос для циркуляційного орошення	Н-5/1,2	1	$Q = 135$ м^3/год; $N_{дв} = 32$ кВт; $n = 2975$ об/хв

1.5 Параметри контролю та регулювання

У досліджуваній установці (вторинна ректифікація бензину) відбувається одночасно досить велика кількість взаємопов’язаних процесів, саме тому установка вторинної ректифікації бензину являється доволі складним об’єктом для автоматизації.

Регулювання і контроль параметрів установки вторинної ректифікації бензину, як правило здійснюється за основними показниками роботи апаратів та агрегатів, які впливають на нормальне проходження технологічного процесу а також якість вихідних продуктів.

Розглянемо необхідність контролю, регулювання та реєстрації основних параметрів процесу:

- Ефективна зміна витрати подачі кількості бензину, яка надходить із технологічної установки АВТ-2 на розроблювану установку. Даний параметр

пов'язаний із продуктивністю роботи установки а також із тиском у змійовиках (конвенційна частина) печі ЦС-1.

- Ефективна зміна витрати паливного газу, яка залежатиме від кількості «гарячого потоку», котра перекачується із низу колони К-1 за допомогою насосів Н-2/1,2 у піч ЦС-1 (радіантна частина), та від зазначеної температури при виході із печі ЦС-1 (радіантна частина) яка впливає на зміну температури нижньої частини колони К-1. У випадку зменшення витрати паливного газу пропорційно зменшується також температура нижньої частини колони К-1.

- Ефективна зміна витрати подачі паливного газу у прямій залежності від величини тиску а також витрати паливного газу. Даний параметр впливає на температуру продуктів на виході з печі ЦС-1, а потім відправляються у ректифікаційну колону К-1, що відповідно викличе зменшення або збільшення температури безпосередньо у колоні К-1.

- Ефективна зміна температури верхньої частини колони К-1 у прямій залежності від витрати фракції, яка має температуру п.к. - 85 ºС, котра потрапляє із виходів насосів Н-3/1,2 для орошення верхньої частини колони К-1. Вказаний метод регулювання дасть змогу підтримати температуру верхньої частини колони К-1 в деяких заданих межах (85-115 ºС).

- Реєстрація а також дистанційний контроль тиску а також витрати фракції яка характеризується кінцем кипіння 180 ºС на вході у радіантну частину трубчастої печі ЦС-1. Дає можливість ведення контролю та витрати за тиском «гарячого потоку», що відповідно надає можливість завчасного виявлення порушень у температурному режимі нижньої частини колони К-1, та відображає попередження можливих аварійних ситуацій у печі ЦС-1 (радіантна частина).

- Ефективне регулювання рівня у колоні К-1 залежно від тиску у ректифікаційній колоні К-1. Даний параметр впливатиме на рівень та температурний режим нижньої частини колони К-1, що відповідно може викликати порушення у технологічному процесі ректифікації.

- Ефективне регулювання рівня у колоні К-2 (акумулятор) відповідно до

тиску. Даний параметр впливатиме на значення тиску а також рівня у даному акумуляторі.

- Ефективне регулювання рівня у ємності Е-1 (рефлюксна ємність) залежно від значення тиску у зазначеній ємності. Даний параметр вливає на значення тиску паливного газу для печі ЦС-1, а також на величину рівня у ємності Е-1.

- Ефективне регулювання температури у зоні зрошення колони К-1 залежно від значення витрати а також температури для циркуляційного бензину. Дане значення температури має безпосередній вплив на температурний режим у ректифікаційній колоні К-1. Тепло із ректифікаційної колони К-1 відводиться за допомогою зрошення.

Значення параметрів контролю та регулювання і межі їх коливання представлені у таблиці.

Таблиця 1.3 - Параметри регулювання та контролю

Назва вимірюваного параметру	Вимірювані одиниці	Межі зміни параметра
1	2	3
Витрати:		
- сировини на установку (насоси Н-1/1.2)	$м^3$/год	40-60
- “ гарячий потік ” на виході із радіантної частини печі ЦС-1 (загальна)	$м^3$/год	20-30
- “ гарячий потік ” на виході із печі ЦС-1 (за потоками)	$м^3$/год	10-15
- паливного газу	$м^3$/год	80-120
- циркуляційного орошення	$м^3$/год	20-50
Тиск:		
- “ гарячий потік ” на виході із печі ЦС-1 (за потоками)	МПа	1,05-1,25
- паливного газу	МПа	0,1-0,45
- в колоні К-1	МПа	0,08-0,3

Продовження таблиці 1.3

1	2	3
Температура:		
- димових газів на перевалі печі	°С	650-850
- низа колони К-1	°С	205-250
- при виході з конвекційної частини печі ЦС-1 сировини	°С	140-180
- верха колони К-1	°С	85-115
- паливного газу	°С	90-100
- зони циркуляційного орошення колони К-1	°С	115-130
- фракції ПК - 85 °С із колони К-1 у ємкість Е-1	°С	30-40
- низа акумулятора К-2	°С	150-165
- циркуляційного бензину після Т-4/1,2	°С	40-90
Рівень:		
в колоні К-1	м	0-1,6
в акумуляторі К-2	м	0-1,6
в ємкості Е-1	м	0-0,8

Порушення наведених в таблиці 1.3 значень може викликати непоправні зміни технологічного процесу. Це може привести до важких аварій, які пов’язані із великими матеріальними втратами та певною небезпекою повязаною із здоров’ям а також життям робітників.

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Розглянемо наступні напрямки для проектування:

- На установці діюча система автоматизації являється системою із традиційної автоматики у якій застосовано одноконтурну систему регулювання. Тобто це локальні засоби і системи, до складу котрих входять давачі, регулятори пневматичної, а також електричної віток із елементами централізованого керування через операторну, первинні перетворювачі.

Цей метод автоматичного регулювання температури являється досить незручним, оскільки змієвик печі являється об’єктом із розпреділеними параметрами, саме тому температура продукту виміряна на виході змінюється достатньо повільно під час зміни подачі палива. При використанні даного варіанту не відбуваться необхідне забезпечення якості регулювання. Такий підгід характеризується значною інертністю та значним відхилення температури від встановленого значення у перехідному режимі.

- Іншим варіантом процесу регулювання температури продукту на виході являється джерело температури димових газів за перевальною стіною печі. У випадку використання даного варіанту компенсуються збурення, котрі виникають в процесі зміни витрати теплотворної здатності палива. Контролер швидше реагує на процес зміни температури над перевалом печі та змінює подачу палива.

Така схема також не забезпечує в повній мірі потрібної якості стабілізації температури на виході, тому, що регулююча величина не являться зв'язаною безпосередньо із регулюванням подачі палива. У результаті великі чи малі зони нечутливості приладу, котрим здійснюєся вимірювання температуру продукту, який нагрівається, являється небажаним явищем. На вимірювання температури також впливає забруднення змієвика у печі відкладанням коксу. Значення температура на виході з печі певний час не має перевищувати значення чи бути заниженою до потрібного значення. В даному випадку періодично необхідно контролювати витрату та температуру на виході із печі.

- Для всього блоку ректифікації пропонуємо систему автоматизації на базі мікропроцесорного контролера МІК-51. Вказана система забезпечить безперервне а також швидке контролювання а також регулювання параметрів технологічного процесу.

Застосуємо для печі каскадну систему автоматичного регулювання температури продукту на виході з печі із корекцією за витратою паливного газу. Ця система забезпечить меншу інертність системи. В даній системі два регулятори (основний та допоміжний), котрі впливають на виконавчий механізм, котрий

встановлений на лінії подачі палива.

Таке поєднання регуляторів не допускатиме значного перерегулювання та відповідно веде до покращення якісних показників процесу регулювання.

Висновки до розділу

Проведений аналіз технологічного процесу, як об’єкту автоматизації, наведено суть і призначення процесу ректифікації. Вибрані параметри контролю і регулювання та подані характеристики технологічного обладнання, також проведено розрахунок процесу горіння в вертикальній циліндричній печі ЦС-1.

2 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Теоретичне обґрунтування та аналіз обраного об'єкта автоматизації

Розглянемо як об'єкт для регулювання циліндричну піч, яка має тип ПД-4504-12. На основі аналізу процесу можна стверджувати, що сировина установки якою являється бензин із установки АВТ направляється в циліндричну піч ПД-4504-12, де нагрівається до необхідної температури. У печі ПД-4504-12 температура напряму залежить від витрати палива, яке направляється в піч на згорання.

З печі типу ПД-4504-12 сировина потрапляє у колону К-1 (ректифікаційна колона), де відбувається її розділення на зазначені вище фракції. З метою забезпечення нормальної роботи колони К-1 потрібно забезпечити підтримання температури сировини у зазначених межах. Отже відповідальним моментом являється підігрів сировини у печі.

Отож, для удосконалення та дослідження системи автоматичного керування, як об'єкт автоматизації вибираємо піч.

2.2 Дослідження характеристик технологічного об'єкта як ланки системи автоматичного регулювання

У якості об'єкту для регулювання виберемо вертикальну циліндричну піч ПД-4504-12, у котрій відбуваться підігрівання фракції 180 °С - к.к. (температура повинна бути у межах 230 °С - 280 °С) та надходить під нижню тарілку у ректифікаційну колону К-1.

В результаті проведеного аналізу технологічного процесу печі як об'єкта керування створена структурна схема печі, котру зображено на рисунку 2.1.

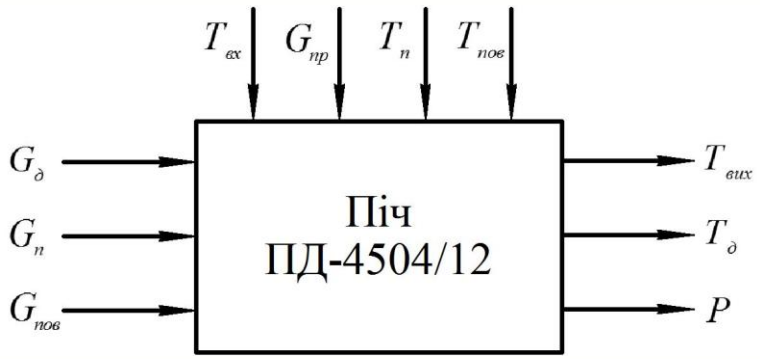


Рисунок 2.1 - Структура трубчатої циліндричної печі, яка має тип ПД-4504-12

У даному випадку у якості основних збурюючих факторів прийнято: $T_{вх}$ - температуру входу продукту, $G_п$ - витрату продукту, $T_п$ - температуру палива, $T_{пов}$ - температуру повітря.

Витрата і склад паливної суміші являються основними регулюючими діями. До вихідних факторів віднесемо температуру технологічного потоку $T_{вих}$ і температуру димових газів $T_д$, а також концентрацію кисню в димових газах P. Саме за цим параметром P відбуваться оцінювання інтенсивності процесу горіння.

2.3 Виділення показників якості системи керування

Метою регулювання температури фракції 180 °С - к.к. на виході із печі являється підтримання температури вихідного продукту на певному рівні.

В цей же час певну температуру фракції 180 °С - к.к. слід підтримувати з витратою палива, яка буде мінімальною. Оскільки тепло у печі утворюється за рахунок спалювання певної кількості палива, саме тому керуючим впливом буде являтися подача паливно-повітряної суміші.

Для забезпечення оптимальності процесу регулювання виберемо такі показники якості регулювання:

а) відхилення досліджуваної величини від необхідного значення $\delta_п \le 5\%$;

б) похибка апроксимації $S \le 2{,}5\%$;

в) перерегулювання $\delta \le (30 \div 40)\%$;

г) степінь затухання коливань $\varphi = (0{,}75 \div 0{,}95)$.

2.4 Дослідження динаміки та експериментальне моделювання процесів у циліндричній печі

Трубчаста піч типу ПД-4504-12 є ключовим апаратом технологічної схеми установки вторинної ректифікації бензину. Стабільність її роботи безпосередньо визначає режими функціонування подальших ланок виробничого ланцюга. Температурний режим печі критично впливає на якісні характеристики та вихід готової продукції, а також на загальну енергоефективність установки. Це зумовлює високу актуальність вдосконалення систем керування даним об’єктом.

Необхідність проведення досліджень викликана такими чинниками:

а) недостатнім рівнем вивчення складних теплотехнічних процесів, що протікають у специфічних теплових об’єктах керування;

б) обмеженим використанням сучасних технічних засобів автоматизації (ТЗА) та дефіцитом адаптованих інженерних методик для синтезу високоефективних і швидкодійних систем автоматичного керування;

в) відсутність математичних моделей і алгоритмів керування.

Температура продукту на виході трубчастої печі, в даний час, є єдиним критерієм визначення стану технологічного процесу. Температура постійно підтримується на встановленому рівні. У системах автоматизації, що розробляються, ключова увага приділяється задачам стабілізації температури продукту на виході. Реалізація цих завдань здійснюється шляхом регулювання подачі палива до форсуночних пристроїв трубчастої печі. При цьому не враховуються різному роду збурення, які з великим запізненням приводять до відхилення заданого значення температури на виході.

Враховуючи сказане вище, динамічні характеристики будемо визначати експериментальним методом.

2.4.1 Підготовка і проведення експерименту

Характеристики об’єкту керування в динаміці визначатимемо за допомогою проведення активного експерименту. Дани метод з базуться на використанні

аперіодичних вхідних впливів, які мають тип «Стрибок». Результатом експерименту являться отримання перехідної характеристики [6].

Зазначений метод базуться на припущенні, яке говорить, що об’єкт, який досліджуться являться лінійним, а у випадку малих змін вхідної величини, його динамічні характеристики не змінюються у часі, а відповідна вихідна величина не залежить від розташування у даний момент часу об’єкта керування [6, 7].

Визначення динамічних характеристик відбуваться за такими основними етапами експерименту [7]: підготовка; проведення; обробка.

В процесі підготовки необхідно досконало вивчити об’єкт, який досліджується, а також визначити вхідну і вихідну змінні. Вхідним параметром є відсоток відкриття регулювального органа, а вихідним — вимірювальний сигнал, що передається на регулятор. Дослідження об’єкта передбачає виявлення та усунення факторів шуму та випадкових збурен [6, 7, 8].

В процесі підготовки та планування експерименту необхідно здійснити підготовку апаратури, яка заключається у виборі приладу, котрий реєструє зміну значення вихідної змінної. В процесі планування експерименту вибирається вигляд досліджуваного впливу, максимальне значення його амплітуди, а також початкове значення вихідної змінної. У розглядуваному випадку аперіодичним впливом являтиметься “стрибок” значення подачі кількості паливно-повітряної суміші [6, 7, 8].

Процес проведення експерименту починається із встановлення на трубчастій печі режиму роботи, котрий встановився при попередньо вибраному значенні величини вихідної змінної $X_{вих0}$. Після цього здійснимо витримку у (2,0-2,5) хвилини, оскільки технологічний процес спочатку проходить досить повільно. Після цього нанесемо збурення шляхом відкриття РО на (9-15)% та почнемо реєструвати зміну відповідної вихідної величини (температуру продукту) у часі [6, 7, 8].

Експертмент вважається закінченим тоді, коли вихідна змінна, в деякий момент часу, практично залишаться не змінною. У нашому випадку вихідний

продукт здійснив нагрівання до температури яка рівна 310 °С (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Експериментальне вивчення каналу керування «витрата газу – температура на виході печі»

t, с	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
С, %	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Т, °С	270	272	274	276	281	286	291	295	298	301
t, с	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	
С, %	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Т, °С	303	305	306	307	308	310	310	310	310	

Відповідно до даних таблиці 2.1 побудуємо експериментальну характеристику за каналом «витрата газу - температура на виході печі» (рис. 2.2).

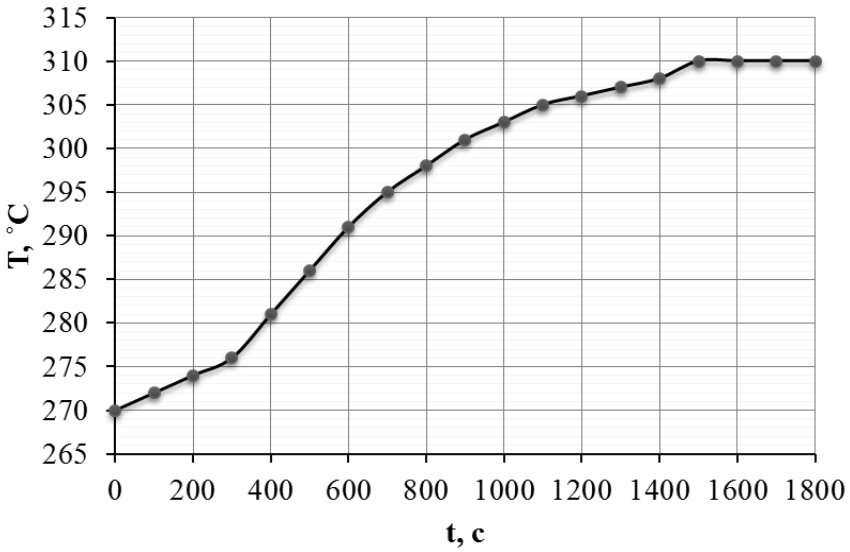


Рисунок 2.2 - Експериментально визначена перехідна характеристика каналу регулювання «витрата газу – температура на вихіді печі».

2.4.2 Обробка результатів експерименту

Експериментально отримані дані перехідного процесу (таблиця 2.1) нормалізуємо, представивши їх у відносних (безрозмірних) величинах. Формули, які дають можливість перейти від розмірних одиниць до відповідних безрозмірних мають такий вигляд [6, 7, 8]:

$$X_{вхі} = \frac{X_{вхі} - X_{вхо}}{X_{вх\max} - X_{вхо}}, \qquad (2.1)$$

$$Y_{вихі} = \frac{Y_{вихі} - Y_{вихо}}{Y_{вих\max} - Y_{вихо}}, \qquad (2.2)$$

де $X_{вхі}$, $Y_{вихі}$ - біжуче значення вхідної і вихідної величини в розмірних одиницях;

$X_{вхо}$, $Y_{вихо}$ - значення вхідних і вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{вх\max}$, $Y_{вих\max}$ - максимальне значення вхідної та вихідної величини в розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

Отже:

$$Y_{вихо} = \frac{270,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0;$$

$$Y_{вих1} = \frac{272,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,05;$$

$$Y_{вих2} = \frac{274,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,1;$$

$$Y_{вих3} = \frac{276,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,15;$$

$$Y_{вих4} = \frac{281,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,275;$$

$$Y_{вих5} = \frac{286,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,4;$$

$$Y_{вих6} = \frac{291,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,52;$$

$$Y_{вих7} = \frac{295,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,625;$$

$$Y_{вих8} = \frac{298,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,725;$$

$$Y_{вих9} = \frac{301,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,775;$$

$$Y_{вих10} = \frac{303,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,825;$$

$$Y_{вих11} = \frac{305,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,875;$$

$$Y_{вих12} = \frac{306,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,9;$$

$$Y_{вих13} = \frac{307,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,925;$$

$$Y_{вих14} = \frac{308,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 0,95;$$

$$Y_{вих15} = \frac{310,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 1,0;$$

$$Y_{вих16} = \frac{310,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 1,0;$$

$$Y_{вих17} = Y_{вих18} = \frac{310,0 - 270,0}{310,0 - 270,0} = 1,0.$$

Дані переводу до безрозмірних значень наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальне дослідження за каналом регулювання «витрата газу - температура на виході печі» у безрозмірних величинах

t, с	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$Y_{вих}$	0	0,05	0,1	0,15	0,275	0,4	0,52	0,625	0,725	0,775
t, с	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	
$Y_{вих}$	0,825	0,875	0,9	0,925	0,95	1	1	1	1	

На основі даних, наведених у таблиці 2.2, побудуємо нормалізовану експериментальну криву перехідного процесу для каналу «витрата газу – температура на виході печі» (рис. 2.3).

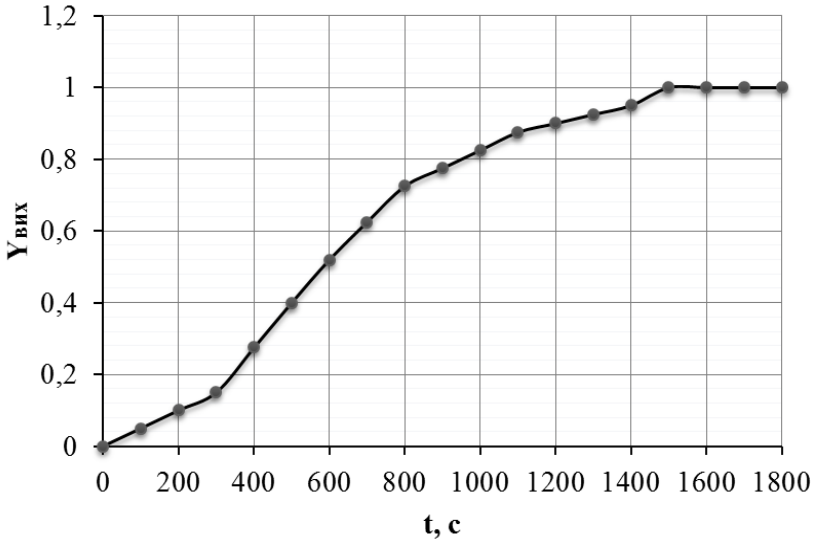


Рисунок 2.3 - Характеристика каналу «витрата газу - температура на виході печі» у безрозмірних одиницях

Отриману безрозмірну перехідну характеристику апроксимуємо використовуючи програмний продукт Aprox. а результатами виконаної апроксимації (додаток А1) визначимо передавальну функцію каналу регулювання «витрата газу – температура на виході печі»:

$$W_0(p) = \frac{1}{6774934{,}703p^3 + 140165{,}444p^2 + 644{,}333p + 1}. \quad (2.3)$$

В додатку А1 видно, що максимальна похибка проведеної апроксимації складає $\delta = 2{,}2\%$ у точці Т=200 с.

Результатами проведеного експерименту за каналом регулювання – «витрата

газу - температура перевалу печі» є дані наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Експериментальне дослідження за каналом «витрата газу – значення температури перевалу печі»

t, с	T, °C	t, с	T, °C	t, с	T, °C
0	500	70	618	140	690
10	510	80	632	150	696
20	518	90	650	160	698
30	532	100	664	170	700
40	560	110	670	180	700
50	572	120	680	190	700
60	600	130	686	200	700

На основі даних, наведених у табл. 2.3, побудовано експериментальну перехідну характеристику за каналом керування "витрата газу — температура перевалу печі" (рисунок 2.4).

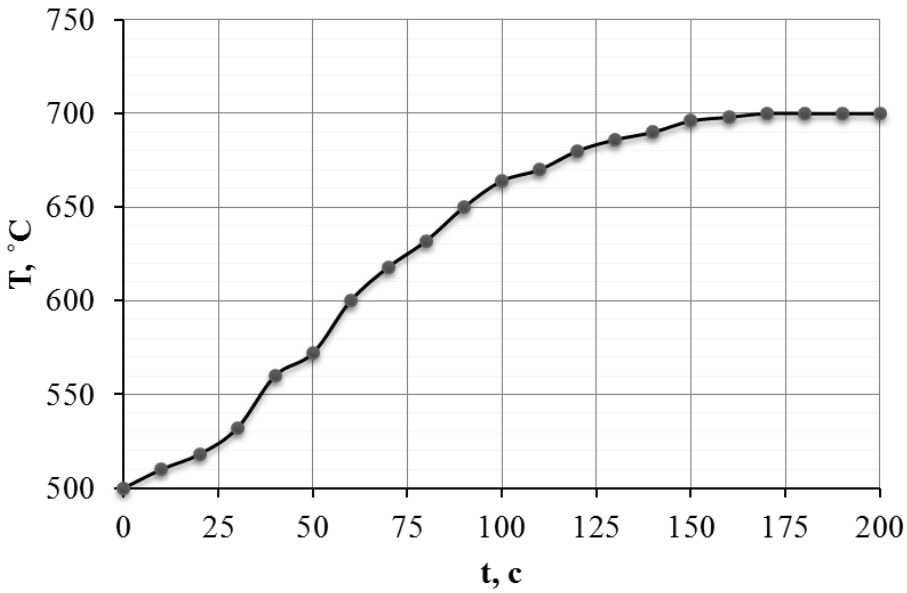


Рисунок 2.4 - Експериментальна крива розгону за каналом керування "витрата газу— температура перевалу печі"

Отриману у результаті експерименту перехідну характеристику (таблиця 2.3), приведемо до вигляду безрозмірних величин згідно формул (2.1) і (2.2).

$$Y_{вихо} = \frac{500,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0;$$

$$Y_{вих11} = \frac{670,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,85;$$

$$Y_{вих1} = \frac{510,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,05;$$

$$Y_{вих2} = \frac{518,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,09;$$

$$Y_{вих3} = \frac{532,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,16;$$

$$Y_{вих4} = \frac{560,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,3;$$

$$Y_{вих5} = \frac{572,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,36;$$

$$Y_{вих6} = \frac{600,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,5;$$

$$Y_{вих7} = \frac{618,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,59;$$

$$Y_{вих8} = \frac{632,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,66;$$

$$Y_{вих9} = \frac{650,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,75;$$

$$Y_{вих10} = \frac{664,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,82;$$

$$Y_{вих12} = \frac{680,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,9;$$

$$Y_{вих13} = \frac{686,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,93;$$

$$Y_{вих14} = \frac{690,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,95;$$

$$Y_{вих15} = \frac{696,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,98;$$

$$Y_{вих16} = \frac{698,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 0,99;$$

$$Y_{вих17} = \frac{700,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 1,0;$$

$$Y_{вих18} = \frac{700,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 1,0;$$

$$Y_{вих19} = \frac{700,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 1,0;$$

$$Y_{вих20} = \frac{700,0 - 500,0}{700,0 - 500,0} = 1,0;$$

$$X_{вх}^{\times} = 1.$$

Таблиця 2.4 - Експериментальне дослідження по каналу “витрата газу - температура перевалу печі” у безрозмірних величинах

t, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$Y_{вих}$	0	0,05	0,09	0,16	0,3	0,36	0,5	0,59	0,66	0,75	0,82
t, с	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
$Y_{вих}$	0,85	0,9	0,93	0,95	0,98	0,99	1	1	1	1	

На основі експериментальних даних (табл. 2.4) розраховано та візуалізовано безрозмірну перехідну функцію об’єкта за каналом "витрата газу — температура перевалу". Отриману криву розгону наведено на рисунку 2.5.

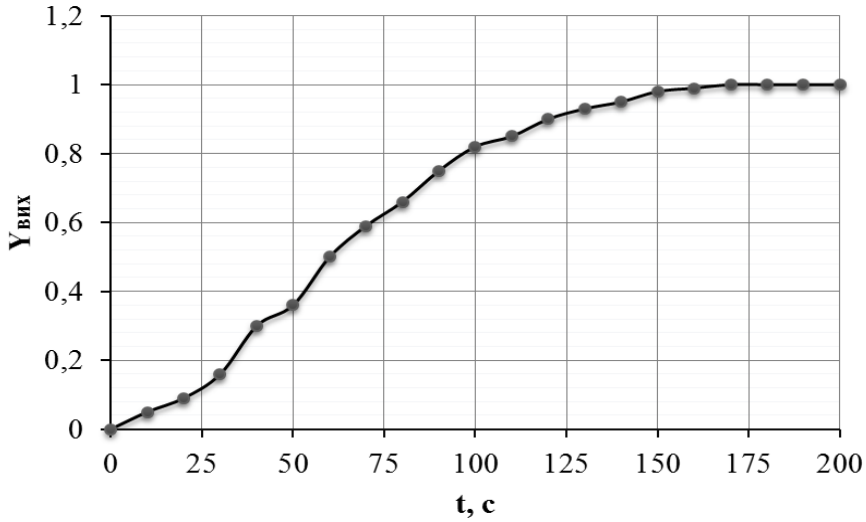


Рисунок 2.5 - Безрозмірна характеристика об’єкта за каналом «витрата газу — температура перевалу»

Апроксимація експериментальних даних виконана за допомогою спеціалізованого ПЗ Aprox. На основі проведених розрахунків (див. додаток А2), передавальна функція, що описує динаміку за каналом «витрата газу $\rightarrow$ температура перевалу», набуває такого вигляду:

$$W_1(p) = \frac{1}{7575{,}432p^3 + 1507{,}271p^2 + 66{,}266p + 1}. \qquad (2.4)$$

Найбільша похибка апроксимації δ =2,1 % у точці Т=40 с.

Висновки до розділу

У даному розділі проведено аналіз та представлено обґрунтування вибору об’єкта автоматизації. На основі результатів активного експерименту здійснено апроксимацію динамічних характеристик, що дозволило визначити передавальні функції об’єкта за основним та допоміжним каналами керування. Отримана похибка моделювання не перевищує 2.5%, що підтверджує адекватність моделей та їх відповідність вимогам технічного завдання.

3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Розрахунок одноконтурної АСР

Для забезпечення необхідної якості керування в основному контурі прийнято рішення про використання ПІД-закону регулювання:

$$W_p(p) = \frac{C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{p}. \quad (3.1)$$

Отже нам потрібно визначити параметри C_2, C_1, C_0 розроблюваного регулятора Скористамось допомогою функції Tune у меню налаштування ПІД-регулятора програми MATLAB. Відповідно до даних додатку Б1 одержимо: $K_p = C_1 = 4.681$, $K_i = C_0 = 0.00165$, $K_d = C_2 = 150.85$.

Звідси:

$$W_p(p) = \frac{150.85p^2 + 4.681p + 0.00165}{p}.$$

У загальному вигляді функція передачі для розімкненої системи має такий вигляд:

$$W_{роз}(p) = W_0(p) \cdot W_p(p), \quad (3.2)$$

Здійснивши певні підстановки одержимо:

$$W_{роз}(p) = \frac{1}{6774934{,}703p^3 + 140165{,}444p^2 + 644{,}333p + 1} \cdot \frac{150.85p^2 + 4.681p + 0.00165}{p} =$$

$$= \frac{150.85p^2 + 4.681p + 0.00165}{6774934{,}703p^4 + 140165{,}444p^3 + 644{,}333p^2 + p}.$$

Функція передачі замкненої АСР (рис. 3.1) є наступною:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}. \quad (3.3)$$

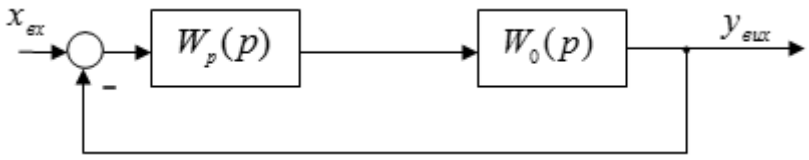


Рисунок 3.1 - Загальна структура одноконтурної АСР

Здійснивши певні перетворення одержимо:

$$W_{зам}(p) = \frac{150.85p^2 + 4.681p + 0.00165}{6774934{,}703p^4 + 140165{,}444p^3 + 795{,}183p^2 + 5{,}681p + 0{,}00165}. \quad (3.4)$$

3.2 Розрахунок каскадної АСР

Для підвищення динамічної точності системи та ефективної компенсації внутрішніх збурень розроблено каскадну структуру АСР. До основного контуру додано допоміжний малоінерційний контур, що стабілізує витрату сухих абгазів. Технічне рішення щодо впровадження каскадного керування представлено на схемі автоматизації рисунок 3.2.

Функція передачі основного каналу має вид:

$$W_0(p) = \frac{1}{6774934{,}703p^3 + 140165{,}444p^2 + 644{,}333p + 1} \quad (3.5)$$

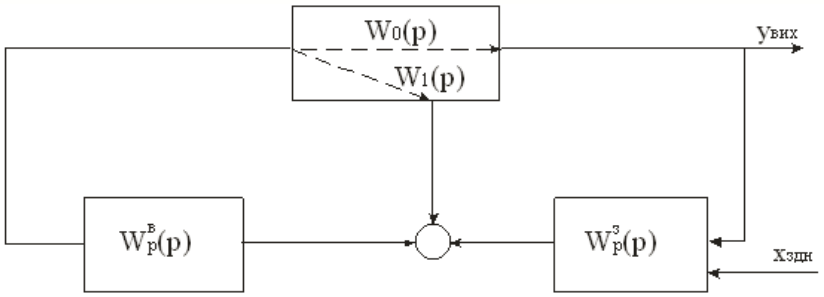


Рисунок 3.2 – Схема відображення каскадної АСР

Функція передачі за допоміжним каналом:

$$W_1(p) = \frac{1}{7575{,}432p^3 + 1507{,}271p^2 + 66{,}266p + 1} \quad (3.6)$$

Розпочнем розрахунок каскадної АСР з основного регулятора. Еквівалентна схема каскадної АСР наведена на рисунку 3.3.

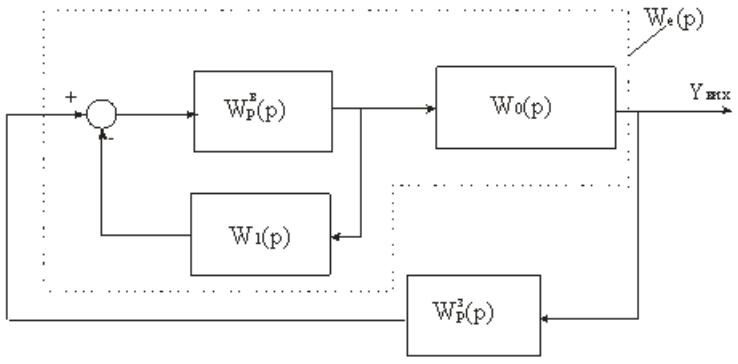


Рисунок 3.3 - Структура еквівалентної АСР

Математична модель об'єкта, зображеного на рисунку 3.3, у формі передавальної функції має такий вигляд:

$$W_e'(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e} W_0(p). \tag{3.7}$$

Припустивши, що поточна частота основного контуру W_p' являться набагато меншою за поточну частоту допоміжного контуру W_p'', а отже при $W = W_p'$ буде справедливою така нерівність:

$$\frac{1}{(W_p^e(j\omega))} << (W_1(j\omega)). \tag{3.8}$$

На основі (3.8) та $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$ отримаємо:

$$W_e'(p) = \frac{\frac{1}{6774934{,}703p^3 + 140165{,}444p^2 + 644{,}333p + 1}}{\frac{1}{7575{,}432p^3 + 1507{,}271p^2 + 66{,}266p + 1}} = \\ = \frac{7575{,}432p^3 + 1507{,}271p^2 + 66{,}266p + 1}{6774934{,}703p^3 + 140165{,}444p^2 + 644{,}333p + 1}. \tag{3.9}$$

Розрахунок параметрів налаштування основного регулятора проведено в середовищі MATLAB. Як закон регулювання обрано ПІД-алгоритм. Згідно з результатами обчислень (додаток Б2), отримано такі значення $K_p = C_1 = 8.4252$, $K_i = C_0 = 0.00146$, $K_d = C_2 = 137.3362$.

Отже функція передачі зовнішнього регулятора одержить такий вигляд:

$$W_p^з(p) = \frac{137.3362p^2 + 8.4252p + 0.00146}{p}. \tag{3.10}$$

Розрахунок параметрів налаштування допоміжного (внутрішнього) регулятора проведено на основі його еквівалентної передавальної функції, що має такий вигляд:

$$W_e''(p) = W_1(p) + W_0(p) \cdot W_p^3(p). \tag{3.11}$$

Здійснивши підстановку значень передавальних функцій $W_1(p)$, $W_0(p)$ і

$W_p^3(p)$ одержимо:

$$W_e''(p) = \frac{1}{7575{,}432p^3 + 1507{,}271p^2 + 66{,}266p + 1} + \frac{137.3362p^2 + 8.4252p + 0.00146}{6774934{,}703p^4 + 140165{,}444p^3 + 644{,}333p^2 + p} =$$

$$= \frac{1.04 \cdot 10^6 p^5 + 7.046 \cdot 10^6 p^4 + 161976.28p^3 + 1342.17p^2 + 9.52p + 0.00146}{5.13 \cdot 10^{10} p^7 + 1.127 \cdot 10^{10} p^6 + 6.65 \cdot 10^8 p^5 + 1.7 \cdot 10^7 p^4 + 184370.08p^3 + 710.6p^2 + p}$$

Зробивши певні перетворення отримаємо:

$$W_e''(p) = \frac{1.04 \cdot 10^6 p^5 + 7.046 \cdot 10^6 p^4 + 161976.28p^3 + 1342.17p^2 + 9.52p + 0.00146}{5.13 \cdot 10^{10} p^7 + 1.127 \cdot 10^{10} p^6 + 6.65 \cdot 10^8 p^5 + 1.7 \cdot 10^7 p^4 + 184370.08p^3 + 710.6p^2 + p}.$$

Виконавши за допомогою програмного продукту Matlab розрахунок оптимальних параметрів для налаштування ПІД-регулятора (додаток Б3) одержано:

$$K_p = C_1 = 9.5678,\ K_i = C_0 = 0.011877,\ K_d = C_2 = 211.2567.$$

Отже передавальна функція допоміжного регулятора матиме такий вигляд:

$$W_p^e(p) = \frac{211.2567p^2 + 9.5678p + 0.011877}{p}. \quad (3.12)$$

Схема каскадної АСР, яка зображена на рисунку 3.3 має таку еквівалентну функцію передачі:

$$W_e(p) = \frac{W_p^3(p) \cdot W_0(p) \cdot W_p^e(p)}{W_p^3(p) \cdot W_0(p) \cdot W_p^e(p) + W_1(p) \cdot W_p^e(p) + 1}. \quad (3.13)$$

Підставивши усі передавальні функції одержимо такі результати:

$$W_e(p) = \frac{1.96 \cdot 10^{11} p^7 + 2.5 \cdot 10^{10} p^6 + 1.01 \cdot 10^9 p^5 + 1.44 \cdot 10^7 p^4 + 72384.96p^3 + 158.46p^2 + 0.125p + 0.000017}{4.59 \cdot 10^{13} p^8 + 2.1 \cdot 10^{12} p^7 + 5.34 \cdot 10^{10} p^6 + 2.64 \cdot 10^9 p^5 + 1.09 \cdot 10^8 p^4 + 1.63 \cdot 10^6 p^3 + 8200.31p^2 + 17.346p + 0.012} \quad (3.14)$$

3.3 Аналіз стійкості одноконтурної АСР

Дослідимо одноконтурну АСР на стійкість з використанням критерію Михайлова.

Використаємо еквівалентну передавальну функцію замкненої системи (3.4), та прирівнюємо знаменник даної функції до нуля:

$$W_{зам}(p) = \frac{150.85p^2 + 4.681p + 0.00165}{6774934{,}703p^4 + 140165{,}444p^3 + 795{,}183p^2 + 5{,}681p + 0{,}00165}.$$

$$6774934{,}703p^4 + 140165{,}444p^3 + 795{,}183p^2 + 5{,}681p + 0{,}00165 = 0.$$

Зробимо заміну $p = j\omega$:

$$6774934{,}703\omega^4 - 140165{,}444j\omega^3 - 795{,}183\omega^2 + 5{,}681j\omega + 0{,}00165 = 0.$$

Шляхом розділення отриманого характеристичного рівняння визначимо його дійсну та уявну складові:

$$P(\omega) = 6774934{,}703\omega^4 - 795{,}183\omega^2 + 0{,}00165;$$
$$Q(\omega) = -140165{,}444\omega^3 + 5{,}681\omega.$$

Моделювання годографа Михайлова виконамо в програмному пакеті Mathcad (Додаток В1). З даного додатку бачимо, що відповідно до критерію Михайлова одноконтурна АСР являться стійкою, оскільки годограф Михайлова послідовно проходить чотири квадранта і у четвертому іде в нескінченність.

3.4 Дослідження на стійкість каскадної АСР

Дослідження стійкості каскадної системи виконаємо за допомогою критерію Гурвіца.

Візьмемо знаменник еквівалентної передавальної функції каскадної системи і прирівнямо його до нуля. Дане вірняння являтиметься характеристичним рівнянням для досліджження стійкості за критерім Гурвіца.

Отже:

$$4.59 \cdot 10^{13} p^8 + 2.1 \cdot 10^{12} p^7 + 5.34 \cdot 10^{10} p^6 + 2.64 \cdot 10^9 p^5 +$$
$$+ 1.09 \cdot 10^8 p^4 + 1.63 \cdot 10^6 p^3 + 8200.31p^2 + 17.346p + 0.012 = 0.$$

Аналіз стійкості системи виконано в середовищі Mathcad (результати наведено в додатку В2).

З додатку В2 бачимо, що система стійка, бо головний визначник і усі його діагональні мінори являються додатніми.

3.5 Оцінка якості розроблених систем керування

Для порівняльного аналізу показників якості розроблених систем у середовищі MATLAB побудовано графіки перехідних процесів одноконтурної та каскадної АСР (рис. 3.4, 3.5).

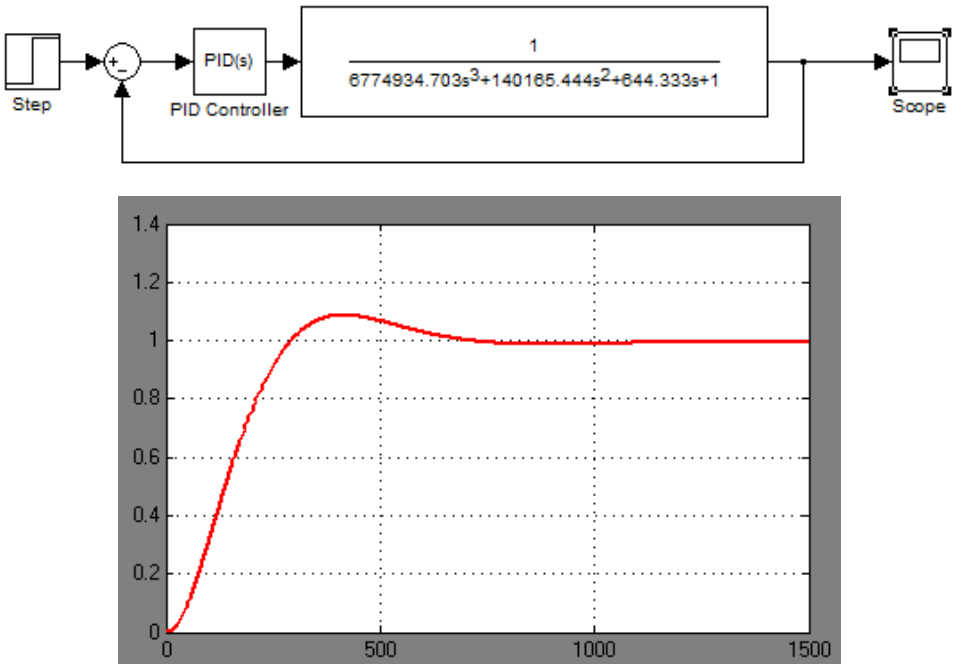


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу одноконтурної системи автоматичного регулювання

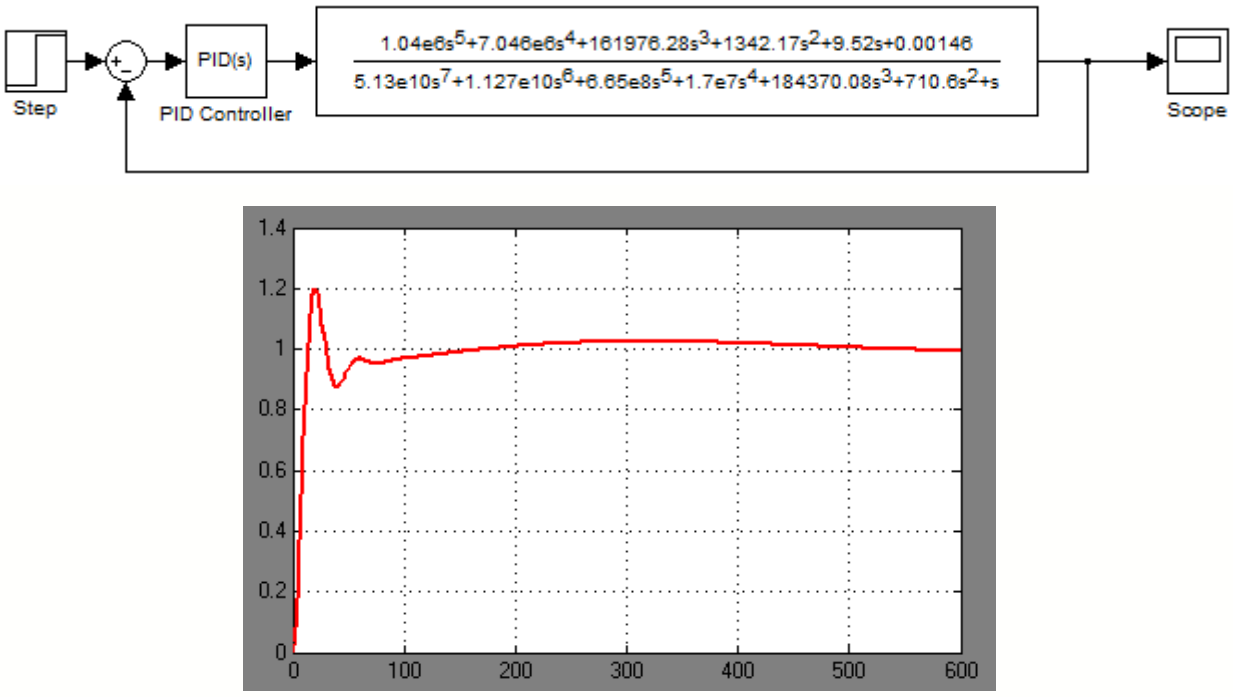


Рисунок 3.5 - Графік перехідного процесу каскадної системи автоматичного регулювання

Із наведених графіків визначаємо наступні параметри якості:

1) Перерегулювання за допомогою наступної формули:

$$\tau = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{A}{x_{\infty}} \cdot 100\%,$$

де $x_{\max}$ - максимально можливе динамічне відхиленні регульованої величини;

x_{∞} - поточне значення регульованої величини.

Отже:

- перерегулювання одноконтурної системи:

$$\tau = \frac{1.11 - 1.00}{1.00} \cdot 100\% = 11\%,$$

- перерегулювання каскадної системи:

$$\tau = \frac{1.2 - 1.00}{1.00} \cdot 100\% = 12\%.$$

2) Час перехідного процесу:

- одноконтурної системи:

$$t_p = 1080 \text{ с};$$

- каскадної системи:

$$t_p = 570 \text{ с}.$$

Висновки до розділу

Здійснено аналіз та синтез АСР. Для одноконтурної і каскадної систем автоматичного керування визначено оптимальні параметри налаштування регуляторів. Здійснено аналіз стійкості досліджуваних системи. З метою визначення якісних показників системи за допомогою продукту Matlab здійснено моделювання системи керування та відображені їх перехідні характеристики.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ AVEVA InTouch

У роботі розроблено SCADA-систему в середовищі AVEVA InTouch, призначену для моніторингу та керування технологічним процесом у печі ЦС-1. Розроблена система забезпечує відображення технологічних параметрів у реальному часі, керування подачею сировини та палива, а також контроль ефективності процесу горіння.

Об’єктом автоматизації є трубчаста піч, у якій здійснюється нагрівання продуктів (бензину та фракції 180) за рахунок спалювання газоподібного палива. У структурі технологічного процесу передбачено три основні контури: подача бензину, подача фракції 180 та подача газу на горіння.

У процесі розроблення SCADA-системи було сформовано повну інформаційну модель об’єкта. Для цього створено базу тегів у середовищі Tagname Dictionary, яка включає аналогові змінні для температур і витрат, а також дискретні змінні для станів виконавчих механізмів. Зокрема, реалізовано такі ключові теги: температура бензину на вході (87 °C) та виході (86 °C), температура фракції 180 на вході (160 °C), витрата фракції 180 (3,8 т/год), витрата газу (2,5 т/год), температура димових газів (1250 °C), а також температура в печі (близько 1250 °C). Усі змінні мають задані діапазони допустимих значень і використовуються як для відображення, так і для сигналізації.

Людино-машинний інтерфейс реалізовано у середовищі WindowMaker у вигляді мнемосхеми печі ЦС-1. Центральним елементом є графічне зображення печі з внутрішньою зоною горіння, де відображено факел полум’я. До печі підведено три трубопроводи: верхній - для подачі бензину, середній - для подачі фракції 180, нижній - для подачі газу. На кожному трубопроводі встановлено запірно-регулюючу арматуру, виконану у стилі стандартних елементів AVEVA InTouch, включаючи регулюючі клапани з позиціонерами та ручні засувки. Стан клапанів відображається графічно та змінюється залежно від значень керуючих

сигналів.

Особливістю розробленої системи є використання реалістичних елементів керування, що відповідають промисловим стандартам. Клапан на лінії подачі бензину реалізовано як регулюючий із позиційним індикатором, клапан на лінії фракції 180 - як комбінований (регулюючий + запірний), а на газовій лінії використано класичну запірну арматуру з ручним керуванням. Це дозволяє наблизити інтерфейс до реальних умов експлуатації.

Для кожного технологічного параметра на мнемосхемі передбачено цифрові індикатори, які відображають актуальні значення. Дані організовано у функціональні панелі: «Бензин», «Фракція 180» та «Процес горіння». У панелі «Бензин» відображаються температури на вході та виході, у панелі «Фракція 180» - температура та витрата, а в панелі «Процес горіння» - витрата газу, температура димових газів і температура в печі. Така структуризація інформації забезпечує зручність сприйняття та оперативність аналізу.

У системі реалізовано динамічну анімацію технологічних процесів. Зокрема, потоки середовищ відображаються кольоровими трубопроводами (синій - бензин, жовтий - фракція 180, червоний - газ), а напрямок руху задається стрілками. Полум’я в печі анімоване, що дозволяє візуально контролювати наявність горіння. Значення параметрів оновлюються в реальному часі відповідно до змін у системі.

Обмін даними між SCADA та контролером реалізовано через стандартні протоколи промислової автоматизації з використанням OPC або SuiteLink. Кожен графічний елемент пов’язаний із відповідним тегом, що забезпечує синхронізацію інтерфейсу з фізичними процесами. Це дозволяє не лише відображати параметри, а й здійснювати керування обладнанням безпосередньо з екрану оператора.

Функції керування включають регулювання подачі сировини та газу, відкриття і закриття клапанів, а також контроль режиму роботи печі. Логіка керування реалізована за допомогою вбудованих скриптів, що дозволяє враховувати технологічні обмеження та забезпечувати безпечну роботу установки.

Для підвищення надійності та безпеки роботи системи реалізовано механізми

сигналізації. У разі перевищення температури або відхилення витрат від заданих значень система формує попереджувальні або аварійні повідомлення. Додатково передбачено можливість архівування даних для подальшого аналізу роботи печі.

У ході тестування було перевірено коректність відображення всіх елементів, включаючи піч ЦС-1, трубопроводи, клапани та інформаційні панелі. Результати підтвердили працездатність системи та відповідність її функціональних можливостей поставленим задачам.

Таким чином, розроблена SCADA-система в середовищі AVEVA InTouch забезпечує повноцінне відображення технологічного процесу, інтеграцію з обладнанням та ефективне керування піччю ЦС-1. Реалізація реалістичних елементів інтерфейсу та використання актуальних параметрів процесу підвищує точність моніторингу та наближує систему до умов реальної промислової експлуатації.

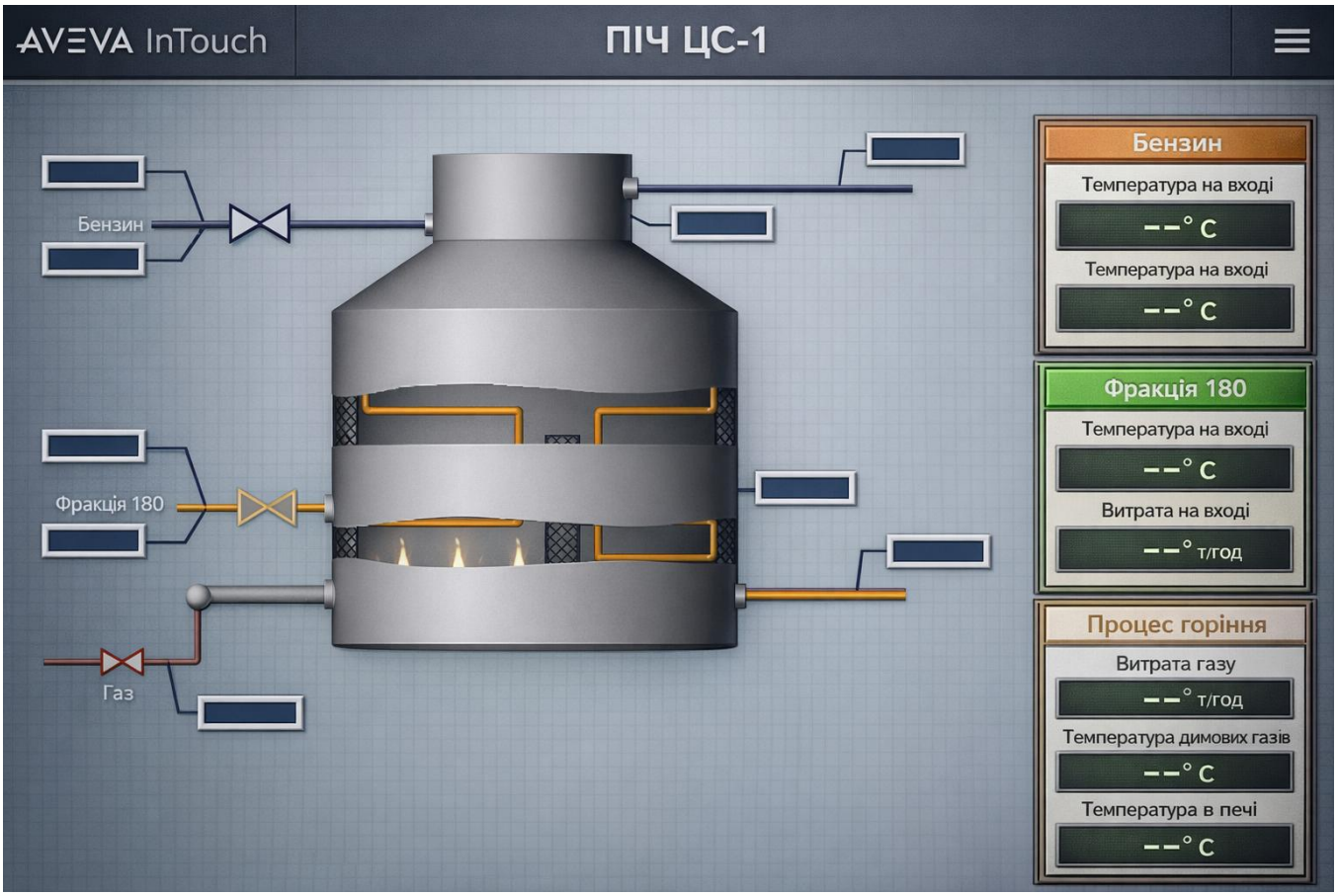


Рисунок 4.1 - SCADA система печі установки вторинної ректифікації бензину

Висновки до розділу

У результаті виконання роботи розроблено SCADA-систему в середовищі AVEVA InTouch для моніторингу та керування процесом у печі ЦС-1. Реалізовано інформативний людино-машинний інтерфейс із відображенням основних технологічних параметрів, динамікою процесу та елементами керування, що відповідають промисловим стандартам.

Створена система забезпечує підвищення ефективності контролю, оперативність прийняття рішень оператором і надійність функціонування технологічного об’єкта, що підтверджує доцільність її використання в реальних умовах виробництва.

5 ПІДГОТОВКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ САК

5.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Провівши аналіз технологічного об’єкту, а також особливостей його роботи, вимо до наявних технологічних параметрів, а також загального рівня автоматизації виробництва, що досліджується здійснено вибір необхідних технічних засобів автоматизації.

Комплекс необхідних засобів автоматизації складається з таких компонентів: засобів отримання інформації про стан технологічного процесу; засобів представлення інформації про технологічний процес обслуговуючому персоналу; засобів формування, а також передачі інформації; виконавчих механізмів.

З урахуванням того, що виробництво, котре розглядаться відноситься до класу пожежно- і вибухонебезпечних, тому проведемо вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА), які підходять нашому проекту. Первинні перетворювачі, які встановлюються по місцю, а також прилади, які встановлюються в операторній мають бути виконані в іскробезпечному виконанні.

Тому, що на установці вторинної ректифікації контролюється та відповідно регулюється велика кількість однотипних параметрів технологічного процесу процесу, саме тому в систему приладів ТЗА входитимуть однотипні автоматичні пристрої, що в свою чергу значно спрощує їх використання, експлуатацію, налаштування, а також ремонт.

Під час вибору ТЗА, віддамо перевагу пристроям, які мають серійне виробництво.

5.1.1 Вибір давачів температури

Оскільки температура у наявних апаратах досліджуваної установки не ма перевищувати 300 °С, а середовище у котрому має працюювати давач температури є агресивним тому використамо термоелектроперетворювач хромель-копелевий

ТХК-Метран-232 у захисній арматурі, який має границі вимірювання 0-400 °С. Довжина термоелектроперетворювачів має бути вибрана з урахуванням їхнього занурення у середовище котре вимірюється.

Рисунок 5.1 - Давач температури ТХК-Метран-232

5.1.2 Вибір давачів тиску

Зупинимо свій вибір на перетворювачі тиску, який має електричний уніфікованим сигналом Rosemount 3051С (рис. 5.2).

Рисунок 5.2 - Давач тиску Rosemount 3051С

Інтелектуальний датчик тиску Rosemount 3051С поєднує в собі передові технології з універсальним технологічним з'єднанням Coplanar ™, створюючи новий стандарт в технології вимірювання тиску. Навіть в самих складних умовах технічні характеристики 3051С забезпечують неперевершену довготривалу стабільність і надійність.

Варіанти виходу, доступні для перетворювача тиску Rosemount 3051С, включають 4-20 мА або 1-5 В постійного струму з протоколом HART, Profibus або польовий шиною FOUNDATION. 3051С пропонує так багато опцій, що його можна

налаштувати для будь-якої програми.

3051C здатний вимірювати перепад тиску, манометр або абсолютний тиск. Використовуючи передову технологію ємнісних датчиків, 3051C забезпечує точність до ± 0,04%, що дає в результаті загальну експлуатаційну продуктивність, справжню міру «реальної» продуктивності передавача, ± 0,15%. Крім того, датчик тиску Rosemount 3051 має встановлену п'ятирічну стабільність ± 0,125%, демонструючи здатність підтримувати продуктивність протягом п'ятирічного періоду в найскладніших умовах процесу. Висока точність і стабільність 3051C означають зниження мінливості, зниження експлуатаційних і експлуатаційних витрат і підвищення безпеки установки.

У 3051C можуть використовуватися або традиційні фланці, або універсальна платформа Rosemount Coplanar ™, розроблена для забезпечення найкращого технологічного з'єднання для додатків, що працюють під тиском, потоком і рівнем. Прямо з коробки рішення поставляється з заводський калібруванням, перевірено тиском і готово до установки. Інтелектуальний датчик тиску Rosemount 3051C також доступний в декількох матеріалах, а також є широкий спектр сертифікатів для небезпечних зон.

5.1.3 Вибір давачів витрати

З метою вимірювання витрати бензину, а також бензинових фракцій, паливного газу виберемо витратомір Метран-350MFA (рис. 5.3), який має гранично допустимий робочим тиск - 25 МПа.

Прилад призначений для вимірювання об'ємної витрати і обчислення масової витрати в повністю заповнених трубопроводах.

Основні переваги:

1) наявність каналу вимірювання температури;

2) архівація даних;

3) зв'язок з комп'ютером за допомогою RS232;

4) цифровий інтерфейс для систем АСУТП HART;

5) збереження інформації при відключенні живлення.

Регулятор потоку поставляється для трубопроводів з діаметром умовного проходу Ду 15 ... 300 мм, межі вимірювань витрати 0,03 ... 2000 м^3/г, надлишковий тиск вимірюваного середовища до 1,6 МПа

Рисунок 5.3 - Давач витрати Метран-350MFA

5.1.4 Вибір давачів рівня

У якості давачів рівня зупинимо свій вибір виходячи з умов експлуатації наявного технологічного обладнання та та присутності агресивних середовищ на рівнемірах Rosemount 3301.

Рівнемір 3301 є інтелектуальним двопровідним пристроєм, який використовується для безперервного контролю рівня. Його робота базується на методі рефлектометрії з часовим розділенням (TDR). Короткі радіоімпульси низької потужності, тривалістю в декілька наносекунд, передаються вздовж зонду, зануреного в робоче середовище. Досягнувши поверхні продукту, частина імпульсу відбивається та повертається назад.

Проміжок часу між відправленням сигналу та прийомом відбитого імпульсу прямо пов’язаний із відстанню до поверхні середовища або межі поділу двох рідин.

Ефективність вимірювання значною мірою визначається відбивною здатністю середовища: зі зростанням діелектричної проникності посилюється відбитий сигнал і розширюється діапазон вимірювань. Гладка поверхня забезпечує кращі умови для відбиття мікрохвиль у порівнянні з турбулентною.

Прилад 3301 придатний для визначення рівня більшості рідин, суспензій, а також межі поділу рідина–рідина. Він відзначається високою точністю та надійністю, а також стійкістю до впливу температури, тиску, наявності пари, змін густини, турбулентності, утворення бульбашок чи кипіння, низьких рівнів, варіацій діелектричної проникності, значення pH і в’язкості.

Застосування хвилеводної радарної технології разом із сучасними алгоритмами обробки сигналів дозволяє ефективно використовувати рівнемір 3301 у широкому спектрі технологічних задач.

Рисунок 5.4 - Давач рівня Rosemount 3301

Рівнемір для живлення і вихідного сигналу використовує один і той же двопровідний кабель. Дані вимірювань надходять на вихід у вигляді аналогового сигналу 4 - 20 мА, на який накладено цифровий сигнал HART®.

Перетворювач 333 HART Tri-Loop ™ забезпечує можливість перетворення сигналів HART в три додаткових аналогових сигналу 4 - 20 мА.

Протокол HART дозволяє організувати підключення за багатоточковою схемою. В цьому випадку рівнемір видає інформацію тільки в цифровому вигляді, при цьому струм встановлюється на мінімальне значення 4 мА.

До рівнеміра можна підключити польовий індикатор Rosemount моделі 751 і укомплектувати вбудованим індикатором.

Рівнемір налаштовується за допомогою польового комунікатора або за допомогою програми настройки Radar Configuration Tool (RCT), яка встановлюється на персональному комп'ютері. Рівнемір також підтримується ПО

AMS Suite, яке також можна використовувати для настройки приладу.

5.1.5 Вибір вторинних засобів автоматизації

Для контролю та реєстрації тиску та витрати фракції 180 °С-к.к. на вході у піч ЦС-1 (радіантна частина) використовуємо регістратор Метран-900.

При контролі та реєстрації температури в колоні К-1, печі ЦС-1 та в акумуляторі К-2 і рефлюксній ємкості Е-1 застосовуємо вторинний багатоканальний регістратор Метран-900.

Рисунок 5.5 - Регістратор Метран-900

З метою контролю, а також реєстрації значень витрати “гарячого потоку” використовуватимемо реєстратор Метран-900.

У якості засобу для керування технологічними процесами застосовуватимкмо мікропроцесорний контролер «МІК-51». Даний мікропроцесорний контролер володіє високою надійністю, а також високою швидкодією. Має високу точність підтримання регульованих параметрів на заданому рівні.

5.1.6 Вибір регуляторів

Як було сказано вище, у якості мікропроцесорного контролер застосовуватимемо контролер МІК-51, зображення котрого наведене на рисунку 5.6.

Рисунок 5.7 - Контролер МІК-51

Функціональні можливості:

- Дає можливість користувачеві вибирати потрібний набір модулів та блоків відповідно до числа, а також виду вхідного-вихідного сигналів.

- Володіє вбудованими засобами самодіагностики: сигналізація, а також ідентифікація поломок: вихід сигналів за допустимі границі; збої в ОЗУ; порушення обміну по мережі та т.п.

МІК-51 оснащений розвиненою системою взаємодії між контролерами, що дає змогу об’єднувати мікропроцесорні пристрої у локальні або розподілені системи керування. У межах такої мережі контролери можуть обмінюватися даними як між собою, так і з комп’ютером.

Реалізація цієї функції дозволяє організувати розподілену обробку інформації, а також розширити кількість каналів введення та виведення. Використання міжконтролерного обміну при цьому суттєво зменшує навантаження на мережу передачі даних.

Контролер МІК-51 програмується за допомогою клавіш на передній панелі, або за допомогою інтерфейсу із використанням спеціального програмного забезпечення (АЛЬФА). У якості мови для програмування застосовується мова функціональних блокових діаграм (FBD).

Редактор програм АЛЬФА включає в свій склад вбудований відладчик програм, можливість документування програм, систему для логічного контролю

стану програми, систему для формування висновків програми у вигляді таблиці й ін.

Бібліотека наявних функціональних блоків мікропроцесорного контролера МІК-51 має у своєму складі певну кількість функціональних блоків, котра необхідна для порівняно складних завдань процесу автоматичного регулювання та логіко-програмного керування.

МІК-51 здатний одночасно обслуговувати до чотирьох автономних контурів регулювання, кожен із яких може виконувати власні функціональні завдання. Пристрій має широкий набір аналогових і дискретних входів та виходів. Також передбачена можливість плавного переходу між режимами роботи, а також безперервного (безударного) вмикання, вимикання й перемикання контурів регулювання.

5.2 Технічна реалізація системи автоматизації процесу переробки бензину та розробка проектних документів

5.2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є ключовим технічним документом, що описує функціональну структуру системи та сам об’єкт, який підлягає автоматизації.

ФСА - це креслення, на якому схематично відображені комунікації, технологічне обладнання, органи управління об’єктами та засоби автоматизації із лініями зв’язку між ними.

Усі прилади та засоби автоматизації на ФСА показані в відповідності з діючими стандартами.

Опис розробленої ФСА:

Кількість бензину, що надходить із установки АВТ-2 до даного агрегату, регулюється за допомогою перетворювача Метран-350MFA (поз. 5-а). Його сигнал передається на мікроконтролер, після чого через електроперетворювач типу ЕП-

1211 (поз. 5-в) подається на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 5-г);

- витрата паливного газу, що визначається значенням температури «гарячого потоку» на виході з печі ЦС-1 (радіантної частини), а також температурою димових газів, регулюється за допомогою термопар ТХК-Метран-232 (поз. 3-б, 3-д). Сигнали від них надходять до мікроконтролера, звідки передаються на електроперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 6-б). Далі пневматичний сигнал подається на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 6-в);

- каскадне регулювання витрати паливного газу, яке визначається значеннями тиску та витрати газу, що подається на форсунки печі ЦС-1, здійснюється із використанням перетворювача тиску Rosemount серії 3051С (поз. 7-б) і витратоміра Метран-350MFA (поз. 7-а). Сигнали з цих приладів надходять до мікроконтролера, після обробки яким вони передаються через електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 7-г) на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 7-д);

- регулювання температури у верхній частині колони К-1 здійснюється із використанням термоперетворювача ТХК-Метран-232 (поз. 1-а), сигнал з якого надходить до мікроконтролера. Після обробки сигнал передається на електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 1-в), а далі — на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 1-г);

- реєстрація а також дистанційний контроль витрати “гарячого потоку” при вході у піч ЦС-1 (радіантна частина) виконується за допомогою Метран-350MFA (поз. 8-а), із якого сигнал потрапляє на регєстратор Метран-900 (поз. 8-б);

- процес регулювання значення тиску “гарячого потоку” перед піччю ЦС-1 (радіантна частина) виконується за допомогою застосування перетворювача фірми Rosemount серії 3051С (поз. 4-а), із котрого сигнал надходить на мікроконтролер, а після мікропроцесора через електропневноперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 4-в) на регулюючий клапан типу 25 нж 48 ”НО” (поз. 4-г);

- Каскадне регулювання рівня з урахуванням корекції за тиском у колоні К-1 здійснюється із використанням рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 9-а) та перетворювача тиску Rosemount 3051С (поз. 9-б). Сигнали від цих приладів

надходять до мікроконтролера, після обробки передаються через електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 9-г) на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 9-д);

- процес здійснюється із використанням рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 10-а) та перетворювача тиску Rosemount 3051С (поз. 10-б), сигнал з якого надходить до мікроконтролера. Після обробки він передається через електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 10-г) на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 10-д);

- у рефлюксній ємності Е-1 каскадне регулювання рівня з корекцією за тиском газу здійснюється за допомогою рівнеміра Rosemount 3301 (поз. 11-а) та перетворювача тиску Rosemount 3051С (поз. 11-б). Сигнали з цих приладів надходять до мікроконтролера, після чого через електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 11-г) передаються на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 11-д);

- у колоні К-1 каскадне регулювання температури орошення виконується з урахуванням витрати та температури циркулюючого бензину. Вимірювання здійснюється витратоміром Метран-350MFA (поз. 2-а, 2-б) та термоелектричним перетворювачем ТХК-Метран-232 (поз. 2-в), сигнали з яких надходять до мікроконтролера і після обробки через електропневмоперетворювач типу ЕП-1211 (поз. 2-д) подаються на регулюючий клапан типу 25 нж 48 «НО» (поз. 2-е);

- реєстрація а також контроль значень температури по установці виконується термоелектричним перетворювачем (поз. 3-а-3-п) ТХК-Метран-232, сигнал із якого направляється на вторинний багатоканальний регістратор Метран-900 (поз. 3-р).

5.2.2 Розробка загального вигляду щита

Щити керування — це спеціалізовані конструкції для інсталяції приладів контролю, систем сигналізації та комутаційної апаратури. Їхнє основне завдання — об’єднати всі інструменти керування виробничим процесом у єдиному вузлі. Щит встановлюється в операторній і повинен відповідати вимогам галузевого стандарту і керівного матеріалу. Згідно цих стандартів щити повинні експлуатувати при

температурі оточуючого середовища у межах від 30 до 50 °С і відносні вологості не більше 80%.

У відповідності до кількості приладів і апаратури на фронтальній площині щита вибираємо щит панельний односекційний ЩПК-1 2200х800х600.

Компановка приладів та апаратури проводиться згідно керівного матеріалу РТМ 25-91, який в залежності від розмірів загальної ваги приладів регламентує вибір розмірів апаратури та її ваги.

На щиті встановлено 12-ти позиційний потенціометр КСП-4-009, два двох позиційних міліамперметра типу КСУ-2-003, а також малогабаритний міліамперметр типу КСУ-1-01, винесена сигнальна апаратура і апаратура для її опробування.

Всі пояснення щодо креслення наведені в таблицях, зображених на листі графічної частини. Креслення виконано в масштабі 1:9.

5.2.3 Розробка схеми зовнішніх під’єднань

Схема зовнішніх проводок — це графічний документ, що регламентує трасування електричних ліній та трубних зв’язків між польовим обладнанням і щитовими пристроями. Вона деталізує способи підключення комунікацій до приладів автоматизації, встановлених як безпосередньо на технологічних вузлах, так і всередині чи на панелях пультів керування.

Схеми з’єднань і підключень виконуються без дотримання масштабу. Маркування кабелів, проводів на схемах під’єднань проставляють у відповідності з принциповими електричними схемами і вказівками керуючого матеріалу РШ-4-96.

На схемі зовнішніх під’єднань зв’язок між давачами температури, тиску, витрати і рівня в проміжних апаратах, тобто печі ЦС-1, ректифікаційній колоні К-1, акумуляторі К-2, рефлюксній ємкості Е-1, блоці теплообмінників, та перетворювачами витрати та рівня з вторинними приладами і мікропроцесорним контролем МІК-51 в операторній, показані на аркуші графічної частини.

Зв’язок між давачами та перетворювачами температури здійснюється за

допомогою компенсаційних провідників, двохжильних хромель-копелевих у віниловій ізоляції, гнучких, січенням жили 2,5 мм^2 типу ПКВГ 2·2,5 мм^2, які розміщуються в захисній трубі ЛЦ-20, які підводяться до проміжних коробок, а з них на щит КВПіА і мікроконтролер МІК-51.

Давачі рівня і витрати з'єднуються з перетворювачами трубними проводками з нержавіючої сталі Х18Н9Т, а перетворювачі, в свою чергу, з'єднуються за допомогою кабелів чотирьох жильних з мідними жилами січенням 1,5 мм^2 в поліхлорвініловій ізоляції провідників, та в поліхлорвініловій ізоляції кабеля, броньованим з антикорозійним покриттям типу КВВБГ 4·1,5 мм^2, які підводяться до з'єднувальних коробок СК-1, СК-2, а з них на щит КВПіА і мікропроцесорний контролер МІК-51, за допомогою кабелів КВВБГ 9·1,5 мм^2 і КВВБГ 19·1,5 мм^2.

Лінії зв'язку від мікропроцесорного контролера МІК-51 до виконавчого механізму здійснюються за допомогою кабелів чотирьох жильних з мідними жилами січенням 1,5 мм^2 в поліхлорвініловій ізоляції провідників, та в поліхлорвініловій ізоляції кабеля, броньованим з антикорозійним покриттям типу КВВБГ 4·1,5 мм^2, які підводяться до з'єднувальних коробок СК-1, СК-2, а з них на щит КВПіА і мікропроцесорний контролер МІК-51, за допомогою кабелів КВВБГ 9·1,5 мм^2 і КВВБГ 19·1,5 мм^2.

Одножильного мідного проводу січенням 1,5 мм^2 в поліхлорвініловій ізоляції типу ПВ 1,5 мм^2, яким прокладають в операторній до електропневмоперетворювачів. З цих перетворювачів протягнуто мідні труби, зовнішнім діаметром 8 мм і товщиною стінки 1 мм типу М8·1 до виконавчих механізмів пневматичної дії.

Висновки до розділу

Проведено вибір, а також обгрунтування вибору технічних засобів автоматизації, що потрібні для експлуатації даного об'єкту керування, виходячи із умов у котрих протікає технологічний процес.

Здійснено розробку системи автоматизації об'єкту з використанням мікропроцесорного контролера МІК-51. Проведено розробку загального вигляду щита, а також схеми зовнішніх під'єднань.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішується проблема комплексної автоматизації та комп'ютеризації виробництва нафтогазової промисловості на прикладі установки вторинної ректифікації бензину. Даний проєкт дозволяє користувачу отримати інформацію про сам технологічний процес, питання автоматизації, його характеристики, та дослідження систем керування з допомогою математичного моделювання, чи дослідження експериментальних характеристик, як процесу у цілому, так і конкретно окремо взятого об'єкта. В кваліфікаційній роботі наводяться результати розрахунку економічних затрат, які необхідні для впровадження нової автоматичної системи. Описано питання безпеки життєдіяльності і охорони навколишнього середовища.

Розроблена кваліфікаційна робота дасть змогу за допомогою проведених досліджень і розрахунків, здійснити автоматизацію процесу виробництва установки вторинної ректифікації бензину на базі мікропроцесорної техніки, що приводить до підвищення якості та кількості продукту, а також до покращення техніко-економічних показників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Автоматизація хіміко-технологічних процесів [Текст] : Метод. вказівки для самост.роботи / В. С. Борин, Л. І. Фешанич, Г. Г. Зварич, О. В. Кучмистенко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. – 32 с.

2. Когутяк, М. І. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи в нафтогазовій промисловості [Текст] : лаб. практикум / М. І. Когутяк, В. С. Борин, Л. І. Фешанич. – 2-е видання. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 61 с.

3. Автоматизація виробничих процесів транспорту нафти і газу [Текст] : навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, М. М. Дранчук, В. С. Борин. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2003. – 265 с.

4. Автоматизація періодичних технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, М. І. Когутяк [et al.]. – 2-е вид. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 175 с.

5. Семенцов Г. Н., Горбійчук М. І., Жуган Л. І., Чеховський С. А. Автоматизація процесів переробки нафти і газу. Львів, 1992. 268 с.

6. Когутяк, М. І. Мікроконтролери та програмовані логічні контролери [Текст] : метод. вказівки для викон. курс. робрти / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 72 с.

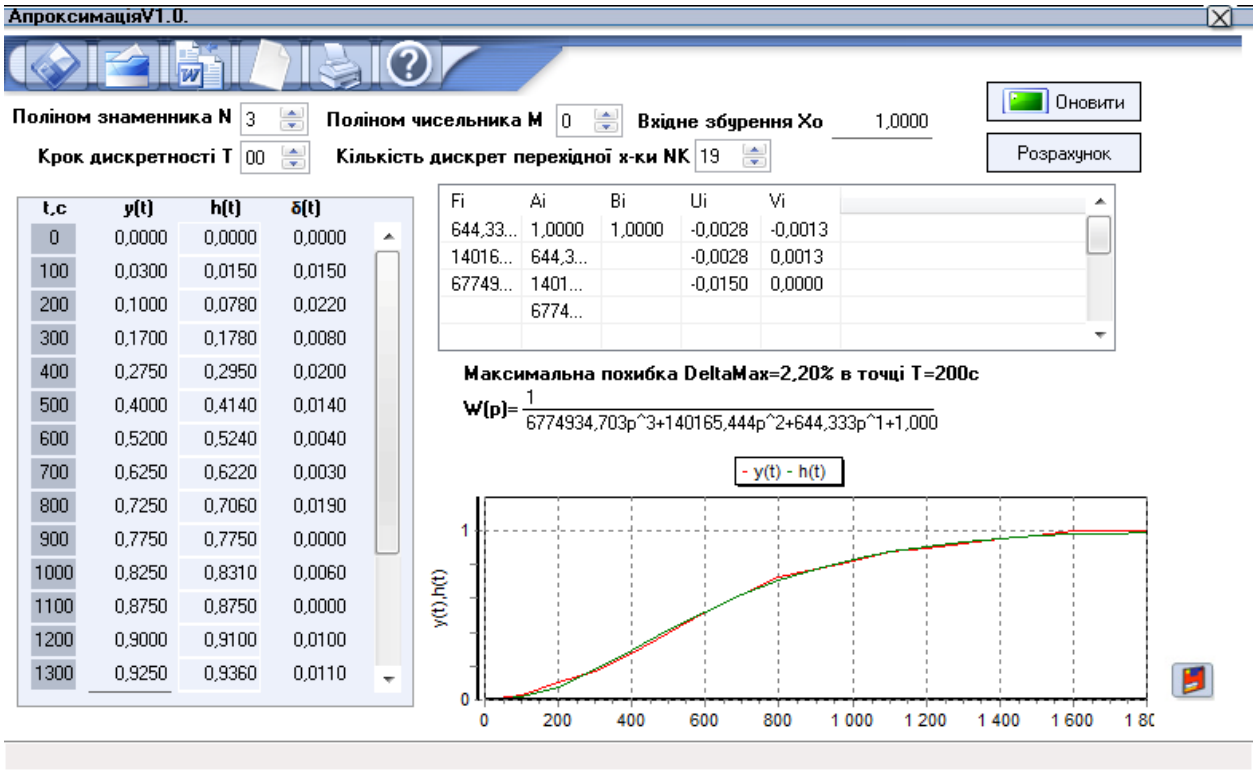
7. Технічні засоби автоматизації [Текст] : лаборатор. практикум. Ч.1 : Елементи та пристрої пневматичних систем керування (Модуль1) / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда, Є. П. Майкович, Г. Г. Зварич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 135 с.

8. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. 610 с.

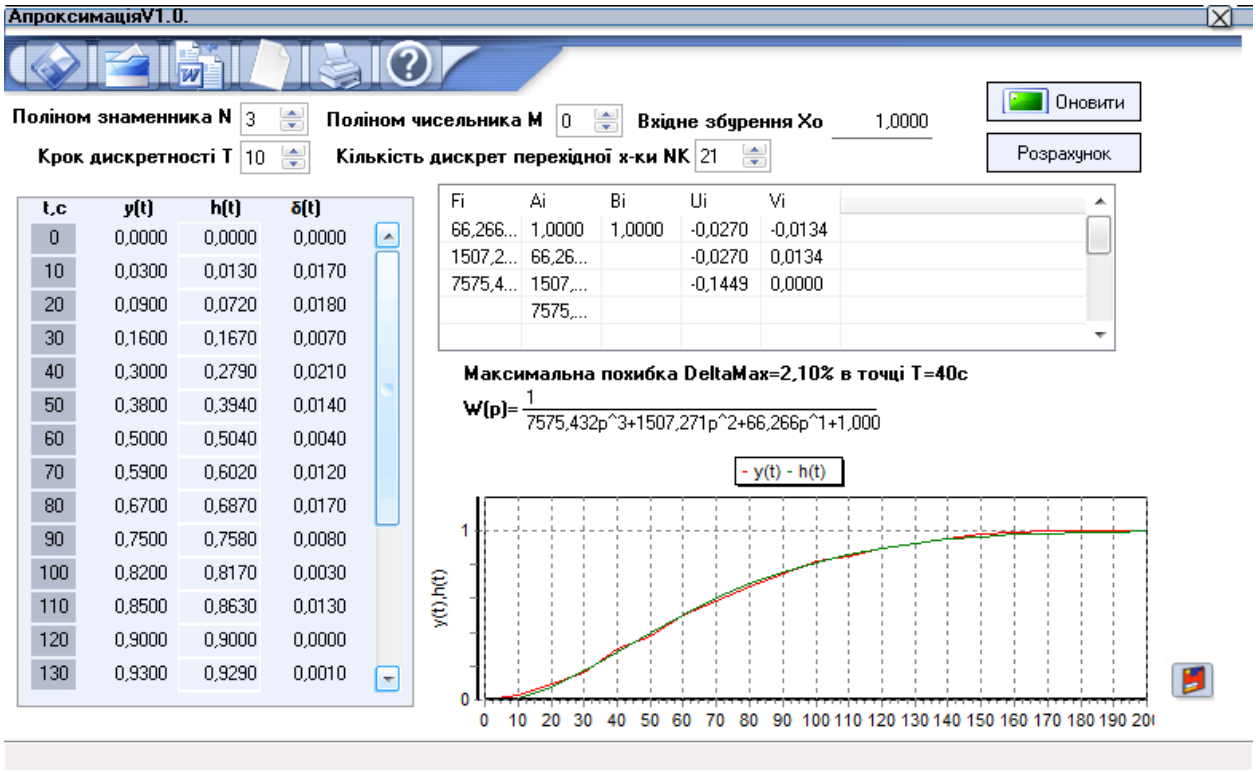
9. Лагойда, А. І. Комп'ютерно-інтегровані системи управління [Текст] : лаборатор. практикум. Ч. 1 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 307 с.

ДОДАТКИ

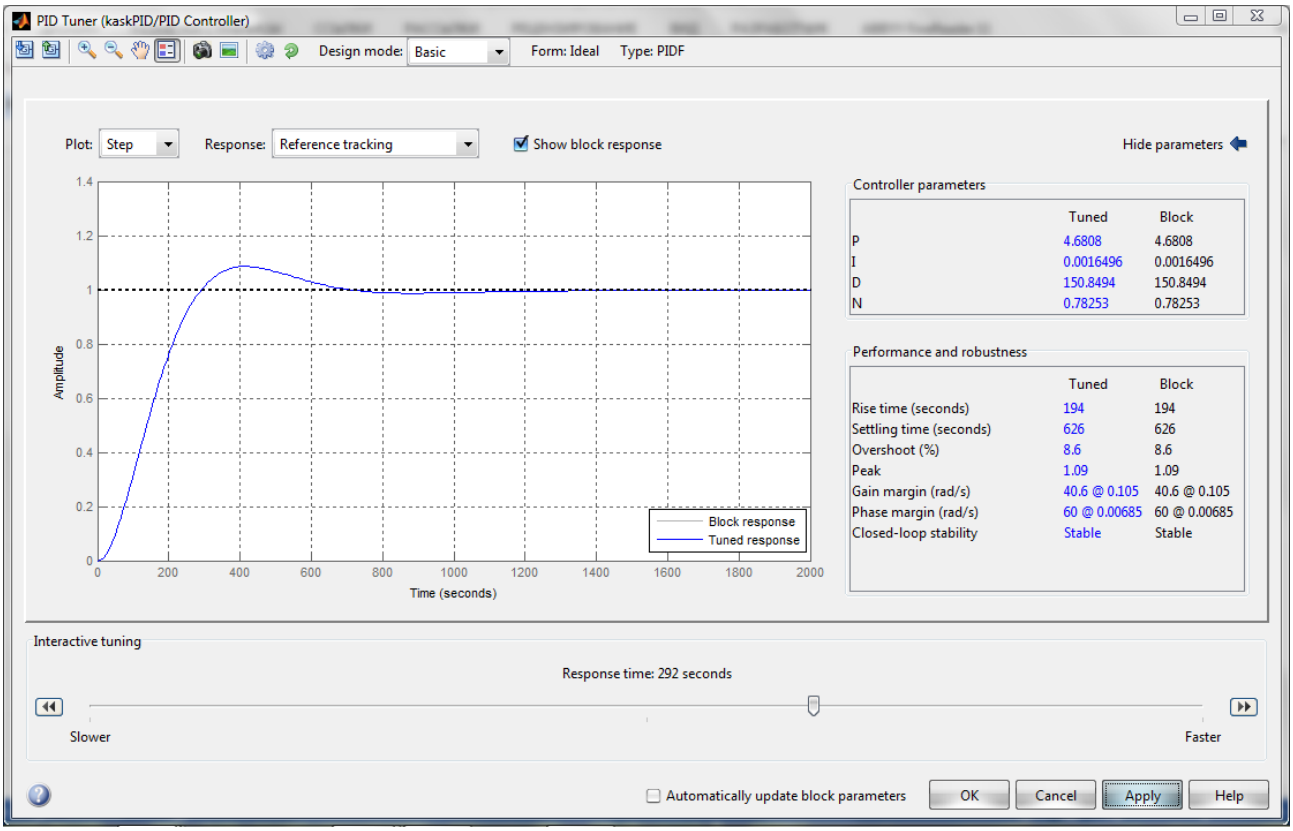
Додаток А1


АпроксимаціяV1.0.
Поліном знаменника N 3
Поліном чисельника M 0
Вхідне збурення Xo 1,0000
Оновити
Крок дискретності T 00
Кількість дискрет перехідної х-ки NK 19
Розрахунок
t,c y(t) h(t) δ(t)
0 0,0000 0,0000 0,0000
100 0,0300 0,0150 0,0150
200 0,1000 0,0780 0,0220
300 0,1700 0,1780 0,0080
400 0,2750 0,2950 0,0200
500 0,4000 0,4140 0,0140
600 0,5200 0,5240 0,0040
700 0,6250 0,6220 0,0030
800 0,7250 0,7060 0,0190
900 0,7750 0,7750 0,0000
1000 0,8250 0,8310 0,0060
1100 0,8750 0,8750 0,0000
1200 0,9000 0,9100 0,0100
1300 0,9250 0,9360 0,0110
Fi Ai Bi Ui Vi
644,33... 1,0000 1,0000 -0,0028 -0,0013
14016... 644,3... -0,0028 0,0013
67749... 1401... -0,0150 0,0000
6774...
Максимальна похибка DeltaMax=2,20% в точці T=200c
W(p)= 1 / 6774934,703p^3+140165,444p^2+644,333p^1+1,000
- y(t) - h(t)
y(t),h(t)
1
0
0 200 400 600 800 1 000 1 200 1 400 1 600 1 80

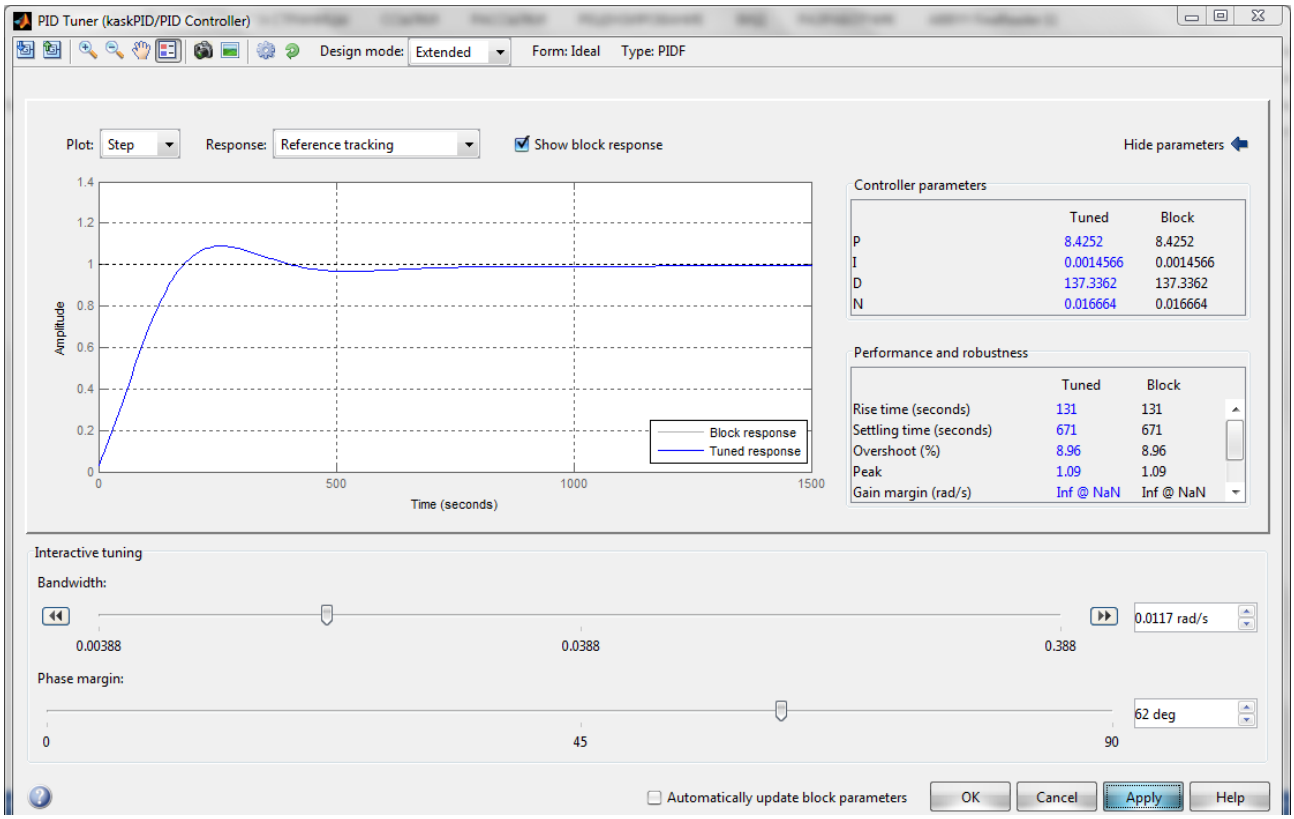
Додаток А2


АпроксимаціяV1.0.
Поліном знаменника N 3
Поліном чисельника M 0
Вхідне збурення Xo 1,0000
Оновити
Крок дискретності T 10
Кількість дискрет перехідної х-ки NK 21
Розрахунок
t,c y(t) h(t) δ(t)
0 0,0000 0,0000 0,0000
10 0,0300 0,0130 0,0170
20 0,0900 0,0720 0,0180
30 0,1600 0,1670 0,0070
40 0,3000 0,2790 0,0210
50 0,3800 0,3940 0,0140
60 0,5000 0,5040 0,0040
70 0,5900 0,6020 0,0120
80 0,6700 0,6870 0,0170
90 0,7500 0,7580 0,0080
100 0,8200 0,8170 0,0030
110 0,8500 0,8630 0,0130
120 0,9000 0,9000 0,0000
130 0,9300 0,9290 0,0010
Fi Ai Bi Ui Vi
66,266... 1,0000 1,0000 -0,0270 -0,0134
1507,2... 66,26... -0,0270 0,0134
7575,4... 1507,... -0,1449 0,0000
7575,...
Максимальна похибка DeltaMax=2,10% в точці T=40c
W(p)= 1 / 7575,432p^3+1507,271p^2+66,266p^1+1,000
- y(t) - h(t)
y(t),h(t)
1
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 20

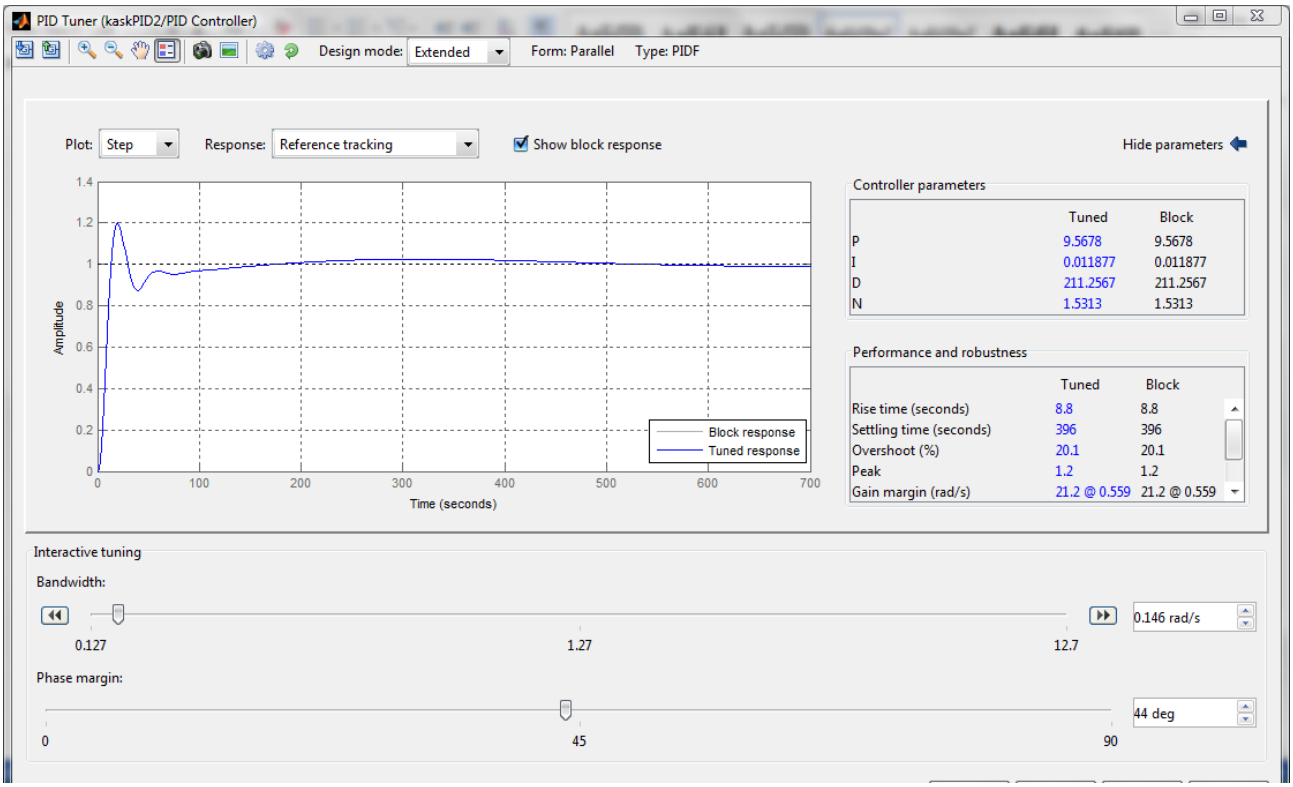
Додаток Б1


PID Tuner (kaskPID/PID Controller)
Design mode: Basic
Form: Ideal
Type: PIDF
Plot: Step
Response: Reference tracking
Show block response
Hide parameters
Amplitude
Time (seconds)
Block response
Tuned response
Controller parameters
Tuned
Block
P 4.6808 4.6808
I 0.0016496 0.0016496
D 150.8494 150.8494
N 0.78253 0.78253
Performance and robustness
Tuned
Block
Rise time (seconds) 194 194
Settling time (seconds) 626 626
Overshoot (%) 8.6 8.6
Peak 1.09 1.09
Gain margin (rad/s) 40.6 @ 0.105 40.6 @ 0.105
Phase margin (rad/s) 60 @ 0.00685 60 @ 0.00685
Closed-loop stability Stable Stable
Interactive tuning
Response time: 292 seconds
Slower
Faster
Automatically update block parameters
OK
Cancel
Apply
Help

Додаток Б2


PID Tuner (kaskPID/PID Controller)
Design mode: Extended
Form: Ideal
Type: PIDF
Plot: Step
Response: Reference tracking
Show block response
Hide parameters
Amplitude
Time (seconds)
Block response
Tuned response
Controller parameters
Tuned
Block
P 8.4252 8.4252
I 0.0014566 0.0014566
D 137.3362 137.3362
N 0.016664 0.016664
Performance and robustness
Rise time (seconds) 131 131
Settling time (seconds) 671 671
Overshoot (%) 8.96 8.96
Peak 1.09 1.09
Gain margin (rad/s) Inf @ NaN Inf @ NaN
Interactive tuning
Bandwidth:
0.00388
0.0388
0.388
0.0117 rad/s
Phase margin:
0
45
90
62 deg
Automatically update block parameters
OK
Cancel
Apply
Help

Додаток Б3

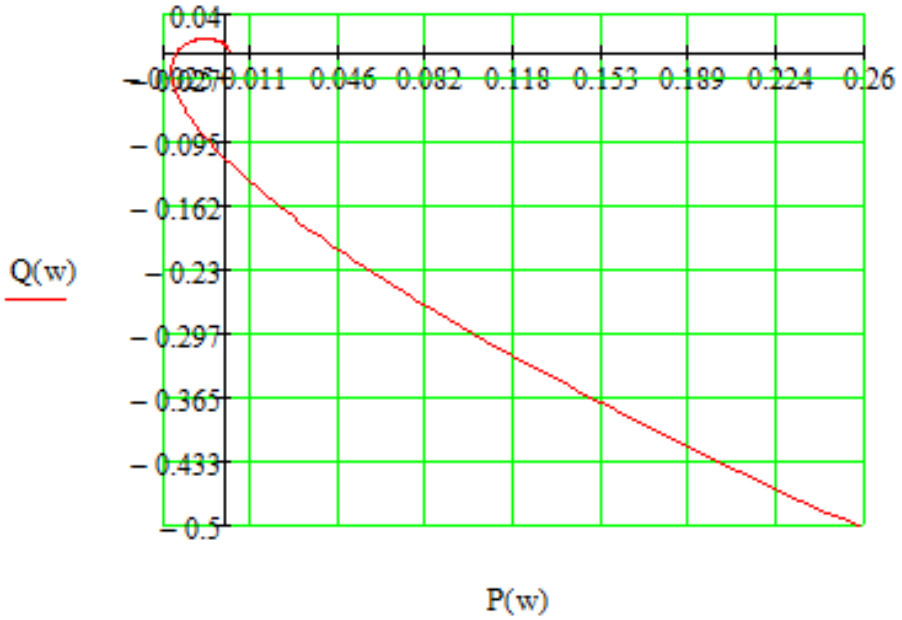

PID Tuner (kaskPID2/PID Controller)
Design mode: Extended
Form: Parallel
Type: PIDF
Plot: Step
Response: Reference tracking
Show block response
Hide parameters
Amplitude
Time (seconds)
Block response
Tuned response
Controller parameters
Tuned
Block
P 9.5678 9.5678
I 0.011877 0.011877
D 211.2567 211.2567
N 1.5313 1.5313
Performance and robustness
Rise time (seconds) 8.8 8.8
Settling time (seconds) 396 396
Overshoot (%) 20.1 20.1
Peak 1.2 1.2
Gain margin (rad/s) 21.2 @ 0.559 21.2 @ 0.559
Interactive tuning
Bandwidth:
0.127
1.27
12.7
0.146 rad/s
Phase margin:
0
45
90
44 deg

Додаток В1

$$P(w) := 6774934.703 \cdot w^4 - 795.183 \cdot w^2 + 0.00165$$

$$Q(w) := -140165.444 \cdot w^3 + 5.681 \cdot w$$

$$w := 0, 0.0001 .. 30$$



Додаток В2

$an := 4.59 \cdot 10^{13}$ $an4 := 1.09 \cdot 10^{8}$ $an8 := 0.012$

$an1 := 2.1 \cdot 10^{12}$ $an5 := 1.63 \cdot 10^{6}$

$an2 := 5.34 \cdot 10^{10}$ $an6 := 8200.31$

$an3 := 2.64 \cdot 10^{9}$ $an7 := 17.346$

$$A8 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 \end{vmatrix} \qquad |A8| \rightarrow 4.291421869942447535e49$$

$$A7 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 \end{vmatrix} \qquad |A7| \rightarrow 3.5761848916187062792e51$$

$$A6 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 \end{vmatrix} \qquad |A6| \rightarrow 2.4545764887753174327e50$$

$$A5 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 \end{vmatrix} \qquad |A5| \rightarrow 3.5497021669022756736e46$$

$$A4 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 \\ an & an2 & an4 & an6 \\ 0 & an1 & an3 & an5 \\ 0 & an & an2 & an4 \end{vmatrix} \qquad |A4| \rightarrow 2.57036702443056e40$$

$$A3 := \begin{vmatrix} an1 & an3 & an5 \\ an & an2 & an4 \\ 0 & an1 & an3 \end{vmatrix} \qquad |A3| \rightarrow 3.4742934e32$$

Продовження додатку В2

$$A2 := \left|\begin{pmatrix} an1 & an3 \\ an & an2 \end{pmatrix}\right| \qquad |A2| \rightarrow 9.036e21$$

$$A1 := |an1| \qquad |A1| \rightarrow 2.1e12$$

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу вторинної ректифікації бензину».

Обсяг пояснювальної записки: 67 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1. Функціональна схема автоматизації.
2. Експериментальне дослідження.
3. Аналіз і синтез одноконтурної та каскадної АСК.
4. Схема зовнішніх зєднань.
5. Схема підєднань.
6. Загальний вигляд щита керування.

Дата закінчення роботи _____

Підпис студента-дипломника _____