

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Андрій Павлюк

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

Павлюк Андрій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:66.048
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації пропанової
(назва роботи)

колони газофракційної установки

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 А.Ю. Павлюк
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент Р.Б. Скрип'юк
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідувач кафедри

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

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

Павлюк Андрій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації пропанової колони газофракційної установки

керівник роботи Скрип'юк Ростислав Богданович, 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 Пропанова колона газофракціонування: аналіз функцій автоматичного контролю та управління. 2 Математичне моделювання та ідентифікація газофракційної установки (пропанова колона). 3 Синтез структури системи автоматичного керування. 4 Розробка SCADA-системи в середовищі AVEVA InTouch. 5 Розробка технічної документації на САК. Висновки. Перелік посилань на джерела

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-12.00.00.001;

Лист 2 - Аналіз і синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-12.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез каскадної АСК - БР.АКП-12.00.00.003;

Лист 4 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКП-12.00.00.004;

Лист 5 - Схема підключень - БР.АКП-12.00.00.005;

Лист 6 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-12.00.00.006.

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	Пропанова колона		
	газофракціонування: аналіз функцій		
	автоматичного контролю та		
	управління		
2	Математичне моделювання та		
	ідентифікація газофракційної		
	установки (пропанова колона)		
3	Синтез структури системи		
	автоматичного керування		
4	Розробка SCADA-системи в		
	середовищі AVEVA InTouch		
5	Розробка технічної документації		
	на САК		

Студент _____
(підпис)

А.Ю. Павлюк _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Р.Б. Скрип'юк _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 75 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 13 таблиць, 10 переліків посилань на джерела і 3 додатка.

Тема: Удосконалення системи автоматизації пропанової колони газофракційної установки.

Об'єкт дослідження: пропанова колона газофракційної установки в умовах Долинського ГПЗ.

Мета проекту: удосконалення системи автоматизації технологічного процесу пропанової колони на газофракційній установці в умовах Долинського ГПЗ.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи управління пропанової колони.

У роботі досліджено питання аналізу, моделювання та синтезу системи автоматичного контролю і керування процесом газофракціонування на прикладі пропанової колони. Проведено аналіз технологічного процесу, характеристик сировини та продукції, обґрунтовано вибір параметрів контролю (температура, тиск, витрати) і методу автоматизації.

Здійснено математичне моделювання об'єкта керування: визначено змінні, сформульовано мету регулювання та отримано динамічні характеристики на основі експериментальних даних. На цій основі розроблено одноконтурну та каскадну системи керування, досліджено їх стійкість і якісні показники, встановлено переваги каскадної структури.

Розроблено технічну документацію системи автоматизації, виконано вибір сучасних засобів, створено функціональну схему, структуру системи та схеми підключень. У результаті створено ефективну систему керування, що забезпечує підвищення надійності, точності та ефективності роботи установки.

Ключові слова: газофракціонування, пропанова колона, автоматичне керування, математичне моделювання, SCADA-система, каскадне регулювання, давачі, контролер.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 75 pages of printed text, 19 figures, 13 tables, 10 lists of references and 3 appendices.

Topic: Improvement of the automation system of the propane column of the gas fractionation plant.

Object of research: propane column of the gas fractionation plant in the conditions of the Dolynsk GPP.

Project goal: improvement of the automation system of the technological process of the propane column in the gas fractionation plant in the conditions of the Dolynsk GPP.

Research methods: experimental modeling of the automatic control system of the propane column.

The work investigates the issues of analysis, modeling and synthesis of the system of automatic control and management of the gas fractionation process using the example of a propane column. The technological process, characteristics of raw materials and products are analyzed, the choice of control parameters (temperature, pressure, flow rates) and the automation method are justified.

Mathematical modeling of the control object is carried out: variables are determined, the purpose of regulation is formulated and dynamic characteristics are obtained based on experimental data. On this basis, single-loop and cascade control systems were developed, their stability and quality indicators were investigated, and the advantages of the cascade structure were established.

Technical documentation for the automation system was developed, a selection of modern means was made, a functional diagram, system structure and connection diagrams were created. As a result, an effective control system was created, which ensures increased reliability, accuracy and efficiency of the installation.

Keywords: gas fractionation, propane column, automatic control, mathematical modeling, SCADA system, cascade control, sensors, controller.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	9
	ВСТУП.....	10
1	ПРОПАНОВА КОЛОНА ГАЗОФРАКЦІОНУВАННЯ: АНАЛІЗ ФУНКЦІЙ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ.....	11
1.1	Загальне призначення газофракційної установки.....	11
1.2	Характеристики сировини, а також готової продукції.....	11
1.2.1	Призначення отриманої продукції.....	12
1.2.2	Якість вхідної сировини.....	12
1.2.3	Якість одержуваного продукту.....	13
1.3	Аналіз технологічної схеми установки.....	15
1.4	Технічна характеристика технологічного обладнання.....	16
1.5	Визначення параметрів регулювання та контролю.....	18
1.5.1	Температура верха пропанової колони.....	18
1.5.2	Температура низу пропанової колони.....	19
1.5.3	Температура і витрата сировини.....	19
1.5.4	Тиск в колоні.....	19
1.6	Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу....	20
	Висновки до розділу.....	21
2	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГАЗОФРАКЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ (ПРОПАНОВА КОЛОНА)....	22
2.1	Встановлення об'єкта дослідження.....	22
2.2	Визначення цілей керування та технічних вимог до системи.....	24
2.3	Виявлення вхідних і вихідних змінних.....	24

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Павлюк А.Ю.			Удосконалення системи автоматизації пропанової колони газофракційної установки	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Скрип'юк Р.Б.					6	75
Реценз.		Зварич Г.Г.				АКП-22-1 ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

2.4	Визначення динамічних характеристик.....	26
2.4.1	Підготовчий етап та розробка плану експерименту.....	26
2.4.2	Оброблення експериментально отриманих даних.....	29
2.4.2.1	Обробка результатів допоміжного каналу.....	29
2.4.2.2	Обробка результатів експерименту по основному каналу.....	31
	Висновки до розділу.....	33
3	СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	34
3.1	Створення структури САК з одним замкненим контуром.....	34
3.2	Розробка каскадної АСК.....	35
3.3	Аналіз стійкості одноконтурної САК.....	38
3.4	Дослідження стійкості двоконтурної (каскадної) системи.....	38
3.5	Визначення якісних показників розроблених систем.....	39
	Висновки до розділу.....	41
4	РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ AVEVA InTouch.....	42
4.1	Загальна характеристика SCADA-системи.....	42
4.2	Архітектура та структура системи.....	42
4.3	Розробка мнемосхеми технологічного процесу.....	43
4.3.1	Відображення технологічного обладнання.....	43
4.3.2	Динамічні властивості об'єктів.....	43
4.4	Організація контролю технологічних параметрів.....	43
4.4.1	Перелік контрольованих параметрів.....	43
4.4.2	Засоби відображення інформації.....	44
4.5	Реалізація системи сигналізації.....	44
4.6	Організація інтерфейсу оператора.....	44
4.6.1	Структура екрану.....	45
4.6.2	Навігація.....	45
4.7	Реалізація функцій керування.....	45

4.8	Архівація даних та тренди.....	45
	Висновки до розділу.....	46
5	РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК.....	47
5.1	Структурна схема ієрархічної системи керування газофракційної установки.....	47
5.2	Вибір ефективних та надійних засобів автоматизації.....	49
5.2.1	Опис та обґрунтування вибору контролера.....	50
5.2.2	Вибір ефективного давача температури.....	53
5.2.3	Вибір ефективного давача рівня.....	54
5.2.4	Вибір давачів тиску.....	55
5.2.5	Вибір давача витрати.....	56
5.2.6	Вибір виконавчого механізму.....	58
5.3	Технічна реалізація системи автоматизації.....	59
5.3.1	Розробка функціональної схеми автоматизації пропанової колони газофракційної установки.....	59
5.3.2	Розробка загального вигляду щита.....	62
5.3.3	Розробка схеми зовнішніх з'єднань та підключень.....	63
	Висновки до розділу.....	64
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	66
	ДОДАТКИ	
	БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ГПЗ - газопереробний завод.

ГФУ - газофракціонуюча установка.

ТП - технологічний процес.

АСК (САК) - автоматична система керування.

ВМ - виконавчий механізм.

РО - регулюючий орган.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Газофракціонуючі установки (ГФУ) входять до складу більшості нафтохімічних, хімічних, нафто- та газопереробних підприємств.

Наявний на об'єкті рівень автоматизації не дає можливості повного контролю над процесом газофракціонування. Показники якості автоматичного регулювання очевидно також потребують покращення. На осові наявності зазначених неточностей збільшуються відмови приладів і обладнання. Це може призвести до появи аварійних ситуацій, що відповідно становитиме небезпеку для усього персоналу.

Одним із можливим варіантом покращення може бути впровадження регулювання із використанням каскадних схем та мікропроцесорної техніки. Зазначене впровадження дасть можливість врахування можливих змін технологічних параметрів. У результаті цього покращиться загальний рівень системи автоматизації.

Якість роботи пропанової колони має вплив на роботу усієї газофракціонуючої установки. Пропанова фракція являється вихідним продуктом пропанової колони, а побічним продуктом являється фракція важчих вуглеводнів, котра відправляється з установки на подальшу переробку та виступає як сировиною для блоку стабілізації. Одною із головних задач системи автоматизації являється підтримання технологічних параметрів у межах, котрі зазначені у регламенті.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРОПАНОВА КОЛОНА ГАЗОФРАКЦІОНУВАННЯ: АНАЛІЗ ФУНКЦІЙ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

1.1 Загальне призначення газофракційної установки

Призначенням газофракційної установки являється розділення нестабільного бензину з метою отримання товарних бензинів. Даний процес відповідає вимогам висунутим до тиску насичених парів та призначений для зменшення втрати легких фракцій у процесі транспортування а також переробки газоконденсатів.

Процес ректифікації лежить у основі процесу газофракціонування. Процес розділення різноманітних фракцій, котрі збагачені легко- або важколеткими компонентами, котрий відбувається у процесі двостороннього тепло та масообміну між задіяними нерівноважними потоками пари а також рідини називається ректифікацією.

Рідинне зрошення утворюється в процесі розділу парових сумішей як результат часткової конденсації задіяного парового потоку шляхом повернення у процес необхідної частини сконденсованої рідини. У результаті цього у вихідному потоці рідини міститься більша частина легко летких компонентів, у порівнянні із нерівноважним до нього потоком.

Найбільш вагомий вплив (з перерахованих) на розподіл наявних компонентів між фазами мають певні відмінності у значеннях леткості компонентів, а саме термодинамічні умови розділу, які задають рушійні сили процесу масоперенесення а також характер взаємодії компонентів.

Підсумовуючи усе вище сказане можна стверджувати, що масообмін між потоками це і є безпосередня основа процесу.

1.2 Характеристики сировини, а також готової продукції

Природні а також промислові гази являються джерелом сировини для ГФУ.

Для газофракційної установки сировиною являється привізена широка фракція легких вуглеводнів а також нестабільний бензин котрий потрапляє із оливоабсорбційної установки.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Продуктами установки є:

- зріджені вуглеводневі гази;
- стабільний газовий бензин;
- зріджені паливні вуглеводневі гази.

1.2.1 Призначення отриманої продукції

Вуглеводневі зріджені паливні гази марок СПБТ і БТ застосовуються у вигляді палива для побутових споживачів.

У випадку необхідності дана установка може виробляти вуглеводневі зріджені гази для поставки їх на експорт.

Дані гази для автомобільного транспорту застосовуються у вигляді палива для двигунів внутрішнього згорання.

Стабільний газовий бензин використовується у якості компоненту автомобільного бензину у холодний період року.

1.2.2 Якість вхідної сировини

Характеристики вхідної сировини наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристики якості вхідної сировини

Найменування показника	Марка		
	А	Б	В
Вуглеводневий склад, % мас.:			
- сума вуглеводнів C ₄ -C ₅ , не менше	45,0	40,0	35,0
- сума вуглеводнів C ₁ -C ₂ , менше	3,0	5,0	-
- сума вуглеводнів C ₆ , не більше	11,0	25,0	50,0
- пропану, не менше	15,0	0	0
Вміст сірководню і меркаптанової сірки:			
- у тому числі сірководню, не більше	0,0030	0,0030	0,0030
- % мас., не більше	0,0250	0,050	0,050

Найменування показника	Марка		
	А	Б	В
Зовнішній вигляд	прозора рідина		
Вміст лугу	відсутність		
Вміт води	відсутність		

1.2.3 Якість одержуваного продукту

Характеристики вихідних продуктів установки наведені у таблицях 1.2, 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.2 - Характеристики якості стабільного газового бензину

Найменування показника	Марка	
	БТ	БЛ
Об'ємна частина залишку, % (не більше)	1,30	1,50
Температура кінця кипіння, °С (не вище)	150,00	185,00
Фактична кількість смол, мг/100 мл (менше)	5,00	5,00
Температура початку кипіння, °С (не нижче)	25,0	30,0
Фактичний тиск насичених парів, кПа (не більше)	120,00	85,00
Масова частина загальної сірки, %, не більше	0,040	0,050
Колір	Прозорий	

Таблиця 1.3 - Характеристики якості вуглеводневого паливного газу, який використовується для комунально споживання

Найменування показника	Марка	
	СПБТ	БТ
Масова частка компонентів, %:		
- сума етану, етилену і метану	6,0	
- сума пропілену та пропану	-	34,0

Найменування показника	Марка	
	СПБТ	БТ
- сума бутанів і бутиленів, не менше	-	60,0
- сума бутанів і бутиленів, не більше	60,0	-
Масова частка:		
- меркаптанової сірки, % (не більше)	0,0130	0,0130
- сірководню, % (не більше)	0,0030	0,0030
Інтенсивність запаху, бали (не менше)	3,0	3,0
Тиск надлишковий насичених парів, МПа (не більше) за температури 45 °С	1,60	1,80
Об'єм рідкого залишку, % (не більше) за температури 20 °С	1,6	1,8
Вміст вільної води та лугу	відсутні	

Таблиця 1.4 - Характеристики якості вуглеводневого зрідженого газу, який використовується для автомобільного транспорту

Найменування показника	Марка (ПБА)
Масові частки компонентів, %:	
- ненасичені вуглеводнів, менше	6,0
- бутани	норма відсутня
- пропан	50,0±10,0
- етан та метан	норма відсутня
Надлишковий тиск насичених парів (при температурах), МПа:	
- не менше -20 °С	0,070
- не більше +45 °С	1,60
Вміст лугу та води	відсутні

Найменування показника	Марка (ПБА)
Масова частка, %	
- сірководню, не більше	0,0030
- сірки та сірчаних сполук, не більше	0,010

Як абсорбент, а також теплоносієм використовується газова фракція, паливо ТС-2 чи Т-1, дизпаливо чи фракція, яка одержана з газоконденсату.

1.3 Аналіз технологічної схеми установки

Як сировина для ГФУ використовується суміш нестабільного бензину та привізної широкої фракції легких вуглеводнів (рис. 1.1). Технологічна схема завантаження пропанової колони К-4 (обладнаної 30 ковпачковими тарілками) передбачає: транспортування сировини насосом Н-7, послідовне проходження через теплообмінну апаратуру Т-4 та Т-3. Вхідна сировина у колону К-4 може відправлятися на 13, 15, або 17 тарілку (у випадку підрахунку знизу) у залежності від температури та якості. Кількість вхідної сировини для завантаження регулюється за допомогою регулятора витрати.

В середині пропанової колони К-4 здійснюється розділення нестабільного бензину та ШФЛВ на дві такі фракції:

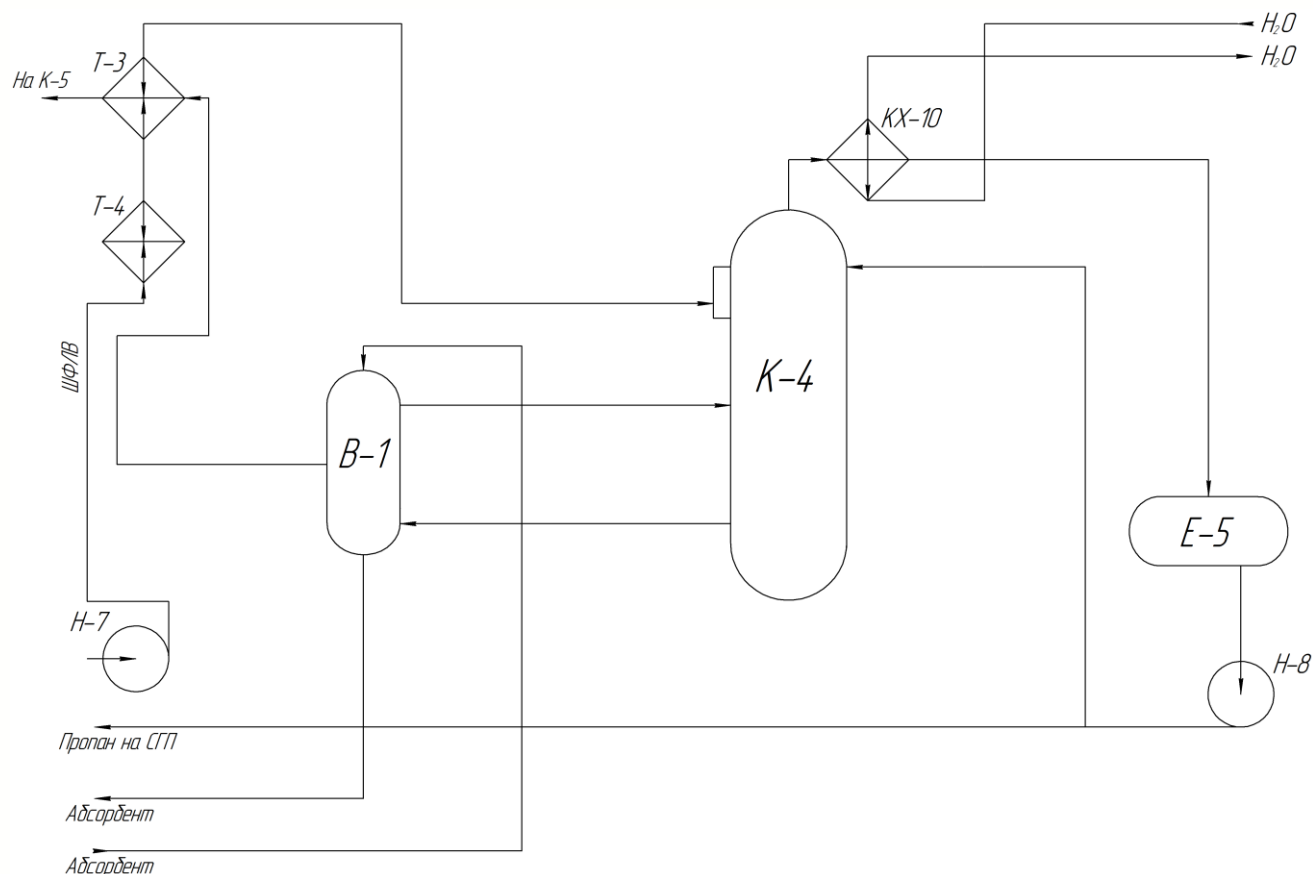
- нижній продукт - це суміш бутанів та вищих вуглеводнів;
- верхній продукт - це пропанова фракція.

У пропановій колоні К-4 тиск підтримується у межах від 1 до 1,6 МПа.

Відведений з верхньої частини колони К-4 пропановий дистилат у вигляді пари охолоджується та конденсується в агрегаті КХ-10, після чого спрямовується в акумулюючу ємність Е-5. Підтримання заданого термічного режиму верху колони (40–80°C) реалізується шляхом подачі гострого зрошення. При цьому інтенсивність потоку флегми варіюється в діапазоні 10–35 м³/год залежно від технологічних потреб. В колону К-4 зрошення подається за допомогою насоса Н-8

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

із ємності Е-5, а решта далі відкачується на склад готової продукції.



В-1 - випарник; Т-3, Т-4 - теплообмінник; Н-7, Н-8 - насоси; КХ-10 - конденсатор-холодильник; Е-5 - ємність; К-4 - пропанова колона

Рисунок 1.1 - Технологічна схема пропанової колони газофракційної установки

В межах від 80 °С до 120 °С, за рахунок тепла отриманого від випарника В-1, підтримується температура низу колони К-4 у якому в якості теплоносія застосовується гарячий абсорбент із лінії для подачі абсорбенту. Пропанова колона К-4 підживлюється паровою фазою, що надходить із випарника В-1. Водночас рідкий залишок спрямовується до теплообмінника Т-3, де він проходить підготовку перед подачею на завантаження колони стабілізації К-5.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

В роботі розглядатимемо частину ГФУ, а саме пропанову колону. Дана колона призначена для розділення широкої фракції легких вуглеводнів (ШФЛВ) на пропан та вищі вуглеводні.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Характеристика технологічного обладнання наведена у таблиці 1.5. У даній таблиці описано базові геометричні розміри, а також короткі технічні характеристики використовуваного обладнання, через котрі проходять потоки, які поступають чи виводяться із пропанової колони К-4.

Таблиця 1.5 - Характеристика технологічного обладнання

Назва на схемі	Повна назва обладнання	Кількість	Основні технічні характеристики	Основні розміри, м
В-1	Випарник пропанової колони	1	$P = 1,80 \text{ МПа}$; $T = 200^{\circ} \text{C} (473\text{K})$	$H = 8,340$; $D_{\text{вн}} = 1,40$
К-4	Пропанова колона	1	$P = 1,80 \text{ МПа}$; $T = 120^{\circ} \text{C} (403\text{K})$; $n = 30 \text{ шт}$	$H = 14,90$; $D_{\text{вн}} = 1,260$
Е-5	Ємність для зрошення пропанової колони	1	$T = 30,0^{\circ} \text{C} (303\text{K})$; $P = 1,80 \text{ МПа}$	$H = 7,2080$; $D_{\text{вн}} = 2,0$
Т-4	Підігрівач сировини пропанової колони	1	$P = 1,60 \text{ МПа}$; $T = 200,0^{\circ} \text{C} (473\text{K})$; $n = 44 \text{ шт}$	$H = 6,7420$; $D_{\text{вн}} = 0,3050$
Т-3	Теплообмінник пропанової колони	1	$P = 1,60 \text{ МПа}$; $T = 200,0^{\circ} \text{C} (473\text{K})$; $n = 60 \text{ шт}$	$H = 6,7040$; $D_{\text{вн}} = 0,4500$
КХ-10	Конденсатор-холодильник пропанової колони	1	$T = 200,0^{\circ} \text{C} (473\text{K})$; $P = 1,60 \text{ МПа}$	$D_{\text{вн}} = 0,6040$; $H = 7,1290$

1.5 Визначення параметрів регулювання та контролю

В загальному вигляді ректифікація відноситься до базових процесів у нафтогазовій промисловості. Склад вихідного продукту являється показником процесу ректифікації. У залежності від особливостей технологічного процесу у якості цільового продукту може виступати і дистилят і кубовий залишок. Підтримання складу цільового продукту у встановлених межах являтиметься метою керування. У цей же час склад іншого продукту може змінюватись у певних встановлених межах унаслідок деякої зміни компонентів вихідної суміші.

Дана установка представляє собою складний керований об'єкт із великим часом запізнення.

До основних параметрів контролю та регулювання у пропановій колоні газофракціонуючої установки відносяться:

- тиск у колоні;
- температура верху колони;
- температура та витрата сировини, що поступає у колону;
- якість верхнього та нижнього продуктів;
- температура низу колони;
- рівень залишку низу колони.

1.5.1 Температура верху пропанової колони

Неконтрольоване пониження значення температури верху пропанової колони призводить до недостатнього випаровування пропанової фракції, відповідно до зменшення продуктивності пропанової колони за об'ємом дистиляту.

При збільшенні температури верху колони разом із пропановою фракцією випаровуються також і важчі фракції. У цих випадках дистилят стає неякісним, а відповідно його потрібно буде направляти на повторну ректифікацію.

Температура верху пропанової колони регулюється величиною зрошення, що подається на першу тарілку за допомогою насоса Н-8 із ємності Е-5.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.5.2 Температура низу пропанової колони

Значення температури низа пропанової колони значною мірою впливає на вихід і якість важких фракцій (пентанової, бутанової). Пониження температури викликає неповне випаровування пропану та потрапляння його у наступні колони, що явно погіршує якість усіх інших продуктів. Збільшення температури низу колони призведе до випаровування важких фракцій та відповідно зменшення продуктивності колони за кількістю залишку.

З метою підтримання температури низа колони у встановлених межах, котрі передбачені технологічним регламентом, наявний залишок нагрівається у виносному випарнику В-3.

1.5.3 Температура і витрата сировини

Значення температури та витрати сировини мають бути постійними, оскільки вони напряму впливають на температурні режими колони.

Підвищення витрати сировини у колону викликає нечітке його розділення на необхідні компоненти, оскільки температура у такому випадку знижується.

1.5.4 Тиск в колоні

У випадку підвищення тиску погіршується випаровування, а продуктивність колони за кількістю дистиляту зменшується. У випадку зменшенні тиску у колоні відбувається випаровування пропану та важких фракцій. У такому випадку якість пропанового дистиляту значно погіршується.

Значення тиску у колоні регулюється автоматично шляхом відкриття чи прикриття клапана, який встановлений на лінії виводу дистиляту із колони К-3.

Значення параметрів контролю та регулювання на даній установці наведені у таблиці 1.5.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.5 – Перелік контрольованих та регульованих величин

Найменування параметру	№ позиції по ФСА	Одиниці вимірювання	Межі коливання параметру
Температура низу колони	2-а	°С	80,0 – 120,0
Температура верху колони	3-а	°С	40, - 80,0
Тиск в колоні	5-а	МПа	1,0 – 1,60
Величина зрошення	10-а	м³/год	10,0 - 35,0
Витрата сировини	8-а	м³/год	5,0 – 35,0

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

За допомогою використання технічних та якісних показників нових технічних пристроїв потрібно виконати обґрунтування доцільності заміни функціонуючої структури системи автоматизації її вдосконалення та розробку нового варіанту такої системи. Удосконалення існуючої автоматичної системи керування або її заміна сучасною системою має бути чітко обґрунтованою.

Використовуватимемо у даному проекті мікропроцесорні контролери фірми “Мікрол”, що забезпечують вирішення усіх необхідних задач керування. Ці контролери дають можливість вести локальне, каскадне, а також багатозв’язне регулювання. В роботі використовуватимуться також засоби автоматизації «FISHER-ROSEMOUNT» і «Метран». Розроблена система дасть можливість безперервно, а також швидко контролювати і регулювати наявні параметри технологічного процесу.

Для низу колони застосовуватимемо каскадну систему автоматичного регулювання температури продукту, за допомогою регулятора МІК-51. У порівнянні із існуючою системою дана система забезпечуватимемо меншу інертність системи. Наявність саме такого регулятора не допускає великого перерегулювання, та забезпечує мале відхилення регульованого значення від заданого значення, та веде до покращення якості процесу регулювання.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У результаті чіткого регулювання температури абсорбенту підвищується якість вихідної продукції, та покращується швидкодія системи автоматичного регулювання, а відповідно це приводить до підвищення прибутків підприємства.

Висновки до розділу

У роботі представлено комплексний аналіз технологічного процесу газофракціонування як об'єкта автоматизації. Розкрито фізико-хімічну суть та функціональне призначення ректифікації, а також детально описано принципи роботи пропанової колони. На основі аналізу обґрунтовано вибір ключових параметрів контролю й регулювання та наведено технічні характеристики обладнання. Запропоновано стратегію автоматизації з використанням програмно-технічного комплексу на базі контролерів компанії «Мікрол» у поєднанні з вимірювальними перетворювачами брендів «FISHER-ROSEMOUNT» та «Метран».

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГАЗОФРАКЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ (ПРОПАНОВА КОЛОНА)

2.1 Встановлення об'єкта дослідження

Пропанова колона відноситься до масообмінних апаратів, які відповідно відносяться до одних із основних об'єктів керування котрі експлуатуються на нафтопереробних та нафтохімічних підприємствах. У таких апаратах відбувається певне перетворення сировини або напівфабрикатів із одержанням певних проміжних, або цільових продуктів переробки нафти та газу. Найбільша частина масообмінних апаратів препадає на ректифікаційні колони.

Ключовою метою автоматичного керування ректифікаційною колоною є забезпечення заданої чистоти розділення фракцій при дотриманні критеріїв максимальної продуктивності та економічної ефективності. Складність реалізації такого керування зумовлена недостатньою вивченістю динамічних характеристик процесу та значною кількістю збурюючих чинників. Через це на сьогодні не існує універсального методу регулювання, який був би оптимальним для всіх типів колон. З огляду на різноманітність технологічних установок, у яких застосовується ректифікація, схеми автоматизації кожного об'єкта розробляються індивідуально.

Одночасно виконувати чітке та інтенсивне розділення, а також забезпечувати необхідну економічність процесу у більшості з випадків являється неможливим. Значення інтенсивності та економічності процесу зазвичай визначається продуктивністю колони, а також прийнятою степенню розділу продуктів. Продуктивність колони являється обмеженою та визначається швидкістю руху парів. Збільшення швидкості підвищує ефективність контакту парової та рідкої фаз на тарілках, і тим самим покращує розділення компонентів. З іншого боку, якщо швидкість парів являтиметься вищою за допустиму, то відповідно збільшується механічне винесення рідини на вищележачі тарілки, а якість ведення технологічного процесу погіршується.

З огляду на це, стратегія керування ректифікаційними колонами має

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

базуватися на диференційованому підході, що суворо відповідає специфічним вимогам та регламентам конкретного технологічного циклу.

У загальному випадку ректифікаційні колони поділяються на вакуумні, атмосферні, а також ті, що працюють під певним тиском. Дані колони призначені як для розділу бінарних, так і для розділення багатокомпонентних сумішей. Саме у даних колонах вихідний продукт відбирають з верхньої частини колони, а у всіх інших з нижньої частини.

Досить легко реалізувати регулювання колони у якій відбувається розділення тільки бінарних сумішей із верхнім чи нижнім вихідним продуктом.

З метою забезпечення потрібної концентрації компонентів у паровій та рідкій фазах у встановленому режимі, достатньо у системі здійснювати підтримування температури та тиску. Отож, при незмінній концентрації компонентів у вихідній суміші з метою одержання на виході із колони вихідних продуктів потрібного складу, необхідно забезпечити постійний тиск та певний перепад температури по усій висоті колони.

У технологічних процесах нафтохімії та нафтопереробки більше доводиться працювати із багатокомпонентними сумішами. Основними дестабілізуючими чинниками при розділенні багатокомпонентних сумішей є: коливання температури верху та куба колони, зміни витрати й складу сировини, а також коливання тиску в апараті. З огляду на це, будь-яка схема автоматизації має передбачати ефективну компенсацію цих збурень.

Відтак, отримання цільових фракцій заданої чистоти можливе лише за умови високоякісного керування процесом ректифікації, що є складним завданням з огляду на наступні причини:

- взаємодія деяких параметрів технологічного процесу;
- наявність великого часу запізнення ректифікаційних колон, яке обумовлене великою кількістю тарілок;
- неможливість проведення безпосереднього аналізу складу продуктів розділу;

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- складність формулювання вимог, що пред'являються до параметрів процесу;
- наявність частих та великих за величиною збурень процесу ректифікації.

2.2 Визначення цілей керування та технічних вимог до системи

Метою функціонування системи автоматичного керування (САК) є стабілізація якісного складу газу на виході з пропанової колони відповідно до заданих регламентів. Для забезпечення ефективності керування САК повинна відповідати наступним показникам якості:

- величина перерегулювання — не більше 20%;
- максимальна похибка апроксимації експериментальних перехідних характеристик — до 2,5%;
- степінь затухання коливань в межах від 0,75 до 0,95%;
- статична похибка (відхилення керованої величини) — менше 5%;
- запас стійкості по фазі в межах від 30° до 60°;
- запас стійкості по амплітуді в межах від 0,5 до 0,6.

2.3 Виявлення вхідних і вихідних змінних

Вхідні змінні об'єкта керування класифікуються за функціональними групами, серед яких ключовими є:

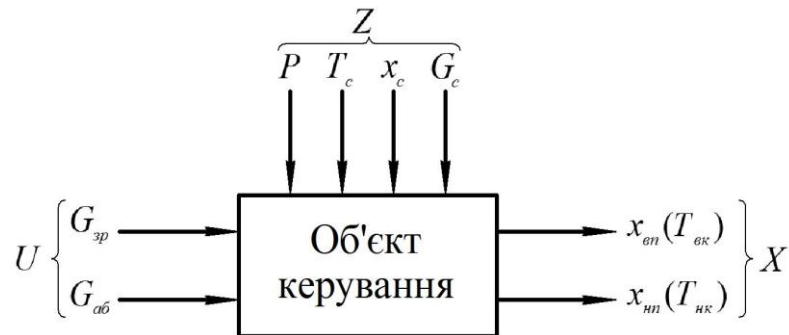
- керуючі впливи U_1 і U_2 . Під керуючими впливами мають на увазі дії, за допомогою яких можна змінювати стан об'єкта керування відповідно до поставленої мети. Як такі впливи можуть використовуватись як матеріальні, так і енергетичні потоки. У нашому випадку вхідними є такі величини: U_1 - витрата орошення, яке повертається у колону; U_2 - кількість теплоносія у випарнику. Змінні $U_1 \dots U_m$ піддаються обмеженням, що задаються за допомогою технологічного регламенту.

- збурюючі впливи Z , які представляють собою змінні, значення котрих випадково змінюються у часі. Негативною особливістю даних змінних є

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

неможливість їхнього вимірювання. До таких впливів належать: Z_1 , Z_2 - кількість, а також температура сировини, яка подається у колону, Z_3 - зміни тиску у колоні; Z_4 - якість сировини на вході.

У вигляді вихідної змінної в ректифікаційній колоні виступає концентрація пропанової фракції X_1 та концентрація нижнього продукту колони X_2 (рис. 2.1).



T_c - температура сировини на вході; P - тиск у колоні; x_c - компонентний склад поступаючої сировини; G_{ab} - величина витрати абсорбенту (кількість теплоносія, яка подається у випарник); G_c - величина витрати сировини; G_{zp} - величина витрати зрошення, яке подається у верх колони; T_{vk} , T_{nk} - температури верха та низу колони; x_{vk} , x_{nk} - склад верхнього та нижнього продуктів; Z - збурення;

X - керовані величини; U - керуючі впливи

Рисунок 2.1 - Впливи на об'єкт керування

Враховуючи, що на вихідну змінну найпростіше впливати шляхом зміни інтенсивності зрошення, приймемо, що тиск, витрата та температура сировини залишаються сталими величинами. З урахуванням цього отримаємо модель об'єкта керування з одним входом та двома виходами (рис. 2.2).



T_{vk} - температури верха колони; C_{np} - кількість пропану в верхньому продукті;

G_{zp} - витрата зрошення, яке потрапляє у верх колони

Рисунок 2.2 - Модель пропанової колони, де є один вхід і два виходи у спрощеному вигляді

Попередній аналіз показав, що математичну модель об'єкта доцільніше

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

будувати на основі експериментальних даних. Це дозволяє уникнути розв'язання громіздкої системи диференціальних рівнянь, кількість яких відповідає кількості тарілок колони. Саме тому доцільніше використовувати експериментальний метод визначення перехідних характеристик із подальшою їхньою апроксимацією. З урахуванням усього вищевказаного користуватимемося такими обставинами:

- велика кількість змінних, що впливають на технологічний процес;
- відсутня теорія, яка давала б змогу одержати аналітичну модель технологічного процесу;
- відсутня інформація про вплив якісного складу сировини на якісну характеристику готового продукту.

2.4 Визначення динамічних характеристик

Об'єктом регулювання являється колона, у котрій відбувається процес розділення газу на відповідні фракції, а також підтримання на заданому рівні складу верхнього продукту. Існує декілька способів для визначення динамічних характеристик, але кожен із них включає три основних етапи:

- підготовчий етап та розробка плану експерименту;
- виконання експериментального дослідження;
- опрацювання отриманих результатів.

У цьому випадку застосуємо метод аперіодичних впливів (ступінчастого сигналу). Його основою є припущення, що досліджуваний об'єкт поводить як лінійний за умови незначних коливань вхідної величини, а його динамічні характеристики залишаються сталими в часі. При цьому вихідна змінна не залежить від початкового стану об'єкта керування.

2.4.1 Підготовчий етап та розробка плану експерименту

На даному етапі потрібно виділити вхідну та вихідну змінні. Вхідним параметром являтиметься відкриття регулюючого органу (РО), керуючим впливом є витрата зрошення, що подається в колону, а вихідною величиною виступає

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

сигнал вторинного вимірювального приладу.

Величиною відкриття РО визначаємо вплив вхідний величина, при цьому фіксуємо зміну обраної вихідної величини.

Увесь етап підготовки апаратури заключається у виборі приладу, який реєструє зміну вихідної величини. Клас точності такого приладу має бути не меншим 0.5 за умови найменшої зони нечутливості. Застосовуваний прилад повинен мати такий діапазон шкали та швидкість переміщення діаграмної стрічки, щоб зміна реєстрованої величини займала на ній 100–200 мм по ширині та 200 або 250 мм по його довжини.

В процесі початку експерименту на досліджуваному об'єкті встановлюватимемо режим роботи, який характеризується певною постійністю вхідної змінної. На наступному етапі наноситься збурення шляхом відкриття РО на (35-40%), а потім реєструється зміна вихідної величини.

В той час коли вихідна величина залишатиметься незмінною певний момент часу, будемо вважати, що процес експериментального дослідження закінчено.

Отримані результати експериментів для основного та допоміжного каналів регулювання подано в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 - Результат експериментального дослідження за каналом «витрата зрошення - температура верху колони»

$t, \text{хв}$	$G_{зр}, \text{м}^3 / \text{год}$	$T_{вк}, ^\circ\text{C}$	$t, \text{хв}$	$G_{зр}, \text{м}^3 / \text{год}$	$T_{вк}, ^\circ\text{C}$	$t, \text{хв}$	$G_{зр}, \text{м}^3 / \text{год}$	$T_{вк}, ^\circ\text{C}$
0	6	45,001	12	6	37,010	24	6	36,527
3	6	41,305	15	6	36,711	27	6	36,506
6	6	38,896	18	6	36,618	30	6	36,503
9	6	37,706	21	6	36,608			

Таблиця 2.2 - Результат експериментального дослідження за каналом регулювання «витрата зрошення - якість верхнього продукту»

$t, \text{хв}$	$G_{\text{зр}}, \text{м}^3 / \text{год}$	$C_{\text{пр}}, \%$	$t, \text{хв}$	$G_{\text{зр}}, \text{м}^3 / \text{год}$	$C_{\text{пр}}, \%$	$t, \text{хв}$	$G_{\text{зр}}, \text{м}^3 / \text{год}$	$C_{\text{пр}}, \%$
0	6	95,120	15	6	97,912	30	6	98,225
3	6	95,693	18	6	98,047	33	6	98,234
6	6	96,544	21	6	98,128	36	6	98,241
9	6	97,298	24	6	98,181	39	6	98,248
12	6	97,690	27	6	98,206	42	6	98,250

Відповідно до таблиць 2.1 та 2.2 побудуємо залежність експериментальної перехідної характеристики за основним (витрата зрошення - якість верхнього продукту) та допоміжним (витрата зрошення - температура верху колони) каналами регулювання (рис. 2.2 та 2.3).

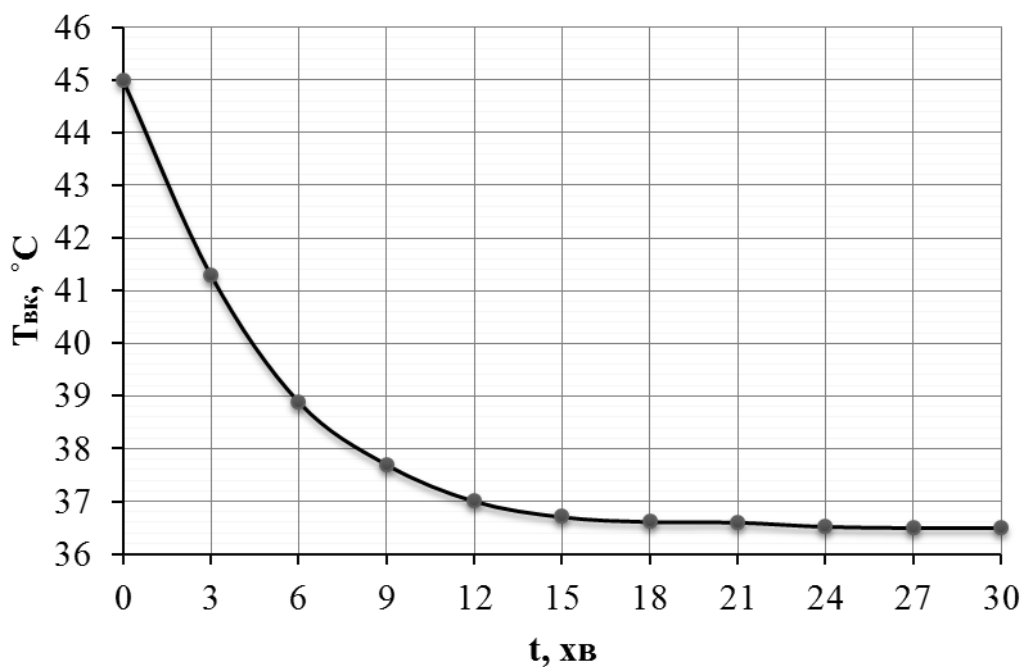


Рисунок 2.2 - Експериментальна перехідна характеристика по допоміжному каналу регулювання

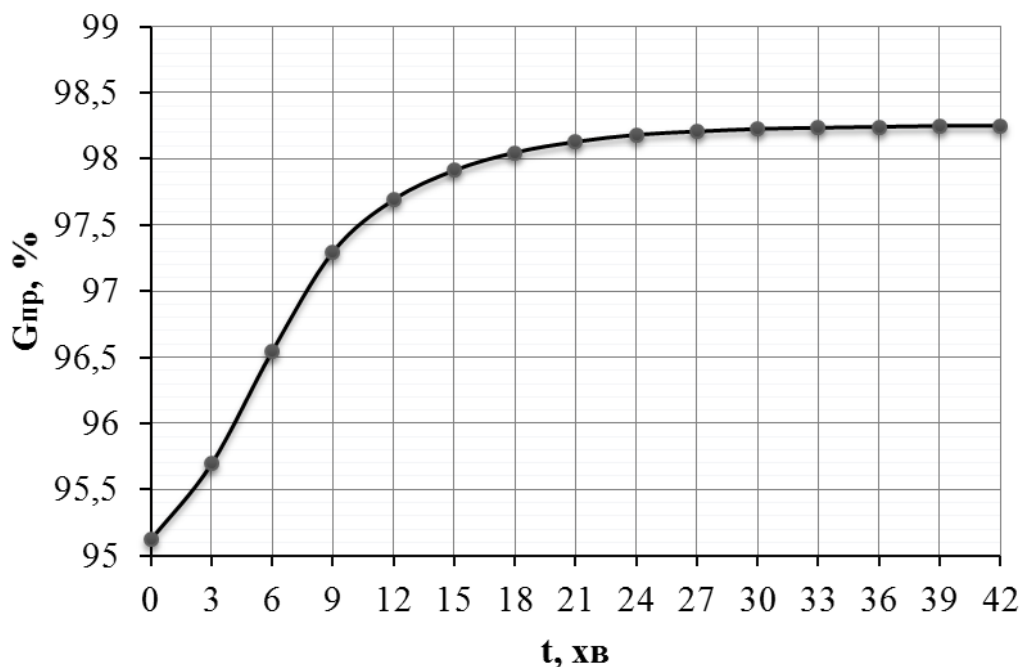


Рисунок 2.3 – Перехідна характеристика за основним каналом регулювання, яку визначено експериментальним шляхом

2.4.2 Оброблення експериментально отриманих даних

2.4.2.1 Оброблення результатів допоміжного каналу

За підсумками проведеного експерименту (таблиця 2.1) отриману перехідну характеристику подамо у безрозмірному вигляді, використовуючи відповідні формули:

$$X_{\text{exi}} = \frac{X_{\text{exi}} - X_{\text{exo}}}{X_{\text{ex max}} - X_{\text{exo}}}, \quad (2.1)$$

де X_{exi} - біжуче значення вхідної величини у розмірних одиницях;

X_{exo} - значення вхідних величин у розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{\text{ex max}}$ - максимальне значення вхідної величини у розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

$$Y_{\text{vixi}} = \frac{Y_{\text{vixi}} - Y_{\text{vixo}}}{Y_{\text{vix max}} - Y_{\text{vixo}}}, \quad (2.2)$$

де $Y_{вихi}$ - біжуче значення вихідної величини у розмірних одиницях;

$Y_{вих0}$ - значення вихідних величин у розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$Y_{вихmax}$ - максимальне значення вихідної величин у розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

$$Y_{вих0} = \frac{45,0010 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,0;$$

$$Y_{вих6} = \frac{36,6180 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,9860;$$

$$Y_{вих1} = \frac{41,3050 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,4350;$$

$$Y_{вих7} = \frac{36,6080 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,9880;$$

$$Y_{вих2} = \frac{38,8960 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,7180;$$

$$Y_{вих8} = \frac{36,5270 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,9970;$$

$$Y_{вих3} = \frac{37,7060 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,8580;$$

$$Y_{вих9} = \frac{36,5060 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,9990;$$

$$Y_{вих4} = \frac{37,0100 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,940;$$

$$Y_{вих10} = \frac{36,5030 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 1,0;$$

$$Y_{вих5} = \frac{36,7110 - 45,0010}{36,5030 - 45,0010} = 0,9750;$$

$$X_{ex} = 1,0.$$

Результати обрахунку зведемо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Експериментально отримані дані за каналом «витрата зрошення - температура верху колони» у безрозмірних одиницях

$t, \text{хв}$	0	3	6	9	12	15
X_{ex}	1	1	1	1	1	1
$Y_{вих}$	0	0,435	0,718	0,858	0,94	0,975
$t, \text{хв}$	18	21	24	27	30	
X_{ex}	1	1	1	1	1	
$Y_{вих}$	0,986	0,988	0,997	0,999	1	

Відповідно до отриманих даних виконаємо побудову експериментальної перехідної характеристики у безрозмірних одиницях за допоміжним каналом регулювання (витрата зрошення - температура верху колони) (рисунок 2.4).

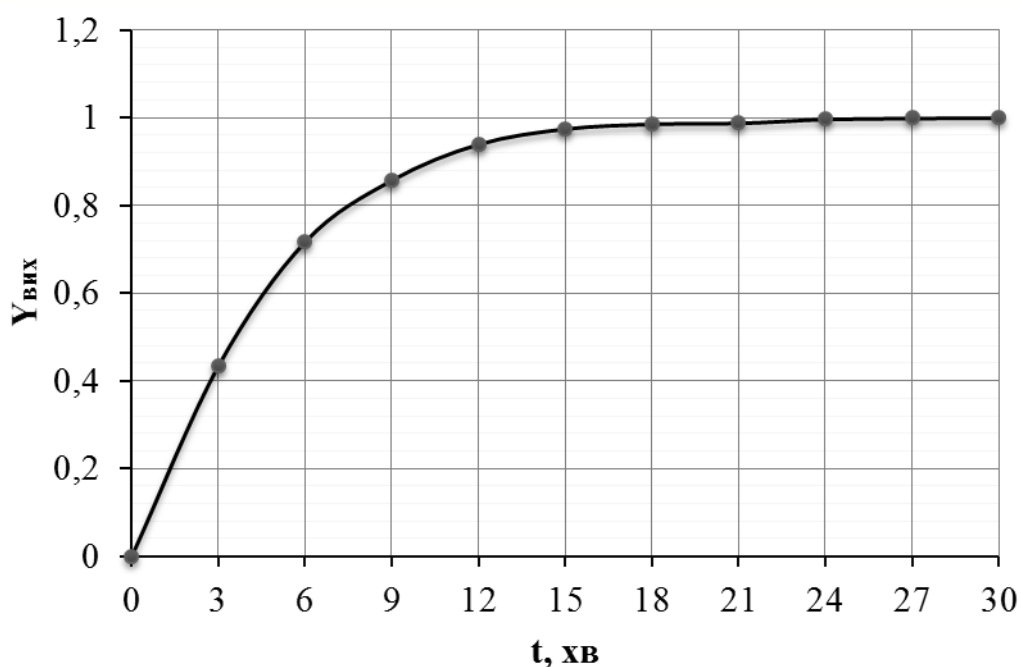


Рисунок 2.4 - Перехідна характеристика отримана експериментальним шляхом за допоміжним каналом регулювання (витрата зрошення - температура верху колони) у безрозмірних одиницях

Здійснимо апроксимацію даної перехідної характеристики з використанням програмного продукту Arproх. Користуючись результатами наведеними у додатку А1 передавальна функція керованого об'єкта за допоміжним каналом (витрата зрошення - температура верху колони) матиме такий вигляд:

$$W_1(p) = \frac{1,0}{2,0910p^2 + 4,6980p + 1,0}. \quad (2.3)$$

Похибка апроксимації $\delta = 1,0\%$ є максимальною у точці $t = 6,0$ хв.

2.4.2.2 Обробка результатів експеременту по основному каналу

Перехідну характеристику отриману в результаті проведення експериментального дослідження (витрата зрошення - якість верхнього продукту) (табл. 2.2), приведемо до вигляду безрозмірних величин відповідно до формул (2.1) та (2.2).

$$Y_{вих0} = \frac{95,1200 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,0; \quad Y_{вих8} = \frac{98,1810 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9780;$$

$$Y_{вих1} = \frac{95,6930 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,1830;$$

$$Y_{вих9} = \frac{98,2060 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9860;$$

$$Y_{вих2} = \frac{96,5440 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,4550;$$

$$Y_{вих10} = \frac{98,2250 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9920;$$

$$Y_{вих3} = \frac{97,2980 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,6960;$$

$$Y_{вих11} = \frac{98,2340 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9950;$$

$$Y_{вих4} = \frac{97,6900 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,8210;$$

$$Y_{вих12} = \frac{98,2410 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9970;$$

$$Y_{вих5} = \frac{97,9120 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,8920;$$

$$Y_{вих13} = \frac{98,2480 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9990;$$

$$Y_{вих6} = \frac{98,0470 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9350;$$

$$Y_{вих14} = \frac{98,2500 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 1,0;$$

$$Y_{вих7} = \frac{98,1280 - 95,1200}{98,2500 - 95,1200} = 0,9610;$$

$$X_{вх}^* = 1,0.$$

Результати обрахунку зведемо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати експериментального дослідження за каналом «витрата зрошення - якість верхнього продукту» у безрозмірних одиницях

t , хв	0	3	6	9	12	15	18	21
$X_{вх}$	1	1	1	1	1	1	1	1
$Y_{вих}$	0	0,183	0,455	0,696	0,821	0,892	0,935	0,961
t , хв	24	27	30	33	36	39	42	
$X_{вх}$	1	1	1	1	1	1	1	
$Y_{вих}$	0,978	0,986	0,992	0,995	0,997	0,999	1	

Відповідно до отриманих даних виконаємо побудову у безрозмірних одиницях експериментальної перехідної характеристики за основного каналу регулювання (витрата зрошення - якість верхнього продукту) (рисунок 2.5).

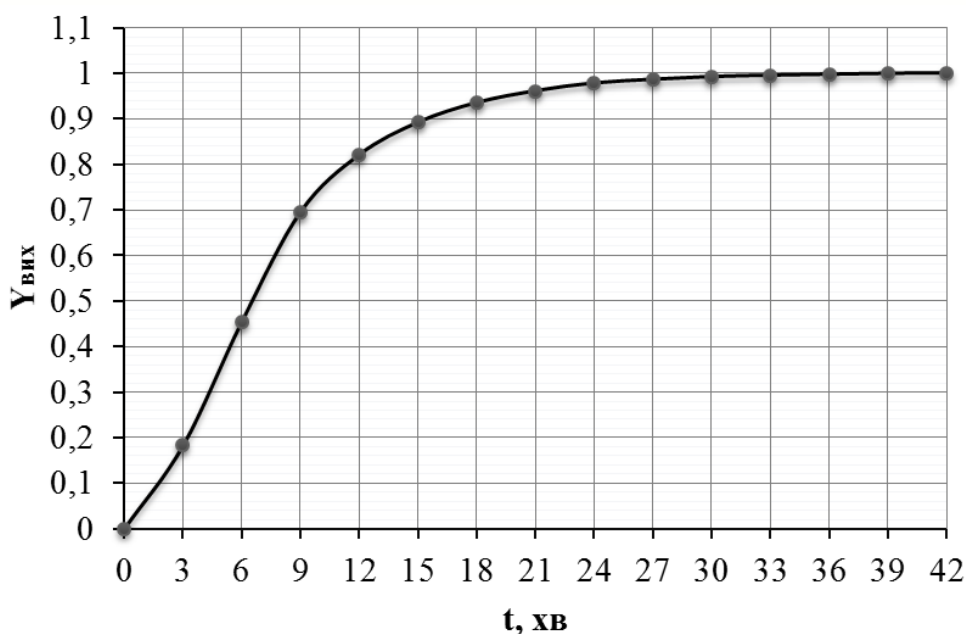


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика отримана експериментальним шляхом за основним каналом регулювання (витрата зрошення - якість верхнього продукту) у безрозмірних одиницях

Здійснимо апроксимацію даної перехідної характеристики з використанням програмного продукту Arrox. Користуючись результатами наведеними у додатку А2 передавальна функція керованого об'єкта за основним каналом (витрата зрошення - якість верхнього продукту) матиме такий вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1,0}{13,0170p^2 + 7,7950p + 1,0} \quad (2.4)$$

Похибка апроксимації $\delta = 1,80\%$ є максимальною у точці $t = 9,0$ хв.

Висновки до розділу

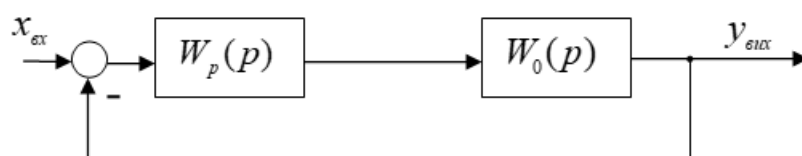
У цьому розділі було обрано та обґрунтовано керований об'єкт, визначено його структурну схему з позиції автоматизації. Проведено апроксимацію результатів експериментальних досліджень, отриманих у процесі активного експерименту, а також визначено передавальні функції для основного та допоміжного каналів регулювання.

З отриманих математичних обрахунків бачимо, що похибка отримана в процесі апроксимації являється меншою 2.5%.

3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Створення структури САК з одним замкненим контуром

Об'єкт керування із точки зору автоматизації потребує досить високої точності регулювання певних основних технологічних параметрів. Гостро це стосується процесу регулювання якості верхнього (цільового) продукту пропанової колони, автоматичну систему котрої надалі розроблятимемо. Процес розробки розпочнемо з одноконтурної АСК, алгоритмічна структура якої наведена на рисунку 3.1.



$W_p(p)$ - функція передачі для регулятора; $W_o(p)$ - функція передачі для керованого об'єкту

Рисунок 3.1 - Послідовність перетворення сигналів у замкненій одноконтурній системі

З метою забезпечення необхідних якісних показників регулювання та для забезпечення необхідної якості проходження перехідного процесу, а також збільшення стійкості системи виконаємо вибі ПІ - закону регулювання, функція передачі якого має такий символічний вигляд:

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

Функція передачі розімкненої системи (рис. 3.1) матиме такий вигляд:

$$W_{роз}(p) = \frac{1,0}{13,0170 p^2 + 7,7950 p + 1,0} \cdot W_p(p); \quad (3.2)$$

$$W_{роз}(p) = \frac{1,0}{13,0170 p^2 + 7,7950 p + 1,0} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} = \frac{C_1 p + C_0}{13,0170 p^3 + 7,7950 p^2 + p}.$$

Функція передачі замкненої системи (рис. 3.1), матиме такий символічний вигляд:

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

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

$$W_{зам}(p) = \frac{C_1 p + C_0}{13,0170 p^3 + 7,7950 p^2 + p + C_1 p + C_0} = \frac{C_1 p + C_0}{13,0170 p^3 + 7,7950 p^2 + (1,0 + C_1) p + C_0}.$$

Пошук оптимальних параметрів налаштування регулятора здійснюємо за допомогою функції Tune у програмі Matlab. Згідно з додатком Б1 отримаємо: $K_p = C_1 = 1,4563$, $K_i = C_0 = 0,27334$.

Отже:

$$W_{зам}(p) = \frac{1,45630 p + 0,273340}{13,0170 p^3 + 7,7950 p^2 + 2,45630 p + 0,273340}.$$

3.2 Розробка каскадної АСК

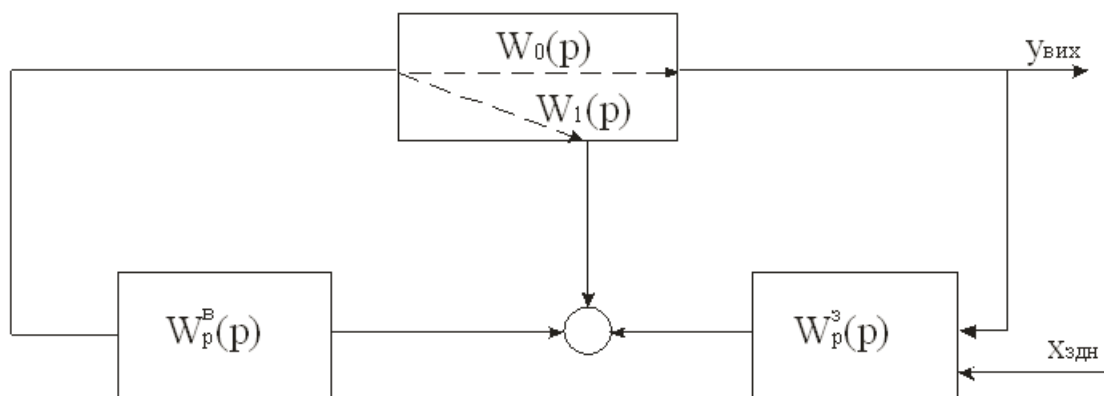
Застосування каскадних структур автоматичного керування є доцільним для об'єктів, що характеризуються значним запізненням або високою інерційністю за відповідним каналом керування.

У такому випадку для системи регулювання застосовують два регулятори - основний, який являється зовнішнім регулятором і служить для стабілізації значення основного виходу об'єкта та допоміжний регулятор, який являється внутрішнім, котрий регулює допоміжну координату. Вихідний сигнал основного регулятора являє собою завдання, яке подається на допоміжний регулятор (рис. 3.2).

Визначення типу закону керування ґрунтується на функціональному призначенні кожного регулятора в системі:

- головний регулятор: задля забезпечення високої точності стабілізації вихідної координати та повної ліквідації статичної похибки, його закон керування обов'язково має містити інтегральну складову (наприклад, ПІ- або ПІД-алгоритм);
- допоміжний регулятор: оскільки його ключовим завданням є мінімізація часу реакції на внутрішні збурення, для нього припускається використання будь-якого закону регулювання, зокрема найпростішого П-закону.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



$W_1(p)$ - функція передачі по допоміжному каналу; $W_0(p)$ - функція передачі по основному каналу; $W_p^6(p)$ - функція передачі для внутрішнього регулятора; $W_p^3(p)$ - функція передачі для зовнішнього регулятора

Рисунок 3.2 - Структура каскадної АСК

Порівняльний аналіз одноконтурних та каскадних структур АСК підтвердив переваги останніх: завдяки високій динаміці внутрішнього контуру суттєво підвищується якість перехідних процесів, особливо при компенсації збурень у допоміжному каналі. З огляду на це, як швидко внутрішню петлю обрано контур «витрата зрошення — температура верху колони», а як головний зовнішній контур — «витрата зрошення — якість верхнього продукту».

Процес розрахунку каскадної АСК розпочнемо із допоміжного регулятора, який являється внутрішнім, а його функція передачі матиме такий вигляд:

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

де $W_0(p)$ - функція передачі по основному каналу регулювання:

$$W_0(p) = \frac{1,0}{13,0170p^2 + 7,7950p + 1,0}.$$

$W_1(p)$ - функція передачі по допоміжному каналу регулювання:

$$W_1(p) = \frac{1,0}{2,0910p^2 + 4,6980p + 1,0}.$$

$W_p^3(p)$ - функція передачі зовнішнього регулятора.

При початку дослідження вважатимемо, що зовнішній регулятор являється

від'ємним, тобто $W_p^3(p) = 0$.

Отже еквівалентна функція передічі буде наступною:

$$W_e''(p) = W_1(p).$$

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора здійснено з використанням інструментарію Tune у середовищі Matlab. Згідно з додатком Б2 отримано такі результати: $K_p = C_1 = 5,52140$, $K_i = C_0 = 1,35390$.

$$W_p^e(p) = \frac{5,52140p + 1,35390}{p}.$$

Функція передачі для визначення параметрів налаштування зовнішнього регулятора, який являється основним буде мати такий вигляд:

$$W_e'(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e(p)} W_0(p)., \quad (3.4)$$

Виконавши підстановку попередньо отриманих передавальних функцій, та деякі арифметичні перетворення отримаємо:

$$W_e'(p) = \frac{(11,54524740p^3 + 28,77054210p^2 + 11,88202220p + 1,35390)}{(27,2185470p^5 + 77,4532110p^4 + 123,60097380p^3 + 73,15602930p^2 + 17,07505050p + 1,35390)}.$$

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора здійснено з використанням інструментарію Tune у середовищі Matlab. Згідно з додатком Б3 отримано таку оптимальну передавальну функцію:

$$W_p^3(p) = \frac{1,46730p + 0,986130}{p}.$$

У загальному еквівалентна передавальна функція каскадної АСР має такий вигляд:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p) + W_1(p)W_p^e(p) + 1}. \quad (3.5)$$

Підставивши значення передавальних функцій та виконавши перетворення одержимо:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{(16,940p^4 + 53,60p^3 + 45,810p^2 + 13,70p + 1,330)}{(27,220p^6 + 77,450p^5 + 140,540p^4 + 126,760p^3 + 62,880p^2 + 15,0580p + 1,330)}.$$

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3.3 Аналіз стійкості одноконтурної САК

Згідно з критерієм Михайлова, автоматична система n -го порядку є стійкою тоді й лише тоді, коли її частотний годограф послідовно проходить через n квадрантів комплексної площини у додатному напрямку (проти годинникової стрілки), не охоплюючи початок координат.

Із передавальної функції одноконтурної АСК характеристичний поліном буде наступним:

$$F(p) = 13,0170p^3 + 7,7950p^2 + 2,45630p + 0,273340,$$

а прирівняний до нуля такий:

$$13,0170p^3 + 7,7950p^2 + 2,45630p + 0,273340 = 0.$$

Проведемо заміну $p = j\omega$:

$$-13,0170j\omega^3 - 7,7950\omega^2 + 2,45630j\omega + 0,273340 = 0.$$

Із наведеного вище рівняння виділимо дійсну та уявну частини:

$$Q(\omega) = -13,0170\omega^3 + 2,45630\omega;$$

$$P(\omega) = -7,7950\omega^2 + 0,273340.$$

Побудову годографа Михайлова виконано в середовищі Mathcad (результати наведено у Додатку В1). Аналіз графіка свідчить про те, що годограф послідовно перетинає три квадранти. Це повністю задовольняє умови критерію для системи третього порядку, що підтверджує її стійкість.

3.4 Дослідження стійкості двоконтурної (каскадної) системи

Із передавальної функції каскадної АСК характеристичний поліном буде наступним:

$$F(p) = 27,220p^6 + 77,450p^5 + 140,540p^4 + 126,760p^3 + 62,880p^2 + 15,0580p + 1,330.$$

а прирівняний до нуля такий:

$$27,220p^6 + 77,450p^5 + 140,540p^4 + 126,760p^3 + 62,880p^2 + 15,0580p + 1,330 = 0.$$

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Замінемо $p = j\omega$:

$$\begin{aligned} & -27.220\omega^6 + 77.450j\omega^5 + 140.540\omega^4 - 126.760j\omega^3 - \\ & -62.880\omega^2 + 15.0580j\omega + 1.330 = 0. \end{aligned}$$

З отриманого виразу виділимо дійсну і уявну частини:

$$P(\omega) = -27,220\omega^6 + 140,540\omega^4 - 62,880\omega^2 + 1,330;$$

$$Q(\omega) = 77,450\omega^5 - 126,760\omega^3 + 15,0580\omega.$$

Використаємо програмний продукт Mathcad для побудови годографа Михайлова (Додаток В2). Із представлених у додатку В2 результатів бачимо, що годограф Михайлова послідовно пройшов через шість квадрантів, що відповідно у повній мірі відповідає умовам критерію, а система відповідно являється стійкою.

3.5 Визначення якісних показників розроблених систем

З метою отримання якісних характеристик перехідних процесів здійснимо за допомогою використання програмного продукту Matlab (Simulink) побудову перехідної характеристики для одноконтурної системи автоматичного керування (рис. 3.3).

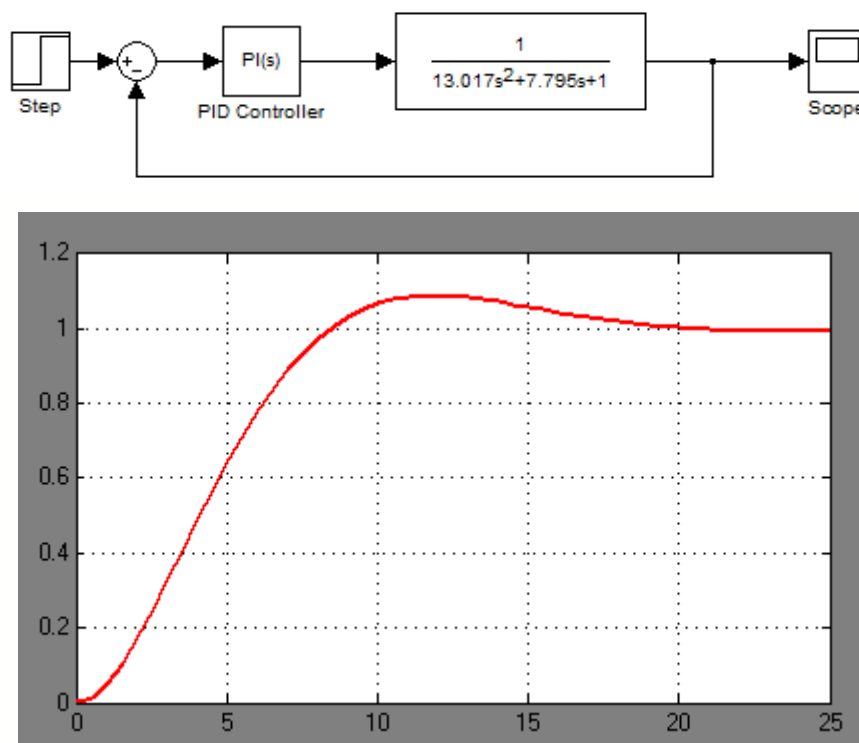


Рисунок 3.3 – Графік перехідної характеристики одноконтурної системи

З отриманої перехідної характеристики визначимо такі показники:

- час зростання: $t_n = 8,0$ хв;
- час досягнення першого максимуму: $t_m = 12,0$ хв;
- тривалість перехідного процесу: $t_n = 20,0$ хв;
- перерегулювання: $\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,10 - 1,00}{1,00} \cdot 100\% = 10,00\%$.

З метою отримання якісних характеристик перехідного процесу виконаємо побудову у Simulink перехідної характеристики для каскадної САК за допомогою програмного продукту Matlab (рис. 3.4).

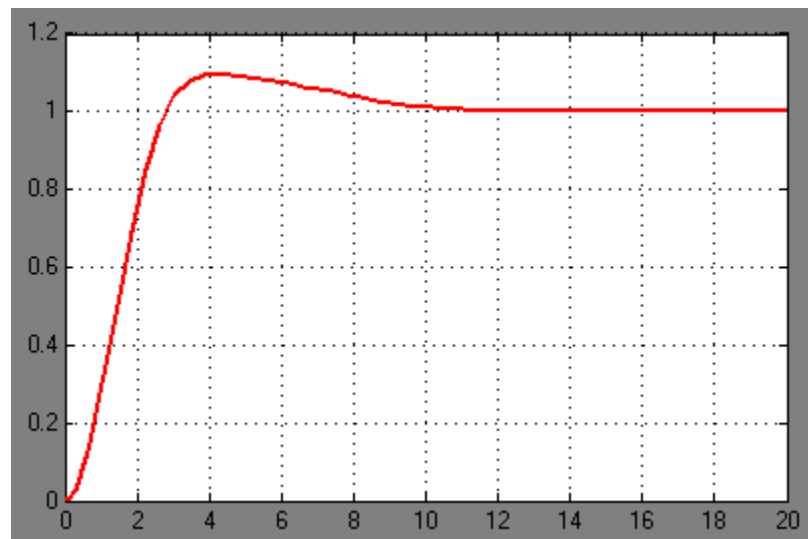
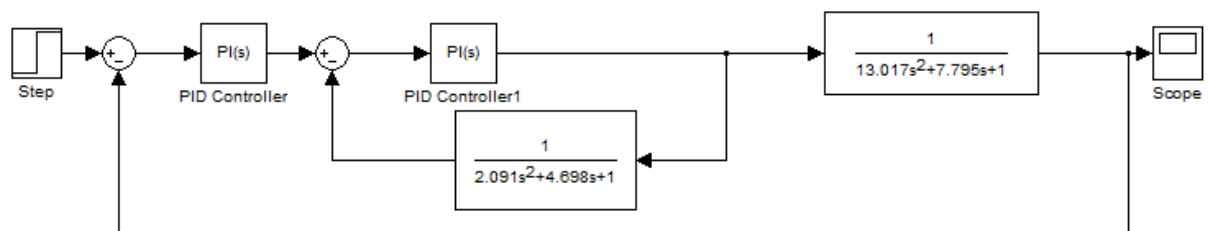


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика каскадної АСР у Matlab

З отриманої перехідної характеристики визначимо такі показники:

- час зростання: $t_n = 3,0$ хв;
- час досягнення першого максимуму: $t_m = 4,0$ хв.
- тривалість перехідного процесу: $t_n = 11,0$ хв;
- перерегулювання: $\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,10 - 1,00}{1,00} \cdot 100\% = 10,00\%$;

Висновки до розділу

У розділі виконано аналіз автоматичної системи регулювання та вибрано одноконтурну і каскадну системи. Здійснено визначення параметрів налаштування регуляторів за допомогою програми Matlab (Simulink).

Здійснено аналіз стійкості систем автоматичного керування, котрий підтвердив їхню стійкість.

З метою визначення якісних показників здійснено імітаційне моделювання системи автоматичного керування та відображені їхні перехідні характеристики.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ AVEVA InTouch

4.1 Загальна характеристика SCADA-системи

У даному розділі представлено розробку системи диспетчерського контролю та керування технологічним процесом газофракціонування, реалізовану в середовищі AVEVA InTouch HMI. Основною метою створення SCADA-системи є забезпечення безперервного моніторингу, підвищення ефективності керування та покращення умов роботи оператора.

Розроблена система виконує такі функції:

- візуалізація технологічного процесу в реальному масштабі часу;
- контроль основних параметрів (температура, тиск, рівень, витрати);
- формування аварійної сигналізації;
- архівація технологічних даних;
- забезпечення дистанційного керування обладнанням.

Система орієнтована на керування пропановою колоною К-4 та допоміжним обладнанням.

4.2 Архітектура та структура системи

SCADA-система побудована за трирівневою ієрархічною структурою:

- Нижній рівень - первинні перетворювачі (датчики температури, тиску, рівня, витрати) та виконавчі механізми (клапани, насоси).
- Середній рівень - програмований логічний контролер (PLC), який здійснює обробку сигналів та реалізацію алгоритмів керування.
- Верхній рівень - SCADA-система, що виконує функції візуалізації та диспетчеризації.

Обмін даними між рівнями організовано за допомогою стандартних промислових протоколів (OPC, Modbus TCP), що забезпечує надійність та масштабованість системи.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4.3 Розробка мнемосхеми технологічного процесу

Основним елементом SCADA-системи є мнемосхема, яка відображає структуру технологічного процесу газофракціонування.

4.3.1 Відображення технологічного обладнання

На екрані реалізовано такі об'єкти:

- ректифікаційна колона К-4;
- ємність В-1;
- теплообмінник Е-5;
- насоси Н-7 та Н-8;
- сепаратори КХ-10;
- трубопроводи та запірна арматура.

Графічне оформлення відповідає стандартам НМІ-систем:

- використано об'ємні елементи для покращення сприйняття;
- обладнання виконано у нейтральній кольоровій гамі;
- трубопроводи виділено кольором для індикації потоків.

4.3.2 Динамічні властивості об'єктів

Для підвищення інформативності мнемосхеми реалізовано:

- зміну кольору елементів залежно від стану;
- індикацію руху робочого середовища;
- відображення стану обладнання (RUN/STOP);
- візуалізацію відкриття та закриття клапанів.

4.4 Організація контролю технологічних параметрів

4.4.1 Перелік контрольованих параметрів

У SCADA-системі реалізовано контроль наступних параметрів:

- температури (сировини, верху та низу колони, у ємностях);

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- тиску в апаратах;
- рівнів у технологічних ємностях;
- витрат сировини, абсорбенту та зрошення.

4.4.2 Засоби відображення інформації

Інформація представлена у вигляді:

- цифрових індикаторів;
- вертикальних шкал рівня;
- текстових інформаційних полів.

Для рівнемірів використано кольорову індикацію:

- зелений - нормальний режим;
- жовтий - попереджувальний стан;
- червоний - аварійний режим.

4.5 Реалізація системи сигналізації

У системі передбачено багаторівневу сигналізацію, що включає:

- відображення активних аварійних повідомлень;
- індикацію критичних параметрів;
- можливість звукового сповіщення оператора.

Аварійні ситуації формуються у випадках:

- перевищення допустимих значень температури;
- відхилення рівня від заданих меж;
- перевищення тиску.

Всі аварійні повідомлення реєструються у журналі подій.

4.6 Організація інтерфейсу оператора

Інтерфейс оператора побудований з урахуванням принципів ергономіки та зручності використання.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

4.6.1 Структура екрану

Інтерфейс складається з наступних елементів:

- верхня панель — містить назву системи, дату, час та статус;
- робоча область — відображає мнемосхему процесу;
- панель параметрів — включає числові значення та шкали;
- нижня панель навігації — забезпечує доступ до інших екранів.

4.6.2 Навігація

Передбачено переходи між такими екранами:

- головний екран;
- тренди;
- аварії;
- звіти;
- системні налаштування.

4.7 Реалізація функцій керування

SCADA-система забезпечує можливість дистанційного керування технологічним обладнанням:

- запуск та зупинка насосів;
- керування запірною арматурою;
- зміна уставок регуляторів.

Керуючі елементи реалізовані у вигляді кнопок із візуальним підтвердженням дії, що знижує ймовірність помилок оператора.

4.8 Архівація даних та тренди

Для аналізу технологічного процесу реалізовано підсистему архівації даних, яка дозволяє:

- зберігати історію зміни параметрів;
- будувати графіки (тренди);

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- аналізувати динаміку процесу.

Отримані дані можуть використовуватись для оптимізації режимів роботи установки.

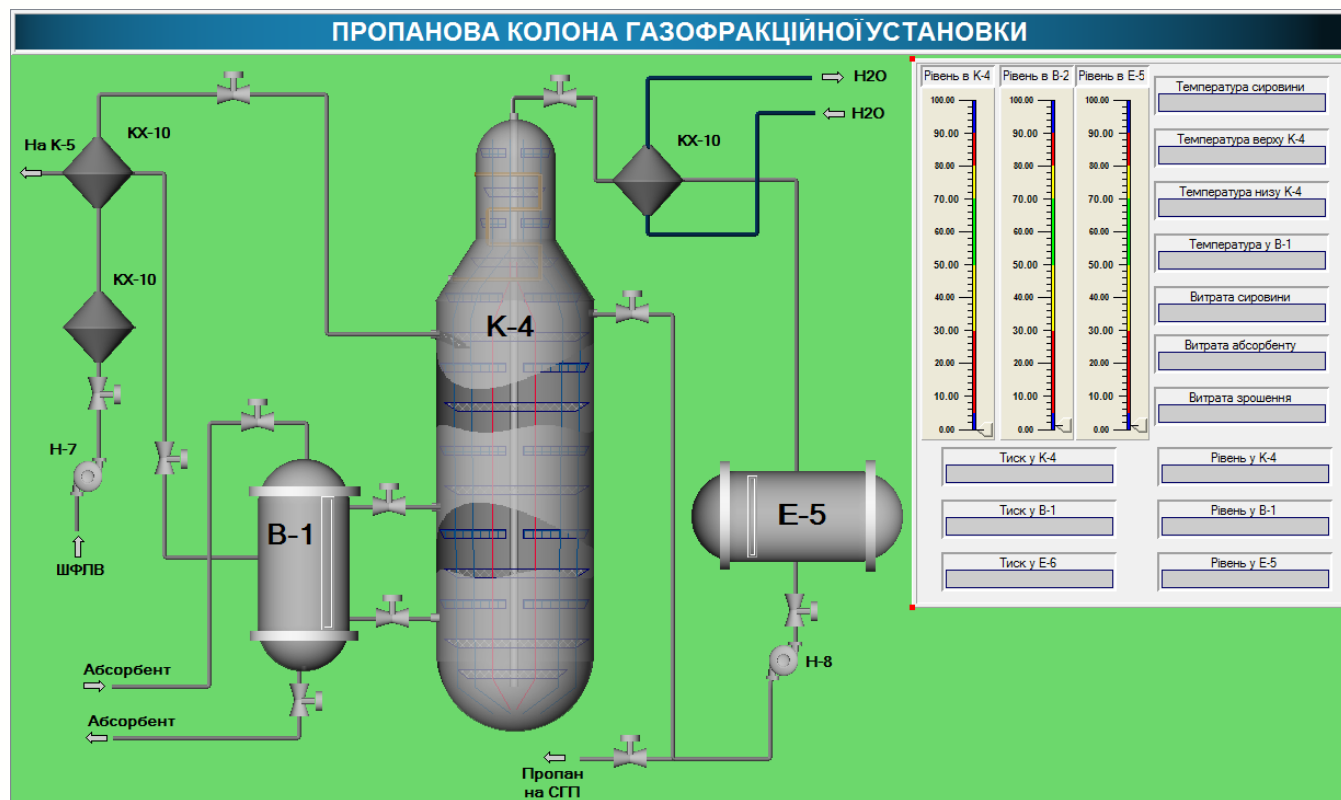


Рисунок 4.1 - SCADA система пропанової колони газофракційної установки

Висновки до розділу

У результаті виконано розробку SCADA-системи керування процесом газофракціонування в середовищі AVEVA InTouch HMI. Створена система забезпечує ефективний контроль та керування технологічними параметрами, відповідає сучасним вимогам до HMI-систем та може бути використана для впровадження у промислових умовах.

5 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

5.1 Структурна схема ієрархічної системи керування газофракційної установки

На початковому етапі проєктування автоматизації ключовим завданням є визначення місць розташування пунктів керування та операторських приміщень, а також організація взаємодії між ними. Це передбачає вибір оптимальної структури управління процесом - сукупності функціональних частин системи та каналів передачі інформації між ними. Графічним відображенням цієї моделі є структурна схема. Вона є одним із базових проектних документів, оскільки регламентує адміністративно-технічне та оперативне управління для забезпечення максимально ефективної експлуатації об'єкта.

Структурна схема відображає базові проектні рішення за організаційною, функціональною та технічною структурами. Відбувається обов'язкове дотримання ієрархії системи автоматичного керування а також взаємозв'язків, які можуть бути між пунктами контролю та управління і.т.д.

Проектування автоматизованої системи керування технологічними процесами та збором даних здійснюється з урахуванням таких вимог:

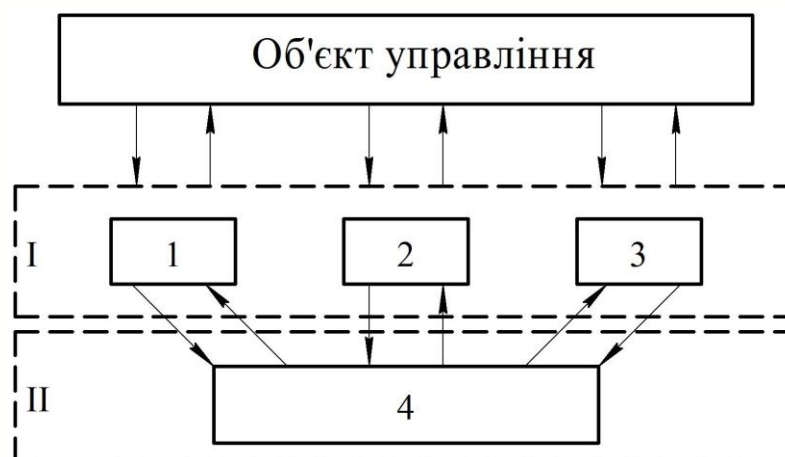
- інтерактивність: забезпечення оперативного зв'язку персоналу з технологічним обладнанням та процесом у режимі реального часу;
- надійність та ефективність: гарантування стабільної роботи підприємства шляхом реалізації функцій автоматичного регулювання технологічних параметрів, а також впровадження алгоритмів логіко-програмного захисту обладнання;
- видачу інформації котра являється необхідна для здійснення обліку а також керівництва роботою підприємства.

У нашому випадку підходящою буде дворівнева автоматична система управління, яка представлена на рисунку 5.1:

- 1-й рівень системи забезпечує місцеве управління агрегатами, котре виконується з робочих постів;

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- 2-й рівень системи забезпечує централізоване управління агрегатами, котрі задіяні у технологічному процесі.



1 - 3 – регулятори та індикатори; 4 – ПЕОМ; I – 1-й рівень системи управління;

II – 2-й рівень системи управління

Рисунок 5.1 – Будова структурної схеми

Сучасні розроблювані системи мають володіти такими властивостями і забезпечувати:

- збирання та зберігання даних, котрі будуть надходити із різних технологічних відділень та відображають усю необхідну оперативну інформацію, яка стосується стану технологічного процесу;

- дистанційне контролювання та керування технологічних процесів;

- візуалізацію виробничих процесів з представленням необхідних характеристик в точках технологічного процесу;

- визначення а також зберігання технологічних даних;

- ефективний моніторинг стану основних параметрів виробництва.

В ідеальному варіанті потрібна реєстрація усіх даних технологічного процесу, які найчастіше здійснюються.

У такому випадку актуальними будуть SCADA а також MES-системи. MES-системи являють собою системи керування виробництвом, котра зеднує усі бізнес-процеси виробництва із виробничими процесами. Зазначені системи здатні оперативно відобразити об'єктивну а також достовірну інформацію користувачеві.

Розроблена на таких засадах система здатна здійснювати керування

технологічними процесами, здатна забезпечити відслідковування заданого виробничого процесу, а також здатна автоматично вносити коректування або здатна пропонувати необхідне рішення оператору з метою підвищення якості керування.

5.2 Вибір ефективних та надійних засобів автоматизації

Виконавши аналіз особливостей роботи об'єкта, наявні вимоги до параметрів а також необхідний рівень автоматизації проведемо вибір технічних засобів автоматизації. Для ефективної комплексної автоматизації даного процесу вибиратимемо засоби автоматизації, котрі котрі здатні виконати такі функції: одержання адекватної інформації про процес; збирання та передавання інформації про процес; передавання інформації для обслуговуючого персоналу.

Оскільки зазначене виробництво належить до пожежно- а відповідно і вибухонебезпечного класу, то здійснюватимемо вибір і відповідних технічних засобів автоматизації. Усі первинні перетворювачі, які мають бути встановленими за місцем а також прилади, які встановлюються у операторній мають бути виконані у іскробезпечному виконанні. У даний технічний комплекс введемо однотипні засоби, що відповідно значно спростить їхнє застосування, а отже і налаштування, експлуатацію та ремонт.

Віддамо перевагу у даному проекті застосуванню засобів автоматизації із серійним виробництвом.

При виборі приладів враховуватимемо наведені нище фактори метрологічного а також режимного характеру роботи:

- границя вимірювання;
- інерційність давачів;
- можливість застосувати давача із погляду на пожежну- і вибухонебезпечність;
- вплив параметрів середовища, яке досліджується а також довкілля на роботу засоба автоматизації;

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- можлива відстань між давачем та операторною, на котру можлива передача інформації.

Система автоматизації газофракційної установки вимагає застосування таких технічних засобів:

- виконавчі механізми;
- первинні перетворювачі тиску, витрат, температури та рівня;
- мікропроцесорний контролер.

5.2.1 Опис та обґрунтування вибору контролера

Центральним елементом проекрованої системи автоматизації є багатофункціональний мікропроцесорний контролер МІК-51. Даний пристрій призначений для реалізації алгоритмів автоматичного регулювання та логічного керування складними технологічними процесами. Завдяки своїй універсальності, МІК-51 широко застосовується в енергетичній, хімічній, металургійній, харчовій та інших галузях промисловості.

Архітектура контролера дозволяє виконувати ручне або автоматичне керування, а також оперативну реконфігурацію контурів регулювання незалежно від складності структури управління. Пристрій забезпечує комплексну обробку інформації, що включає: опрацювання аналогових сигналів, виконання логічних перетворень, формування аналогових, імпульсних та дискретних керуючих команд.

Для взаємодії з оператором на передній панелі контролера розташовані засоби оперативного керування. Вони дозволяють: змінювати режими роботи та коригувати хід виконання програми, встановлювати задані значення (уставки) та вручну керувати виконавчими пристроями, здійснювати візуальний контроль сигналів і реєстрацію помилок.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.2 - Загальний вигляд мікропроцесорного контролера МІК-51

Логічні функціональні блоки призначені для формування логічної програми крокового керування із аналізом умов виконання кожного з кроків, завдання деякого контрольного часу на кожному кроці та умовним або безумовним переходом програми до деякого заданого кроку. В поєднанні із обробкою дискретних сигналів МІК-51 представляє можливість виконувати широкий спектр різноманітних функціональних перетворень аналогових сигналів та виробляти не лише дискретні, а ще й аналогові керувальні сигнали.

МІК-51 володіє засобами оперативного керування, котрі розташовані на передній панелі контролера. Наявність таких засобів забезпечує можливість ручного змінювання режимів роботи, керувати ходом виконання програми, установлювати завдання, вручну керувати виконавчими пристроями, а також контролювати сигнали та реєструвати помилки. Елементи оперативного управління показані на рисунку 5.3.

Підключення стандартизованих датчиків та виконавчих механізмів до МІК-51 здійснюється за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків. Уся вхідна інформація обробляється контролером у цифровій формі, що забезпечує високу точність та завадостійкість системи.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



Рисунок 5.3 - Елементи оперативного керування

Даний контролер МІК-51 представляє собою компонований виріб. Його компонентом є центральний мікропроцесорний блок, а також клемно-блочний з'єднувач.

МІК-51 дає можливість користувачу вибрати необхідний комплект модулів розширення та блоків відповідно до кількості, а також вигляду вхідних / вихідних сигналів.

Контролером МІК-51 передбачається:

- До 9 абсолютно незалежних контурів керування, кожен з котрих може бути локальним чи каскадним, а також з аналоговим або імпульсним виходом, а також з ручним, програмним або супервізорним задатчиком.

- До 100 блоків із функцієб вільного заповнення якими небудь функціональними блоками та вільним конфігуруванням.

- Оперативне управління контурами регулювання з використанням клавіш фасадної панелі, 2-х чотирьохрозрядних, а також одного трьохрозрядного цифрових індикаторів та набору світлодіодів, які дозволяють установлювати завдання, змінювати режими, контролювати сигнали, керувати виконавчими механізмами, а також індукувати аварійні ситуації. У випадку програмного регулювання технічному засобу дозволяють вибрати потрібну програму, запускати, зупиняти, а також скидати програму, контролювати хід виконання програми.

- Зміна режимів керування, включення - відключення, переключення та реконфігурація контурів керування будь-якого ступеня складності.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- Можливість комплектування модулями розширення.

5.2.2 Вибір ефективного давача температури

Підберемо для нашого проекту у якості давача температури Мертран-201 (перетворювачі термоелектричні), котрі використовуються з метою вимірювання значення температури газоподібних та рідких середовищ.

Перетворювачі Мертран-201 характеризуються розбірною конструкцією та з розташованого всередині чутливого елементу. Дані датчики є також у кабельному виконанні. Загальна характеристика давача представлена у таблиці 5.2, а загальний вигляд давача представлений на рисунку 5.4.



Рисунок 5.4 – Модифікація та загальна характеристика давача

Таблиця 5.2 - Характеристика Мертран 201

Найменування показників	Значення
Клас допуску	2
Число чутливих елементів	1 чи 2
Матеріал головки	склонаповнений поліамід
Робочий спай	ізолюваний
Діапазон вимірюваних температур	від -40 до +1000°C
Повірка	1 раз у рік

5.2.3 Вибір ефективного давача рівня

Давачі, які призначені для вимірювання гідростатичного тиску Мертран 43-ДГ призначаються для ефективної роботи у системах як автоматичного контролю так само і регулювання та управління а також забезпечують процес неперервного перетворення вимірюваних параметрів, що вимірюються у уніфікованому сигналі.

Мертран-43-ДГ виконаний із відкритою мембраною та призначений для зазосування у системах призначених для контролю а відповідно і регулювання рівня рідини різномацїтних рідких середовищ. Вибрані датчики здатні працювати з вторинною реєструючою апаратурою а також показуючою апаратурою, різноманїтними регуляторами а також іншими технічними засобами автоматики, котрі здатні приймати стандартний сигнал. Вигляд вибраного давача представлено на рисунку 5.5.



Рисунок 5.5 - Загальний вигляд давача Мертран - 43-ДГ

Вибраний давач оснащений рїдкокристалїчним індикатором, котрий здатен відображати такі елементи:

- значення величини в конкретний момент часу, що може вимїрюватися у заданих одиницях вимїрювання;
- час отримання вихїдного сигналу становить від мїнїмум 0,2 до максимум 25,6 с;
- здатність виконувати вимїрювання у таких одиницях як МПа, кПа, Па, кгс/см², кгс/м³;
- значення вихїдного сигналу у конкретний момент часу у % від усього

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

діапазону вимірювань.

Таблиця 5.3 - Характеристика давача Мертран-43-ДГ

Найменування параметру	Значення
Виконання	Вибухозахищене, звичайне
Вимірюване середовище	високов'язкі а також агресивні рідини
Вихідний сигнал	4-20, 0-5, 5-0, 20-0, 0-20 мА
Гарантійний час експлуатації (міс):	
- для давачів із МП	36
- для давачів із АП	18
Міжповірочний інтервал:	
- для давачів із МП	3
- для давачів із АП	2

5.2.4 Вибір давачів тиску

Датчик тиску Мертран-44 (рис. 5.6) використовується для застосування у таких середовищах: пара, газ, рідина. Середовище може бути з великою хімічною активністю за наявності тиску менше 2,1 МПа. Призначені для роботи в системах автоматичного регулювання, контролю, управління та можуть забезпечити процес безперервного перетворення вимірюваного значення у уніфікований сигнал струму.

Встановлювані датчики здатні працювати із реєструючою а також показуючою апаратурою, різноманітними регуляторами а також іншими технічними засобами автоматизації, котрі здатні сприймати стандартний струмовий сигнал. Перетворювач має трьохмембранну конструкцію. Датчики оснащуються тільки мікропроцесорними перетворювачами, що відповідно є перевагою перед іншими датчиками які мають аналогові перетворювачі за всіма показниками. Різнманіття вихідних сигналів є наступним: 4-20, 20-0, 0-5, 0-20, 20-4, 5-0 мА.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



Рисунок 5.6 - Датчик тиску Мертран-44

Таблиця 5.4 - Характеристика давача тиску Мертран-44

Найменування параметру	Значення
Гарантійний термін експлуатації	36
Середовище вимірювання	Рідина, газ, пара
Міжповірочний інтервал	3 роки
Виконання	Вибухозахищене, звичайне
Вихідний сигнал	4-20, 20-0, 0-5, 0-20, 20-4, 5-0 мА

Мертран-44 являється абсолютно стійким до можливої дії відносної вологоти оточуючого повітря до $(96 \pm 3)\%$ за температури 35°C а також при більш низьких температурах без наявної конденсації вологи.

Присутнє обладнання для самодіагностики, контролю а також налаштування параметрів давачів безпосередньо із місця їх експлуатації.

5.2.5 Вибір давача витрати

25 років тому були створені перші вихрові витратоміри для підвищення рівня надійності, а також зниження витрат на монтаж. Дані витратоміри мають ряд обмежень. У конструкції вихрових витратомірів Rosemount 8800 усунені недоліки, що властиві більшості традиційних вихрових витратомірів.

Підвищення конкурентоспроможності підприємства напряду пов'язане з досягненням максимальної продуктивності у поєднанні із найвищим рівнем безпеки, а також мінімальною кількістю зупинок виробництва. Даний витратомір

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

(рис. 5.7) забезпечує вказані переваги завдяки своїй унікальній конструкції, яка вирішує проблеми, що зазвичай характерні для традиційних витратомірів.

Точки витоку у більшості вихрових витратомірів появляються навколо з'єднань сенсора, котрий ущільнених прокладками, які являться потенційним джерелом небезпек, пов'язаних безпосередньо із безпекою та екологією.

Таке ущільнення зазвичай руйнується у випадку заміни сенсора, а відповідно технологічний процес приходить зупиняти, що відповідно веде до зниження продуктивності підприємства. В процесі експлуатації в важких умовах, традиційні вихрові витратоміри піддаються забрудненню через отвори і щілини усередині проточної частини, що відповідно обмежує функції сенсора, який здійснює вимірювання витрати. Якщо таке засмічення відбулося, то потрібна зупинка технологічного процесу, котра відповідно знижує продуктивність а також погіршує якість вихідної продукції.



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд витратоміра Rosemount 8800

Вибраний вихровий витратомір може використовуватись для вимірювання витрати пари, газу та рідини. У більшості випадків, на прилад не впливає зміна умов процесу експлуатації чи якості наявного технологічного середовища.

У вихрового витратоміра, який вибрано у повній мірі відсутні імпульсні лінії, пази і ущільнюючі прокладки, що звісно підвищує надійність процесу вимірювання. У витратомірі забезпечена висока стійкість по відношенню до вібрацій.

Сенсор являється повністю ізольованим від задіяного технологічного

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

процесу і може бути змінений без будь-якого руйнування технологічного ущільнення.

5.2.6 Вибір виконавчого механізму

Виконавчі механізми (ВМ) однообертові електричні характеризуються постійною швидкістю та призначені для виконання переміщення задіяних регулюючих органів (РО) відповідно до можливих командних сигналів, які надходять від керуючих а також регулюючих пристроїв.

Вибрані виконавчі механізми здатні працювати в таких метрологічних умовах:

- максимальна відносна вологість робочого середовища менше 95% при температурі 35°C і при нижчих температурах у випадку уникнення конденсації вологи.
- температура середовища, яке оточує може становити від мінус 10 до плюс 50 °C.



Рисунок 5.8 – Загальний вигляд виконавчого механізму

Задіяний виконавчий механізм являється стійким а також міцний до різного роду впливів. Він не призначається для можливої роботи в середовищах, котрі можуть містити різноманітні агресивні гази, пари а також речовини, котрі здатні викликати різноманітні руйнування а також у вибухонебезпечних середовищах. Виконавчі механізми, які застосовуватимуться мають бути максимально захищеними від можливого прямого сонячного впливу чи навіть атмосферних опадів.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5.3 Технічна реалізація системи автоматизації

5.3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації пропанової колони газофракційної установки

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є основним технічним документом, що визначає структуру та функціональне наповнення системи керування об'єктом. Вона відображає взаємозв'язок між технологічним обладнанням, засобами вимірювання та автоматизації. Саме у зв'язку із цим на ФСА мають бути наведені зображення апаратів, трубопроводів, пристроїв а також показані зв'язки між ними.

Дана схема представляє собою креслення, на котрому за допомогою умовних позначень відображені комунікації, орган управління об'єктом, технологічне обладнання та засоби автоматизації із нанесенням між ними певних ліній зв'язку, а також технологічним обладнанням.

Відповідно до вимог нормативної документації, на функціональних схемах не відображають допоміжні пристрої та елементи монтажу, зокрема: джерела живлення та блоки підготовки повітря (фільтри, редуктори), реле, автоматичні вимикачі та запобіжники, з'єднувальні коробки, клемні колодки та монтажну арматуру.

Технічні засоби автоматизації, що розташовані поза межами щитів, та які не пов'язані обладнанням а також трубопроводами розміщуються в прямокутнику у шапці якого є напис «Прилади місцеві». Приймальні а відповідно і відбірні пристрої та первинні вимірювальні перетворювачі котрі вмонтовуються у технологічні апарати а також трубопроводи на ФСА не зображуються.

ФСА пропанової колони газофракційної установки передбачено:

- Контролювання температура сировини, яка подається у колону К-4, відбувається регулятором МІК-51 (поз. 1-б), який отримує сигнал від термоперетворювача (поз. 1-а). Регулятор здійснює коригування положення виконавчого механізму (ВМ) (поз. 1-в).

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- Процес регулювання витрати сировини у колону К-4, виконується за допомогою застосування витратоміра фірми Fisher-Rosemount 8800 (поз.8-а), а наявність вбудованого процесорного блоку давача дає можливість проводити самодіагностику давача та перетворювача (поз. 8-б) з котрого сигнал поступає на МІК-51 (поз.8-в), який змонтований на щиті КВПіА. Із регулятора керувальний сигнал надходить на ВМ (поз.8-г) змонтований на трубопроводі подачі сировини у колону.

- Регулювання подачі абсорбенту в колону К-4 реалізовано за принципом корекції витрати залежно від температурного режиму. Процес автоматизації контуру здійснюється наступним чином. Вимірювання: поточне значення витрати абсорбенту визначається за допомогою вихрового витратоміра Fisher-Rosemount 8800 (поз. 9-а). Передача сигналу: з інтегрованого перетворювача (поз. 9-б) уніфікований електричний сигнал надходить на вхід мікропроцесорного контролера МІК-51 (поз. 9-в). Корекція: для забезпечення точності дозування на контролер також подається сигнал від термоперетворювача (поз. 2-а), що пропорційний температурі технологічного потоку. Управління: на основі отриманих даних контролер МІК-51 обчислює керуючий вплив з урахуванням температурної корекції та спрямовує його на виконавчий механізм (поз. 9-г), що встановлений на лінії подачі.

- Контур регулювання витрати зрошування (орошення). Автоматизація процесу подачі зрошування реалізована за схемою з температурною корекцією витрати. Функціонування контуру забезпечується наступним чином. Первинне вимірювання: поточне значення витрати визначається за допомогою вихрового витратоміра Fisher-Rosemount 8800 (поз. 10-а). Формування сигналу: вимірювальний перетворювач (поз. 10-б) трансформує дані у придатний для передачі сигнал, який надходить на вхід мікропроцесорного контролера МІК-51 (поз. 10-в). Врахування корекції: для компенсації похибок, викликаних зміною фізичних властивостей середовища, на контролер також подається уніфікований сигнал від термоперетворювача (поз. 3-а), що пропорційний температурі потоку.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Виконавчий вплив: на основі аналізу отриманих даних МІК-51 здійснює необхідну математичну корекцію та формує керуючий сигнал, що спрямовується на виконавчий механізм (поз. 10-г).

- Автоматична стабілізація температурного режиму у випарнику реалізована за допомогою мікропроцесорного контролера МІК-51 (поз. 4-б). Функціонування контуру відбувається за наступним алгоритмом. Вимірювання: поточне значення температури фіксується первинним датчиком, після чого через вимірювальний перетворювач (поз. 4-а) у вигляді уніфікованого сигналу передається на вхід контролера. Опрацювання: контролер порівнює отримане значення із заданою уставкою та, згідно з обраним законом регулювання, формує відповідний керуючий вплив. Регулювання: сформований регулюючий сигнал спрямовується на виконавчий механізм (поз. 4-в), який безпосередньо змінює подачу теплоносія для підтримки заданої температури в апараті.

- Вимірювання, регулювання та контроль значення тиску у колоні К-4 відбувається за допомогою використання первинного перетворювача Мертран-44 (поз.5-а), що змонтований у місцевій шафі. Тиск перетворюється у уніфікований сигнал рівний 4-20мА, який направляється на МІК-51 (поз.5-б). На цифровому табло відображаються біжучі значення вимірюваного тиску, завдання та регулююча дія. Керуючий сигнал із клемних затискачів контролера (або шафи автоматизації) спрямовується на позиціонер виконавчого механізму (поз. 5-в). Даний пристрій встановлений безпосередньо на регулювальному органі, змонтованому на трубопроводі відводу димових газів. Використання позиціонера забезпечує високу точність позиціонування затвора та стабільність регулювання параметрів газового потоку.

- Вимірювання, регулювання та контроль рівня у колоні К-4 відбувається за наступним алгоритмом: значення гідростатичного тиску виміряне давачем “Мертран-43-ДГ” (поз.11-а), перетворюється у сигнал 4-20мА, та який за допомогою кабелю напвляється на регулятор МІК-51 (поз.11-б), котрий на табло показує виміряне значення рівня та регулюючу дію. З блочних затискачів

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

регулююча дія поступає на позиціонер ВМ (поз.11-в), котрий змонтований на трубопроводі виводу залишку із колони К-4.

- Процес регулювання температури та рівня у ємностях В-1 та Е-5 здійснюється аналогічним чином.

5.3.2 Розробка загального вигляду щита

Щити системи автоматизації є конструктивною базою для компактного та впорядкованого розміщення технічних засобів керування технологічним процесом. На них встановлюється наступне обладнання: засоби контролю та управління, системи захисту та блокування, апаратура автоматизації та живлення, комутаційні елементи.

Процес розробки загального вигляду щита проводиться за такою послідовністю:

- проведення вибору стандартного щита на основі кількості задіяних пристроїв, електроапаратури та категорій приміщень, де встановлюватимуться щити і т.д.;

- розміщення обладнання та апаратури на фронтальних панелях та всередині щитових і пультових конструкцій.

Розроблюваною проектною документацією передбачається використання щитів шкафових, які виконані субблочним методом. На установці використовуються також панельні щити, які характеризуються такими параметрами:

- Субблочний метод вирізняється компактністю порівняно з іншими щитовими конструкціями. На фронтальній панелі розташовується сигнальна апаратура, зокрема світлові індикатори, а всередині субблоку – реле часу та проміжні реле;

- апаратура для керування насосами та допоміжною апаратурою, поділена на окремі блоки, які створює позитивне середовище для управління а відповідно і спостереження у процесі протікання даного технологічного процесу;

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- уся апаратура для регулювання параметрів розміщена на фронтальній панелі субблоку, тоді як допоміжне компактне обладнання встановлюється на внутрішній поверхні. Підключення до електроживлення здійснюється через роз'єми, розташовані на задній стінці субблоку.

Для монтажу вторинних приладів (показуючих, реєструвальних та самописних) обрано панельний повногабаритний щит із типовими розмірами 2200x600x600 мм. Вибір даного типу конструкції забезпечує необхідну площу фасадної панелі для ергономічного розміщення засобів візуалізації технологічної інформації.

Допоміжне обладнання, зокрема вимірювальні перетворювачі та блоки сигналізації, змонтоване на спеціальних штативах у захитовому просторі. Таке рішення дозволяє оптимізувати доступ до апаратури під час проведення регламентних робіт та мінімізувати щільність монтажу на основних панелях.

Детальна інформація про маркування пристроїв, зміст написів на світлових табло та ідентифікаційних бірках наведена у відповідній таблиці на кресленні загального вигляду щита.

5.3.3 Розробка схеми зовнішніх з'єднань і підключень

Схема зовнішніх проводок є ключовим технічним документом, що визначає електричні та трубні зв'язки між окремими компонентами системи автоматизації.

Схеми зовнішніх проводок мають містити:

- лінії живлення;
- монтажні символи давачів, приладів, регулюючих органів та виконавчих механізмів;
- лінії захисного заземлення;
- лінії електричних та трубних проводок;
- з метою для з'єднання електричних кабелів наводять електричні з'єднувальні коробки;
- основний напис;

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- загальні пояснення.

Зверху поля креслення на схемах зовнішніх з'єднань над графічними умовними позначеннями давачів та виконавчих механізмів а також приладів розміщено табличні пояснювальні надписи.

Вибір кабелів, проводів, труб та вибір способів виконання усі електропроводки проводять у відповідності до вказівок керівного матеріалу.

Дані схеми зовнішніх проводок являються робочим документом, котрий розкриває реальний обсяг монтажних робіт та може бути вихідним документом з метою складання проекту робіт.

Висновки до розділу

В даному розділі кваліфікаційної роботи здійснено вибір і обґрунтування технічних засобів автоматизації, що потрібні для експлуатації розглядуваного об'єкту. Здійснено розробку та опис проектної документації у котру входить: структурна схема ієрархічної системи керування, функціональна схема автоматизації, та схема під'єднань.

Отже, даний розділ є основною частиною бакалаврської роботи і є визначальним при створенні автоматичної системи керування даним процесом.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі виконано удосконалення наявної системи автоматизації на пропановій колоні газофракційної установки. Виконано розгляд суті процесу та представлено характеристики задіяного обладнання. Виконано обґрунтування вибраних параметрів контролю а також регулювання.

Виконано експериментальне дослідження динамічних характеристик об'єкта керування. На основі експериментальних даних знайдено передавальні функції об'єкта керування та виконано порашування оптимальних параметрів налаштування регуляторів. Здійснено як аналіз так само і синтез автоматичних систем керування.

Коректність виконаного математичного дослідження підтверджується отриманими результатами розрахунку стійкості та дослідження якісних показників.

Виконано вибір технічних засобів автоматизації та розроблено усі необхідні проектні документи.

					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Чигур, Л. Я. Теорія автоматичного керування. Цифрові системи. [Текст] : лаборатор. практикум / Л. Я. Чигур, М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 80 с.

2. Борин, В. С. Автоматизація технологічних процесів та виробництв [Текст]: лабораторний практикум / В. С. Борин, Л. І. Фешанич, Г. Г. Зварич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. – 38 с.

3. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. Івано-Франківськ: Факел, 2005. 448 с.

4. 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.

5. Лагойда, А. І. Комп'ютерно-інтегровані системи управління [Текст]: лаборатор. практикум Ч.2 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2025. – 111 с.

6. Семенцов Г. Н., Когуч Я. Р., Дранчук М. М. Автоматизація технологічних процесів та виробництв в нафтовій та газовій промисловості. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 352 с.

7. Лагойда, А. І. Комп'ютерні технології та програмування [Текст]: лаборатор. практикум. Ч.2 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда, Р. Б. Скрип'юк. – Івано-Франківськ: Інтелект-Захід, 2025. – 159 с.

8. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.

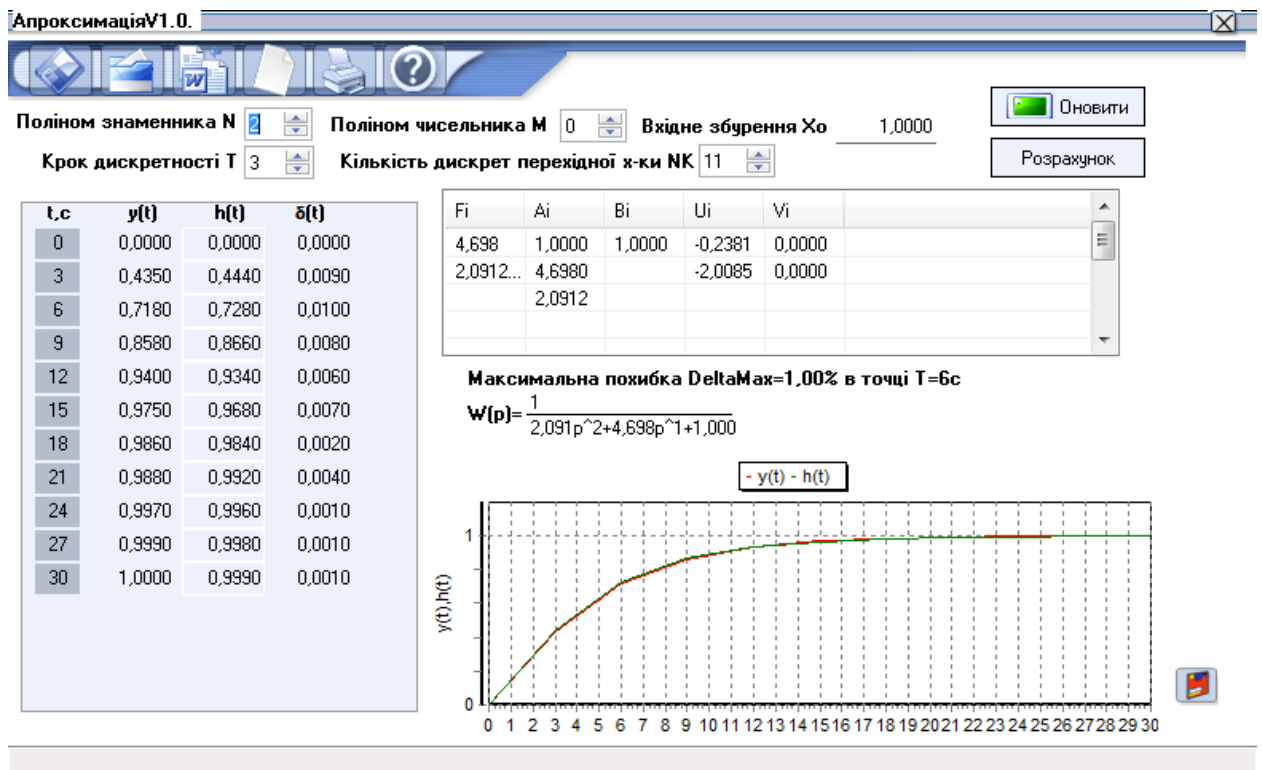
9. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Нелінійні системи [Текст] : лаб. практикум / М. І. Горбійчук, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 84 с.

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

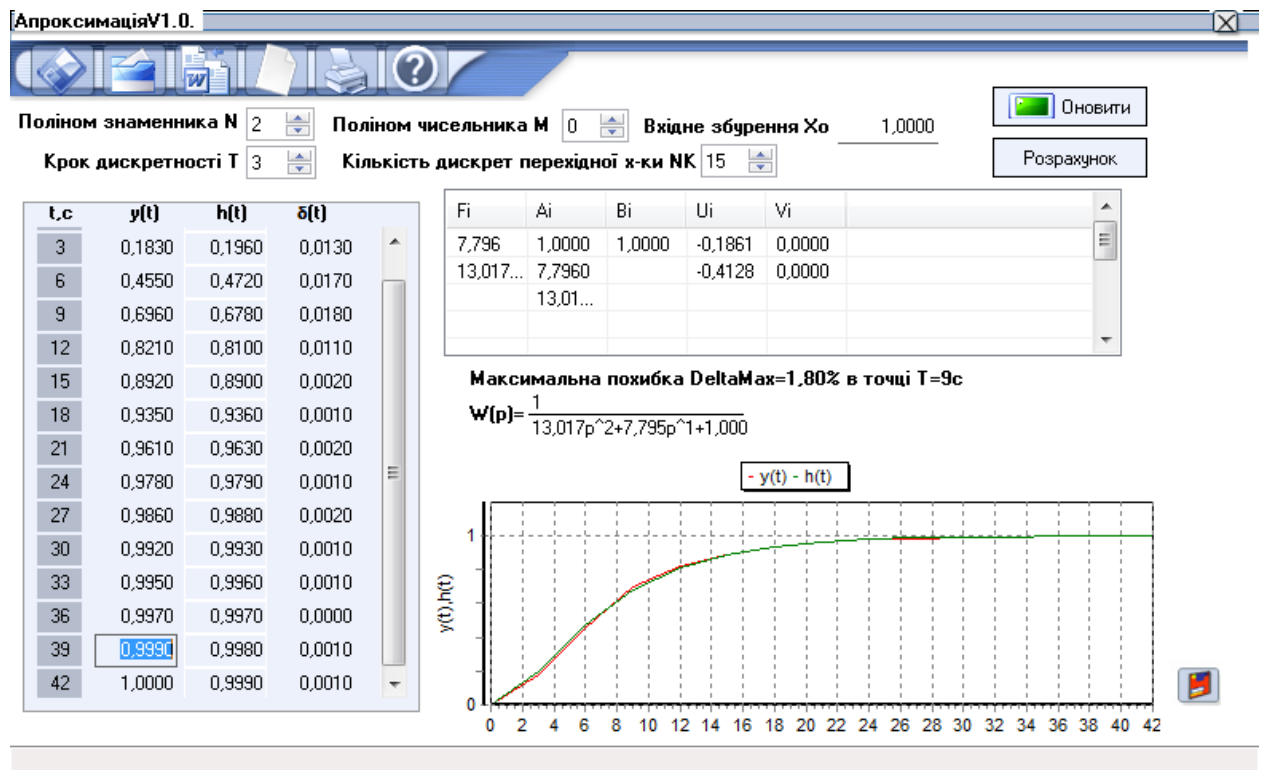
					БР.АКП-12.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ДОДАТКИ

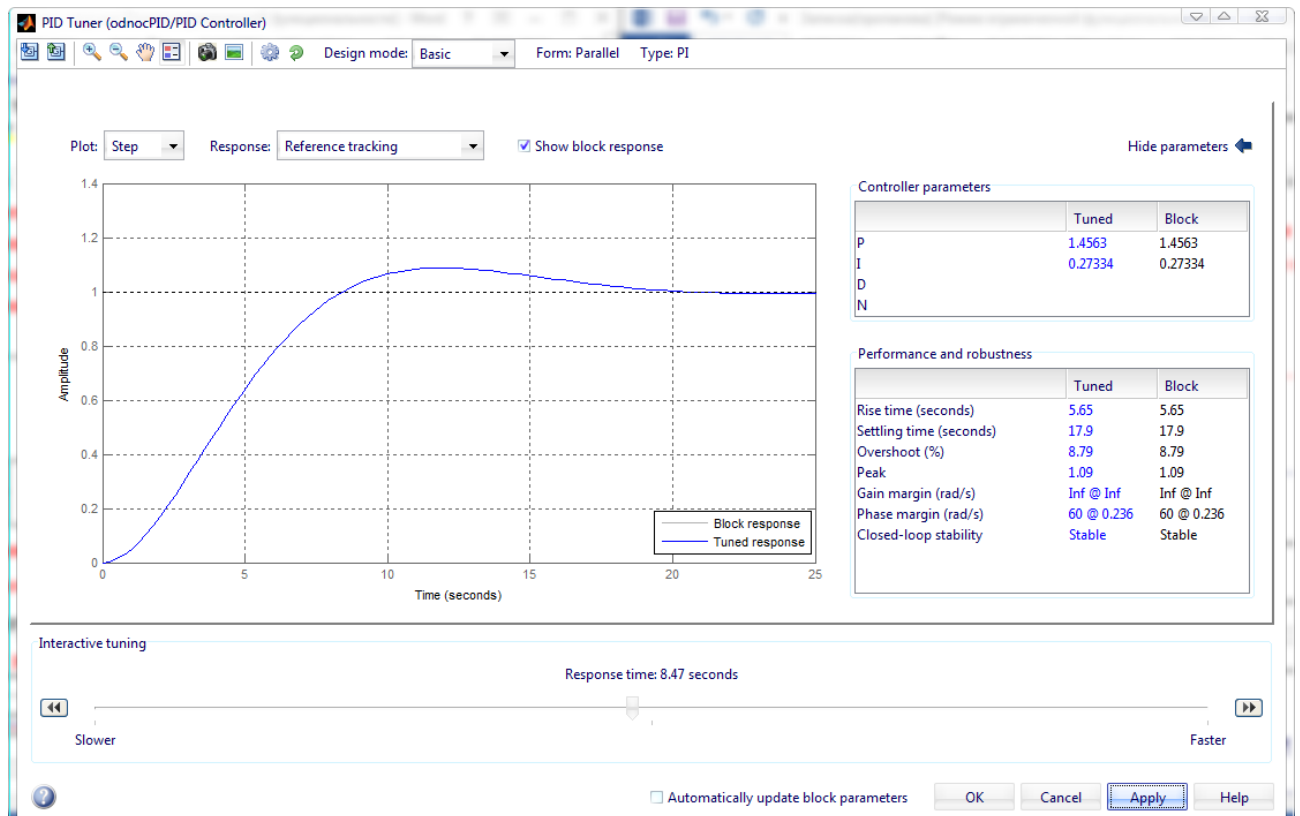
Додаток А1



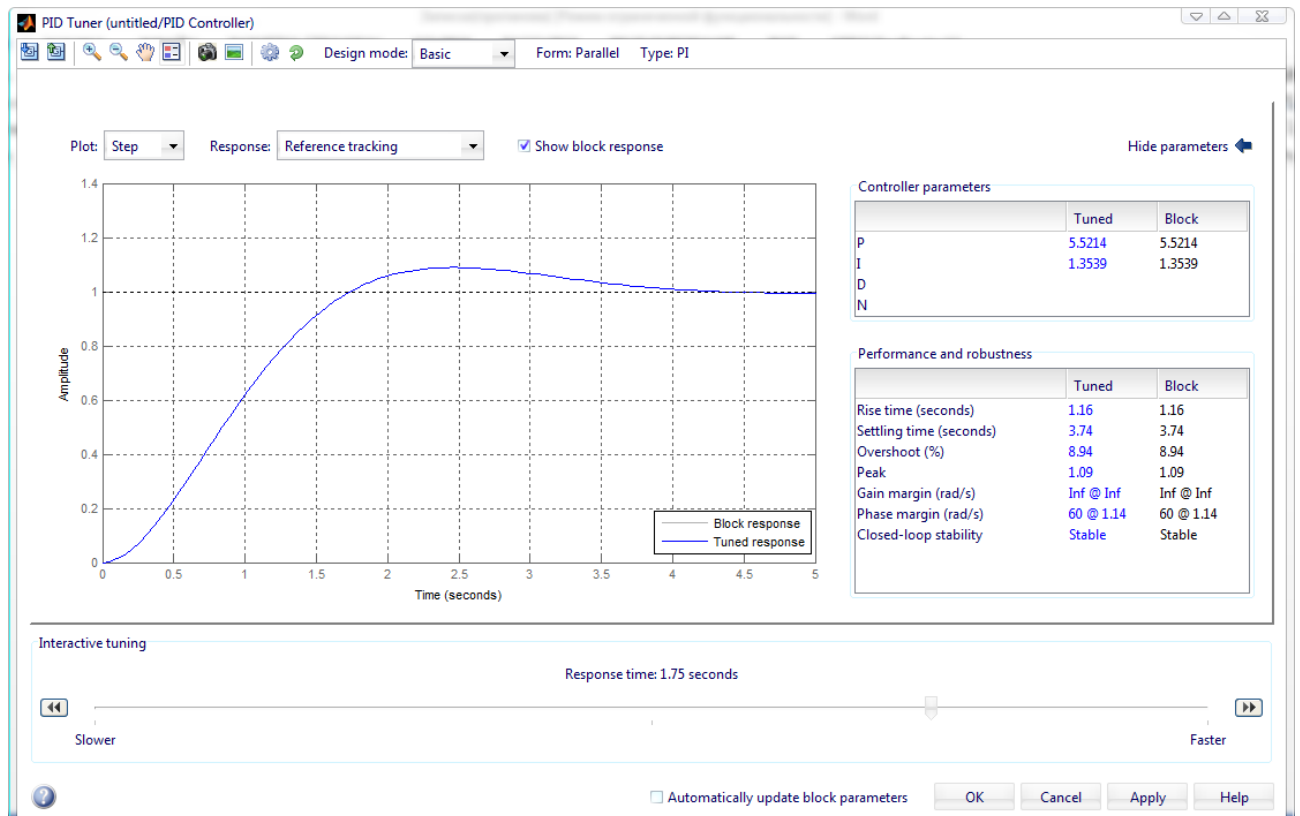
Додаток А2



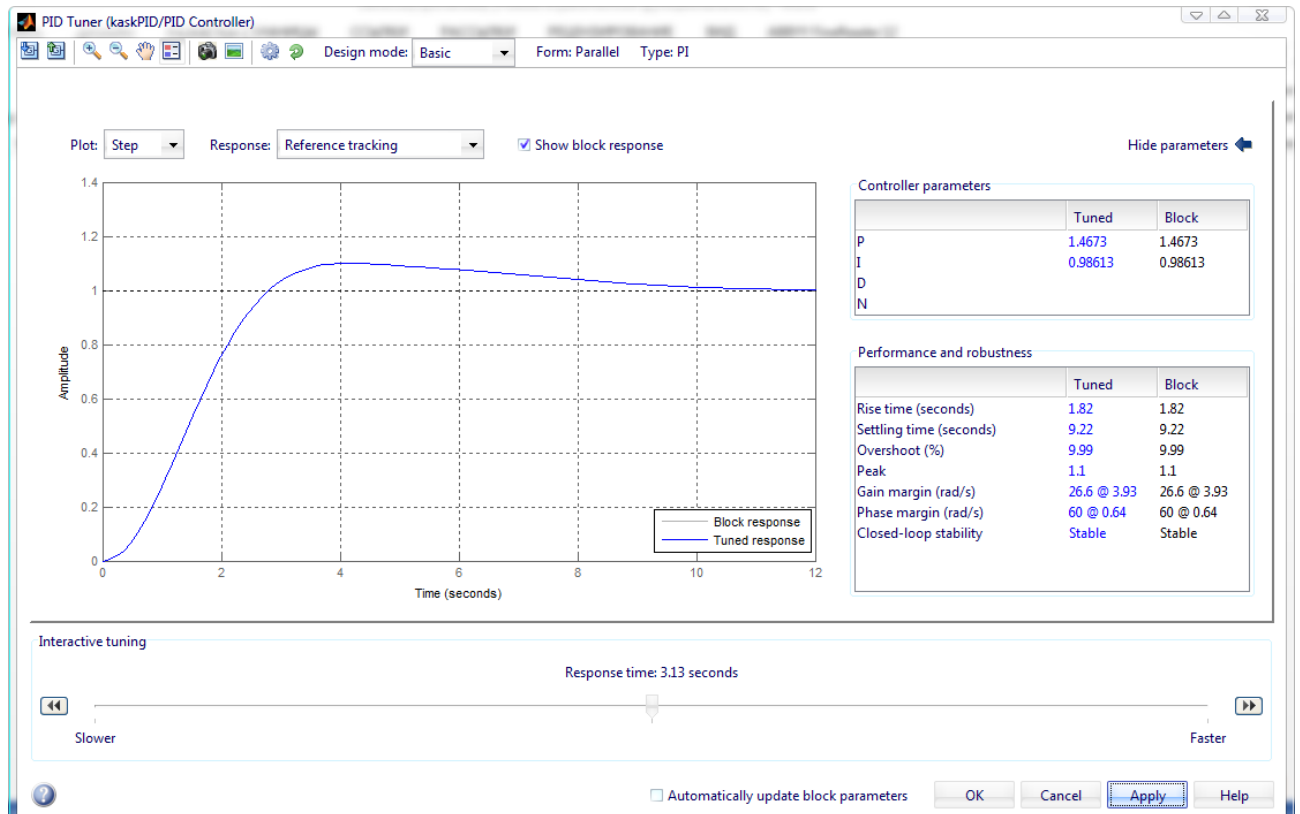
Додаток Б1



Додаток Б2



Додаток Б3

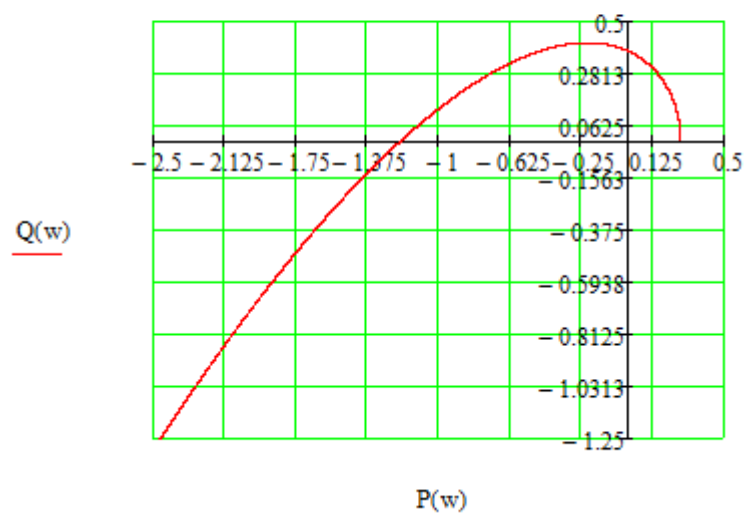


Додаток В1

$$P(w) := -7.795 \cdot w^2 + 0.27334$$

$$Q(w) := -13.017 \cdot w^3 + 2.4563 \cdot w$$

$$w := 0,0001 \dots 30$$

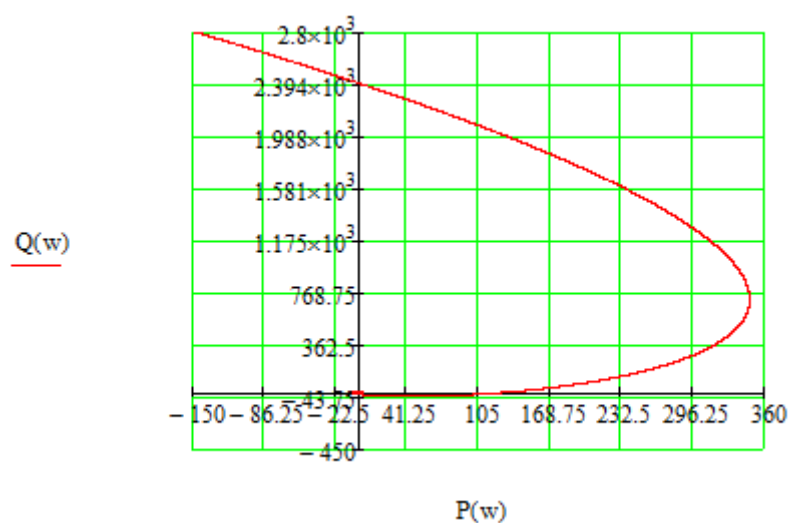
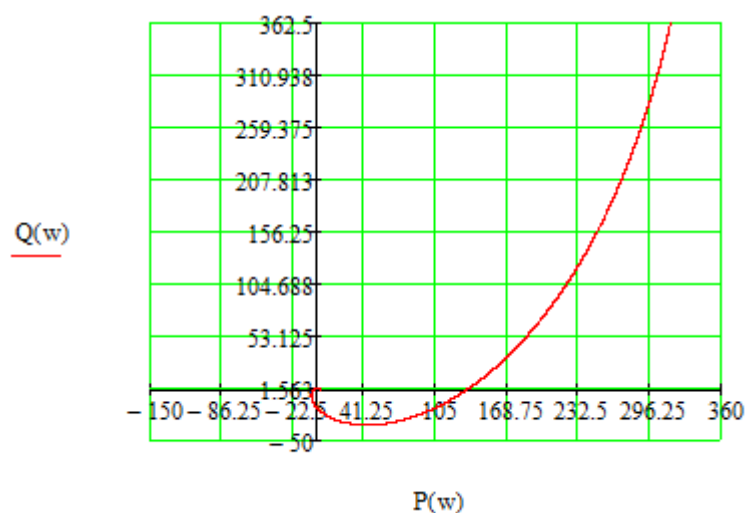
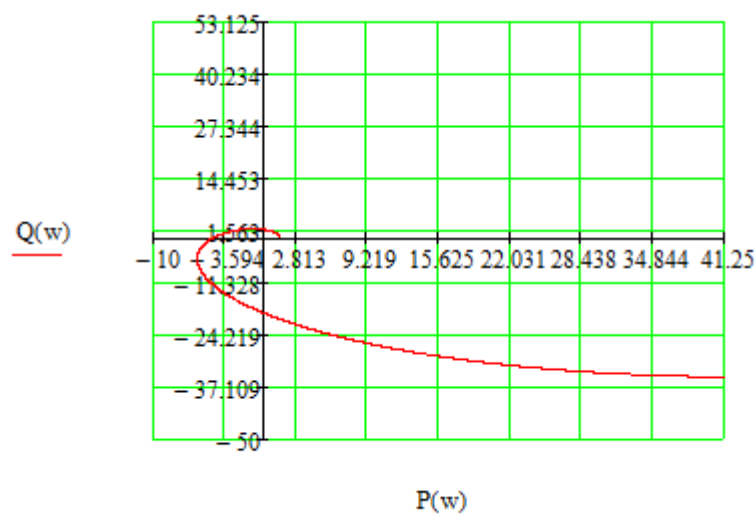


Додаток В2

$$P(w) := -27.22 \cdot w^6 + 140.54 \cdot w^4 - 62.88 \cdot w^2 + 1.33$$

$$Q(w) := 77.45w^5 - 126.76 \cdot w^3 + 15.058 \cdot w$$

$$w := 0, 0.0001 \dots 30$$



БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення системи автоматизації пропанової колони газофракційної установки».

Обсяг пояснювальної записки: 75 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1. Функціональна схема автоматизації.
2. Аналіз і синтез одноконтурної АСК.
3. Аналіз і синтез каскадної АСК.
4. Схема зовнішніх з'єднань.
5. Схема підключень.
6. Загальний вигляд щита.

Дата закінчення проекту _____

Підпис студента-дипломника _____