

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Андрій Чміль

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

Чміль Андрій Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:66.012.1

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення та удосконалення системи автоматизованого керування

(назва роботи)

процесом піролізу дихлоретану

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

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

А.Т. Чміль

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування 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

Чміль Андрій Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення та удосконалення системи автоматизованого керування процесом піролізу дихлоретану

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «___» _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз технологічного процесу піролізу дихлоретану як об'єкта автоматичного контролю і керування. 2. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування. 3. Синтез ефективної системи автоматичного керування. 4. Розробка SCADA-системи. 5. Розробка проектної 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-78.00.00.001;

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-78.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз та синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-78.00.00.003;

Лист 4 - Аналіз та синтез каскадної АСК - БР.АКП-78.00.00.004;

Лист 5 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-78.00.00.005;

Лист 6 - SCADA-система - БР.АКП-78.00.00.006.

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	Аналіз технологічного процесу піролізу дихлоретану як об'єкта автоматичного контролю і керування		
2	Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування		
3	Синтез ефективної системи автоматичного керування		
4	Розробка SCADA-системи		
5	Розробка проектної документації на САК		

Студент _____
(підпис)

А.Т. Чміль _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

А.І. Лагойда _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 65 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 6 таблиць, 9 переліків посилань на джерела і 3 додатки.

Тема: «Розроблення та удосконалення системи автоматизованого керування процесом піролізу дихлоретану».

Об'єкт дослідження: піч піролізу.

Мета проекту: розробка автоматичної системи управління процесом піролізу дихлоретану.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи управління піччю піролізу.

Результати кваліфікаційної роботи: у роботі вирішуються наступні питання: аналізується технологічний процес піролізу дихлоретану і на основі аналізу вибираються параметри керування. Обґрунтовується вибір технічних засобів системи управління і розробляється структурна схема керування процесом, а на її основі розробляється функціональна схема автоматизації, схема зовнішніх з'єднань, загальний вигляд щитів керування. Синтезуються і аналізуються одноконтурна і каскадна системи управління печі піролізу. Моделювання перехідних процесів в системі виконуються в інтерактивному пакеті Matlab.

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

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains 65 pages of printed text, 19 figures, 6 tables, 9 references, and 3 appendices.

Title: “Development and Improvement of an Automated Control System for the Dichloroethane Pyrolysis Process.”

Object of research: pyrolysis furnace.

Purpose of the project: development of an automatic control system for the dichloroethane pyrolysis process.

Research methods: experimental modeling of the automatic control system of the pyrolysis furnace.

Results of the qualification work: the following issues are addressed in the thesis: the technological process of dichloroethane pyrolysis is analyzed, and based on this analysis, control parameters are selected. The choice of technical means for the control system is substantiated, and a structural control scheme of the process is developed. On its basis, a functional automation diagram, an external connections diagram, and the general layout of control panels are designed. Single-loop and cascade control systems of the pyrolysis furnace are synthesized and analyzed. Simulation of transient processes in the system is performed using the interactive MATLAB software package.

Keywords: automatic control, modeling, controller, controller tuning, design.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
	ВСТУП.....	9
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ДИХЛОРЕТАНУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....	10
1.1	Призначення установки піролізу дихлоретану, суть а також хімізм процесу.....	10
1.2	Дослідження фізико-хімічних характеристик вихідної сировини, використовуваних реагентів і продуктів процесу.....	10
1.3	Аналіз технологічної схеми установки піролізу дихлоретану.....	12
1.4	Технічна характеристика технологічного обладнання.....	14
1.5	Вибір а також обґрунтування технологічних параметрів контролю а також регулювання.....	16
1.6	Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу.....	18
	Висновки до розділу.....	20
2	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	21
2.1	Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	21
2.2	Дослідження технологічного об'єкта з позицій автоматичного регулювання.....	21
2.3	Вимоги до регулювання автоматичної системи, а також дослідження показників якості регулювання.....	22
2.4	Експериментальне моделювання роботи печі піролізу.....	22
2.4.1	Підготовка а також планування експерименту.....	23
2.4.2	Обробка результатів експерименту.....	25
2.4.2.1	Обробка результатів основного каналу.....	25

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Чміль А.Т.			Розроблення та удосконалення системи автоматизованого керування процесом піролізу дихлоретану	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лагойда А.І.					6	65
Реценз.		Чигур Л.Я.				ІФНТУНГ АКП-22-1		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

2.4.2.2	Обробка результатів експерименту по допоміжному каналу.....	27
	Висновки до розділу.....	29
3	СИНТЕЗ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	30
3.1	Розроблення одноконтурної САК.....	30
3.2	Розробка каскадної САК.....	31
3.3	Оцінка стійкості одноконтурної АСР.....	34
3.4	Оцінка стійкості каскадної АСР.....	34
3.5	Дослідження показників якості управління за динамічними характеристиками системи.....	35
	Висновки до розділу.....	37
4	РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ.....	38
	Висновки до розділу.....	40
5	РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК.....	41
5.1	Аналіз і обґрунтування технічних засобів, що застосовуються в системі автоматизації.....	41
5.1.1	Вибір датчиків для вимірювання температури.....	42
5.1.2	Вибір датчиків для вимірювання тиску.....	42
5.1.3	Вибір датчиків для вимірювання витрати.....	43
5.1.4	Вибір датчиків для вимірювання рівня.....	43
5.1.5	Вибір контролера.....	44
5.1.6	Вибір мікропроцесорних індикаторів.....	47
5.2	Технічна реалізація системи автоматизації процесу піролізу дихлоретану та розробка проектних документів.....	49
5.2.1	Розробка ФСА процесу піролізу дихлоретану.....	49
5.2.2	Опис розробленого креслення загального виду щита.....	52
	Висновки до розділу.....	52
	ВИСНОВКИ.....	54
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	55
	ДОДАТКИ	
	БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ФСА - функціональна схема автоматизації.

ККД - коефіцієнт корисної дії.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

АСК - автоматизована система керування.

САР - система автоматичного регулювання.

ТП - технологічний процес.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Автоматизоване управління являється найпрогресивнішим напрямком розвитку техніки. Підвищення рівня автоматизації викликає підвищення продуктивності установки, забезпечує покращення умов праці та покращення загальної культури виробничого процесу. Забезпечує покращення надійнісних показників технологічного обладнання.

Особливою важливою являється автоматизація технологічних процесів хімічної промисловості. Метою даного дипломного проекту є розроблення системи автоматичного керування процесом піролізу дихлоретану.

На сучасному етапі автоматизація характеризується застосуванням ієрархічно розподілених систем автоматичного керування а також впровадженням систем автоматичного керування на базі сучасної мікропроцесорної техніки.

З метою забезпечення оптимальних показників технологічного процесу використовуватимемо у дипломному проекті мікропроцесорні контролери МІК-51 котрі здатні забезпечити високу надійність проходження процесів, а також здатні забезпечити високі якісні показники процесу у цілому.

У проекті приведений опис технології піролізу, аналізуються різні схеми автоматизації технологічних апаратів і установок, аналізується контур регулювання рівня температури газу на виході з печі та визначаються оптимальні для даного контуру налаштування регулятора.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ДИХЛОРЕТАНУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки піролізу дихлоретану, суть а також хімізм процесу

В теперішній час виявлено особливу цікавість до можливості промислового використання методу синтезу вінілхлориду піролізом дихлоретану. Відомо, що піроліз дихлоретану проходить при температурі 500-600 °С в присутності контактної поверхні.

При використанні цього процесу основна складність заключається в створенні заповненого контактною масою реакторного апарату, який підтримує постійний тепловий режим у всій масі контакту.

Установка для проведення процесу піролізу дихлоретану складається з таких основних блоків:

- блок піролізу дихлоретану;
- блок гартування вінілхлориду.

Піроліз дихлоретану проходить в печі піролізу, згідно реакції:



В процесі піролізу дихлоретану утворюється пірогаз, що містить вінілхлорид і хлористий водень, який проходячи парогенератор поступає в гартувальну колону.

В гартувальній колоні остаточно охолоджується пірогаз і уловлюються залишки дихлоретану.

В процесі згоряння метану утворюється димовий газ, що містить 9,5-11,5% диоксиду вуглецю.

1.2 Дослідження фізико-хімічних характеристик вихідної сировини, використовуваних реагентів і продуктів процесу

Сировиною для даного процесу є дихлоретан в кількості 32,25 т/год.

Продуктами установки є: метан, азот, хлористий водень, вінілхлорид.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристика сировини, реагентів і отриманої продукції представлена у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристика сировини, готового продукту та реагентів

Назва	Характеристика	Примітки
Дихлоретан	хімічна формула: $C_2H_4Cl_2$ температура кипіння: 840 °C температура замерзання: - 360 °C температура спалаху: 130 °C температура самозагоряння: 4400 °C густина: 1250 кг/м ³ границя вибуху в суміші з повітрям: нижня - 6,2% об. верхня 16% об.	Отруйний, ГДК=10 мг/м ³
Метан	температура кипіння, $t_k = 384,42^\circ C$ температура плавлення, $t_n = 363,6^\circ C$ температура критична, $t_{kp} = 463,55^\circ C$ густина, $\rho = 0,72$ кг/м ³	ГДК=300 мг/м ³
Хлористий водень	хімічна формула: HCl Безбарвний газ із характерним різким запахом, що не підтримує горіння та добре розчиняється у водному середовищі. У контакті з атмосферним повітрям утворює видимі пари внаслідок інтенсивного поглинання вологи, що супроводжується формуванням розчину соляної кислоти. Температура спалаху, $t_{cn} = -78^\circ C$ Температура самозагоряння, $t_c = 470^\circ C$ Густина, $\rho = 1,638$ кг/м ³	Отруйний, ГДК=5,0 мг/м ³

Назва	Характеристика	Примітки
Вінілхлорид	хімічна формула: C_2H_3Cl при нормальних умовах являється безбарвним газом з солодкуватим запахом; густина за нормальних умов 911 кг/м^3; при температурі $-13,80 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 10^5 Па вінілхлорид конденсується в безбарвну рідину: температура самозагоряння $470 \text{ }^\circ\text{C}$; температура спалаху -780°C; з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші з межами вибуху: нижня - $3,6 \text{ \% об.}$; верхня - $33 \text{ \% об.}$	Отруйний ГДК= $5,0 \text{ мг/м}^3$

1.3 Аналіз технологічної схеми установки піролізу дихлоретану

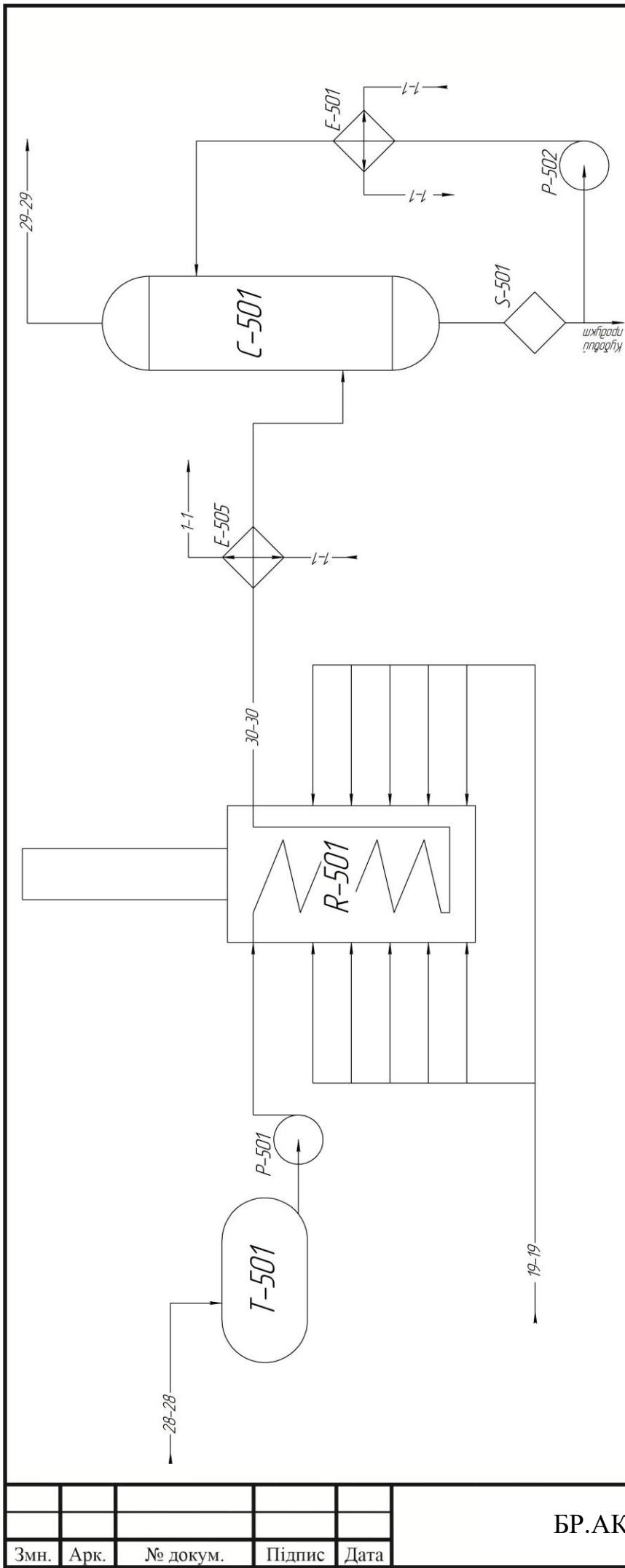
Чистий дихлоретан для процесу піролізу відбирається з ємності живильного дихлоретану Т-501 і насосом Р-501 подається в піч піролізу дихлоретану R-501. На вході в піч тиск дихлоретану може змінюватись в межах від 2,4 до 3,5 МПа. Кількість дихлоретану, що поступає в піч, становить 32,25 т/год. (рисунок 1.1).

В печах піролізу дихлоретан попередньо підігрівається, випаровується і розщеплюється при температурі близько $500 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 3 МПа.

Тепло для проведення реакції підводиться з допомогою самовсмоктуючих вогнестійких пальників, що працюють на метані.

Метан подається з об'ємною витратою $1447 \text{ м}^3/\text{год}$ і тиском 0,25 МПа.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1-1 - трубопровід подачі води; 19-19 - трубопровід транспортування метану; 28-28 - трубопровід подачі дихлоретану;
 29-29 - трубопровід відведення вінілхлориду; 30-30 - трубопровід пірогазу; R-501 - піч, у якій здійснюється процес
 піролізу; C-501 - колона гартування; P-502 - насос циркуляційного контуру; P-501 - насос подачі дихлоретану;
 T-501 - резервуар для зберігання дихлоретану; E-505 - апарат для генерації пари; E-501 - холодильний апарат
 гартувальної колони; S-501 - фільтраційний елемент колони гартування

Рисунок 1.1 - Технологічна схема установки здійснення піролізу дихлоретану

Димові гази, утворені при спалюванні метану, містять 9,5 - 11,5 % диоксиду вуглецю і з температурою близько 300 °С викидаються в атмосферу.

Пірогаз на виході з печі має температуру 520 °С. При збільшенні температури пірогазу до 550 °С спрацьовує блокування подачі паливного газу до печі, тому, що при такій високій температурі буде інтенсивно закоксовуватися змієвик печі піролізу.

Пірогаз з печі піролізу з температурою 520 °С поступає через парогенератор Е-505 в колону гартування С-501. При цьому пірогаз охолоджується до температури 220 °С, віддаючи тепло для утворення пари високого тиску.

В нижню частину колони гартування С-501 пірогаз поступає з тиском до 2 МПа і температурою 220 °С. Тиск в колоні підтримується в межах 1,5-3 МПа. Зверху колони виходить продукт гартування вінілхлориду з тиском 2,07 МПа $\pm$ 0,5 МПа і температурою близько 70 °С, і направляється в систему проміжної конденсації.

Температура вінілхлориду в межах 60-80°С підтримується зміною температури дихлоретану, що подається на форсунки колони гартування.

Кубовий продукт колони гартування з температурою 80 $\pm$ 20°С проходить через фільтр S-501 до гартувальних циркуляційних насосів Р-502 і подається на верх колони для зрошення. Витрата дихлоренату на циркуляцію через холодильники Е-501 становить 360 т/год.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Піч піролізу R-501 камерного типу складається із двох прямокутних, розміщених одна на другій камер, футерованих вогнетривкою цеглою. Верхня камера - конвекційна, нижня - радіантна. В середині печі змонтований змієвик, який складається із:

- 20 труб діаметром $(109 \times 4,5) \cdot 10^{-3} \text{м}$;
- 16 труб діаметром $(114 \times 7) \cdot 10^{-3} \text{м}$;
- 28 труб діаметром $(152 \times 11) \cdot 10^{-3} \text{м}$.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У верхній частині конвекційної камери знаходиться підігрівач, який складається із 27 паралельних труб діаметром $(38 \times 3) \cdot 10^{-3}$ м розташованих в 6 рядів. В якості палива використовується метан. Робочий тиск змієвика від 2,0 до 4,5 МПа. Робоча температура 650 °С. Висота печі 10 м, ширина 2,5 м, загальна довжина печі 12 м.

Гартувальна колона С-501 - це вертикальний циліндричний апарат, в середині колони змонтовано 48 форсунок для вводу гартувальної рідини. Робочий тиск 2,5 МПа, робоча температура 300 °С, діаметер 1,6 м, загальна висота 9 м.

Циркуляційний насос Р-502 - це відцентровий насос з об'ємною подачею 220 м³/год. Напір - $5 \cdot 10^5$ Па; тиск всмоктування - 2,0 МПа; тиск нагнітання - 2,5 МПа; робоча температура - 80 °С. Потужність електричного двигуна - 70 кВт; число обертів електричного двигуна - 1500 об/хв; маса насоса - 716 кг; маса електричного двигуна - 770 кг.

Насос подачі дихлоретану Р-501 - це відцентровий насос з об'ємною подачею 30 м³/год. Напір - $41 \cdot 10^5$ Па; тиск всмоктування - 0,1 МПа; тиск нагнітання - 5,25 МПа; робоча температура - 35 °С. Потужність електричного двигуна - 100 кВт; число обертів електричного двигуна - 3000 об/хв; маса насоса - 700 кг; маса електричного двигуна - 1185 кг.

Ємність дихлоретану Т-501 - це вертикальний циліндричний апарат виготовлений із сталі. Робочий тиск - 0,003 МПа; робоча температура 0-35 °С; діаметер апарату - 4,8 м; загальна висота - 11 м; об'єм 200 м³; маса апарату 18200 кг.

Парогенератор Е-505 - кожухотрубний горизонтальний одноходовий теплообмінний апарат. Трубний простір - реакційний газ, міжтрубний простір - вода. Поверхня теплообміну - 168 м²; робочий тиск в трубному просторі - 2,0 МПа; робочий температура в трубному просторі 280-600 °С; робочий тиск в міжтрубному просторі - 0,45 МПа; робочий температура в міжтрубному просторі - 100°С.

Холодильник гартувальної колони Е-501 - кожухотрубний горизонтальний 8-ходовий теплообмінний апарат. Трубний простір - дихлоретан, міжтрубний

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

простір - вода. Поверхня теплообміну - 600 м²; робочий тиск в трубному просторі - 2,4 МПа; робочий температура в трубному просторі 40-80 °С; робочий тиск в міжтрубному просторі - 0,45 МПа; робочий температура в міжтрубному просторі - 25-35 °С.

Фільтр колони гартування S-501 - це вертикальний циліндричний апарат. Пропускна здатність - 440 м³/год; розрахунковий тиск 3,5 МПа; розрахункова температура - 150 °С. Діаметр апарату - 0,8 м; загальна висота - 1,4 м; маса апарату - 1650 кг.

1.5 Вибір а також обґрунтування технологічних параметрів контролю а також регулювання

Найважливішими параметрами, котрі суттєво можуть впливати на перебіг технологічного процесу піролізу дихлоретану є:

- витрата і тиск дихлоретану, на вході в піч піролізу;
- температура пірогазу до і після парогенератора Е-505;
- витрата метану;
- тиск метану на пальниках;
- рівень дихлоретану в ємності Т-501;
- тиск верха гартувальної колони;
- температура в середині гартувальної колони;
- рівень кубового продукту в колоні гартування;
- температура димових газів.

Виконаємо детальний аналіз впливу кожного із зазначених параметра на перебіг технологічного процесу.

- Витрата і тиск дихлоретану, на вході в піч піролізу.

Проектом системи автоматизації передбачається оперативний контроль, регулювання і захист споживача від недопустимих його відхилень, оскільки це може призвести до випуску не якісного продукту і зупинки всієї установки.

- Температура пірогазу до і після парогенератора.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як нам відомо, що процес піролізу проходить при певній температурі, то її необхідно контролювати і регулювати безпосередньо на виході з печі піролізу. Температура пірогазу занадто велика, щоб його можна було подати в гартувальну колону, тому її необхідно регулювати після парогенератора, подачею води в нього.

- Витрата метану.

Тепло необхідне для проведення реакції піролізу утворюється при спалюванні метану, отже його витрату необхідно контролювати і регулювати для того, щоб правильно проходив процес піролізу.

- Тиск метану на пальниках.

Пониження газового тиску може викликати погасання полум'я, а відповідно суттєве підвищення тиску може викликати задування полум'я. Тому тут здійснюється контроль, сигналізація і блокування за допомогою датчика тиску.

- Рівень дихлоретану в ємності Т-501.

По мірі нагромадження, дихлоретану в ємності Т-501 її зливають в запасну ємність. Тому тут здійснюється регулювання рівня дихлоретану внизу ємності за допомогою датчика-реле ріння.

- Тиск верха гартувальної колони.

Проектом передбачено оперативний контроль, регулювання і захист споживача від недопустимих його відхилень, оскільки дане явище може викликати руйнування трубопровідної арматури, або будь яких інших аварійних ситуацій.

- Температура в середині колони гартування.

Так, як в колоні гартування проходить процес вловлення домішків хлористого водню зрошенням пірогазу - кубовим продуктом, то необхідно цей кубовий продукт подавати в колону з певною температурою, яку контролюють і регулюють на вході в колону.

- Рівень кубового продукту в колоні гартування.

Для того щоб не створювалася аварійна ситуація в колоні гартування, регулюють рівень кубового продукту.

- Температура димових газів.

Збільшення температури димових газів до критичного рівня означає, що

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

присутні якісь неполадки в роботі печі, що призводить до зменшення її ККД.

Параметри контролю та регулювання наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Значення параметрів

Найменування параметра	Позиційне позначення на ФСА	Використані одиниці вимірювання	Межі допустимих значень
Витрата дихлоретану, який надходить до печі піролізу	26	т/год	15÷40
Значення тиску дихлоретану на вхідному патрубку печі піролізу	23	МПа	2,4÷3,5
Витрата метану	6	м³/год	1430÷1455
Тиск метану	11-22	МПа	0,2÷0,26
Температура пірогазу на виході з печі піролізу	7	°C	500÷550
Температура пірогазу на виході з парогенератора	1	°C	200÷240
Тиск верха колони гартування	9	МПа	1,5÷3
Температура середини колони	3	°C	60÷80
Рівень кубового продукту	30	м	0,5÷3
Температура димових газів	5	°C	330

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Діюча система автоматизації на установці є система традиційної автоматики. Такими системами являються локальні засоби а також системи у склад котрих на даний час входять різноманітні давачі та перетворювачі, регулятори електричної а

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

також пневматичної віток, які характеризуються централізованим керування.

Використовуваний метод регулювання температури являється досить незручним оскільки змієвик трубчастої печі є об'єктом з розподіленими параметрами, тому температура продукту на виході змінюється відносно повільно при зміні подачі палива. Отже, бачимо, що при зазначеному регулюванні не може забезпечуватись потрібна якість системи регулювання, котра характеризується досить великою інертністю і значенням відхилення температури від заданого значення в перехідному режимі.

Ще одним варіантом регулювання температури продукту на виході є джерело температури димових газів по перевальній стінці печі. У випадку такого регулювання відбувається компенсація збурень, котрі можуть виникають у випадку зміни витрати теплотворної здатності палива. У такому випадку регулятор швидше реагує на зміну температури над перевалом печі і змінює подачу палива.

Проте дана схема також не забезпечує потрібної якості стабілізації температури на виході, оскільки регулююча величина не зв'язана безпосередньо з регулюванням подачі палива. В результаті великі або малі зони нечутливості приладу, яким вимірюють температуру продукту, що нагрівається, є небажаним явищем. Також на вимірювання температури впливає забруднення змієвика печі відкладанням коксу. Температура на виході печі певний час не повинна перевищувати значення або бути заниженою від потрібних значень. Тому в цьому випадку періодично слід контролювати витрату і температуру на виході з печі.

Для всієї установки пропонуємо систему автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів «МІК-51». Розроблена система дасть змогу безперервно і швидко контролювати і регулювати параметри процесу.

Для печі доцільно впровадити каскадну систему автоматичного керування, призначену для підтримання заданого температурного режиму продукту на виході з печі з урахуванням коригувального сигналу за витратою паливного газу. Використання такої структури регулювання дозволяє зменшити інерційність системи та підвищити оперативність реагування на збурення.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціонування системи забезпечується двома регуляторами — головним і допоміжним, які формують керуючий вплив на виконавчий механізм, розташований у трубопроводі подачі палива. Реалізацію зазначеної системи автоматичного керування доцільно здійснити із застосуванням мікропроцесорного контролера «МІК-51».

Таке поєднання регуляторів має незначне відхилення контрольованої величини від заданого значення, не допускає великого перерегулювання, а також веде до покращення якості регулювання.

Висновки до розділу

Досліджено суть процесу а також призначення установки. Виконано ґрунтовний опис технологічної схеми установки а також порядок проходження технологічного процесу піролізу дихлоретану. Наведено характеристику сировини та продуктів установки. Наведено технічну характеристику технологічного обладнання процесу піролізу дихлоретану. Наведено перелік параметрів контролю а також автоматичного регулювання.

Зроблено порівняльний аналіз базової та нової системи автоматизації на установці піролізу дихлоретану та розглянуто вибір оптимального напрямку автоматизації.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

Як об'єкт регулювання у проекті розглядатиметься піч піролізу. Для вибору об'єкту автоматизації проаналізуємо процес піролізу дихлоретану. Згідно технології виробництва сировина установки, тобто дихлоретан, поступає в піч піролізу, де попередньо нагрівається, випаровується і розщеплюється при температурі близько 500 °С. Формування температурного режиму в печі обумовлюється витратою палива, що подається до камери згоряння.

Після печі пірогаз подається в гартувальну колону, де проходить вловлення домішків дихлоретану з вінілхлориду. Для нормальної роботи установки необхідно підтримувати температуру пірогазу, на виході з печі піролізу в строго визначених межах.

2.2 Дослідження технологічного об'єкта з позицій автоматичного регулювання

В якості об'єкту регулювання вибрана піч піролізу, в якій безпосередньо відбувається піроліз дихлоретану (температура в межах від 500 °С до 530 °С).

В печі піролізу для нагрівання потоку до потрібних високих температур тепло отримують за допомогою спалювання палива.

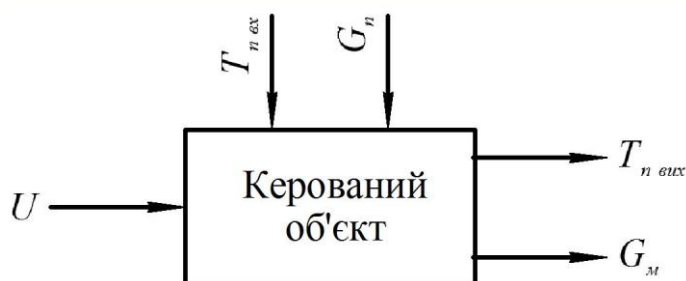


Рисунок 2.1 - Структурна схема печі піролізу

На основі аналізу технологічної печі як керованого об'єкта створено структурну схему печі, зображену на рисунку 2.1.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вимоги до регулювання автоматичної системи, а також дослідження показників якості регулювання

Завданням регулювання даного процесу є підтримання температури пірогазу на виході з печі в певних межах.

При цьому певну температуру пірогазу слід якісно підтримувати з мінімальними витратами палива. Тепло в печі отримують за рахунок спалювання метану, тому керуючим впливом буде подача метану.

Для забезпечення оптимального процесу регулювання вибираємо такі показники якості системи регулювання:

- а) похибка під час апроксимації $S \leq 2,5\%$;
- б) перерегулювання системи автоматизації $\delta \leq (30 \div 40)\%$;
- в) тривалість перехідного процесу.

2.4 Експериментальне моделювання роботи печі піролізу

Піч піролізу є одним із апаратів технологічного процесу установки піролізу дихлоретану. Вона значною мірою впливає на режим роботи усіх наступних ланок. Якість та кількість отриманої продукції та техніко-економічні показники усієї установки в значній мірі залежать від рівня теплового режиму печі піролізу, що підкреслює цінність та актуальність розглядуваної в даному дипломному проекті проблематики.

В даний час температура пірогазу на виході печі піролізу є єдиним критерієм оцінки стану та ефективності технологічного процесу. Дана температура постійно підтримується на встановленому рівні, саме тому в проєктованих автоматичних системах у основному розв'язується лише задача стабілізації температури виходу продукту шляхом зміни кількості витрати палива, яка подається до пальників печі. Водночас у такому підході не береться до уваги, що керуючий параметр може зазнавати впливу різноманітних збурень. Дія цих факторів проявляється із певним часовим запізненням, унаслідок чого виникає відхилення температури продукту на виході з печі від встановленого значення.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, динамічні характеристики об'єкту керування визначатимемо експериментальним методом.

2.4.1 Підготовка а також планування експерименту

Динамічні характеристики об'єкта керування визначатимемо за допомогою проведення активного експерименту тобто методу з використанням аперіодичних вхідних впливів, які мають тип “Стрибок”. У результаті проведення експериментального дослідження визначається необхідна перехідна характеристика об'єкта. Зазначений підхід ґрунтується на припущенні, що досліджуваний об'єкт за умов незначних змін вхідного сигналу може розглядатися як лінійний, а його динамічні властивості залишаються сталими в часі. При цьому вважається, що зміна вихідної величини не залежить від просторового розподілу параметрів у межах об'єкта керування.

Незважаючи на те, який метод для експериментального дослідження динамічних характеристик використовується, він включає в себе три основні етапи:

- 1) підготовка і планування експериментального дослідження;
- 2) саме проведення експерименту;
- 3) обробка отриманих результатів експерименту.

В процесі підготовки вивчаємо об'єкт дослідження, а також вхідну і вихідну змінну. Вхідною величиною в нашому випадку являться процент відкриття регулюючого органу (РО), а вихідною величиною – сигнал від вторинного приладу, котрий поступає на контролер. В процесі вивченні об'єкту дослідження необхідно виявити і усунути наявні джерела шуму та збурень.

Подальшим етапом при підготовці та плануванні експерименту являться підготовка апаратури яка полягає у виборі приладу, який реєструє зміну вихідної змінної. У нашому випадку краще використовувати спеціальні прилади з “утопленим” нулем та розтягнутою прямокутною шкалою. Під час планування експерименту вибирається вид впливу, який досліджується, його амплітуду і початкове значення вихідної змінної. У нашому випадку аперіодичним впливом

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буде «стрибок» подачі кількості палива.

Експеримент починається з установки на об'єкті режиму роботи, який встановився при вибраному раніше значенні вихідної змінної $X_{вихо}$, витримують (2,00 - 2,50) хвилин тому, що процес спочатку проходить повільно, а потім наносять збурюючий вплив відкриттям РО на (10-15)% та починають реєструвати вихідну величину, тобто температуру продукту в часі.

Експеримент вважається завершеним у той момент, коли вихідна величина, починаючи з певного інтервалу часу, досягає сталого значення та надалі не зазнає змін.

Підсумкові дані експериментального дослідження представлено у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані основного каналу регулювання

t, c	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
T, °C	520	520	521	524	528	533	543	554	564	572
t, c	200	220	240	260	280	300	320	340	360	
T, °C	578	583	586	588	589	590	590	590	590	

Таблиця 2.2 - Експериментальні дані допоміжного каналу регулювання

t, c	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
F, м³/год	1447	1447	1449.28	1452.38	1457.76	1464.66	1473.08	1481.5	1489.92	1496.06
t, c	200	220	240	260	280	300	320	340	360	
F, м³/год	1501.44	1506.82	1510.62	1513.72	1515.24	1516	1516	1516	1516	

На основі даних, наведених у таблицях 2.1 та 2.2, здійснено побудову експериментальних перехідних характеристик для основного та допоміжного каналів системи автоматичного регулювання, що подано на рисунках 2.2 та 2.3 відповідно.

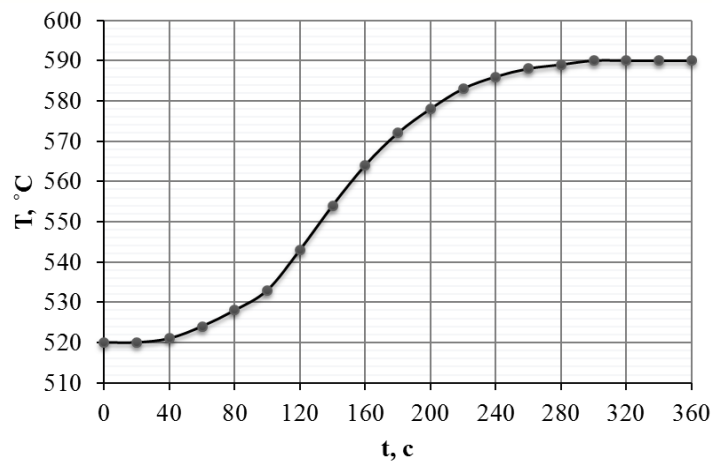


Рисунок 2.2 - Експериментально отримана перехідна характеристика основного каналу регулювання

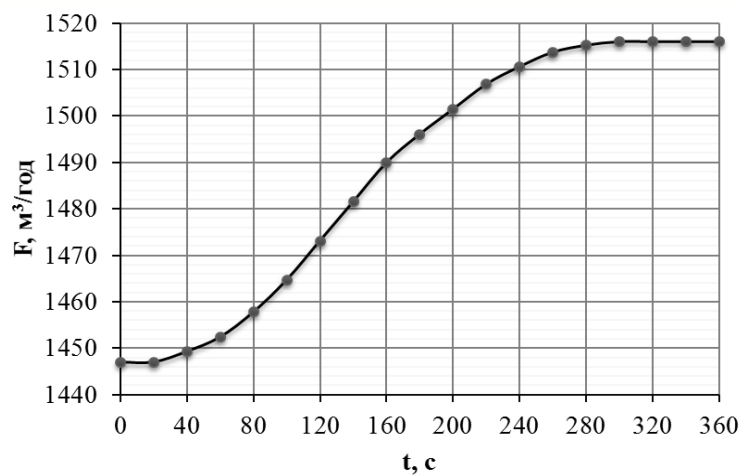


Рисунок 2.3 – Експериментально отримана перехідна характеристика для допоміжного каналу автоматичного регулювання

2.4.2 Обробка результатів експерименту

2.4.2.1 Обробка результатів основного каналу

Перехідну характеристику, яку отримали у результаті проведеного експерименту (див. табл. 2.1), необхідно привести до безрозмірної величини. Формули для переходу мають вигляд:

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

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

де $X_{ехо}$, $Y_{вихо}$ - вхідні та вихідні величини у фактичних одиницях на початковому етапі експерименту;

$X_{ехі}$, $Y_{вихі}$ - змінюване значення для вхідної а також вихідної величин у фактичних одиницях на певний момент часу;

$X_{ех\max}$, $Y_{вих\max}$ - максимально можливе значення вхідної а також вихідної величин у фактичних одиницях після завершення експерименту.

$$Y_{вихо} = \frac{520 - 520}{590 - 520} = 0;$$

$$Y_{вих9} = \frac{572 - 520}{590 - 520} = 0,743;$$

$$Y_{вих1} = \frac{520 - 520}{590 - 520} = 0;$$

$$Y_{вих10} = \frac{578 - 520}{590 - 520} = 0,829;$$

$$Y_{вих2} = \frac{521 - 520}{590 - 520} = 0,014;$$

$$Y_{вих11} = \frac{583 - 520}{590 - 520} = 0,9;$$

$$Y_{вих3} = \frac{524 - 520}{590 - 520} = 0,057;$$

$$Y_{вих12} = \frac{586 - 520}{590 - 520} = 0,943;$$

$$Y_{вих4} = \frac{528 - 520}{590 - 520} = 0,114;$$

$$Y_{вих13} = \frac{588 - 520}{590 - 520} = 0,971;$$

$$Y_{вих5} = \frac{533 - 520}{590 - 520} = 0,186;$$

$$Y_{вих14} = \frac{589 - 520}{590 - 520} = 0,986;$$

$$Y_{вих6} = \frac{543 - 520}{590 - 520} = 0,329;$$

$$Y_{вих15} = Y_{вих16} = \frac{590 - 520}{590 - 520} = 1,0;$$

$$Y_{вих7} = \frac{554 - 520}{590 - 520} = 0,486;$$

$$Y_{вих17} = Y_{вих18} = \frac{590 - 520}{590 - 520} = 1,0;$$

$$Y_{вих8} = \frac{564 - 520}{590 - 520} = 0,629;$$

$$X_{ех} = 1.$$

Згрупуємо дані у таблицю 2.3.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Зведені результати експерименту за основним каналом

t, c	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$Y_{вих}$	0	0	0,014	0,057	0,114	0,186	0,329	0,486	0,629	0,743
t, c	200	220	240	260	280	300	320	340	360	
$Y_{вих}$	0,829	0,9	0,943	0,971	0,986	1	1	1	1	

Користуючись даними наведеними в таблиці 2.3 здійснимо побудову перехідної перехідної характеристики основного каналу регулювання, а результат наведемо на рисунку 2.4.

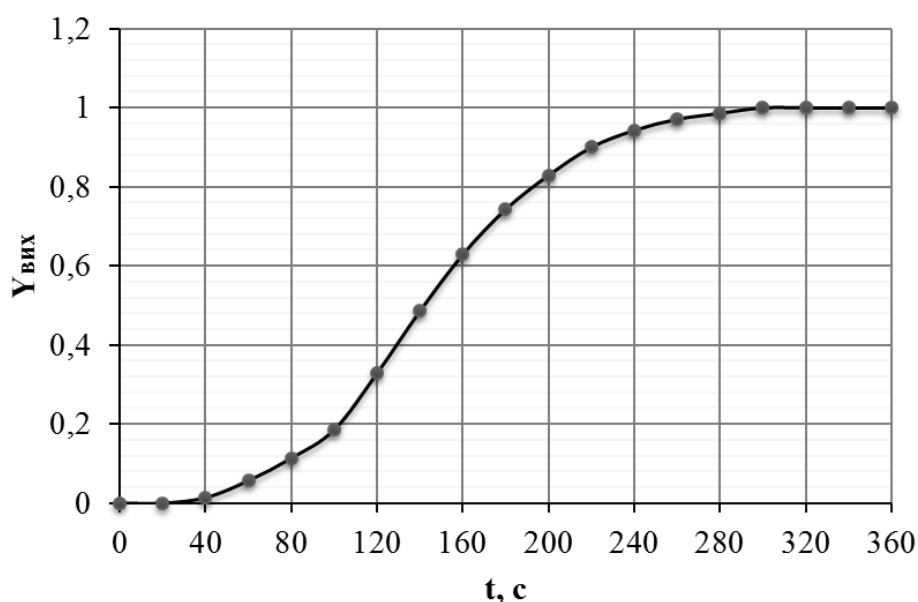


Рисунок 2.4 – Перехідна характеристика основного каналу у безрозмірних одиницях

За допомогою програми Аргох апроксимуємо перехідну характеристику. Як видно з результатів роздрукування (додаток А1) передавальна функція об'єкта за основним каналом матиме вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1}. \quad (2.3)$$

Максимальна похибка апроксимації $\delta = 2,2\%$ в точці $t = 160$ с.

2.4.2.2 Обробка результатів експерименту по допоміжному каналу

Перехідну характеристику, отриману у результаті проведеного експерименту (таблиця 2.2), переведемо у безрозмірні одиниці відповідно до формул (2.1) і (2.2).

$$Y_{\text{вих}0} = \frac{1447 - 1447}{1516 - 1447} = 0;$$

$$Y_{\text{вих}11} = \frac{1506,82 - 1447}{1516 - 1447} = 0,867;$$

$$Y_{\text{вих}1} = \frac{1447 - 1447}{1516 - 1447} = 0;$$

$$Y_{\text{вих}12} = \frac{1510,62 - 1447}{1516 - 1447} = 0,922;$$

$$Y_{\text{вих}2} = \frac{1449,28 - 1447}{1516 - 1447} = 0,033;$$

$$Y_{\text{вих}13} = \frac{1513,72 - 1447}{1516 - 1447} = 0,967;$$

$$Y_{\text{вих}3} = \frac{1452,38 - 1447}{1516 - 1447} = 0,078;$$

$$Y_{\text{вих}14} = \frac{1515,24 - 1447}{1516 - 1447} = 0,989;$$

$$Y_{\text{вих}4} = \frac{1457,76 - 1447}{1516 - 1447} = 0,156;$$

$$Y_{\text{вих}15} = \frac{1516 - 1447}{1516 - 1447} = 1,0;$$

$$Y_{\text{вих}5} = \frac{1464,66 - 1447}{1516 - 1447} = 0,256;$$

$$Y_{\text{вих}16} = \frac{1516 - 1447}{1516 - 1447} = 1,0;$$

$$Y_{\text{вих}6} = \frac{1473,08 - 1447}{1516 - 1447} = 0,378;$$

$$Y_{\text{вих}17} = \frac{1516 - 1447}{1516 - 1447} = 1,0;$$

$$Y_{\text{вих}7} = \frac{1481,5 - 1447}{1516 - 1447} = 0,5;$$

$$Y_{\text{вих}18} = \frac{1516 - 1447}{1516 - 1447} = 1,0;$$

$$Y_{\text{вих}8} = \frac{1489,92 - 1447}{1516 - 1447} = 0,622;$$

$$Y_{\text{вих}10} = \frac{1501,44 - 1447}{1516 - 1447} = 0,789;$$

$$Y_{\text{вих}9} = \frac{1496,06 - 1447}{1516 - 1447} = 0,711;$$

$$X_{\text{вх}}^* = 1.$$

Обраховані дані згрупуємо у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати експерименту у безрозмірних одиницях за допоміжним каналом автоматичного регулювання

$t, \text{с}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$Y_{\text{вих}}$	0	0	0,033	0,078	0,156	0,256	0,378	0,5	0,622	0,711
$t, \text{с}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	
$Y_{\text{вих}}$	0,789	0,867	0,922	0,967	0,989	1	1	1	1	

За допомогою даних представлених в табл. 2.4 здійснимо побудову експериментальної перехідної характеристики по допоміжному каналу регулювання в безрозмірних одиницях (рисунок 2.5).

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ					Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

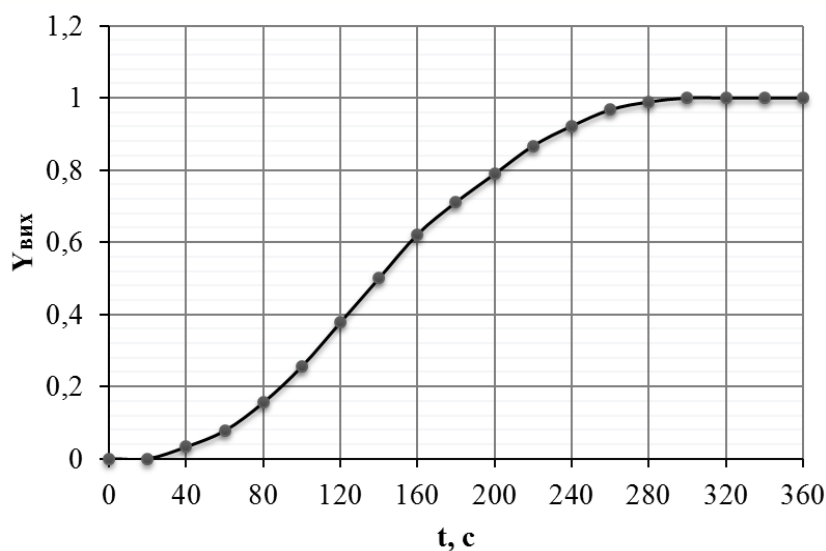


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика допоміжного каналу у безрозмірних одиницях

За допомогою програми Аргох апроксимуємо дану перехідну характеристику у безрозмірних одиницях. Як видно з результатів роздруківки (додаток А2) передавальна функція об'єкта по допоміжному каналу матиме вигляд:

$$W_1(p) = \frac{1}{2216059,05p^4 + 245130,56p^3 + 8613,62p^2 + 144,706p + 1}. \quad (2.4)$$

Максимальна похибка апроксимації $\delta = 1,6\%$ в точці $t = 260$ с.

Висновки до розділу

У даному розділі встановлено параметри контролю та управління а також наведено результати експериментального дослідження. Апроксимовано експериментально отримані дані, які були отримані у результаті активного експерименту на Карпатнафтохім. Відповідно до наведених даних встановлено передавальні функції об'єкта по допоміжному та основному каналах регулювання.

З отриманих розрахунків бачимо, що похибка апроксимації не перевищує допустимі 2.5%, що задовольняє поставлені умови.

3 СИНТЕЗ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Розроблення одноконтурної САК

Для основного каналу доцільно застосувати регулятор із ПІ-законом регулювання.

У загальному вигляді передавальна функція такого регулятора буде визначатися наступним чином:

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

За допомогою функції Tune програмного забезпечення MATLAB визначимо такі параметри регулятора як C_1 , C_0 . Відповідно до інформації наведеної в додатку Б1 отримаємо: $K_p = C_1 = 0.311$, $K_i = C_0 = 0.018$. Тоді:

$$W_p(p) = \frac{0.311p + 0.018}{p}.$$

Для розімкнутої САК передавальна функція має такий символічний вигляд:

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

$$\begin{aligned} W_{роз}(p) &= \frac{1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1} \cdot \frac{0.311p + 0.018}{p} = \\ &= \frac{0.311p + 0.018}{5332581,76p^5 + 308117,866p^4 + 9162,933p^3 + 146p^2 + 1p}. \end{aligned}$$

Для наведеної на рисунку 3.1 структурної схеми замкненої одноконтурної системи передавальна функція матиме такий вигляд:

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

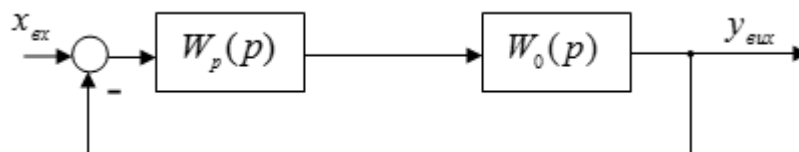


Рисунок 3.1 - Структура одноконтурної системи

Тоді значення замкнутої системи матиме вигляд:

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{зам}(p) = \frac{0,311p + 0,018}{5332581,76p^5 + 308117,866p^4 + 9162,933p^3 + 146p^2 + 1,311p + 0,018}. \quad (3.4)$$

3.2 Розробка каскадної САК

Для реалізації каскадної системи необхідно до основного контуру додати допоміжний малоінертний контур регулювання. Даний контур є контуром регулювання за витратою сухих абгазів.

Структурна схема із застосування каскадної системи зображена на рисунку 3.2.

Функція передачі основного каналу регулювання матиме вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1}. \quad (3.5)$$

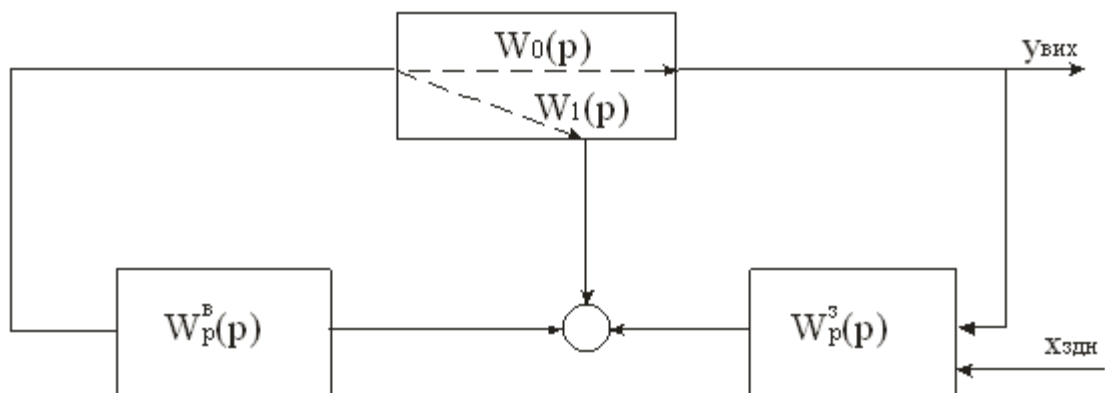


Рисунок 3.2 - Структурна схема каскадної системи

Передавальна функція для допоміжному каналу має вигляд:

$$W_1(p) = \frac{1}{2216059,05p^4 + 245130,56p^3 + 8613,62p^2 + 144,706p + 1}. \quad (3.6)$$

Розрахунок каскадної системи здійснюватимемо початково з основного регулятора, оскільки інерційність допоміжного каналу є меншою за інерційність основного. Еквівалентна схема каскадної системи представлена на рисунку 3.3.

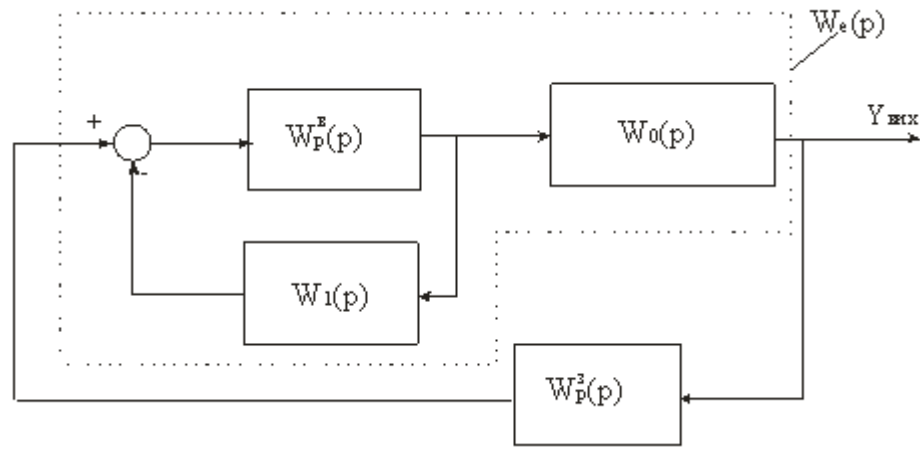


Рисунок 3.3 – Структура для еквівалентної схеми каскадної САК

Для наведеної на рисунку структури передавальна функція матиме такий символічний вигляд:

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

Наведена нище нерівність буде справедливою коли $W = W_p'$ та після припущення, що частота для основного контуру W_p' регулювання являтиметься набагато меншою за частоту допоміжного контуру регулювання W_p'' :

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

Враховуючи, що $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$ отримаємо:

$$W_e'(p) = \frac{\frac{1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1}}{\frac{1}{2216059,05p^4 + 245130,56p^3 + 8613,62p^2 + 144,706p + 1}} = \frac{2216059,05p^4 + 245130,56p^3 + 8613,62p^2 + 144,706p + 1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1}. \quad (3.9)$$

Використовуючи програмне забезпечення Matlab здійснимо розрахунок параметрів регулятора.

В якості регулятора застосуємо ПІ-регулятор.

Згідно з додатком Б2 отримаємо $K_p = C_1 = 0,00023$, $K_i = C_0 = 2882.96$.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передавальна функція основного регулятора матиме вигляд:

$$W_p^3(p) = \frac{0,00023p + 2882.96}{p}. \quad (3.10)$$

Визначимо параметри налаштування допоміжного регулятора. Передавальна функція для нього матиме вигляд:

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

Підставимо в формулу (3.11) отримані попередньо передавальні функції $W_1(p)$, $W_0(p)$ та $W_p^3(p)$ та отримаємо:

$$\begin{aligned} W_e''(p) &= \frac{1}{2216059,05p^4 + 245130,56p^3 + 8613,62p^2 + 144,706p + 1} + \\ &+ \frac{1}{5332581,76p^4 + 308117,866p^3 + 9162,933p^2 + 146p + 1} \cdot \frac{0,00023p + 2882.96}{p} = \\ &= \frac{0.051p^5 + 639414.2p^4 + 70701p^3 + 2484.2p^2 + 41.7p + 0.29}{1.2 \cdot 10^9 p^9 + 2 \cdot 10^8 p^8 + 1.42 \cdot 10^7 p^7 + 599532.6p^6 + 16685p^5 + 313.7p^4 + 3.9p^3 + 0.03p^2 + 0.0001p} \end{aligned}$$

Після алгебраїчних перетворень отримаємо:

$$W_e''(p) = \frac{0.051p^5 + 639414.2p^4 + 70701p^3 + 2484.2p^2 + 41.7p + 0.29}{1.2 \cdot 10^9 p^9 + 2 \cdot 10^8 p^8 + 1.42 \cdot 10^7 p^7 + 599532.6p^6 + 16685p^5 + 313.7p^4 + 3.9p^3 + 0.03p^2 + 0.0001p}.$$

Проведемо розрахунок параметрів налаштування ПІД-регулятора у програмному середовищі Matlab із використанням функції Tune. Як показують отримані результати (додаток Б3), оптимальні значення параметрів набувають такого вигляду:

$$K_p = C_1 = 2.26 \cdot 10^{-6}, K_i = C_0 = 1.26 \cdot 10^{-10}, K_d = C_2 = 0.00015.$$

У підсумку формується наступна передавальна функція допоміжного регулятора:

$$W_p^e(p) = \frac{0.00015p^2 + 2.26 \cdot 10^{-6}p + 1.26 \cdot 10^{-10}}{p}. \quad (3.12)$$

Дальше необхідно визначити еквівалентну передавальну функцію каскадної системи, яка матиме таку еквівалентну передавальну функцію:

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

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення W_p^3, W_0, W_1, W_p^6 , та провівши необхідні спрощення отримаємо:

$$W_c(p) = \frac{0.076p^7 + 958322.6p^6 + 1.45 \cdot 10^7 p^5 + 1.6 \cdot 10^6 p^4 + 56184.62p^3 + 943.27p^2 + 6.5p + 3.6 \cdot 10^{-7}}{118 \cdot 10^{13} p^{10} + 2 \cdot 10^{12} p^9 + 1.4 \cdot 10^{11} p^8 + 6 \cdot 10^9 p^7 + 1.7 \cdot 10^8 p^6 + 1.77 \cdot 10^7 p^5 + 1.64 \cdot 10^6 p^4 + 56475.65p^3 + 944.27p^2 + 6.5p + 3.6 \cdot 10^{-7}} \quad (3.14)$$

3.3 Оцінка стійкості одноконтурної АСР

Стійкість одноконтурної системи буде проаналізована за критерієм Михайлова.

Для цього використаємо передавальну функцію замкненого контуру, прирівнявши її знаменник до нульового значення:

$$W_{зам}(p) = \frac{0,311p + 0,018}{5332581,76p^5 + 308117,866p^4 + 9162,933p^3 + 146p^2 + 1,311p + 0,018}.$$

Встановлюємо знаменник функції рівним нулю:

$$5332581,76p^5 + 308117,866p^4 + 9162,933p^3 + 146p^2 + 1,311p + 0,018 = 0.$$

Виконаємо заміну $p = j\omega$:

$$5332581,76j\omega^5 + 308117,866\omega^4 - 9162,933j\omega^3 - 146\omega^2 + 1,311j\omega + 0,018 = 0.$$

Розділимо функцію на дійсну та уявну складові:

$$P(\omega) = 308117,866\omega^4 - 146\omega^2 + 0,018;$$

$$Q(\omega) = 5332581,76\omega^5 - 9162,933\omega^3 + 1,311\omega.$$

Обрахунок значень та побудову годографа Михайлова виконаємо у програмному продукті Mathcad. Із додатку В1 можемо бачити, що одноконтурна система є стійкою, оскільки годограф Михайлова послідовно проходить чотири квадранти у якому іде у безкінечність.

3.4 Оцінка стійкості каскадної АСР

Проведемо аналіз стійкості каскадної системи з використанням критерію Гурвіца.

Суть критерію Гурвіца полягає у дослідженні характеристичного рівняння системи. Автоматична система, що описується характеристичним рівнянням

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступного виду:

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0, \quad (3.15)$$

характеризується стійкістю за умови, що головний визначник і всі відповідні діагональні мінори мають додатні значення:

$$\Delta_n > 0, \Delta_{n-1} > 0, \dots, \Delta_2 > 0, \Delta_1 = a_{n-1} > 0. \quad (3.16)$$

Характеристичне рівняння досліджуваної системи матиме такий вигляд:

$$1.18 \cdot 10^{13} p^{10} + 2 \cdot 10^{12} p^9 + 1.4 \cdot 10^{11} p^8 + 6 \cdot 10^9 p^7 + 1.7 \cdot 10^8 p^6 + 1.77 \cdot 10^7 p^5 + 1.64 \cdot 10^6 p^4 + 56475.65 p^3 + 944.27 p^2 + 6.5 p + 3.6 \cdot 10^{-7} = 0$$

За допомогою програмного комплексу Mathcad проведено аналіз стійкості системи. Результати, наведені у Додатку В2, свідчать про те, що система є стійкою, оскільки головний визначник та всі відповідні діагональні мінори приймають додатні значення, що відповідає критерію стійкості Гурвіца.

3.5 Дослідження показників якості управління за динамічними характеристиками системи

Аналіз ефективності одноконтурної та каскадної систем керування буде виконано шляхом дослідження їх перехідних процесів, побудованих за допомогою програмного комплексу Matlab (див. рис. 3.4 та 3.5).

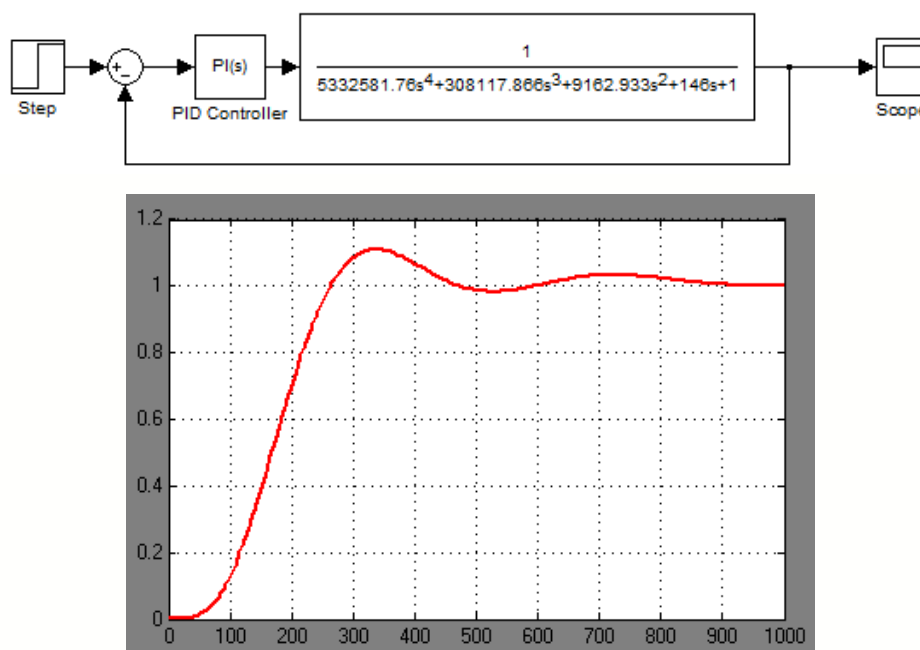


Рисунок 3.4 – Графічне відображення перехідної характеристики

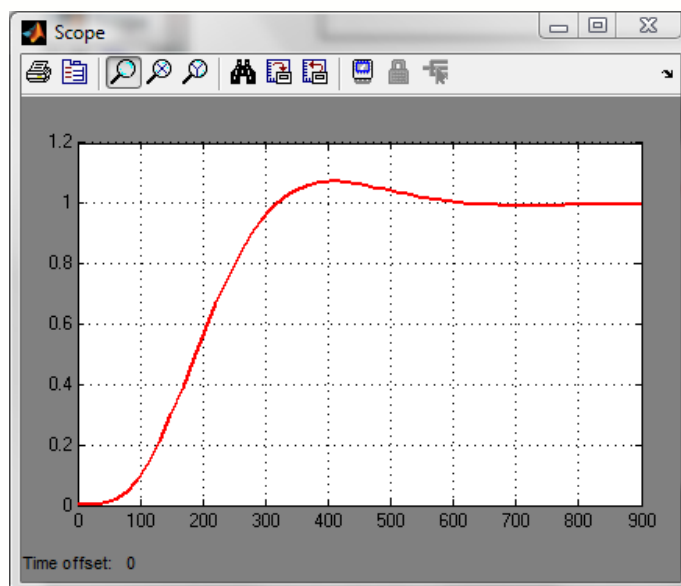
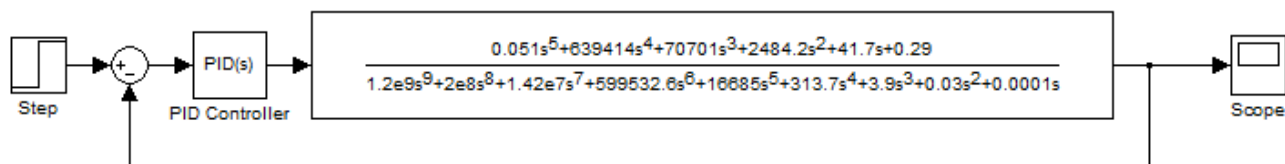


Рисунок 3.5 - Графічне відображення перехідної характеристики
З графіків визначаємо такі параметри:

1) Величина перерегулювання:

$$\tau = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

де x_{∞} - кінцеве значення регульованої величини;

$x_{\max}$ - максимально утворене динамічне відхилення величини, яке регулюється.

Отримаємо:

- для одноконтурної САК:

$$\tau = \frac{1.12 - 1.00}{1.00} \cdot 100\% = 12\%,$$

- для каскадної САК:

$$\tau = \frac{1.08 - 1.00}{1.00} \cdot 100\% = 8\%.$$

2) Час перехідного процесу:

- для одноконтурної САК:

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_p = 900 \text{ с};$$

- для каскадної САК:

$$t_p = 780 \text{ с.}$$

Висновки до розділу

Виконано аналіз і синтез АСК. Обраховано параметри налаштування вибраних регуляторів для обох систем регулювання. Здійснено аналіз стійкості систем. Визначено якісні показники системи керування та відображено їхні перехідні характеристики.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ

Для забезпечення ефективного моніторингу та керування технологічним процесом піролізу дихлоретану було розроблено SCADA-систему на базі програмного забезпечення AVEVA InTouch. Використання цієї платформи дозволяє реалізувати функції візуалізації технологічного процесу, оперативного контролю параметрів, сигналізації аварійних ситуацій та архівування даних.

На першому етапі виконано створення структури проєкту SCADA-системи. У середовищі розробки сформовано базу тегів, яка містить усі технологічні змінні процесу. До них належать параметри температури, тиску, витрати та рівня у відповідних технологічних апаратах установки. Кожному параметру присвоєно унікальний ідентифікатор, тип змінної та джерело отримання даних. Така організація дозволяє забезпечити коректний обмін інформацією між системою керування та операторським інтерфейсом.

Наступним етапом стало налаштування зв'язку з польовими пристроями автоматизації. Передача даних від програмованих логічних контролерів до SCADA-системи реалізована за допомогою промислових протоколів обміну даними через OPC-сервер або стандартні мережеві протоколи. Це забезпечує надійний і безперервний обмін інформацією між контролерами та системою диспетчерського керування.

Важливою складовою розробки є створення графічного інтерфейсу оператора. У середовищі розробки було сформовано мнемосхему технологічної установки піролізу дихлоретану, яка відображає основні апарати та технологічні потоки. На екрані відображено резервуар зберігання дихлоретану Т-501, реактор піролізу R-501, ректифікаційну колону С-501, теплообмінники, трубопроводи, регулюючі клапани та допоміжне обладнання. Для кожного елемента мнемосхеми застосовано динамічні графічні об'єкти, які змінюють свої властивості відповідно до значень технологічних параметрів.

Для відображення поточних значень параметрів використовуються числові

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

індикатори та графічні шкали. Вони відображають значення температури, витрати реагентів, рівня рідини в апаратах та тиску в технологічних вузлах. Крім того, реалізовано механізми динамічної індикації стану обладнання, що дозволяє оператору швидко визначати поточний режим роботи системи.

У процесі розробки також реалізовано систему аварійної сигналізації. Для основних технологічних параметрів встановлено граничні значення, перевищення яких призводить до формування аварійних повідомлень. Система сигналізації забезпечує оперативне інформування оператора про відхилення параметрів від заданих значень, що дозволяє своєчасно реагувати на потенційно небезпечні ситуації.

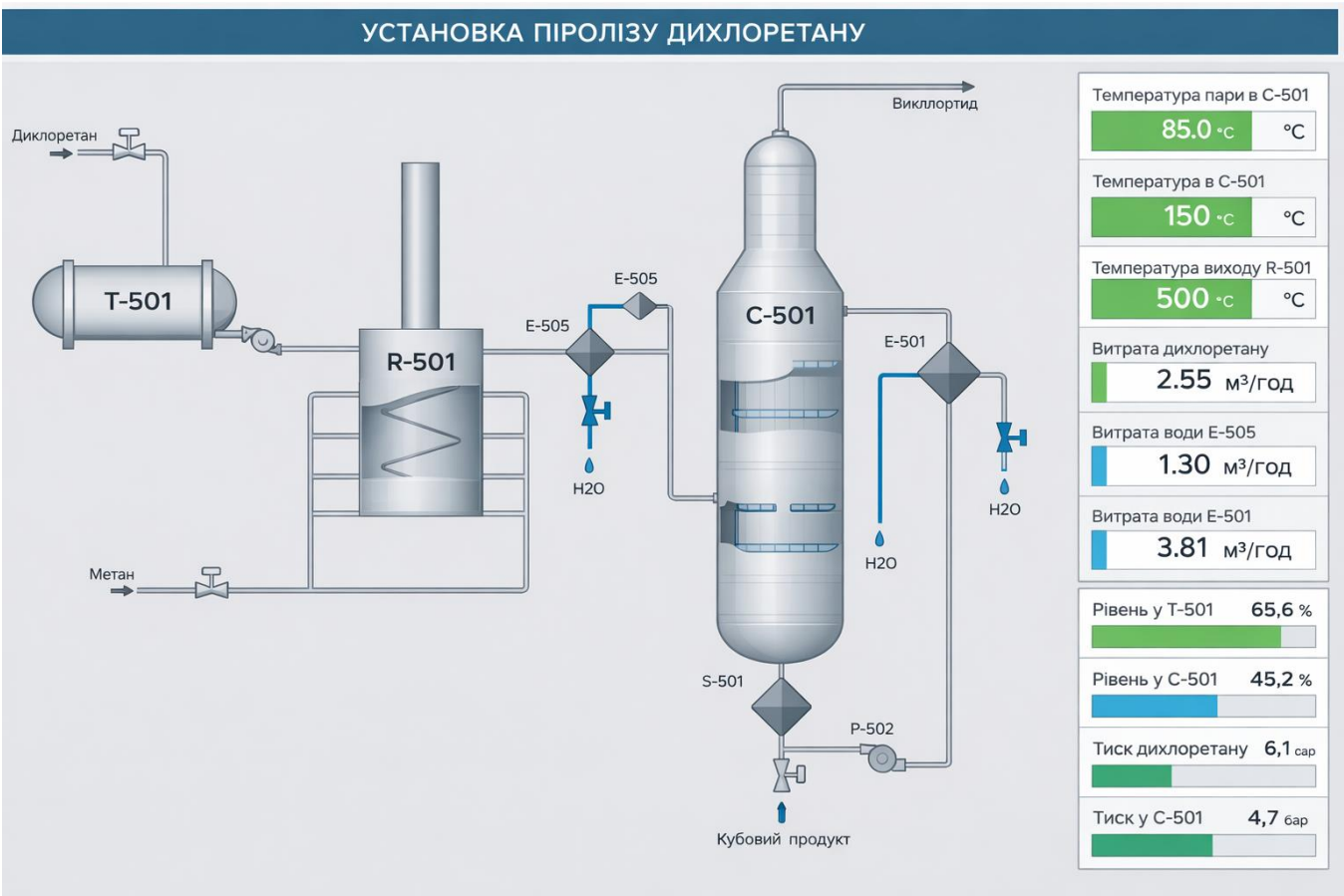


Рисунок 4.1 - SCADA система установки піролізу дихлоретану

Крім того, у SCADA-системі реалізовано функцію архівування технологічних параметрів. Значення температури, тиску, витрат та рівнів зберігаються у базі історичних даних, що дозволяє виконувати подальший аналіз роботи установки. На основі архівованих даних оператор може будувати тренди та аналізувати зміну

параметрів у часі, що є важливим для оптимізації режимів роботи технологічного процесу.

Таким чином, розроблена SCADA-система забезпечує ефективну візуалізацію та контроль процесу піролізу дихлоретану, підвищує рівень інформованості оператора та сприяє підвищенню безпеки й надійності функціонування технологічної установки. Застосування сучасного програмного забезпечення дозволяє інтегрувати систему диспетчерського керування з промисловими контролерами та забезпечити централізоване управління технологічним процесом.

Висновки до розділу

В розділі наведено опис розробленої в SCADA системи.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

5.1 Аналіз і обґрунтування технічних засобів, що застосовуються в системі автоматизації

Після детального аналізу технологічного об'єкта, особливостей його функціонування, вимог до підтримання технологічних параметрів, а також загального рівня автоматизації досліджуваного виробництва здійснюється обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації. Такий вибір спрямований на забезпечення ефективного контролю, регулювання та керування перебігом технологічного процесу.

Комплекс технічних засобів автоматизації включає сукупність пристроїв, призначених для виконання основних функцій системи керування. До його складу входять засоби отримання оперативної інформації про поточний стан технологічного процесу, пристрої формування, оброблення та передавання сигналів, виконавчі механізми для реалізації керуючих впливів, а також технічні засоби відображення інформації для обслуговуючого персоналу.

З огляду на те, що розглядуване виробництво належить до категорії пожежо- та вибухонебезпечних, під час вибору конкретних типів технічних засобів необхідно враховувати вимоги промислової безпеки. У зв'язку з цим первинні вимірювальні перетворювачі, встановлені безпосередньо на технологічному обладнанні, а також прилади, розміщені в операторській, передбачається використовувати у вибухозахищеному або іскробезпечному виконанні.

Крім того, беручи до уваги значну кількість однотипних технологічних параметрів, що підлягають контролю та регулюванню, доцільним є застосування уніфікованих автоматичних пристроїв. Використання однотипних технічних засобів у складі системи автоматизації сприяє спрощенню експлуатації обладнання, полегшує процедури налаштування та технічного обслуговування, а також підвищує надійність функціонування всієї системи.

Здійснюючи вибір ТЗА перевагу віддамо автоматичним приладам серійного

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва.

Вибираючи ТЗА, обов'язково врахуємо такі фактори метрологічного, а також режимного характеру:

- інерційність давачів;
- границя вимірювання;
- вплив параметрів довкілля та середовища на роботу приладів;
- відстань між давачами і операторною;
- можливість застосування давачів з погляду на пожежо- і вибухонебезпечність.

Технічна схема автоматизації піролізу дихлоретану потребує використання таких ТЗА:

- виконавчих механізмів;
- первинних перетворювачів температури, рівня, тиску та витрат;
- вторинних приладів;
- мікропроцесорних контролерів МІК-51, ІТМ-22.

5.1.1 Вибір давачів для вимірювання температури

У технологічних апаратах температура в установках не перевищує 600 °С, а середовище у якому працює даний давач є агресивним. У зв'язку з цим будемо використовувати термоелектроперетворювач хромель-копелевого типу ТХК-0279, який оснащений захисною арматурою із границями вимірювання від 0 до 650 °С. Довжини термоелектроперетворювачів вибрано у кожному конкретному випадку із урахуваннями їхнього занурення в вимірювальне середовище.

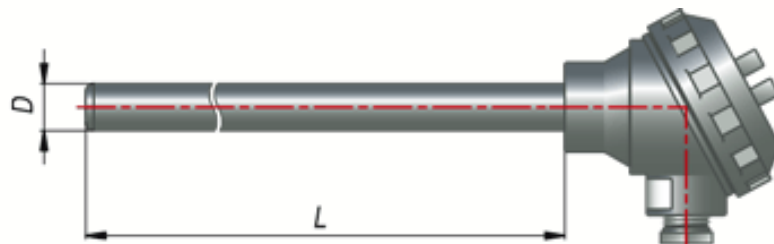


Рисунок 5.1 - Давач температури ТХК-0279

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

5.1.2 Вибір давачів для вимірювання тиску

У процесі вибору давачів тиску окрім відомих основних характеристик мають враховуватись також такі додаткові: вплив зовнішніх збурень; вплив вимірюваного середовища; характер зміни тиску у часі.

Задіємо у даному проекті перетворювачі тиску Сапфір-22-Ех-М-ДИ-2160, які оснащені електричним уніфікованим сигналом із границею 2 кПа - 16 МПа.



Рисунок 5.2 - Давач тиску Сапфір-22-Ех-М-ДИ-2160

5.1.3 Вибір давачів для вимірювання витрати

Виберемо для виконання вимірювання витрати метану, дихлоетану а також води сучасний інтелектуальний давач витрати SCM3000PLUS котрий оснащений перетворювачем із класом точності 0.1. Витратомір оснащений HART - протоколом.



Рисунок 5.3 - Давач витрати SCM3000PLUS

5.1.4 Вибір давачів для вимірювання рівня

У якості типових давачів для вимірювання рівня використовуватимемо перетворювачі тиску Сапфір-22-Ех-М-ДГ-2530, котрі оснащені електричним

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

уніфікованим сигналом. Верхньою границею вимірюваної величини є від 2 кПа і до 10 МПа. Границею вимірювання є рівень 0 - 800 мм а також 0 - 2600 мм. Клас точності рівнемірів становить 1,0.



Рисунок 5.4 - Давач рівня Сапфір-22-Ех-М-ДГ-2530

5.1.5 Вибір контролера

Мікропроцесорний контролер МІК-51Н (рис. 5.5) призначений для реалізації функцій автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами. Даний пристрій являє собою компактний багатофункціональний контролер із невеликою кількістю каналів введення-виведення, що забезпечує високу швидкодію та ефективну обробку технологічних сигналів.

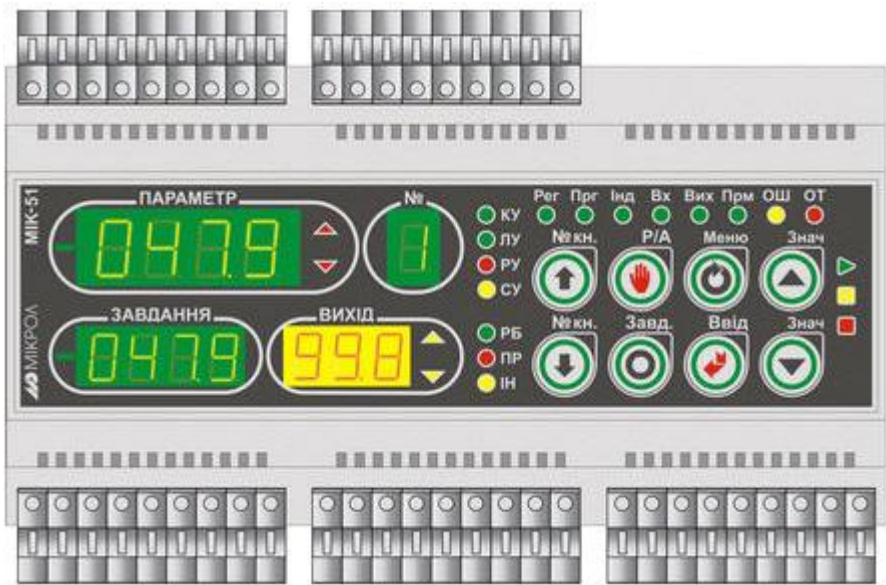


Рисунок 5.5 - Контролер МІК-51Н

За своїм функціональним призначенням і технічними можливостями

контролер МІК-51Н є модернізованим аналогом пристрою МІК-51, зберігаючи основні принципи роботи та сфери застосування, але характеризуючись удосконаленими експлуатаційними параметрами.

Сфера застосування.

Мікропроцесорний контролер використовується у складі керуючих та інформаційних систем автоматизації невеликого та середнього рівня складності, що характеризуються обмеженою кількістю каналів введення-виведення. Крім того, він може застосовуватися для побудови окремих локальних або розподілених підсистем у складі складних автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Пристрій ефективно використовується у системах автоматизації технологічних процесів підприємств, де реалізуються як безперервні, так і дискретні виробничі операції в різних галузях промисловості.

Також контролер може застосовуватися у складі систем технологічного захисту, блокувань та аварійної сигналізації, призначених для запобігання виникненню позаштатних або небезпечних режимів роботи обладнання.

Окрім цього, даний контролер придатний для використання у віддалених, територіально розподілених та локальних системах керування, що забезпечують централізований або децентралізований контроль технологічних об'єктів.

Функціональне призначення та можливості:

- Контролер оснащений інтегрованими засобами самодіагностики, які забезпечують виявлення та індикацію несправностей у роботі пристрою. До їх функцій належить формування повідомлень про вихід технологічних сигналів за встановлені допустимі межі, фіксація помилок у роботі оперативної пам'яті, а також виявлення порушень обміну даними через мережеві інтерфейси. Крім того, система діагностики дозволяє своєчасно ідентифікувати інші можливі збої у функціонуванні обладнання.

- Контролери МІК-51Н оснащені розвинутими засобами міжконтролерного обміну даними, що забезпечує можливість об'єднання окремих регуляторів у

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальні або територіально розподілені системи керування. У межах такої мережевої структури контролери можуть здійснювати взаємний обмін інформацією між собою, а також передавати дані до комп'ютера верхнього рівня для подальшої обробки, моніторингу та диспетчерського керування технологічним процесом. Дана функція дає можливість організовувати розподілену обробку даних, а також збільшувати число каналів вводу-виводу. У випадку використання функції міжконтролерного обміну досить сильно знижується інформаційне навантаження на мережеву систему.

Бібліотеки функціональних блоків умовно розділені на такі розділи:

- Функціональні блоки введення-виведення: імпульсний введення, дискретний ввід-висновок, аналоговий ввід-висновок.

- Функціональні блоки математичні: підсумовування з масштабуванням, множення, ділення, інтегрування, корінь квадратний, диференціювання із затримкою.

- Функціональні блоки логічні: багатовхідне І, логічне І, логічне АБО, багатовхідне АБО.

- Функціональні блоки, котрі керуються програмою: ковзке середнє, мінімум, максимум, екстремум, затримка, обмеження, перемикач по номеру, обмеження швидкості, лічильник, мултивібратор, компаратор, таймер, одновібраор, імпульсатор.

- Функціональні блоки, котрі призначені для обчислення: експонента, вологість, десятковий логарифм, натуральний логарифм.

- Функціональні блоки, котрі призначені для управління станом: стан, уставка дискретна, якщо, тоді, вибір із безлічі, детектор включення живлення чи можливо запуску програми користувача.

Характеристики вхідних сигналів:

- Сигнали від термометрів опорів ТСП (100П, 50П), ТСМ (100М, 50М).

- Сигнали від термопар ТХА (К), ТХК (L), ТПР (В), ТПП (S), ТЖК (J), ТВР (А).

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Уніфікований аналоговий сигнал постійного струму: 0,0-5,0мА, 0,0-20,0мА, 4,0-20,0мА; 0,0-10,0В.

- Дискретний та імпульсний сигнали: 24В постійного струму. Групова розв'язка.

Характеристика вихідних сигналів:

- Стандартизовані аналогові сигнали постійного струму: 0,0-5,0мА, 0,0-20,0мА, 4,0-20,0мА; 0,0-10,0В.

- Для роботи з дискретними та імпульсними сигналами застосовується оптосимістор, конструкція якого передбачає наявність вбудованої схеми детектування переходу змінної напруги через нуль - 600В, 50мА; реле 220В, 8А; транзистор 40В, 100мА.

Технічні характеристики:

- Об'єм ОЗУ пам'яті - 4 кбайт.
- Об'єм ПЗП пам'яті - 128 кбайт.
- Кількість алгоблоків – не більше 99.
- Час циклу – менше 0.1с.
- Похибки перетворення: АЦП: $\pm 0,20\%$; ЦАП: $\pm 0,20\%$.
- Збереження інформації у випадку відключення живлення.
- Трирівнева гальванічна ізоляція.
- Тривалість збереження інформації при відсутності живлення - 10 років.
- Користувач має можливість самостійно задавати швидкість передачі даних у діапазоні від 2400 до 921600 біт/с.

- Максимальна споживана потужність від мережі змінного струму становить не більше 8 ВА.

- Граничне значення струму споживання при живленні постійним струмом не перевищує 300 мА.

- Габаритні параметри пристрою (висота $\times$ ширина $\times$ глибина) складають 110 $\times$ 160 $\times$ 58 мм.

- Прилад забезпечує стабільну роботу в умовах температури навколишнього

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

- Конструкція передбачає настінний монтаж або встановлення на DIN-рейку, ступінь захисту корпусу — IP30.

- Маса пристрою становить не більше 0,5 кг.

5.1.6 Вибір мікропроцесорних індикаторів

Мікропроцесорний технологічний індикатор ІТМ-22 (рис. 5.7) - це універсальний багатофункціональний двоканальний індикатор-регулятор:

- Призначений для вимірювання, автоматичного регулювання та контролю будь яких із двох вхідних технологічних параметрів значення котрих можна перетворити у уніфікований сигнал.



Рисунок 5.7 - Мікропроцесорний індикатор ІТМ-22

- Дає можливість управління двохпозиційним та трьохпозиційним навантаженням та виконавчими механізмами.

Область застосування:

- Дистанційні пристрої зв'язку із об'єктами із індикацією.
- Системи промислової автоматики.
- Індикатор двох параметрів із вихідними уставками сигналізації мінімуму та максимуму.
- Системи цифрової та лінійної індикації технологічних параметрів.
- Локальні та територіально розподілені системи управління.

Функціональні можливості:

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

- Кількість приладів у мережі RS-485 не більше 255.
- Підключення до джерела уніфікованого сигналу.
- Цифрове калібрування початку шкали, а також діапазону вимірювання.
- Завдання та сигналізація відхилення від уставки мінімуму і максимуму.
- Вибір методів лінійної індикації (сегмент, гістограма).
- Вхідний цифровий фільтр аналогового входу.
- Лінеаризація вхідного сигналу.
- Чотири вільно програмованих дискретних виходів.
- Захист від несанкціонованої зміни параметрів.
- Збереження існуючих параметрів при відключенні живлення.

5.2 Технічна реалізація системи автоматизації процесу піролізу дихлоретану та розробка проектних документів

5.2.1 Розробка ФСА процесу піролізу дихлоретану

Функціональна система автоматизації (ФСА) представляє з себе технічне креслення на якому зображено функціональну структуру а також об'єкт автоматизації.

На ФСА зображують засоби автоматизації а також апаратуру усіх систем сигналізації, контролю та регулювання.

Такі допоміжні пристрої, як редуктори, фільтри для повітря, реле, автомати, джерела живлення, вимикачі, з'єднувальні коробки і інші пристрої на ФСА не показуються.

ФСА бувають спрощеними та розгорнутими.

На спрощеній ФСА не наводять організацію пунктів контролю а також керування технологічним об'єктом.

На розгорнутих ФСА показують: давачі, відбірні пристрої, вторинні прилади, перетворювачі, регулюючі та запірні органи, виконавчі механізми, апаратуру управління а також сигналізації.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрої, які встановлені поза щитовими приміщеннями та не інтегровані безпосередньо з технологічним обладнанням або трубопровідною мережею, обмежують прямокутником із підписом «Прилади місцеві». Відбірні та приймальні пристрої, первинні вимірювальні перетворювачі, які вмонтовуються у технологічні апарати та трубопроводи не зображуються на ФСА.

На розробленій ФСА піролізу дихлоретану передбачено:

- витрата дихлоретану, що подається в піч піролізу R-501, регулюється за допомогою інтелектуального давача витратоміра SCM3000PLUS (поз. 14-а), а також його перетворювача (поз. 14-б) з якого сигнал 4-20мА поступає на регулятор МІК-51 (поз.14-в), який встановлений на щиті КВПіА. З сигнал поступає на виконавчий механізм (поз. 14-г) встановлений на трубопроводі подачі дихлоретану в піч піролізу;

- витрата води, що подається в парогенератор Е-505 і в холодильник Е-501, контролюється за допомогою індикатора технологічного мікропроцесорного ІТМ-22 (поз. 13-д) сигнал на який подається з інтелектуальних давачів витратомірів SCM3000PLUS (поз. 13-а) і (поз. 13-в) а також їхніх перетворювачів (поз. 13-б) і (поз. 13-г);

- вимірювання, контроль і регулювання температури пірогазу на вході в колону С-501 здійснюється за допомогою електричного сигналу від термопари ТХК-0279 (поз. 1-а), який надходить на мікропроцесорний регулятор МІК-51 (поз. 1-б). Регулятор відображає на табло поточне значення температури та формує керуючий сигнал. З клемних затискачів цей сигнал подається на позиціонер виконавчого механізму (поз. 1-в), змонтованого на трубопроводі подачі води до парогенератора Е-505, забезпечуючи регулюючу дію системи. У такому випадку регулюючий орган (РО) виконавчого механізму (ВМ) частково прикривається чи відкривається. Таким процесом збільшує чи відповідно зменшує подачу пари в міжтрубний простір теплообмінника;

- вимірювання, контроль і регулювання температури середньої частини колони С-501 здійснюються за допомогою електричного сигналу від термопари

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТХК-0279 (поз. 2-а), який подається на мікропроцесорний регулятор МІК-51 (поз. 2-б). Регулятор відображає поточне значення температури та формує регулюючий сигнал. Цей сигнал із клемних затискачів передається на позиціонер виконавчого механізму (поз. 2-в), встановлений на трубопроводі подачі води до холодильника Е-501, забезпечуючи автоматичне регулювання температури;

- вимірювання та контроль температури димових газів на виході печі піролізу R-501 здійснюються за допомогою електричного сигналу від термопари ТХК-0279 (поз. 3-а), який по кабельному з'єднанню передається на індикатор ІТМ-22 (поз. 3-б). На вбудованому табло індикатора відображається актуальне значення температури димових газів;

- вимірювання, контроль та регулювання тиску у колоні С-501 виконується за допомогою первинного перетворювача “Сапфір 22-Ех-М-ДИ-2160” (поз. 5-а), значення тиску перетворюється у електричний сигнал, який направляється на мікропроцесорний контролер МІК-51 (поз. 5-б). Із клемників регулююча дія надходить на позиціонер ВМ (поз. 5-в), який змонтований на трубопроводі скиду вівнілхлорида з верха колони С-501;

- каскадне регулювання температури пірогазуна виході з печі піролізу R-501 з корекцією по витраті метану здійснюється за допомогою електричного сигналу від термопари ТХК-0279 (поз. 4-а) від якої керувальна дія поступає на МІК-51 (поз. 4-г), куди також надходить сигнал від інтелектуального витратоміра серії SCM3000PLU (поз. 4-б) в комплекті з перетворювачем (поз. 4-в). З регулятора керуючий сигнал поступає на виконавчий механізм (поз. 4-д) встановлений на трубопроводі подачі метану в піч піролізу;

- вимірювання та контроль тиску метану на пальниках здійснюється за допомогою первинного перетворювача “Сапфір 22-Ех-М-ДИ-2160” (поз. 6-а - 10-б), які встановлені в місцевій шафі. Значення тиску перетворюється у електричний сигнал, який поступає на індикатори ІТМ-22 (поз. 6-в - 10-в), який відображає значення вимірюваного тиску;

- вимірювання та контроль перепаду тиску в печі піролізу здійснюються за

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою первинного перетворювача «Сапфір-22-Ех-М-ДД-2440» (поз. 11-а), розміщеного у місцевій шафі. Перетворювач трансформує перепад тиску у електричний сигнал, який передається на індикатор ІТМ-22 (поз. 11-б), що забезпечує відображення актуального значення вимірюваного тиску;

- вимірювання, контроль і регулювання рівня у колоні С-501 виконуються наступним чином: первинний перетворювач «Сапфір 22-Ех-М-ДГ-2530» (поз. 16-а) перетворює поточне значення рівня на електричний сигнал 4–20 мА, який передається на мікропроцесорний контролер МІК-51 (поз. 16-б). Контролер відображає поточне значення рівня та формує регулюючий сигнал, який із клемних затискачів надходить на позиціонер виконавчого механізму (поз. 16-в), змонтованого на трубопроводі відведення кубового продукту з колони С-501, забезпечуючи автоматичне регулювання рівня.

5.2.2 Характеристика розробленого загального креслення щита

Щити призначені для монтажу приладів, що забезпечують спостереження за технологічним процесом та його автоматичне керування. Ці прилади встановлюються в виробничих та спеціальних щитових приміщеннях: апаратних, операторних і диспетчерських.

Компановка приладів а також апаратів на передніх панелях щитів а також усередині має здійснюватись із урахуванням деяких допустимих місць монтажу. Головним правилом для розміщення апаратури являється зручність для монтажу а також експлуатації.

На основі експлуатаційних потреб установки а також підприємства у дипломному проєкті застосовано щит шкафний типу: ЩШ-ЗД- 2200×800×600.

Уся обв'язка електроапаратів виконана за допомогою проводу, який оснащений полівінілхлоридною ізоляцією 1×1 мм.

Висновки до розділу

Проведено вибір та технічну характеристику ТЗА, які являються необхідними для удосконалення об'єкту, який розробляється, виходячи з умов у яких протікає

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічний процес.

Розроблено функціональну схему автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів, розроблено креслення загального вигляду щита, розроблено схему зовнішніх з'єднань, приведена схема підключень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі розроблено автоматичну систему керування установкою піrolізу дихлоретану.

Використання спроектованої системи керування дасть можливість покращити якість процесу контролювання збільшить надійність системи та покращить безпеку об'єкту.

Виконано аналіз призначення установки піrolізу дихлоретану та наведено суть процесу. Наведено опис технологічної схеми установки а також порядок протікання технологічного процесу піrolізу дихлоретану. Описано характеристики сировини а також отриманих продуктів. Наведено технічну характеристику технологічного обладнання процесу піrolізу дихлоретану. Також подано перелік параметрів контролю і регулювання.

Розглянуто питання створення експериментальної моделі печі піrolізу на установці піrolізу дихлоретану. Встановлено динамічні характеристики об'єкта керування отримані на основі аперіодичних впливів.

Виконано дослідження регуляторів для одноконтурній та каскадній САК. Визначено оптимальні параметри налаштування для даних регулятора. На основі дослідження показників якості САК можна стверджувати, що якісні показники каскадної системи являються трохи кращими ніж показники одноконтурній САК.

					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

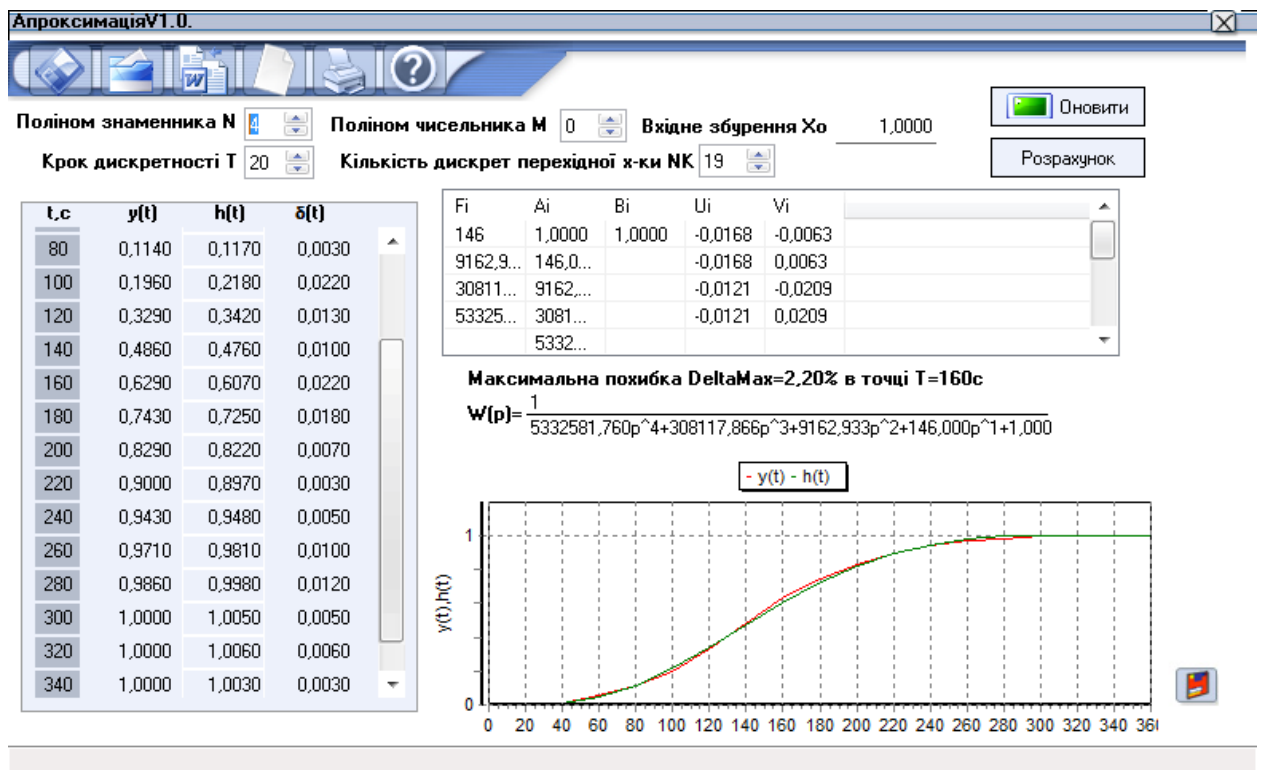
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Автоматизація неперервних технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості [Текст]: навч. посіб. / М. І. Когутяк, Я. Р. Когуч, Р. М. Лещій [et al.]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – 286 с.
2. Дранчук, М. М. Проектування систем автоматизації [Текст]: практикум / М. М. Дранчук, Л. І. Фешанич. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 138 с.
3. Бербець, Т. О. Автоматизація технологічних процесів в нафтогазовій промисловості [Текст]: практикум / Т. О. Бербець, М. М. Дранчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – 66 с.
4. 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.
5. 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.
6. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. 610 с.
7. Лагойда, А. І. Основи програмування промислових контролерів [Текст]: метод. вказівки. Ч. 1 / А. І. Лагойда, Р. В. Шевченко, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 72 с.
8. 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.
9. 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.

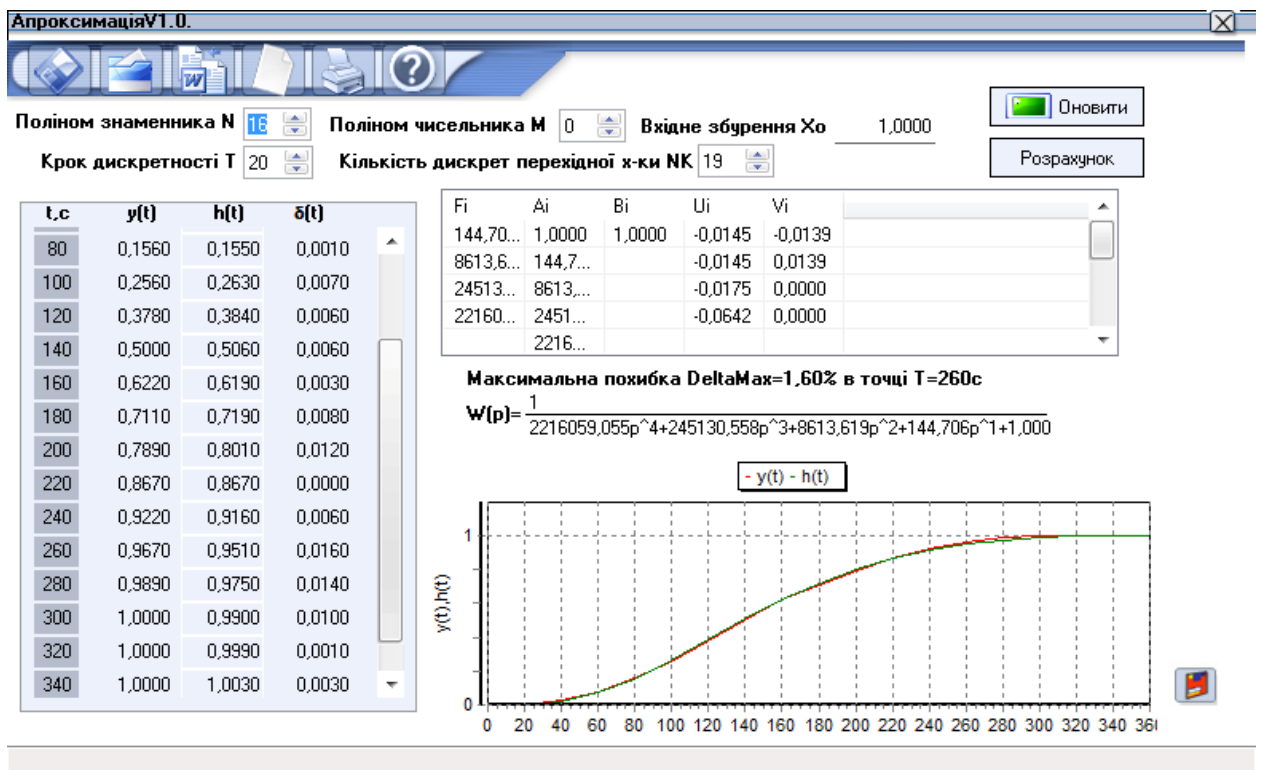
					БР.АКП-78.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

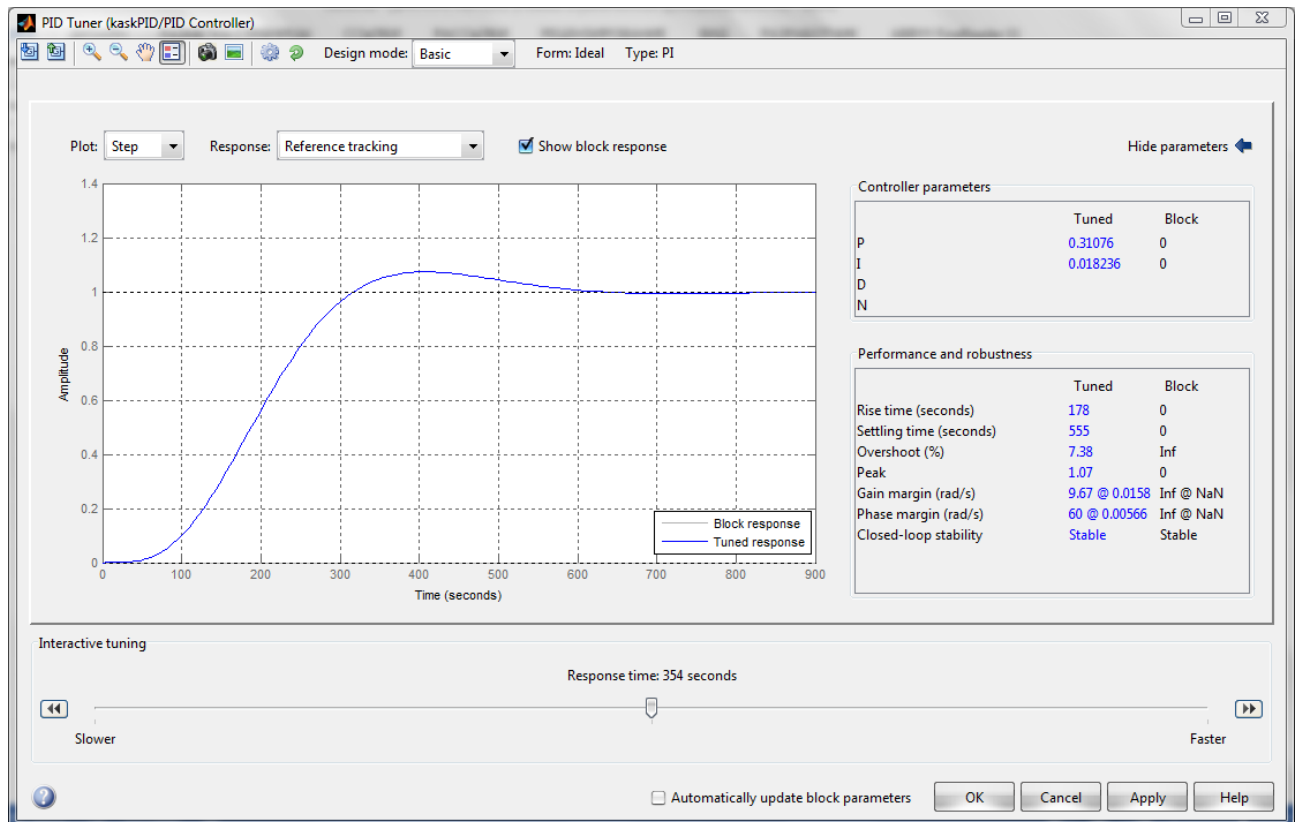
Додаток А1



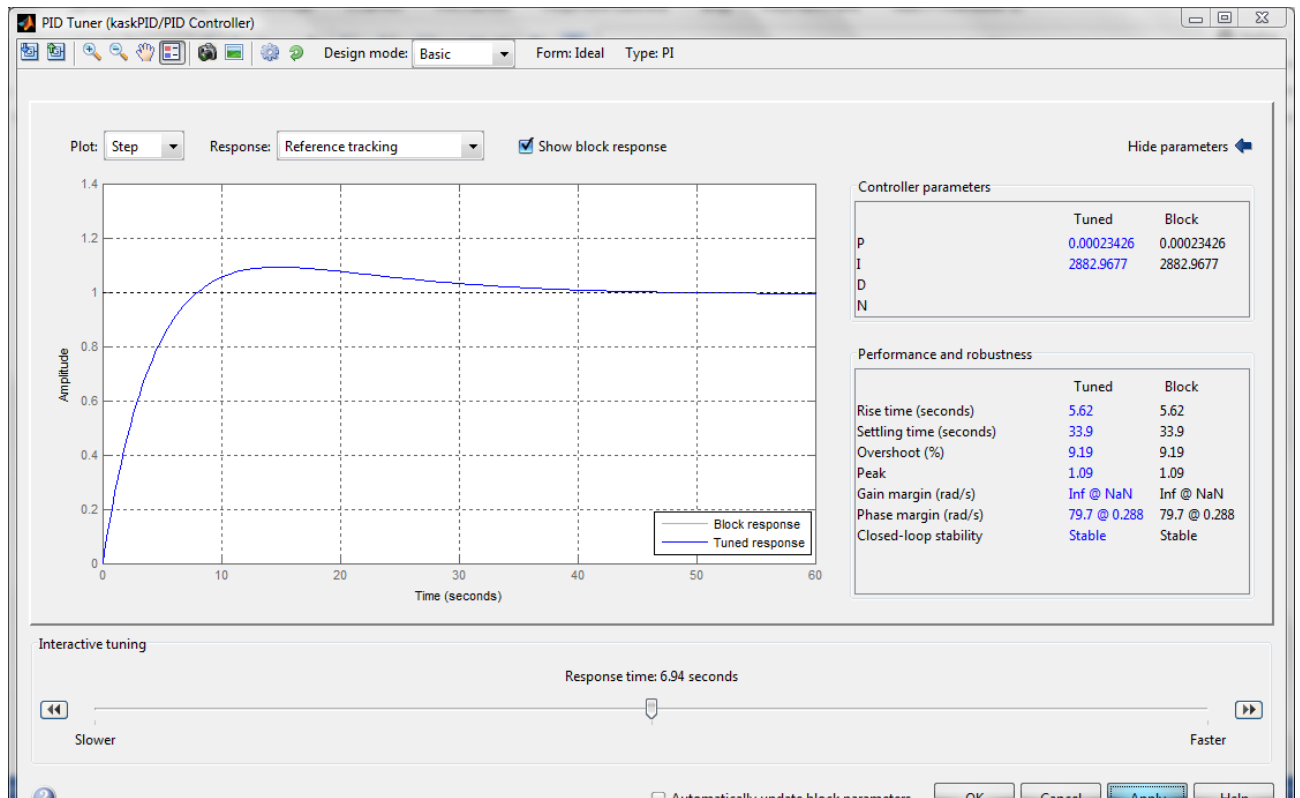
Додаток А2



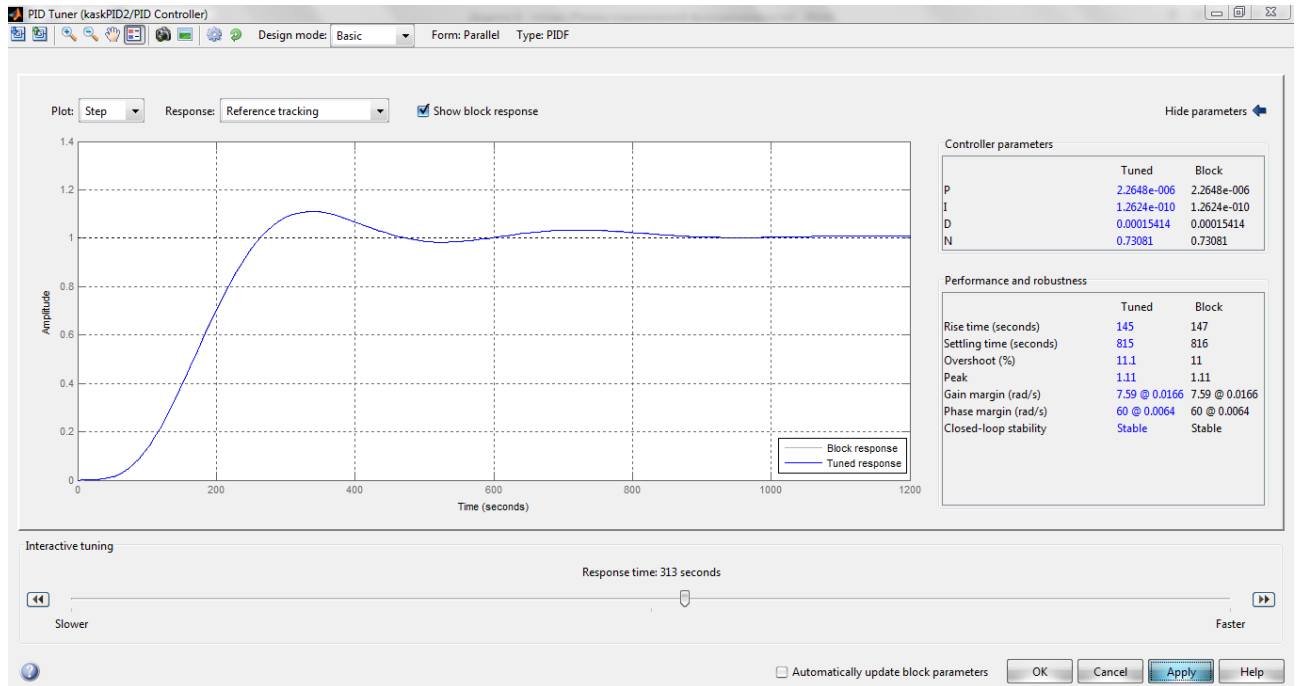
Додаток Б1



Додаток Б2



Додаток БЗ

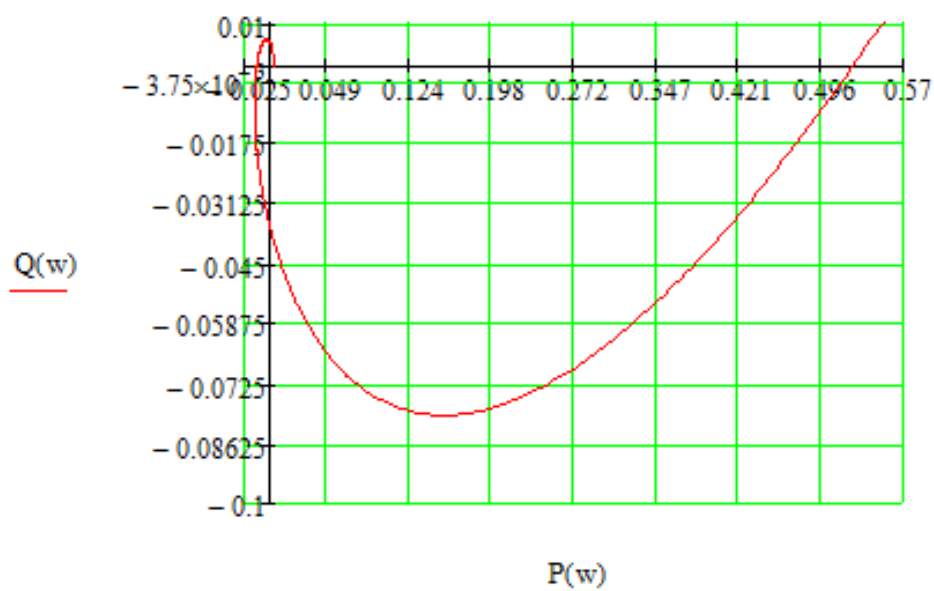


Додаток В1

$$P(w) := 308117.866 \cdot w^4 - 146 \cdot w^2 + 0.0018$$

$$Q(w) := 5332581.76w^5 - 9162.933 \cdot w^3 + 1.31 \cdot w$$

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



Додаток В2

$$\begin{aligned}
 an &:= 1.18 \cdot 10^{13} & an4 &:= 1.7 \cdot 10^8 & an8 &:= 944.27 \\
 an1 &:= 2 \cdot 10^{12} & an5 &:= 1.77 \cdot 10^7 & an9 &:= 6.5 \\
 an2 &:= 1.4 \cdot 10^{11} & an6 &:= 1.64 \cdot 10^6 & an10 &:= 3.6 \cdot 10^{-7} \\
 an3 &:= 6 \cdot 10^9 & an7 &:= 56475.65
 \end{aligned}$$

$$\Delta := \begin{pmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 \end{pmatrix} \quad |\Delta| \rightarrow 2.0276194734513971165e56$$

$$\Delta1 := \begin{pmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 \end{pmatrix} \quad |\Delta1| \rightarrow 5.6322763151427697682e62$$

$$\Delta2 := \begin{pmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 \\ 0 & 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 \end{pmatrix} \quad |\Delta2| \rightarrow 8.6650765791475737674e61$$

$$\Delta3 := \begin{pmatrix} an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 & 0 \\ an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 & 0 \\ 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 & 0 \\ 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 & an10 \\ 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 & an9 \\ 0 & 0 & an & an2 & an4 & an6 & an8 \\ 0 & 0 & 0 & an1 & an3 & an5 & an7 \end{pmatrix} \quad |\Delta3| \rightarrow 1.1820661681906760917e59$$

Продовження додатку В2

$$\Delta_4 := \begin{pmatrix} an_1 & an_3 & an_5 & an_7 & an_9 & 0 \\ an & an_2 & an_4 & an_6 & an_8 & an_{10} \\ 0 & an_1 & an_3 & an_5 & an_7 & an_9 \\ 0 & an & an_2 & an_4 & an_6 & an_8 \\ 0 & 0 & an_1 & an_3 & an_5 & an_7 \\ 0 & 0 & an & an_2 & an_4 & an_6 \end{pmatrix} \quad |\Delta_4| \rightarrow 2.8304519498085275175e54$$

$$\Delta_5 := \begin{pmatrix} an_1 & an_3 & an_5 & an_7 & an_9 \\ an & an_2 & an_4 & an_6 & an_8 \\ 0 & an_1 & an_3 & an_5 & an_7 \\ 0 & an & an_2 & an_4 & an_6 \\ 0 & 0 & an_1 & an_3 & an_5 \end{pmatrix} \quad |\Delta_5| \rightarrow 3.7281586850386578e48$$

$$\Delta_6 := \begin{pmatrix} an_1 & an_3 & an_5 & an_7 \\ an & an_2 & an_4 & an_6 \\ 0 & an_1 & an_3 & an_5 \\ 0 & an & an_2 & an_4 \end{pmatrix} \quad |\Delta_6| \rightarrow 2.24551169836e41$$

$$\Delta_7 := \begin{pmatrix} an_1 & an_3 & an_5 \\ an & an_2 & an_4 \\ 0 & an_1 & an_3 \end{pmatrix} \quad |\Delta_7| \rightarrow 9.9292e32$$

$$\Delta_8 := \begin{pmatrix} an_1 & an_3 \\ an & an_2 \end{pmatrix} \quad |\Delta_8| \rightarrow 2.092e23$$

$$\Delta_9 := an_1 \quad |\Delta_9| \rightarrow 20000000000000$$

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Розроблення та удосконалення системи автоматизованого керування процесом піролізу дихлоретану».

Обсяг пояснювальної записки: 65 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1. Функціональна схема автоматизації.
2. Експериментальне дослідження.
3. Аналіз та синтез одноконтурної АСК.
4. Аналіз та синтез каскадної АСК.
5. Загальний вигляд щита.
6. SCADA-система.

Дата закінчення проекту _____

Підпис студента-дипломника _____