

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ

Група АКП-21-1

**Петро Паук**

**2025**

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

Паук Петро Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 66.081.6:681.5

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка системи автоматизації технологічного процесу очищення

(назва роботи)

дихлоретану від важких компонентів

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)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

П.І. Паук

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І.І. Чигур

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

асистент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.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**

Паук Петро Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації технологічного процесу очищення дихлоретану від важких компонентів

керівник роботи Лагойда Людмила Іванівна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

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 очищення дихлоретану від важких компонентів як об'єкта автоматичного контролю і керування.

2 Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування. 3 Синтез структури системи автоматичного керування. 4 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-17.00.00.001;

Лист 2 - Аналіз і синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-17.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез каскадної АСК - БР.АКП-17.00.00.003;

Лист 4 - Структура ієрархічної системи керування і контролю - БР.АКП-17.00.00.004;

Лист 5 - Схема підключень - БР.АКП-17.00.00.005;

Лист 6 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-17.00.00.006.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу очищення дихлоретану від важких компонентів як об'єкта автоматичного контролю і керування	10.06.2025	
2	Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування	11.06.2025	
3	Синтез структури системи автоматичного керування	12.06.2025	
4	Розробка технічної документації на САК	13.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

П.І. Паук \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Л.І. Лагойда \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 65 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 11 таблиць, 8 переліків посилань на джерела і 3 додатки.

Тема: розробка системи автоматизації технологічного процесу очищення дихлоретану від важких компонентів.

Об'єкт дослідження: автоматична система керування процесом очищення дихлоретану від важких компонентів.

Мета проекту: розробка сучасної системи автоматизації.

Методи дослідження: проведення експериментального моделювання розробленої автоматичної системи керування.

Результати роботи: у розроблюваному проекті виконано ефективний аналіз технологічного процесу очищення дихлоретану від важких компонентів. Здійснено вибір параметрів контролю та регулювання технологічним процесом. Проведений вичерпний аналіз задіяного технологічного обладнання.

З метою визначення динамічних властивостей об'єкта моделювання здійснено активний експеримент. На основі отриманих даних визначено передавальну функцію об'єкту керування за основним та допоміжним каналами регулювання, вибрано якісні регулятори та розраховано їхні оптимальні параметри налаштування, а також здійснено дослідження розроблених систем на стійкість.

Здійснено розроблення структурної схеми ієрархічної системи автоматичного керування та виконано вибір технічних засобів автоматизації.

Ключові слова: ректифікація, колона, дихлоретан, контроль, налаштування регулятора.

## **ABSTRACT**

The qualification work contains: 65 pages of printed text, 19 figures, 11 tables, 8 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: development of an automation system for the technological process of purifying dichloroethane from heavy components.

Object of research: automatic control system for the process of purifying dichloroethane from heavy components.

Project goal: development of a modern automation system.

Research methods: experimental modeling of the developed automatic control system.

Results of work: in the developed project, an effective analysis of the technological process of purifying dichloroethane from heavy components was performed. The parameters of control and regulation of the technological process were selected. An exhaustive analysis of the technological equipment involved was carried out.

In order to determine the dynamic properties of the modeling object, an active experiment was carried out. Based on the obtained data, the transfer function of the control object was determined for the main and auxiliary control channels, high-quality controllers were selected and their optimal settings were calculated, and the stability of the developed systems was studied.

The structural diagram of the hierarchical automatic control system was developed and the technical means of automation were selected.

Keywords: rectification, column, dichloroethane, control, controller settings.

## ЗМІСТ

	<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>8</b>
	<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ДИХЛОРЕТАНУ ВІД ВАЖКИХ КОМПОНЕНТІВ ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ....</b>	<b>10</b>
	1.1 Призначення стадії очищення дихлоретану і суть процесу ректифікації.....	10
	1.2 Характеристика сировини і одержуваних продуктів.....	11
	1.2.1 Сировина.....	11
	1.2.2 Продукти установки очищення ДХЕ.....	11
	1.3 Аналіз технологічної схеми блоку очищення ДХЕ.....	13
	1.4 Технічні характеристики задіяного технологічного обладнання...	15
	1.5 Параметри контролю і регулювання на установці.....	17
	1.5.1 Тиск в колоні С-402.....	17
	1.5.2 Температура верху колони С-402.....	17
	1.5.3 Температура в збірнику флегми V-402.....	17
	1.5.4 Рівень рідини в колоні С-402.....	17
	1.5.5 Витрата рідини в колоні С-402.....	18
	1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу....	18
	Висновки до розділу.....	20
<b>2</b>	<b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>21</b>
	2.1 Вибір об’єкта керування.....	21
	2.2 Основні показники якості та критерії оптимальності системи автоматичного керування.....	22

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка системи автоматизації технологічного процесу очищення дихлоретану від важких компонентів	Літ.	Арк.	Акрушів
							6	65
Розроб.		Паук П.І.				<b>АКП-21-1 ІФНТУНГ</b>		
Перевір.		Лагойда Л.І.						
Реценз.		Чигур І.І.						
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

2.3	Експериментальне дослідження динаміки об'єкта керування.....	23
	Висновки до розділу.....	31
<b>3</b>	<b>СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>32</b>
3.1	Розрахунок параметрів одноконтурної АСК.....	32
3.2	Розрахунок параметрів каскадної АСК.....	33
3.3	Дослідження на стійкість одноконтурної АСК.....	35
3.4	Дослідження на стійкість каскадної АСК.....	36
3.5	Оцінка якості керування за перехідними характеристиками.....	36
	Висновки до розділу.....	38
<b>4</b>	<b>РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК.....</b>	<b>39</b>
4.1	Розробка структурної схеми ієрархічної системи керування.....	39
4.2	Вибір засобів автоматизації процесу очищення дихлоретану.....	41
4.2.1	Вибір контролера.....	41
4.2.2	Вибір мікропроцесорних індикаторів.....	44
4.2.3	Вибір давачів витрати.....	46
4.2.4	Вибір давачів температури.....	48
4.2.5	Вибір давачів рівня.....	49
4.2.6	Вибір давачів тиску.....	50
4.2.7	Вибір виконавчого механізму.....	50
4.3	Технічна реалізація системи автоматизації.....	51
4.3.1	Розробка функціональної схеми.....	51
4.3.2	Розробка загального вигляду щита.....	53
4.3.3	Розробка схеми зовнішніх з'єднань та підключень.....	54
	Висновки до розділу.....	55
	<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>56</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>57</b>
	<b>ДОДАТКИ</b>	

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ДХЕ - дихлоретан.

АСК ТП - автоматизована система керування технологічним процесом.

В.к.к. - висококиплячий компонент.

Н.к.к. - низькокиплячий компонент.

КО - керований об'єкт.

РО - регулюючий орган.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Узагальненою метою бакалаврської роботи являється певна систематизація а також деяке закріплення наявних знань, розвитку необхідних навиків, які стосуються розробки проектів автоматизації технологічних процесів, котрі здатні забезпечувати високі показники якості. Поставлені у роботі завдання дуже тісно пов'язані із актуальними у даний час питаннями розробки а також удосконалення систем керування, вибором ефективних та актуальних засобів одержання, обробки та відображення інформації як на працюючих так і на проєктованих промислових підприємствах. В процесі проєктування використано результати найсучасніші досягнення науки та техніки.

Описаний проєкт розроблений на установці очищення дихлоретану від важких компонентів, яка служить для виготовлення дихлоретану. Метою кваліфікаційної роботи було створення системи автоматизації установки. Дана установка однопоточна.

Установки очищення дихлоретану відіграють в хімічній промисловості велику роль. Від точності підтримання технологічних параметрів у встановлених межах залежить якість роботи установки.

Системами, які забезпечують діагностику а також усунення порушень, видачу рекомендацій оператору, проведення технологічного процесу за умов оптимальних чи можливо близьких до оптимальних являються автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП).

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ДИХЛОРЕТАНУ ВІД ВАЖКИХ КОМПОНЕНТІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

## 1.1 Призначення стадії очищення дихлоретану і суть процесу ректифікації

Процес отримання 1,2-дихлоретану (ДХЕ) на підприємстві ТзОВ «КАРПАТНАФТОХІМ» реалізований за неперервною технологічною схемою та складатися з таких стадій:

- ректифікація ДХЕ з подальшим очищенням стічних вод від нього;
- синтез ДХЕ з етилену та абгазного хлору.

Стадія синтезу ДХЕ складається з двох паралельних технологічних ниток, що складаються з реактора хлорування та вузла конденсації абгазів. Абгази після хлоратора однієї з ниток прямують в додатковий реактор для дохлорування етилену, який залишився. Стадія ректифікації ДХЕ складається з однієї колони з проміжними ємностями, натомість вузол очищення стічних вод включає одну колону відпарювання ДХЕ з стічних вод стадії синтезу ДХЕ з збірниками.

Процес ректифікації ДХЕ призначений для очищення ДХЕ від важкокиплячих (в.к.к.) компонентів, наявність яких у вихідному продукті небажана. До (в.к.к.) компонентів відносяться вода, солі металів, трихлоретан та інші продукти процесу синтезу.

Як відомо процес ректифікації служить для розділення різноманітних сумішей, які мають різні температури кипіння, на окремі складові (компоненти). Компонент, який кипить при відносно нижчій температурі кипіння, називається низькокиплячим (н.к.к.), а інший, який кипить при вищій температурі, називається (в.к.к.).

Суть ректифікації заключається у багатократному контактуванні нерівноважних парової та рідкої фази, у результаті якого протікають процеси теплообміну та масообміну та система досягає стану рівноваги. В цей же час проходить вирівнювання температур та тисків в фазах і перерозподіл компонентів між ними. Даний процес проводиться в колонах, що представляють собою

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вертикальні циліндричні апарати усередині яких, на різних висотах, змонтовані тарілки чи насадки для контакту пари із рідинами.

## 1.2 Характеристика сировини і одержуваних продуктів

### 1.2.1 Сировина

Сировиною установки для очищення ДХЕ від висококиплячих компонентів є ДХЕ, який надходить з стадії синтезу ДХЕ. Після стадії синтезу ДХЕ дихлоретан має різні домішки, кількість яких наведеної у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Вміст домішок в дихлоретані

Найменування речовини	Відсотковий вміст, %
H <sub>2</sub> O	2,30
сполуки заліза	0,10
1,2 – дихлоретан (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> )	95,0
легкокиплячі	0,90
трихлоретан	1,70

### 1.2.2 Продукти установки очищення ДХЕ

Вихідними продуктами установки, яка призначена для очищення ДХЕ від важкокиплячих речовин є дихлоретан та висококиплячі компоненти.

Молярна маса ДХЕ - 99 кг/кмоль.

ДХЕ в нормальних умовах являє собою прозору, безбарвну, летку рідину з характерним солодкуватим запахом. Отруйний, горючий, вибухонебезпечний та важчий від води. Основні фізико-хімічні властивості ДХЕ зображені у таблиці 1.2.

У випадку вдихання парів та проникнення через шкіру викликає зміни у печінці та нирках. ДХЕ представляє собою слабкий наркотик. У випадку попадання на шкіру викликає незначні подразнення. У випадку потрапляння всередину організму 30 мл ДХЕ усе може закінчитися смертельно.

Гранично-допустима концентрація (ГДК) у повітрі виробничого приміщення - 1 мг/м<sup>3</sup>.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.2 - Фізико-хімічні властивості ДХЕ

Найменування показника	Значення показника
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1250,0
Температура замерзання, °С	мінус 26,0
Температура кипіння, °С	84,0
Температура спалаху, °С	13,0
Границі вибуховості у суміші із повітрям, % об.:	
- нижня межа	6,20
- верхня межа	16,0

Дихлоретан, поступаючий на піроліз, повинен мати наступні характеристики (табл.1.3).

Таблиця 1.3 - Вміст компонентів в сировині

Найменування речовини	Вміст
1,2 - дихлоретан	99,20
трихлоретан, % об.	0,0020
легко киплячі, % об.	0,0070
Хлорне залізо, % об.	0,000050
H <sub>2</sub> O, % мас.	0,0010

В.к.к., які відокремлюються на стадії очищення ДХЕ є трихлоретан і хлорне залізо.

Трихлоретан представле собою безколірну речовину з запахом, котрий нагадує запах хлороформу. Температура його кипіння 88 °С. Трихлоретан малорозчинний у воді та добре розчинний у органічних розчинниках, надзвичайно добре розчиняє жири, малотоксичний, воски смоли, негорючий.

Хлорне залізо представля собою брудно-жовту, кристалічну, негорючу речовину. Добре розчиняється в воді та сильно окислює метали.

Хлорне залізо дуже слабо отруйне, але в той же час сильно подразнює шкіру та слизову оболонку. Особливо небезпечно є попадання його в очі.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Аналіз технологічної схеми блоку очищення ДХЕ

У колоні С-402 важкокиплячий дихлоретан, який приходить з стадії прямого хлорування, очищується від в.к.к.. Дихлоретан, що поступає на піроліз має містити не більше 0,80% мас. інших речовин. Вміст в.к.к. при нормальному навантаженні становить близько 2,0% (допускається максимально до 3,0%). При номінальному навантаженні близько 7,50% живлення колони переводиться у вигляді кубового продукту.

У колону С-402 на 25 тарілку із ємностей поступають пари дихлоретану.

Колона С-402 складається з 51 клапанної тарілки. Температура куба колони становить приблизно 100 °С. Температура верха колони становить приблизно 90 °С. Тиск верха колони становить приблизно 0,12 МПа. Перепад тиску по колоні приблизно 0,4 МПа.

Обігрів колони С-402 відбувається циркулюючим дихлоретаном, котрий подається через теплообмінник Е-405.

Виведення в.к.к. із куба колони С-402 здійснюється насосом Р-405 через фільтри. Витрата кубового продукту становить 5,62 м<sup>3</sup>/год. У випадку потратляння в колону С-402 вологи вивід кубового продукту повинен перекриватись для унеможливлення забруднення обладнання, полімеризації чи корозії.

У повітряному конденсаторі Е-1207 конденсуються вторинні пари вершу колони С-402.

Дихлоретан, який сконденсувався зливається у збірник V-402. Певна частина ДХЕ з збірника V-402 подається в колону в якості флегми насосом Р-404. Витрата флегми відбувається встановленням на флегмове число 0,6 на рівні 41,1 т/год.

Друга частина ДХЕ від насосу Р-404 направляється до складу живильного ДХЕ печей піролізу.

Витрата ДХЕ в загальному на склад становить 68,35 т/год.

У збірнку флегми V-402 повинна встановлюватись температура на рівні 53 °С. Для підтримання даної температури на встановленому рівні повинні вмикатись чи вимикатись вентилятори, які встановлені на повітряних холодильниках Е-1207.

Із збірника V-402 виводяться несконденсовані легкокиплячі та інертні гази.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

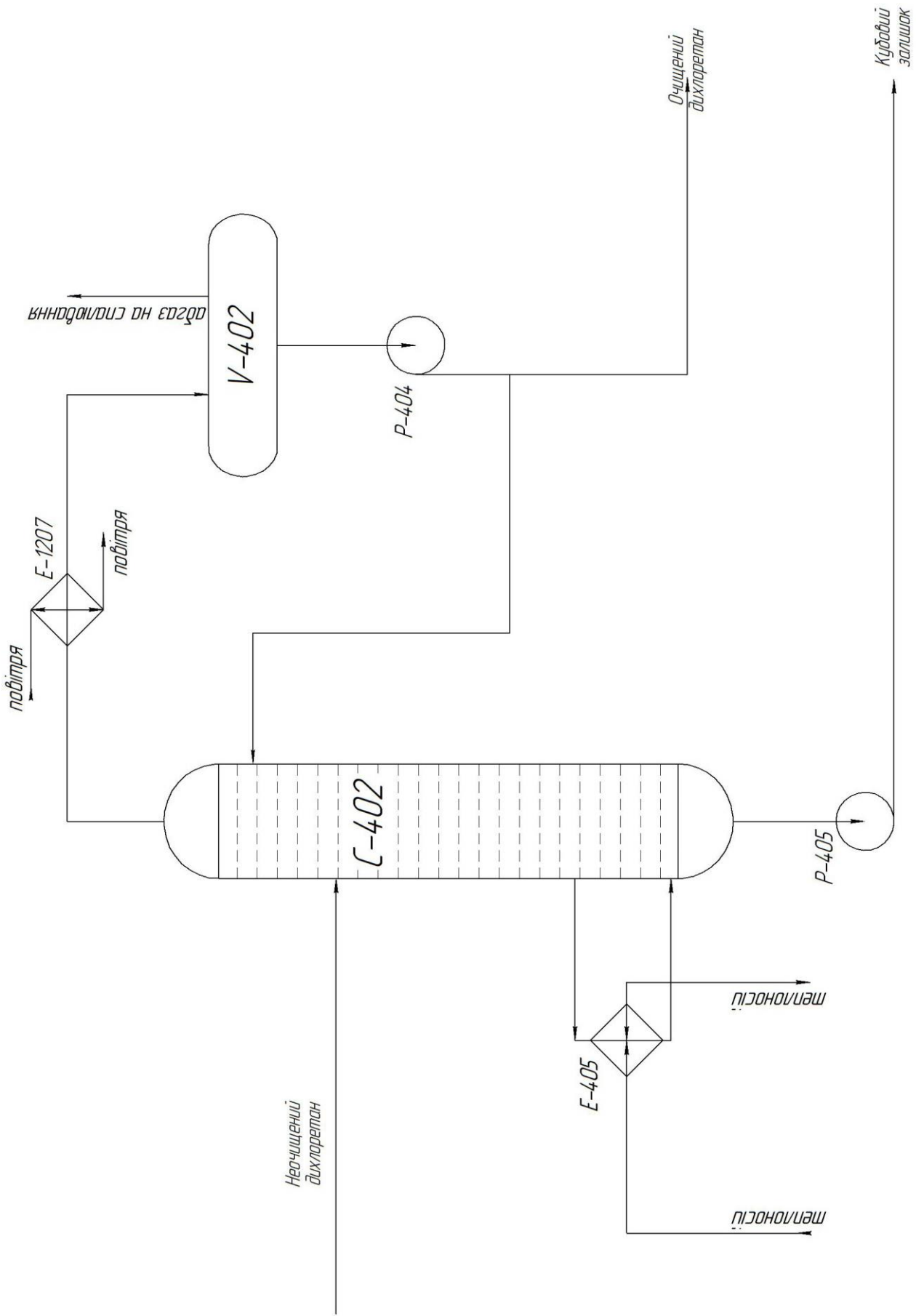


Рисунок 1.1 - Технологічна схема установки очищення дихлоретану від важкокиплячих речовин

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

#### 1.4 Технічні характеристики задіяного технологічного обладнання

Узагальнені технічні характеристики технологічного обладнання зображені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Технічна характеристика технічного обладнання

Позначення	Назва	Матеріал	Характеристики
C-402	Колона відокремлення в.к.к.	Сталь	Вертикальний циліндричний апарат. Робочий тиск 0,12 МПа. Робоча температура 86-104 °С. Діаметр - 3,9 м. Висота - 32,5 м. Кількість клапанних тарілок 51 шт. Розрахунковий тиск 0,2 МПа. Апарат ізольований. Товщина ізоляції 0,08 м. Розрахункова температура 200 °С.
P-405	Насос	Чавун	Тиск всмоктування - 0,12 МПа. Напір - 0,2 МПа. Робоча температура - 35 °С. Тиск нагнітання - 0,38 МПа. Число обертів ел. двигуна - 3000 об/хв. Продуктивність - 1,0 м <sup>3</sup> /год. Потужність ел. двигуна - 7,5 кВт
E-1207	Конденсатор повітряний	Сталь	Представляє собою горизонтальний пакет ребристих труб, котрі продуваються повітрям, яке йде від вентиляторів. Продуктивність конденсатора 30,5 кг/с. Середовище 1,2 - дихлоретан. Робочий тиск: на виході 0,11 МПа; на вході 0,12 МПа. Робоча температура: - на виході 32,9 °С; - на вході 89,5 °С.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Позначення	Назва	Матеріал	Характеристики
P-404	Насос	Чавун	Відцентровий насос. Напір - 0,25 МПа. Продуктивність - 1,0 м <sup>3</sup> /год. Тиск нагнітання - 0,4 МПа. Тиск всмоктування - 0,16МПа. Число обертів ел. двигуна - 3000 об/хв. Потужність ел. двигуна - 7,5 кВт. Робоча температура - 100 °С.
E-405	Виносний циркуляційний випарник	Сталь	Кожухотрубний теплообмінний апарат, який має всередині 4 перегородки. Міжтрубний простір - водяна пара. Робочий тиск в міжтрубному просторі - 0,102 МПа. Трубний простір - дихлоретан. Робочий тиск у трубному просторі - 0,16 МПа. Поверхня теплообміну - 740 м <sup>2</sup> . Робоча температура в трубному просторі - 100 °С. Кількість трубок - 2618. Діаметр корпусу - 2,4 мм. Робоча температура в міжтрубному просторі - 120 °С.
V-402	Збірник флегми	Сталь	Горизонтальний циліндроподібний апарат. Робоча температура - 86 °С. Робочий тиск - 0,12 МПа. Довжина - 7,6 м. Розрахунковий тиск - 0,2 МПа. Розрахункова температура - 200 °С. Діаметр - 3,4 м.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## **1.5 Параметри контролю і регулювання на установці**

Серед основних параметрів контролю можна віднести тиск, температуру, витрату, рівень.

### **1.5.1 Тиск в колоні С-402**

Значення тиску в колоні впливає на якість випаровування компонентів. У випадку збільшенні тиску якість випаровування погіршується та більша кількість дихлоретану переходить в куб, а у випадку зменшення тиску у вихідний продукт можуть попадати в.к.к., що є не бажаним. Враховуючи це тиск в колоні потрібно підтримувати на рівні, який встановлений технічними умовами. Зміни температури верху колони приводять до зміни виходу дихлоретану та втрати його якості.

### **1.5.2 Температура верху колони С-402**

Температура верху колони С-402 є одним із достатньо важливих технологічних параметрів, котрі безпосередньо впливають на нормальну роботу колони. Ця температура повинна бути в межах, які задані в технологічному регламенті. На досліджуваній установці проводиться контоль даної температури. Зміна температури верху колони С-402 впливає на якість продукту, який виходить тобто дихлоретану.

### **1.5.3 Температура в збірнику флегми V-402**

Температура флегми у збірнику V-402 впливає на роботу усієї установки. З урахуванням того, що флегма з збірника потрапляє в якості зрошення, її температура є досить важливою для перебігу процесу.

Регулювання температури здійснюється зміною частоти обертання двигунів повітряного конденсатора.

### **1.5.4 Рівень рідини в колоні С-402**

Певний рівень продукту завжди підтримується внизу колони. Даний рівень

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створює гідравлічний затвор та не дає можливості попадання газової суміші у відцентровий насос. У випадку попадання речовин в пароподібному стані у насоси, вони перестають перекачувати кубовий залишок та починають працювати «самі на себе». Також може спостерігатися технологічне явище кавітації, котре мліже викликати поломку насосів чи арматури.

### 1.5.5 Витрата рідини в колону С-402

Витрата сировини, що подається на очищення являться важливим параметром роботи ректифікаційної колони. Дану витрату потрібно контролювати з метою підтримання матеріального балансу колони.

Дане регулювання здійснюється електромагнітним клапаном, що встановлений на лінії подачі дихлоретану на очистку.

Значення параметрів контролю і регулювання наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Параметри контролю і регулювання

Вид параметрау	Позиція на ФСА	Одиниця вимірювання параметрів	Значення параметрів
Тиск в колоні С-402	9	МПа	0,12
Температура верху колони С-402	8	°С	90
Рівень в колоні С-402	6	м	1
Температура у збірнику флегми	14	°С	53
Витрата сировини в колону С-402	1	кг/год	55

### 1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Основною задачею системи автоматичного управління технологічним процесом очищення дихлоретану на установці очищення дихлоретану являється ректифікація дихлоретану і відділення його від важких компонентів. При

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

підтриманні системою автоматизації постійних значень температури, рівня і тиску у ректифікаційній колоні відбувається очищення дихлоретану і забезпечення максимальної якості продукту.

Існуюча система автоматизації не в змозі задовольнити високі вимоги до точності та якості регулювання параметрів, а також дана система характеризується великою кількістю регулюючих і реєструючих показників та контролюючих приладів, що встановлені на щиті оператора. Це все утворює труднощі не тільки в процесі керування, а ще й потребує значних витрат часу які пов'язані із спостереженням за контрольно-вимірювальними приладами. З врахуванням того, що технологічний процес є безперервним, то усі наведені фактори погіршують та ускладнюють роботу оператора, особливо у нічну зміну.

Система автоматизації, яка існує, побудована на використанні значної кількості пневматичних приладів та автоматичних регуляторів.

З метою покращення керування процесом очищення дихлоретану та для чіткого дотримання норм та заданої якості готової продукції доцільне встановлення багатофункціональної ЕОМ. Одними з таких засобів є мікропроцесорні контролери фірми «МІКРОЛ», котрі використовуються з метою вирішення широкого кола завдань.

Даний контролер може обслуговувати два контури регулювання з різною задачею на кожному контурі, та включає різноманітне поєднання аналогових, а також дискретних входів-виходів. Він забезпечує безударну заміну та безударне включення чи відключення, а також переключення контурів регулювання.

У вигляді джерел отримання та перетворення інформації запропоновано встановити засоби автоматизації, котрі безпосередньо за своїми технічними характеристиками мають можливість з'єднуватись з ЕОМ, оскільки мають уніфікований вихідний сигнал.

Даними засобами є перетворювачі виконані у вибухобезпечному виконанні, що здійснюють неперервне перетворення значень вимірюваного параметру (розрідження, тиску, витрати, рівня) в уніфікований струмовий сигнал, який має

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

дистанційну передачу.

### **Висновки до розділу**

Виконано аналіз процесу очищення ДХЕ від важкокиплячих компонентів, як об'єкта автоматизації.

Сировиною для даного процесу є дихлоретан, який поступає на установку з стадій хлорування. При чому він поступає з певною кількістю домішок саме від яких проводиться його очистка. В основу очистки дихлоретану покладений процес ректифікації.

Також в даному розділі було описано технологічне обладнання яке використовується на даній установці.

Для даної установки були вибрані параметри контролю і регулювання процесом. Було визначено, які саме параметри технологічного процесу найбільше впливають на перебіг технологічного процесу.

Здійснено вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Вибір об'єкта керування

Проаналізувавши установку очистки дихлоретану можемо сказати, що основним об'єктом даної установки є ректифікаційна колона. Процес ретифікації в даній колоні відбувається при температурі приблизно 90 °С та тиску 1,2 МПа. Як відомо основною задачею ректифікаційної колони є отримання очищеного дихлоретану, якість та чистота якого істотно впливає на процес виготовлення дихлоретану.

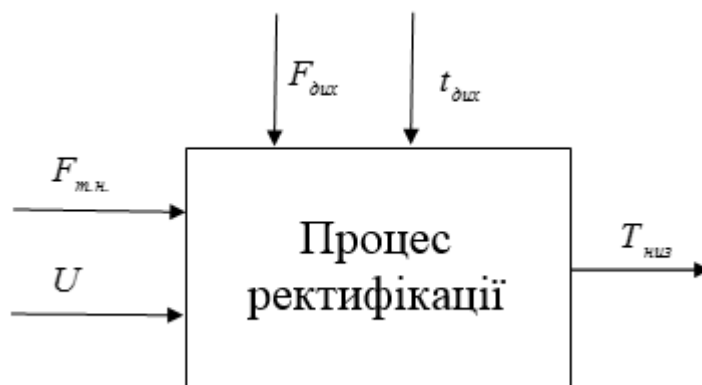
Дихлоретан, який неочищеним поступає в ректифікаційну колону з блоку (установки) синтезу дихлоретану у якому відбувається виготовлення дихлоретану, проходячи теплообмінники та нагріваючись до потрібної температури. У низу колони є теплообмінник Е-405, у якому за рахунок тепла яке передається у теплообміннику від гарячої пари неочищеному дихлоретану відбувається підтримання робочої температури у низу ректифікаційної колони.

Отже, для нормальної роботи установки очищення дихлоретану необхідно забезпечити теплові і матеріальні баланси за певними основними потоками.

Отже основною частиною ректифікаційної колони є теплообмінник. Виходячи з цього основною задачею САК для даного об'єкту керування буде підтримування заданої температури в низу колони. Дану температуру низу колони доцільно регулювати подачею теплоносія в теплообмінник. В результаті досліджень встановлено, що на тепловий баланс низу колони впливає ціла низка параметрів, а основні з них подані на рисунку 2.1.

Здійснивши аналіз можна дійти висновку, що для стабілізації температурного режиму низу колони доцільно застосувати каскадну САК, оскільки основний канал регулювання є надзвичайно інерційним. Крім цього в колоні доцільно вести контроль температури і тиску у багатьох точках по усій висоті апарату.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$t_{дих}$  - температура поступаючого у колону неочищеного дихлоретану;  $F_{дих}$  - подача неочищеного дихлоретану в колону;  $U$  - відсоток відкриття клапану на лінії подачі теплоносія у колону;  $T_{низ}$  - величина температури низу колони;

$F_{т.н.}$  - величина витрати теплоносія в випарник

Рисунок 2.1 - Структурна схема керованого об'єкту (низу ректифікаційної колони), як об'єкта керування

## 2.2 Основні показники якості та критерії оптимальності системи автоматичного керування

З урахуванням того, що метою системи автоматизації є підтримання температури низу ректифікаційної колони для нормального протікання процесу очищення дихлоретану. Дане регулювання проводиться витратою теплоносія, який подається в теплообмінник.

З метою оптимізації процесу регулювання температури та відповідно підтримання технологічних параметрів процесу у встановлених межах виберемо такі показники якості для САК:

- запас стійкості по фазі -  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ;
- перерегулювання - менше 20%;
- степінь затухання коливань - 0,75-0,95%;
- відхилення керованої величини від певного усталеного значення - менше 5%;
- величина запасу стійкості за амплітудою - 0,5-0,6;
- максимальна похибка апроксимації експериментальних характеристик - 2,5%.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Експериментальне дослідження динаміки об'єкта керування

Експериментальне дослідження розпочнемо з проведення активного експеримента. З цією метою використаємо метод аперіодичних вхідних впливів типу «стрибок». Результатом експерименту буде отримання перехідної характеристики.

Отримані результати активного експерименту за основним та допоміжним каналами регулювання приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Експериментально отримані показники по основному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - температура низу колони»

t, с	%, вх	$T_{низ}$ , °С
0	15	40
20	15	40
40	15	50,5
60	15	63,12
80	15	74,42
100	15	80,9
120	15	84,79
140	15	86,98
160	15	88,25
180	15	88,92
200	15	89,41
220	15	89,66
240	15	89,80
260	15	89,88
280	15	89,93
300	15	89,96
320	15	89,98
340	15	90
360	15	90
380	15	90
400	15	90

Таблиця 2.2 - Експериментально отримані показники по допоміжному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - витрата теплоносія в випарник»

t, c	%, ВХ	$F_{m.n.}$ , м <sup>3</sup> /ГОД
0	15	4,4
20	15	6,2
40	15	7,2
60	15	7,8
80	15	8,2
100	15	8,4
120	15	8,5
140	15	8,7
160	15	8,7
180	15	8,77
200	15	8,78
220	15	8,8
240	15	8,8
260	15	8,8
280	15	8,8
300	15	8,8
320	15	8,8
340	15	8,8
360	15	8,8
380	15	8,8
400	15	8,8

Відповідно до результатів активного експерименту, які наведені в таблицях 2.1 та 2.2 побудуємо перехідні характеристики за основним (% відкриття регулюючого органу - температура низу колони) та допоміжним (% відкриття регулюючого органу - витрата теплоносія в випарник) каналами регулювання (рисунки 2.2 та 2.3).

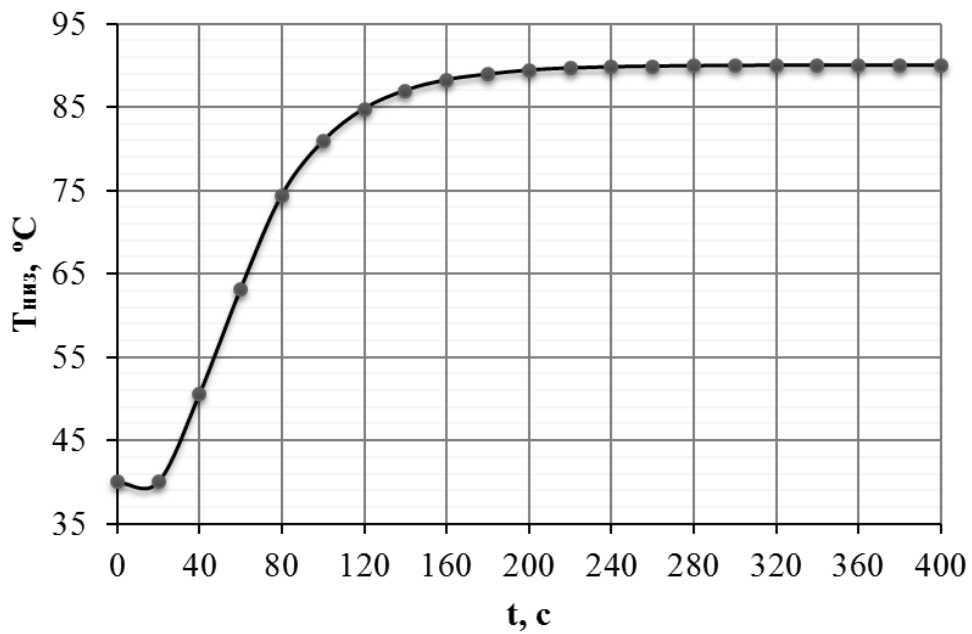


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика по основному каналу регулювання  
«% відкриття регулюючого органу - температура низу колони»

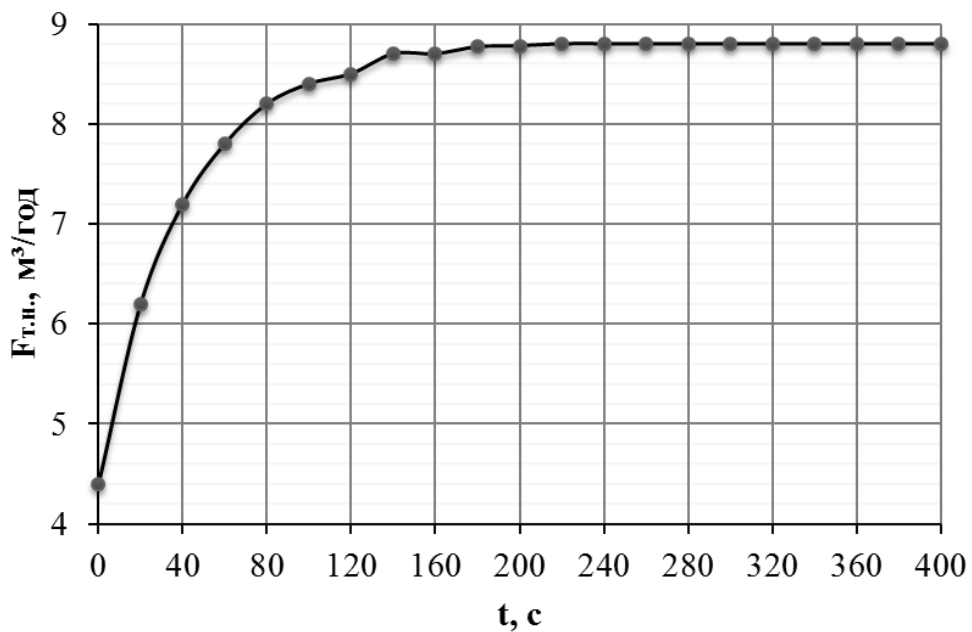


Рисунок 2.3 - Перехідна характеристика по допоміжному каналу регулювання  
«% відкриття регулюючого органу - витрата теплоносія в випарник»

З метою виконання подальшого аналізу експериментально отриманих даних нам виявляється потрібним перетворити характеристику до вигляду безрозмірних величин:

$$X_{exi}^* = \frac{X_{exi} - X_{ex0}}{X_{ex\max} - X_{ex0}}, \quad Y_{vixi}^* = \frac{Y_{vixi} - Y_{vix0}}{Y_{vix\max} - Y_{vix0}}, \quad (2.1)$$

де  $X_{вхi}$ ,  $Y_{вихi}$  - біжучі значення вхідної і вихідної величин в розмірних одиницях;

$X_{вх0}$ ,  $Y_{вих0}$  - значення вхідних вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт (КО);

$X_{вхmax}$  - максимальне значення вхідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{вихmax}$  - значення вихідної величини після закінчення перехідного процесу в розмірних одиницях.

Проведемо розрахунки для основного каналу (% відкриття регулюючого органу - температура низу колони):

$$x_{вх} = 1;$$

$$y_{вих0} = \frac{40,0 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,0;$$

$$y_{вих1} = \frac{40,0 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,0;$$

$$y_{вих2} = \frac{50,5 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,21;$$

$$y_{вих3} = \frac{63,12 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,462;$$

$$y_{вих4} = \frac{74,42 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,688;$$

$$y_{вих5} = \frac{80,9 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,818;$$

$$y_{вих6} = \frac{84,79 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,896;$$

$$y_{вих7} = \frac{86,98 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,94;$$

$$y_{вих8} = \frac{88,25 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,965;$$

$$y_{вих9} = \frac{88,92 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,978;$$

$$y_{вих10} = \frac{89,41 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,988;$$

$$y_{вих11} = \frac{89,66 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,993;$$

$$y_{вих12} = \frac{89,80 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,996;$$

$$y_{вих13} = \frac{89,88 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,998;$$

$$y_{вих14} = \frac{89,93 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,999;$$

$$y_{вих15} = \frac{89,96 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 0,999;$$

$$y_{вих16} = \frac{89,98 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 1,0;$$

$$y_{вих17-20} = \frac{90,0 - 40,0}{90,0 - 40,0} = 1,0.$$

Згрупуємо отримані результати у таблиці 2.3.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.3 - Експериментально отримані показники по основному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - температура низу колони» у безрозмірних одиницях

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0
20	1	0
40	1	0,21
60	1	0,462
80	1	0,688
100	1	0,818
120	1	0,896
140	1	0,94
160	1	0,965
180	1	0,978
200	1	0,988
220	1	0,993
240	1	0,996
260	1	0,998
280	1	0,999
300	1	0,999
320	1	1
340	1	1
360	1	1
380	1	1
400	1	1

На основі даних представлених в таблиці 2.3 збудуємо експериментальну перехідну характеристику в безрозмірних одиницях (рисунок 2.4).

Апроксимацію проводимо за допомогою ПК, використовуючи програмний продукт Аргох. Отримали передавальну функцію такого вигляду:

$$W(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \quad (2.2)$$

Найбільша похибка апроксимації знаходиться в точці  $t = 60c$  рівна 1,5% (додаток А1).

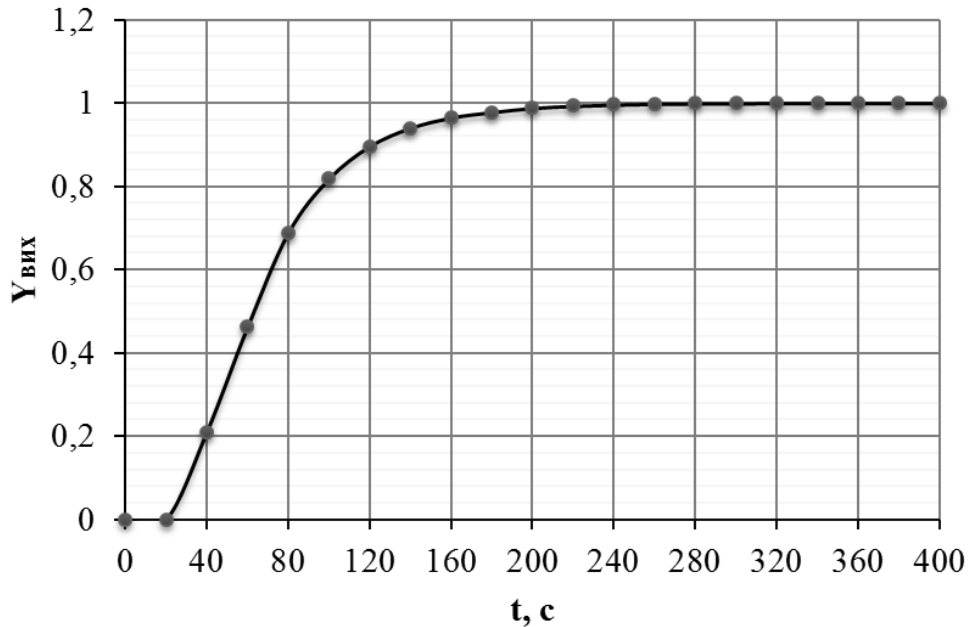


Рисунок 2.4 - Перехідна характеристика по основному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - температура низу колони» у безрозмірних одиницях

На основі наведених вище виразів здійснимо апроксимацію даних за допоміжним каналом регулювання:

$$x_{ex} = 1;$$

$$y_{вих0} = \frac{4,40 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,0;$$

$$y_{вих1} = \frac{6,20 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,40;$$

$$y_{вих2} = \frac{7,20 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,640;$$

$$y_{вих3} = \frac{7,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,770;$$

$$y_{вих4} = \frac{8,20 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,860;$$

$$y_{вих5} = \frac{8,40 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,910;$$

$$y_{вих6} = \frac{8,50 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,930;$$

$$y_{вих7} = \frac{8,70 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,980;$$

$$y_{вих8} = \frac{8,70 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,980;$$

$$y_{вих9} = \frac{8,770 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,9930;$$

$$y_{вих10} = \frac{8,780 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 0,9950;$$

$$y_{вих11} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих12} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих13} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих14} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих15} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих16} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих17} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих18} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих19} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0;$$

$$y_{вих20} = \frac{8,80 - 4,40}{8,80 - 4,40} = 1,0.$$

Отримані результати прогрупуємо у таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - Оброблені експериментальні дані по допоміжному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - витрата теплоносія в випарник» в безрозмірних одиницях

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0
20	1	0,4
40	1	0,64
60	1	0,77
80	1	0,86
100	1	0,91
120	1	0,93
140	1	0,98
160	1	0,98
180	1	0,993
200	1	0,995
220	1	1

$t, c$	$x_{ex}$	$y_{вих}$
240	1	1
260	1	1
280	1	1
300	1	1
320	1	1
340	1	1
360	1	1
380	1	1
400	1	1

На основі таблиці 2.4 збудуємо в безрозмірних одиницях експериментальну перехідну характеристику за каналом регулювання витрати теплоносія (рисунок 2.5).

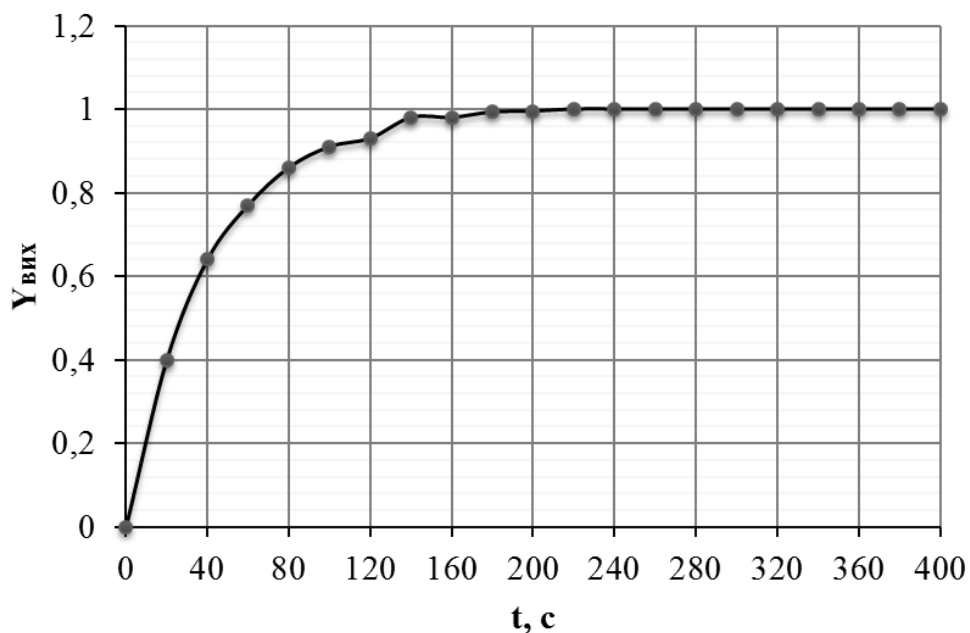


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика по допоміжному каналу регулювання «% відкриття регулюючого органу - витрата теплоносія в випарник» в безрозмірних одиницях

Апроксимуємо отриману перехідну характеристику і використовуючи програму Аргох отримаємо наступну функцію передачі:

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$W(p) = \frac{1}{39.853p + 1}. \quad (2.3)$$

Найбільша похибка апроксимації знаходиться в точці  $t = 120\text{с}$  рівна 2,0% (додаток А2).

### Висновки до розділу

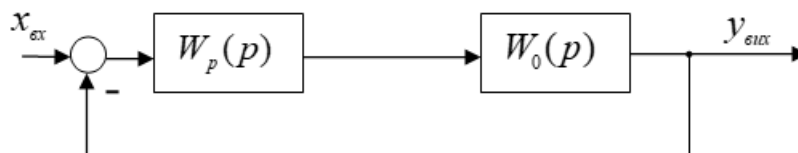
Вибраний, а також обґрунтований об'єкт керування, здійснено визначення його структурної схеми з точки зору автоматизації. Проведено апроксимацію експериментально отриманих даних, котрі були отримані як результат активного експерименту. На основі цих даних вначено функцію передачі об'єкта по двох каналах регулювання.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Розрахунок параметрів одноконтурної АСК

Функціональна схема апарату у спрощеному вигляді за умови використання одноконтурної АСК представлена на рисунку 3.1.



$W_p(p)$  - функція передачі регулятора;  $W(p)$  - функція передачі об'єкта керування

Рисунок 3.1 - Алгоритмічна структура одно контурної АСК

Об'єкт, який досліджується у даному розділі, являється об'єктом, що володіє самовирівнюванням, та котрий працює за умови повного завантаження. З метою досягнення необхідним показників якості автоматичного регулювання та як очевидно для забезпечення адекватної якості досліджуваного перехідного процесу та покращення стійкості системи автоматизації виберемо регулятор, котрий володіє ПІ – законом автоматичного регулювання та має таку функцію передачі у символічному вигляді:

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

В процесі визначення параметрів ПІ-регулятора  $C_0$  і  $C_1$  визначимо функцію передачі для замкнутої системи автоматичного керування. Для одноконтурної системи функція передачі розімкненої системи має такий вигляд:

$$W_{роз}(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot W_p(p); \quad (3.2)$$
$$W_{роз}(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} =$$
$$= \frac{(-10.536p + 1)(C_1 p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}.$$

У загальному вигляді функція передачі замкнутої системи має вигляд:

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$W_{зам}(p) = \frac{\frac{(-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}}{1 + \frac{(-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}} =$$

$$= \frac{(-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1 + (-10.536p + 1)(C_1p + C_0)}.$$

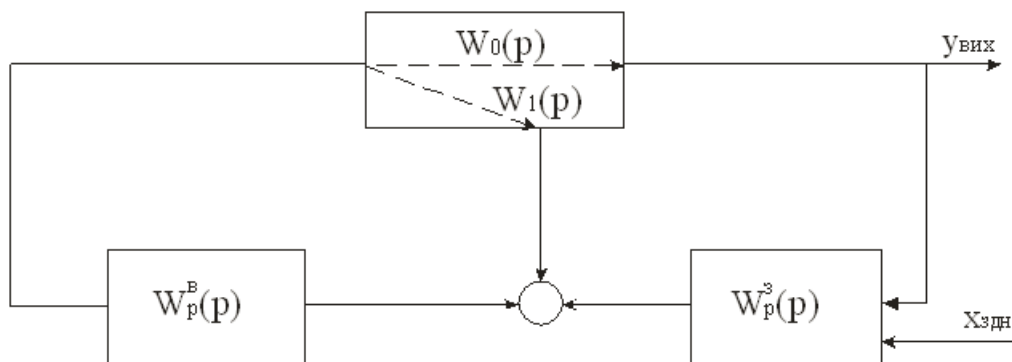
Встановлення оптимальних параметрів налаштування шуканого регулятора виконуємо за допомогою використання функції Tune, яка являється складовою програми MatLAB. Відповідно до результатів представлених у додатку Б1 запишемо:  $K_p = C_1 = 0.5607$ ,  $K_i = C_0 = 0.0132$ .

Здійснивши підстановки одержимо:

$$W_{зам}(p) = \frac{-5.9075p^2 + 0.4216p + 0.0132}{5414.925p^3 + 1071.7495p^2 + 61.6446p + 1.0132}.$$

### 3.2 Розрахунок параметрів каскадної АСК

З метою реалізації такої АСК (рис. 3.2) необхідно до наявного основного контуру автоматичного регулювання додати допоміжний малоінерційний контур автоматичного регулювання, яким являється контур автоматичного регулювання витрати теплоносія.



$W_p(p)$  - функція передачі регулятора;  $W(p)$  - функція передачі об'єкта керування

$W_p^6(p)$  - функція передачі внутрішнього регулятора;  $W_p^3(p)$  - функція передачі зовнішнього регулятора

Рисунок 3.2 - Алгоритмічна структура каскадної АСК

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Процес дослідження каскадної АСК почнем з розрахунку основного регулятора функція передачі якого у символьному вигляді є наступною:

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

Виконаємо припущення, що деяка робоча частота наявного основного контуру  $W_p'$  буде принципово меншою за поточну робочу частоту допоміжного контуру  $W_p''$ . Отож при  $W = W_p'$  справедливою представлятиметься нерівність такого вигляду:

$$\frac{1}{(W_p^e(j\omega))} \ll (W_1(j\omega)). \quad (3.5)$$

Із урахуванням попередньої нерівності очевидно, що  $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$  а оскільки значення  $W_0(p)$  і  $W_1(p)$  відомі, то:

$$\begin{aligned} W_e'(p) &= \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} = \\ &= \frac{1}{39.853p + 1} \\ &= \frac{-419.8912p^2 + 29.317p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1}. \end{aligned}$$

Процес розрахунку параметрів регулятора проведемо за допомогою вбудованої функції Tune в програму Matlab. У якості регулятора для такого контуру виберемо ПІ-регулятор. Відповідно до результатів представлених у додатку Б2 запишемо:  $K_p = C_1 = 0,3883$ ,  $K_i = C_0 = 0,02416$ .

Підставивши отримані представлені у додатку Б2 результати одержимо:

$$W_p^s(p) = \frac{0,3883p + 0,02416}{p}. \quad (3.6)$$

Функція передачі допоміжного каналу регулювання у символьному вигляді є наступною:

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

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавши підстановку отриманих вище результатів:

$$W''(p) = \frac{-10.536p + 1}{5414.925p^3 + 1077.657p^2 + 61.223p + 1} \cdot \frac{0,3883p + 0.02416}{p} + \frac{1}{39.853p + 1} =$$

$$= \frac{5414.925p^4 + 914.613p^3 + 62.4622p^2 + 2.0966p + 0.02416}{215801.006p^5 + 48362.7894p^4 + 3517.577p^3 + 101.076p^2 + p}$$

Процес розрахунку параметрів регулятора здійснимо за допомогою вбудованої функції Tune в програму Matlab. У якості регулятора для такого контуру виберемо ПІ-регулятор. Відповідно до результатів представлених у додатку Б2 запишемо наступну функцію передачі:

$$W_p^e(p) = \frac{79.63p + 2.781}{p}$$

Для каскадної АСР еквівалентна функція передачі є наступною:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p) + W_1(p)W_p^e(p) + 1}. \quad (3.7)$$

Виконавши певні підстановки та перетворення одержимо:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{-12983.17p^4 - 354.75p^3 + 90.77p^2 + 4.97p + 0.0672}{215801p^6 + 479553.267p^5 + 91407.14p^4 + 7618.48p^3 + 341.66p^2 + 7.75p + 0.067}$$

### 3.3 Дослідження на стійкість одноконтурної АСР

Користуючись критерієм Михайлова автоматична система регулювання, яка у загальному описується за допомогою рівняння яке має  $n$ -ний порядок, являється стійкою, у тому випадку коли годограф Михайлова послідовно пройде  $n$  квадрантів проти годинникової стрілки.

Характеристичний поліном для одноконтурної АСР має такий вигляд:

$$F(p) = 5414.925p^3 + 1071.7495p^2 + 61.6446p + 1.0132.$$

Прирівняний до нуля поліном має такий вигляд:

$$5414.925p^3 + 1071.7495p^2 + 61.6446p + 1.0132 = 0.$$

Виконаємо заміну  $p = j\omega$ :

$$-5414.925j\omega^3 - 1071.7495\omega^2 + 61.6446j\omega + 1.0132 = 0.$$

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

З останнього поліному виділимо дійсну а також уявну частини:

$$P(\omega) = -1071.7495\omega^2 + 1.0132;$$

$$Q(\omega) = -5414.925\omega^3 + 61.6446\omega.$$

Використаємо Mathcad (Додаток В1) з метою відтворення годографа Михайлова. З наведених у додатку результатів бачимо, що годограф послідовно проходить три квадранти, що у повній мірі задовольняє умови критерію Михайлова. На основі отриманих даних можемо стверджувати, що система стійка.

### 3.4 Дослідження на стійкість каскадної АСР

Характеристичний поліном каскадної системи буде таким:

$$F(p) = 215801p^6 + 479553.267p^5 + 91407.14p^4 + 7618.48p^3 + 341.66p^2 + 7.75p + 0.067.$$

Прирівняний до нуля поліном має такий вигляд:

$$215801p^6 + 479553.267p^5 + 91407.14p^4 + 7618.48p^3 + 341.66p^2 + 7.75p + 0.067 = 0.$$

Виконаємо заміну  $p = j\omega$ :

$$-215801\omega^6 + 479553.267j\omega^5 + 91407.14\omega^4 - 7618.48j\omega^3 - 341.66\omega^2 + 7.75j\omega + 0.067 = 0.$$

З останнього поліному виділимо дійсну а також уявну частини:

$$P(\omega) = -215801\omega^6 + 91407.14\omega^4 - 341.66\omega^2 + 0.067;$$

$$Q(\omega) = 479553.267\omega^5 - 7618.48\omega^3 + 7.75\omega.$$

Використаємо програмний продукт Mathcad (Додаток В2) з метою відтворення годографа Михайлова. Із представлених у додатку результатів бачимо, що годограф послідовно проти годинникової стрілки проходить шість квадрантів, що в повній мірі задовольняє умови критерію Михайлова. На основі отриманих даних можемо стверджувати, що система стійка.

### 3.5 Оцінка якості керування за перехідними характеристиками

Із метою визначення якості перехідного процесу здійснимо визначення перехідної характеристики для одноконтурної системи автоматичного керування. Саму побудову здійснимо за допомогою програмного продукту Matlab а саме його компоненту Simulink (рис.3.3).

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

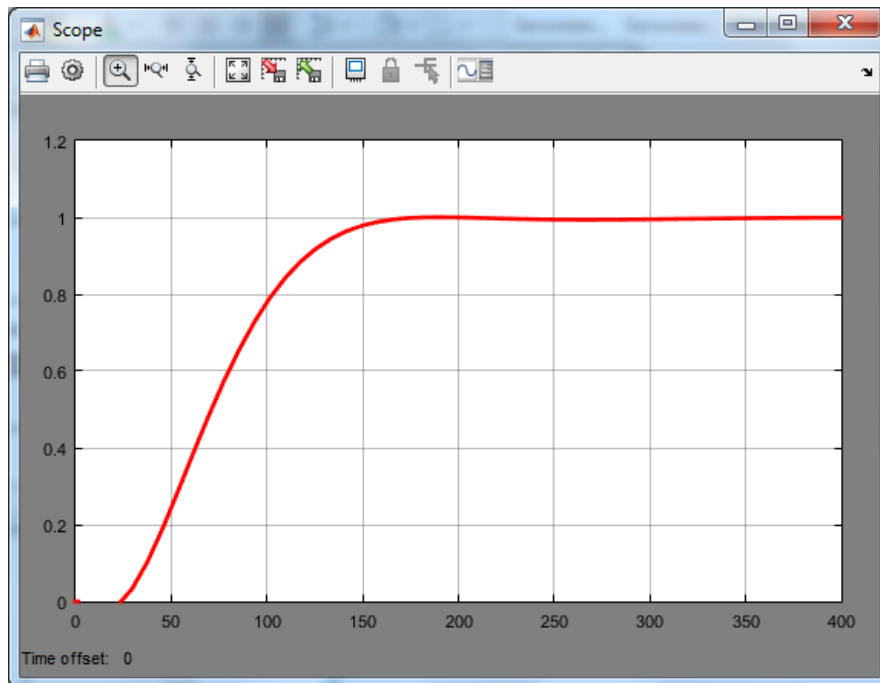
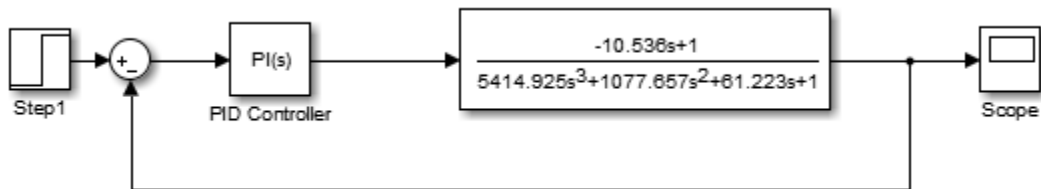


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика одноконтурної АСР

Виділимо такі показники якості:

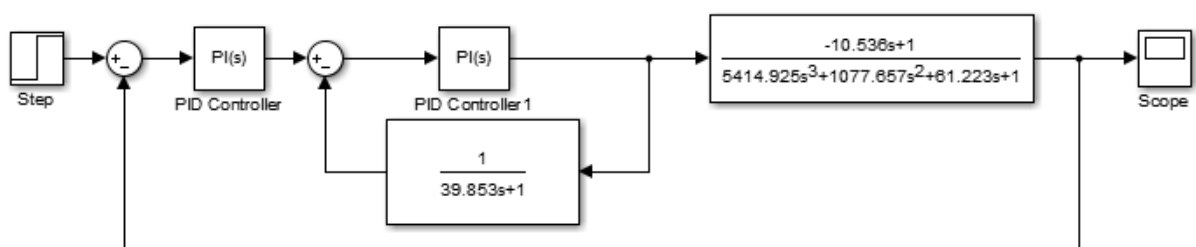
- час перехідного процесу:

$$t_n = 160 \text{ с};$$

- величина перерегулювання:

$$\delta = 0\% .$$

Аналогічним чином для каскадної автоматичної системи керування виконаємо побудову перехідної характеристики. Саму побудову здійснимо за допомогою програмного продукту Matlab а саме його компоненту Simulink (рис. 3.4).



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

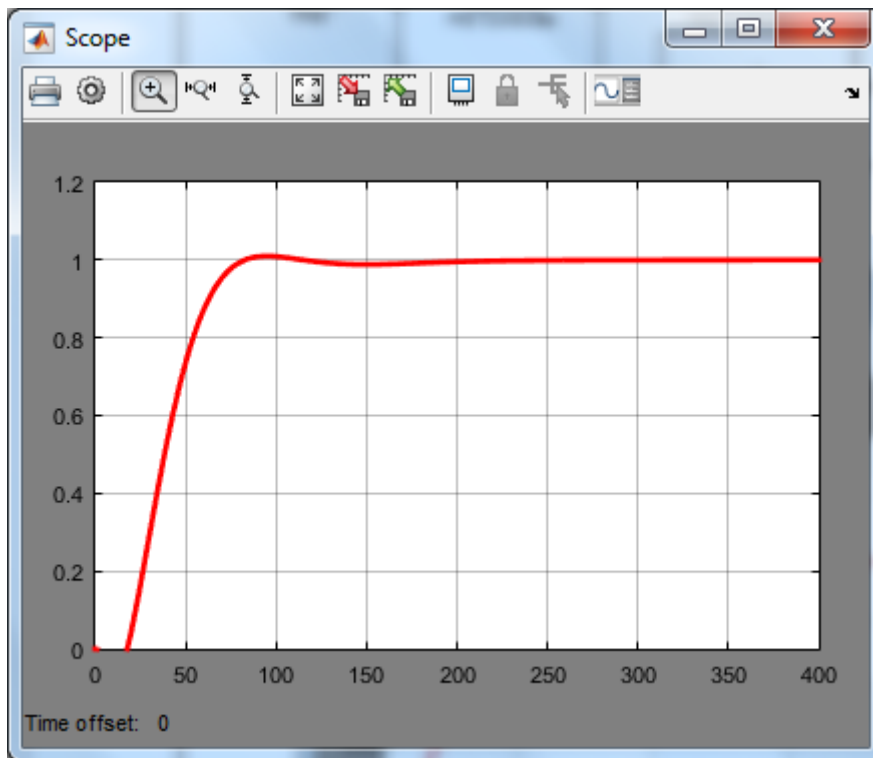


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика каскадної АСР

Виділимо такі показники якості:

- час перехідного процесу:

$$t_n = 80 \text{ с};$$

- величина перерегулювання:

$$\delta = 0\% .$$

### Висновки до розділу

Здійснено ґрунтовний аналіз автоматичної системи керування. Було досліджено каскадну і одноконтурну схеми керування.

Проведено визначення оптимальних параметрів налаштування для задіяних регуляторів у одноконтурній та каскадній системах автоматичного керування за допомогою використання програми Matlab.

Здійснено аналіз стійкості САК за критерієм Михайлова, який засвідчив, що обидві системи є стійкими.

Проведено моделювання САК та відображені їх перехідні характеристики за допомогою програмного пакету Matlab.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

### 4.1 Розробка структурної схеми ієрархічної системи керування

В процесі розробки проекту системи автоматизації необхідно у першу чергу встановити, із котрих безпосередньо місць усі учасники об'єкта будуть управлятися, а також де будуть розміщені пункти управління, усі операторські дільниці, яким являтиметься взаємозв'язок між усіма учасниками процесу, точніше потрібно вирішити питання загального вибору структури системи управління. Під загальною структурою системи управління розумітимемо деяку сукупність частин цілої автоматичної системи, на котрі така система може бути поділена за певним визначеним признаком, а також можливі шляхи передачі взаємодії між ними. Графічне відображення структури системи управління має назву структурної схеми. Структурною схемою називається графічне зображення структури управління. Дана схема є головним проектним документом, оскільки саме ним визначаються оптимальні канали для адміністративно-технічного а відповідно і оперативного управління цілим технологічним процесом для досягнення певних високих експлуатаційних показників.

На структурній схемі відображено в загальному вигляді основні рішення проекту по функціональній, організаційній і технічній структурах АСК з дотриманням ієрархії для системи а також певних взаємозв'язків між усіма пунктами контролю а також управління, оперативним персоналом а також технологічним об'єктом керування.

Систему автоматичного управління цілим технологічним процесом а також зборам даних будемо розробляти із урахування таких вимог:

- удосконалена (розроблена) система має забезпечувати надійну а також продуктивну роботу усього підприємства, виконуючи усі потрібні функції для управління, котрі безпосередньо пов'язані із процесом регулювання технологічними параметрами та захистом усього технологічного процесу та безпосередньо обладнання;

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

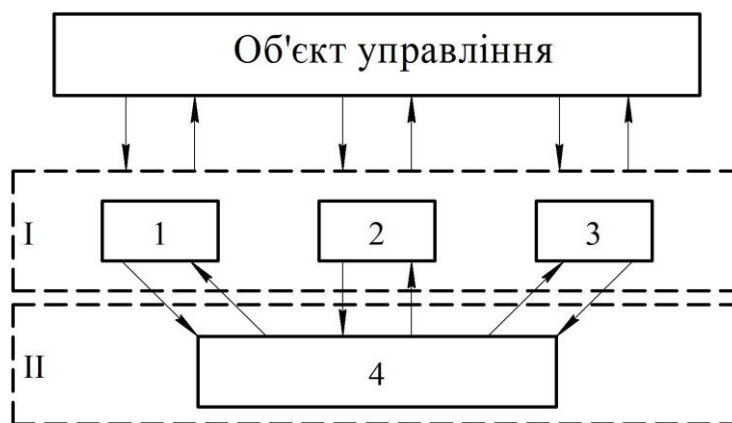
- система повинна забезпечувати видачу необхідної інформації для обліку та керування роботою підприємства;

- система повинна забезпечувати взаємодію, у певному реальному масштабі часу, поточного оператора і обслуговуючого персоналу із усім технологічним процесом та задіяним автоматизованим обладнанням, котре використовується у технологічному процесі.

Для досягнення мети керування для даного проєкту пропонується двоєрівнева система управління (рис. 4.1):

- перший рівень - місцеве управління агрегатами, що здійснюється апаратчиками з робочих постів;

- другий рівень - централізоване управління агрегатами, що входять в технологічний процес.



1, 2, 3 - цифрові регулятори і індикатори; 4 – ПЕОМ; I - перший рівень управління;

II - другий рівень управління

Рисунок 4.1 - Структурна схема АСК

У сьогоднішній інтерпретації «нижню» групу задач в ієрархії керування виробництвом відносять до систем типу SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) чи DCS (Distributed Control Systems). Обоє зазначених типів систем належать класу MMI (Man-Machine Interface), що означає «людино-машинний інтерфейс» у змісті забезпечення двостороннього зв'язку «оператор технологічне устаткування». Системи MMI усе частіше називають HMI (Human-Machine Interface). Це не змінює суті справи, але знімає легку дискримінацію стосовно жіночої статі (Man по-англійському і людина і чоловік).

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Вибір засобів автоматизації процесу очищення дихлоретану

### 4.2.1 Вибір контролера

Контролер є одним з найважливіших елементів в проектуваній системі. В якості регулятора застосуємо багатофункціональний мікропроцесорний контролер МІК-51.

МІК-51 призначений для автоматичного регулювання а також певного логічного керування різноманітними технологічними процесами. МІК-51 призначається для використання у енергетичній, електротехнічній, хімічній, харчовій, цементній, металургійній, скляній і іншій галузях промисловості. Загальний вигляд регулятора показаний на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 - Загальний вигляд регулятора МІК-51

Мікропроцесорний регулятор дозволяє здійснювати локальне, каскадне, програмне, багатозв'язне регулювання.

Архітектура контролера забезпечує можливість вручного або автоматично включати, відключати, переключати і реконфігурувати контури регулювання, з урахуванням того, що всі ці операції виконуються незалежно від складності структури керування. У сполученні з обробкою аналогових сигналів мікропроцесорний контролер МІК-51 дозволяє виконувати різноманітні логічні перетворення сигналів та виробляти не тільки аналогові чи імпульсні, але і дискретні команди керування.

Логічні функціональні блоки формують логічну програму крокового

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування з аналізом умов виконання кожного із кроків, завданням контрольного часу на кожному кроці й умовним чи безумовним переходом програми до заданого кроку. У сполученні з обробкою дискретних сигналів мікропроцесорний контролер МК-51 дозволяє виконувати усякі функціональні перетворення аналогових сигналів та виробляти не тільки дискретні, а ще й аналогові керуючі сигнали.

Мікропроцесорний контролер містить засоби оперативного керування, розташовані на лицьовій панелі контролера. Дані засоби дозволяють в ручному режимі змінювати режими роботи, установлювати завдання, виконувати керування ходом програми, у ручному режимі виконувати керування виконавчими пристроями, а також контролювати сигнали і реєструвати помилки. Елементи оперативного управління показані на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 - Складові оперативного управління

Датчики та виконавчі пристрої підключаються до мікропроцесорного контролера МК-51 за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків. Сигнали обробляються контролером в цифровій формі.

Мікропроцесорний контролер являє собою комплекс технічних засобів. У його склад входить центральний мікропроцесорний блок контролера і клемно-блочний з'єднувач. Центральний перетворює аналогову і дискретну інформацію в цифрову форму, веде обробку цифрової інформації і виробляє керуючі впливи.

Зазначений контролер являється проектно-компонованим виробом, що дозволяє користувачу вибрати потрібний комплект модулів розширення і блоків відповідно до числа та виду вхідних чи вихідних сигналів. Даний склад та ряд

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрів визначаються споживачем та вказуються у замовленні.

У структурі контролера МІК-51 передбачено наступне:

- До 9 незалежних контурів регулювання, кожний з яких може бути локальним чи каскадним, з аналоговим чи імпульсним виходом, із ручним, програмним чи супервізорним задатчиком.

- Більш 50 типів зашитих у ПЗУ функціональних блоків.

- До 99 використовуваних блоків з вільним їхнім заповненням будь-якими функціональними блоками із бібліотеки та вільним конфігуруванням між собою а також із входами/виходами контролера. Можливість ручної установки автопідстроювання будь-яких властивостей, параметрів і коефіцієнтів у будь-яких функціональних блоках.

- Зміна режимів керування, включення/відключення, переключення і реконфігурація контурів автоматичного регулювання будь-якого ступеня складності.

- Можливість оперативного керування регульованими контурами за допомогою використання клавіш передньої панелі, двох чотирьохрозрядних, а також одного трьохрозрядного цифрового індикатора а також певного набору світлодіодів, котрі дозволяють змінювати режими, установлювати завдання, керувати виконавчими механізмами, контролювати сигнали, індукувати аварійні ситуації. При програмному регулюванні засобу оперативного керування дозволяють вибрати необхідну програму, переходити до наступної ділянки програми, пускати, зупиняти чи скидати програму, а також контролювати хід виконання вибраної програми.

- З'єднання до 32 контролерів в локальну мережу, з урахуванням того, що в цю мережу можуть включатися також й інші моделі контролерів.

- Мікропроцесорні контролери МІК-51 можуть комплектуватися модулями розширення.

Кількість входів-виходів у базовій моделі контролера:

- аналогові входи - 4 (2 уніфіковані, 2 універсальні);

- аналогові виходи - 1;

- дискретні виходи - 5;

- дискретні входи – 3.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 - Загальні функціональні параметри регулятора МІК-51

Технічна характеристика	Значення
Максимальне число функціональних блоків у програмі	99
Число функціональних блоків	Не більше 50
Час циклу	Не більш 0,1 с
Погрішність цифрової обробки інформації: - підсумовування, вирахування - множення, ділення - вилучення квадратного кореня	0% 0,01% 0,1%
Годинник реального часу	З резервним живленням

#### 4.2.2 Вибір мікропроцесорних індикаторів

Щоб виконати індикацію параметрів технологічних процесів використовуватимемо мікропроцесорні індикатори ІТМ-22У, котрі відображають параметри вимірювання на змонтованому на лицьовій панелі цифровому індикаторі, виконують сигналізацію вимірюваного параметра а також мають можливість пересилати інформацію на ЕОМ для реєстрації. ІТМ-22У зображений на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 - Мікропроцесорний індикатор ІТМ-22У

ІТМ-22У має такі характеристики:

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- Універсальний багатофункціональний двоканальний індикатор-регулятор:
  - Призначений для виміру, контролю й автоматичного регулювання двох вхідних технологічних параметрів (температура, тиск, витрата, рівень і інших фізичних величин).
- У системі автоматизації може здійснювати такі функції:
  - Індикатора двох технологічних параметрів із уставками призначеними для сигналізації мінімуму а також максимуму.
  - Двопозиційного або трипозиційного регулювання температури, витрати, рівня, тиску та інших величин, значення яких може бути перетворене в універсальний сигнал.
  - Працює з датчиками як уніфікованих струмових сигналів, а також із датчиками температури (термоопір, термопара).
  - Забезпечує керування двопозиційним і трипозиційним навантаженням.
- Область застосування:
  - системи промислової автоматики;
  - системи цифрової індикації технологічних параметрів;
  - вилучені пристрої зв'язку з об'єктом з індикацією;
  - територіально розподілені й локальні системи керування;
  - вилучений збір даних, диспетчерський контроль, керування виробництвом.
- Додаткові функціональні можливості:
  - підключені до приладу джерела сигналів гальванічно ізольовані між собою й ізольовані від інших ланцюгів приладу;
  - індикація параметрів у технологічних одиницях на цифрові;
  - автоматичне калібрування початку шкали й діапазону виміру;
  - завдання й сигналізація відхилень від уставок мінімум та максимум;
  - тип технологічної сигналізації: із запам'ятовуванням та без запам'ятовування;
  - вхідний цифровий фільтр аналогових входів;
  - функція інтегрування витрати від датчика витрати;

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- добування квадратного кореня (вимір витрати за перепадом тиску);
- проведення лінеаризації вхідного сигналу (за 16 крапками);
- чотири вільно-програмувальні дискретні виходи;
- збереження параметрів при відсутності живлення;
- програмувальна логіка роботи вихідних пристроїв: більше MAX, менше MIN, у зоні MIN-MAX, або за межами зони MIN-MAX із гістерезисом та узагальнена сигналізація;
- захист від несанкціонованої зміни параметрів;
- кількість приладів у мережі RS-485: до 255.
- Технічні характеристики:
  - гальванічна ізоляція: трьохрівнева (по входу, виході, живленні);
  - період виміру: не більш 0,1 сек;
  - період відновлення інформації на дисплеї: не більш 0,5 сек;
  - кількість каналів виміру: 2;
  - вхідні аналогові сигнали: 0-5мА ( $R_{вх}=400,0 \text{ Ом}$ ), 0-10В ( $R_{вх}>50$ ), 0(4)-20 мА ( $R_{вх}=100 \text{ Ом}$ );
  - вхідні сигнали від термоперетворювачів опору: ТСП 50П, 100П, гр.21, ТСМ 50М, 100М, гр.23;
  - основна наведена погрішність виміру:  $\pm 0,2\%$ ;
  - розв'язна здатність цифрової індикації:  $\pm 0,01\%$ ;
  - кількість розрядів цифрового індикатору: 4;
  - висота цифр світлодіодних індикаторів: 10 мм;
  - вихідний аналоговий сигнал: 0-5 мА ( $R_n$  2кому), 0-20 мА, 4-20 мА ( $R_n$  500 Ом), 0-10В ( $R_n$  2кому - на вимогу замовника);
  - споживана потужність: не більш 8,5 Вт;
  - маса блоку: не більш 1,1 кг.

#### 4.2.3 Вибір давачів витрати

Для вимірювання витрати вибираємо багатопараметричний інтелектуальний

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

витратомір моделі 8800 Американської фірми Fisher-Rosemount.

Середовищем вимірювання для даного витратоміра є газ, пара, рідина.

Інтелектуальний витратомір моделі 8800 належить відомому сімейству пристроїв Rosemount SMART FAMILY. Всі пристрої вказаного сімейства застосовують для обміну даними протокол HART. Використання цифрової технології дозволяє витратоміру забезпечити максимальну точність і надійність вимірювань. Додатковою перевагою є легкість підключення витратоміра. Загальний вигляд подано на рисунку 4.5.

Зварний корпус витратоміра не потребує герметизації і знижує ймовірність випадкових викидів. Відсутні канали і щілини, що можуть забиватися і погіршувати характеристики. Характеристики подані в таблиці 4.2.



Рисунок 4.5 - Загальний вигляд витратоміра Fisher-Rosemount 8800

На відміну від традиційних витратомірів, даний, проводить вимірювання витрати з врахуванням динамічних змін параметрів середовища - тиску, температури, та такі змінні у рівнянні витрати, як густина, стиск чи розширення газу, в'язкість. Процесорний блок давача, який вбудований забезпечує також проведення самодіагностики давача.

До переваг експлуатації даного витратоміра слід віднести наступне:

- широкий динамічний діапазон вимірювань дозволяє використовувати в процесі один витратомір;
- мікропроцесорна електроніка зменшує час установки;
- немає необхідності виходити до витратоміра, встановленому в процесі,

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки обмін даними відбувається по HART-комунікатор;

- одночасний вивід аналогового, цифрового і імпульсного вихідних сигналів дозволяє контролювати і регулювати витрату кількома пристроями;

- розширений температурний діапазон дозволяє проводити вимірювання різноманітних технологічних процесів;

- датчик має вбудований або виносний електронний блок, що підвищує гнучкість монтажу;

- загальні модулі зменшують кількість запасних деталей.

Таблиця 4.2 - Характеристики витратоміра Fisher-Rosemount 8800

Параметр	Значення
Рівень допустимої основної похибки: - за цифровим та імпульсним виходами: 1) для рідини (% від витрати) 2) для пари, газу (% від витрати) - по струмовому виходу	0,65 1,35 1,35
Стабільність (0,1% від витрати)	12 місяців
Вихідні сигнали (мА)	4-20
Середовище вимірювань	газ, пара, рідина
Температура середовища, що вимірюється: - стандартне виконання (°C) - високотемпературне виконання (°C)	-40...232 -200...427
Надлишковий тиск в трубопроводі (МПа)	3,5

Об'єднання в одному компактному недорогому пристрої таких функцій, як багатопараметричні виміри, розрахунок витрати, самодіагностика і інші роблять давачі ідеальним вирішенням для вимірювання витрати.

#### 4.2.4 Вибір давачів температури

Вимірювання температури здійсимо за допомогою термоопору мідного типу ТСМ-100М. Даний термоопір використовується для вимірювання

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

температури гарячих газових та рідинних потоків у робочому діапазоні до 300 °С.

Термоопір ТСМ-100М має такі характеристики:

- діапазон вимірювання температури - 0 °С - 300 °С;
- довжина погрузної частини 300 мм;
- клас точності 0.5;
- приведена похибка  $\pm 0,8\%$ .



Рисунок 4.6 - Термоопір мідний типу ТСМ-100М

#### 4.2.5 Вибір давачів рівня

Вимірювання рівня здійснимо за допомогою перетворювача гідростатичного тиску Сапфір-22ДГ 2530. Даний перетворювач може бути налаштований на будь-який навіть не стандартний діапазон вимірювання в межах тобто від мінімум 4,0 кПа до максимум 40,0 кПа.

Вибраний рівнемір має такі базові характеристиками:

- клас точності у межах -  $\pm 0,5\%$ ;
- максимально допустимий гідростатичний тиск - 40 МПа;
- струмовий вихід у межах - 4...20 мА;
- температура вимірюваного середовища - до 300 °С.



Рисунок 4.7 - Перетворювач гідростатичного тиску Сапфір-22ДГ 2530

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

#### 4.2.6 Вибір давачів тиску

Вимірювання тиску здійсимо за допомогою перетворювача SITRANS P DS III.

Дані перетворювачі тиску серії DS III можуть бути використані у галузях промисловості які мають високе хімічне чи механічне навантаження. Дані перетворювачі можуть бути оснащені різноманітними конструкціями розділової мембрани для спеціальних додатків. Даний перетворювач може управлятися локально за допомогою 3 кнопок управління, чи програмуватися ззовні через HART-комунікацію чи через інтерфес PROFIBUS PA чи FOUNDATION Fieldbus.



Рисунок 4.8 - Давач тиску SITRANS P DS III

#### 4.2.7 Вибір виконавчого механізму

Як виконавчий механізм (ВМ) використано клапан електропривідний V2001-Е3.



Рисунок 4.9 - Виконавчий механізм V2001-Е3

Вибір потрібного ВМ виконано за пропускною здатністю, максимально

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

можливого тиску та за діаметром умовного проходу.

Клапани регулюючі, які призначені для промислових хімікотехнологічних процесів, а також легкої промисловості, котрі працюють із рідкими а також газоподібними середовищами та з водяною парою.

ВМ V2001 вмонтовується у приводах, котрі мають тип 3372, та володіє щільним затвором, вхідним сигналом 4...20 мА, максимальним тиском живлення до 6 атм.

### **4.3 Технічна реалізація системи автоматизації**

#### **4.3.1 Розробка функціональної схеми**

Функціональна схема автоматизації (ФСА) повинна давати в повній мірі уявлення про керований об'єкт. Об'єктом для керування в системах автоматизації технологічними процесами є зазвичай сукупність основного та додаткового обладнання у поєднанні з вмонтованими в нього запірними і регулюючими органами, та енергії, сировини чи матеріалів, що визначаються особливостями технології. У даному зв'язку на ФСА повинні бути дані зображення трубопроводів, автоматичних пристроїв, технологічних апаратів та показані зв'язки між ними.

На ФСА схематично, умовними позначеннями, відображені технологічне обладнання, орган управління об'єктом, комунікації і засоби автоматизації (давачі, виконавчі механізми, первинні перетворювані, вторинні прилади) з нанесенням між ними різноманітних ліній зв'язку та технологічного обладнання.

Такі допоміжні пристрої як джерела живлення, реле, автомати, редуктори, вимикачі, фільтри для повітря, з'єднувальні коробки а також можливі інші пристрої а також монтажні елементи на ФСА зовсім не відображаються.

Засоби автоматизації (ЗА), що розташовані поза щитами та які не мають зв'язку безпосередньо з технологічним обладнанням (ТО) та трубопроводами розташовують у прямокутнику з написом - «Прилади місцеві». Відбірні та приймальні пристрої і первинні вимірювальні перетворювачі, що вмонтовуються в

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

технологічні апарати а відповідно і у трубопроводи на ФСА не наводяться.

Функціональною схемою автоматизації установки очищення дихлоретану передбачено:

- Температура сировини, що подається в колону С-402, контролюється за допомогою регулятора МІК-51 (поз. 1-б), сигнал на який поступає із термоперетворювача (поз. 1-а).

- Регулювання витрати сировини в колону С-402, здійснюється за допомогою використання інтелектуального давача витратоміра Fisher-Rosemount 8800 (поз.6-а), а також перетворювача (поз. 6-б) із якого уніфікований електричний сигнал 4-20мА, який пропорційний витраті поступає на мікропроцесорний контролер МІК-51 (поз. 6-с), що встановлений на щиті КВП і А.

- Температура низу колони С-402 (2-а) регулюється за допомогою циркулюючого дихлоретану, який подається через теплообмінник Е-405. Витрата дихлоретану відбувається за допомогою витратоміра Fisher-Rosemount 8800 (поз. 5-а), з перетворювача (поз. 5-б) сигнал поступає на регулятор МІК-51 (поз. 5-с), сюди ж, із термоперетворювача (поз. 2-а) поступає другий уніфікований сигнал, який пропорційний температурі. Контролер здійснює корекцію та направляє керуючий сигнал на виконавчий механізм (ВМ) (поз. 2-д).

- Температура верху колони С-402, контролюється за допомогою регулятора МІК-51 (поз. 3-б), сигнал на який подається з термоперетворювача (поз. 3-а).

- Регулювання зрошення здійснюється за допомогою використання давача витратоміра фірми Fisher-Rosemount 8800 (поз. 7-а). Сигнал з перетворювача (поз. 7-б) поступає на регулятор МІК-51 (поз. 7-с).

- Температура в ємності для дихлоретану V-402 контролюється також регулятором МІК-51 (поз. 10-б), сигнал на нього поступає з перетворювача (поз. 10-а).

- Вимірювання, контроль та регулювання тиску в колоні С-402 здійснюється за допомогою первинного перетворювача SITRANS (поз. 4-а), котрий встановлений у місцевій шафі. Значення тиску перетворюється у електричний

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

сигнал 4-20мА, котрий поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51 (поз. 4-б), що на цифровому табло відображає поточне значення вимірюваного тиску. З клемних блочних затискачів керувальна дія в вигляді електричного сигналу 4-20мА потрапляє на позиціонер ВМ (поз. 4-с).

- Вимірювання, контроль та регулювання рівня в колоні С-402 здійснюється так: за допомогою давача Сапфір-22ДГ (поз. 8-а), перетворене значення гідростатичного тиску поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51 (поз. 8-б), що на табло відображає поточне значення вимірюваного значення. З клемних затискачів керувальна дія поступає на позиціонер ВМ (поз. 8-с), який встановлений на трубопроводі виводу кубового залишку.

- Вимірювання, контроль та регулювання рівня в ємності V-402 здійснюється так: за допомогою давача Сапфір-22ДГ (поз. 9-а), перетворене значення тиску в сигнал 4-20мА поступає на контролер МІК-51 (поз. 9-б), який на табло відображає поточне значення вимірюваного рівня, а з клемних блочних затискачів керувальна дія поступає на позиціонер ВМ (поз. 9-с).

#### **4.3.2 Розробка загального вигляду щита**

Щити систем автоматизації призначені для розміщення засобів контролю та управління технологічним процесом, пристроїв автоматизації, блокування, захисту, живлення та ліній зв'язку між ними.

Розробку загального виду щита проводять у такій послідовності:

1) здійснюється вибір стандартного пульта, щита виходячи з кількості задіяних електроапаратури, приладів, та категорії приміщення де встановлюється щит й т.д.;

2) здійснюється розміщення приладів і апаратури на фасадних панелях, а також усередині пультів та щитів.

На установці очищення дихлоретану задіяні щити шкафові, які виконані субблочним методом, а також використовуються панельні щити. Задіяні щити характеризуються такими параметрами:

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) апаратура для управління винесена на передню стінку субблоку, а малогабаритна допоміжна апаратура розташована на внутрішній поверхні. Електроживлення підключене за допомогою використання роз'ємів, які розташовані на задній стінці субблоку;

2) апаратура, яка призначена для керування насосами а також допоміжною апаратурою, розподілена на окремі блоки, що забезпечує добрі умови для управління та спостереження під час протікання процесу очищення дихлоретану;

3) даний (субблочний) метод характеризується малогабаритністю у порівнянні із іншими щитами. Передня панель призначена для розміщення сигнальної апаратури. У внутрішній поверхні субблоку розміщуються реле часу та проміжні реле.

Щоб розмістити реєструючі, самопишучі вторинні та показуючі прилади використано у проекті повногабаритний щит панельного типу ЩП 2200х600х60. Сигналізатори та перетворювачі розміщуватимуться за щитами на штативі. На кресленні також приведена таблиця надписів на табло та бірках.

#### **4.3.3 Розробка схеми зовнішніх з'єднань та підключень**

Креслення зовнішніх проводок призначені для здійснення з'єднань позащитових приладів, засобів автоматизації та щитів.

На кресленні зовнішніх проводок показуються такі елементи:

- лінії електричних і трубних проводок;
- монтажні символи регулюючих органів і виконавчих механізмів, приладів, давачів;
- лінії захисного заземлення;
- умовні позначення пультів, щитів, щитів живлення електроенергією, а також такого допоміжного обладнання як редуктори, розділювальні посудини, фільтри;
- лінії живлення;
- з метою з'єднання електричних кабелів показують електричні з'єднувальні

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

коробки;

- основний напис;
- загальні пояснення.

На кресленнях зовнішніх з'єднань у верхній частині поля креслення вище графічних умовних позначень давачів, приладів та ВМ розміщено табличні пояснювальні надписи.

Вибір кабелів, труб, проводів, а також вибір способів їх виконання електропроводки проводять відповідно до необхідних вказівок.

В обов'язковому порядку проводиться маркування кожної з цих ліній, де необхідно вказувати тип або марку електричної або трубної проводки між з'єднаннями.

Трубні проводки необхідно показувати з усію з'єднувальною та запірною арматурою і приводимо її типи.

Дана схема є робочим документом, який розкриває повний об'єм монтажних робіт, технічну суть та особливості здійснення електричних та трубних проводок та може служити вихідним документом для складання проекту на роботи.

### **Висновки до розділу**

Виконано розробку технічної документації на АСР. Вибрано структуру ієрархічної системи автоматичного керування, яка складається із трьох рівнів, а також виконано вибір технічних засобів автоматизації, котрі необхідні при використанні у технологічному процесі.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Метою роботи була розробка системи автоматизації процесу очищення дихлоретану. Робота складається із пояснювальної записки а також графічного матеріалу.

В першому розділі проаналізовано процес очищення дихлоретану, як об'єкта автоматизації. Розглянуто призначення установки, а також суть процесу. Приведено характеристику дихлоретану і важких речовин. Встановлено основні параметри для контролю а також регулювання на установці. Виконано аналіз технологічної схеми процесу очищення дихлоретану та технічна характеристика технологічного обладнання яке використовується на установці.

Шляхом проведення експериментального дослідження знайдено функцію передачі об'єкта, виконано вибір регуляторів, виконано розрахунок оптимальних параметрів налаштування, виконано розрахунки одноконтурної та каскадної систем автоматичного керування, визначено показники якості систем та досліджено стійкість систем. Запропоновані технічні рішення реалізовані на базі мікропроцесорного регулятора МІК-51 та індикатора технологічного процесу ІТМ-22. Розроблена проектна документація на систему автоматизації.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного управління спеціалізованими системами [Текст]: навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 74 с.
2. Лагойда, А. І. Мікроконтролери та програмовані логічні контролери [Текст] : лаб. практикум / А. І. Лагойда, М. І. Когутяк, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУОГ, 2020. – 88 с.
3. Лагойда, А. І. Технології організації баз даних [Текст]: лаб. практикум / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 128 с.
4. 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.
5. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування / Г. Н. Семенцов. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. - 610 с.
6. Семенцов Г. Н. Автоматизація технологічних процесів та виробництв в нафтовій та газовій промисловості / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, М. М. Дранчук і ін.. - Івано-Франківськ: Факел, 2003 - 352 с.
7. Автоматизація процесів переробки нафти і газу / Г. Н. Семенцов, М. І. Горбійчук, Л. І. Жуган, С. А. Чеховський. - Львів, 1992. - 268 с.
8. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості / М. М. Дранчук. - Івано-Франківськ: Факел, 2005. - 448 с.

					БР.АКП-17.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

# Додаток А1

Апроксимація V1.0

Поліном знаменника N    
 Поліном чисельника M    
 Вхідне збурення  $X_0$

Крок дискретності T    
 Кількість дискрет переходної  $x$ -ки NK

t,с	y(t)	h(t)	$\delta(t)$
0	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0000	-0,0120	0,0120
40	0,2100	0,2100	0,0000
60	0,4620	0,4770	0,0150
80	0,6880	0,6800	0,0080
100	0,8180	0,8110	0,0070
120	0,8960	0,8910	0,0050
140	0,9400	0,9380	0,0020
160	0,9650	0,9650	0,0000
180	0,9780	0,9800	0,0020
200	0,9880	0,9880	0,0000
220	0,9930	0,9930	0,0000
240	0,9960	0,9960	0,0000
260	0,9980	0,9980	0,0000

Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
71,76	1,0000	1,0000	-0,0289	0,0000
1833,7...	61,22...	-10,5...	-0,0560	0,0000
24736,...	1077,...		-0,1141	0,0000
26063,...	5414,...			

Максимальна похибка  $\Delta_{\text{max}}=1,50\%$  в точці  $T=60\text{с}$   

$$W(p) = \frac{1,000 \cdot (-10,536p^3 + 1,000)}{5414,925p^3 + 1077,657p^2 + 61,223p + 1,000}$$

- y(t) - h(t)

## Додаток А2

Апроксимація V1.0
✕

Поліном знаменника N

Крок дискретності T

Поліном чисельника M

Кількість дискрет перехідної x-ки NK

Вхідне збурення Xo

t, c	y(t)	h(t)	δ(t)
0	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,4000	0,3940	0,0060
40	0,6400	0,6330	0,0070
60	0,7700	0,7780	0,0080
80	0,8600	0,8650	0,0050
100	0,9100	0,9180	0,0080
120	0,9300	0,9500	0,0200
140	0,9800	0,9700	0,0100
160	0,9800	0,9810	0,0010
180	0,9930	0,9890	0,0040
200	0,9950	0,9930	0,0020
220	1,0000	0,9950	0,0050
240	1,0000	0,9970	0,0030
260	1,0000	0,9980	0,0020

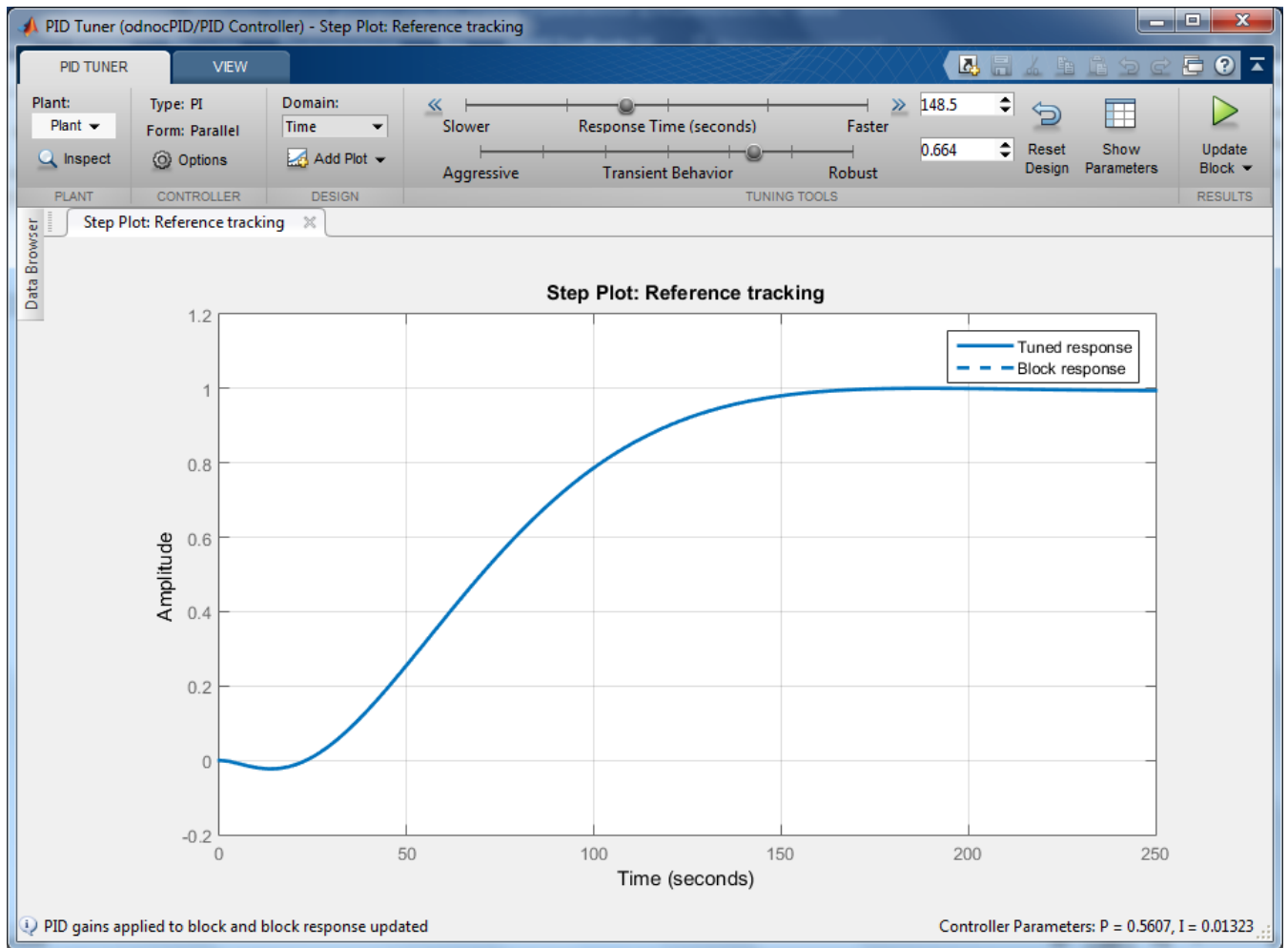
Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
39,853...	1,0000	1,0000	-0,0251	0,0000
	39,85...			

Максимальна похибка DeltaMax=2,00% в точці T=120c

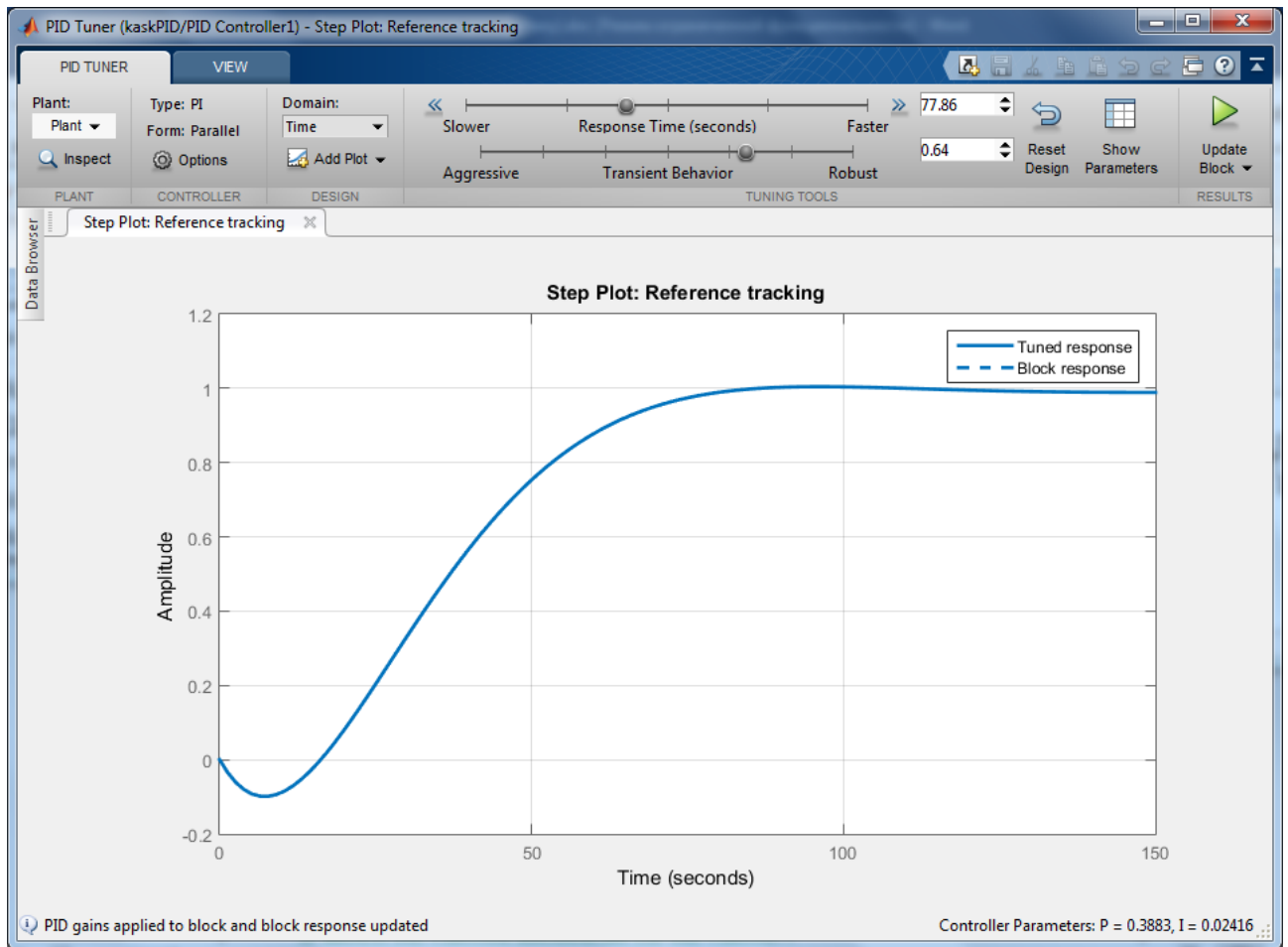
W(p) =  $\frac{1}{39,853p^2 + 1,000}$

- y(t) - h(t)

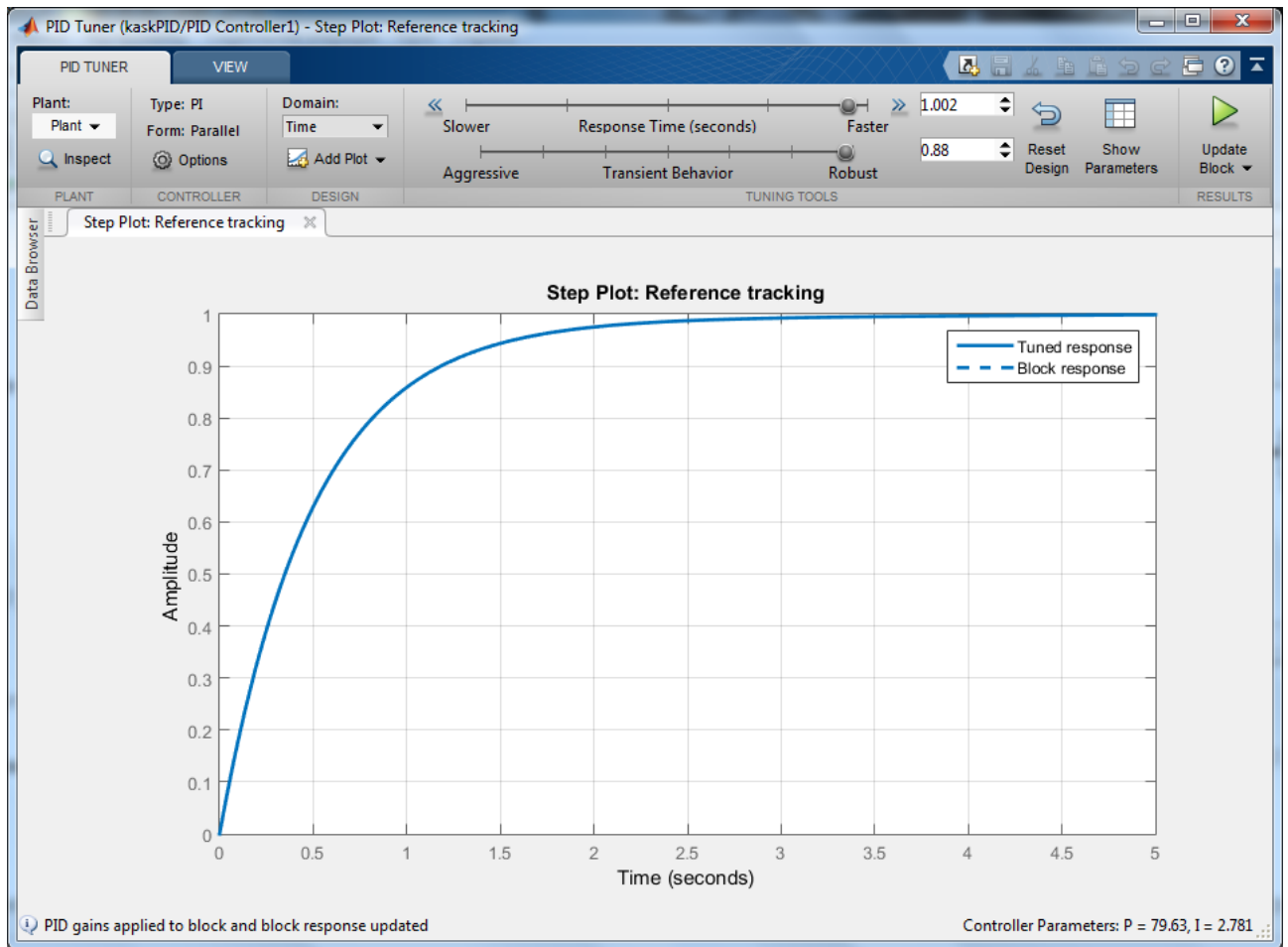
# Додаток Б1



## Додаток Б2



## Додаток Б3

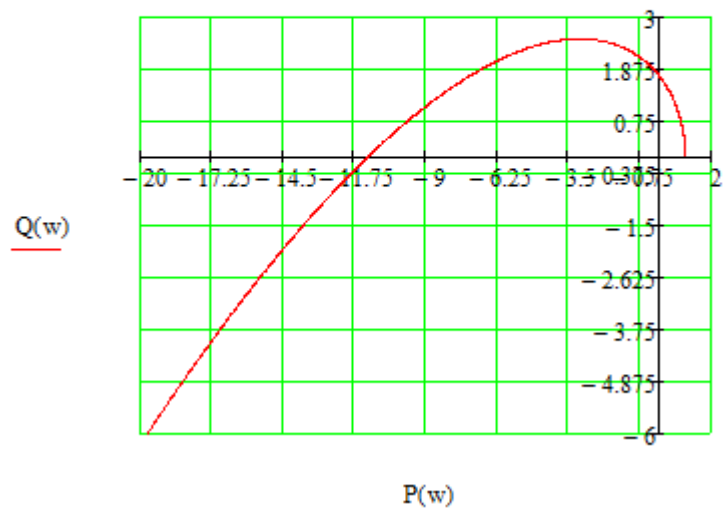


## Додаток В1

$$P(w) := -1071.7495 \cdot w^2 + 1.0132$$

$$Q(w) := -5414.925 \cdot w^3 + 61.6446 \cdot w$$

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



## Додаток В2

$$P(w) := -215801 \cdot w^6 + 91407.14 \cdot w^4 - 341.66 \cdot w^2 + 0.067$$

$$Q(w) := 479553.267w^5 - 7618.48 \cdot w^3 + 7.75 \cdot w$$

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

