

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

**Анастасія Зелінська**

**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

Зелінська Анастасія Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5.08:628.16

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу

(назва роботи)

приготування демінералізованої води

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-22-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

А.П. Зелінська

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(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**

Зелінська Анастасія Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу приготування демінералізованої води

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 приготування демінералізованої води як об'єкта автоматичного контролю та керування.

2. Побудова моделі та встановлення характеристик керованого об'єкта.

3. Розробка структури автоматизованої системи керування. 4. Удосконалення системи автоматичного керування на базі інтелектуальних технологій.

5. Розробка проектної документації для системи автоматичного керування.

Завальні висновки. Перелік посилань на джерела.

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-08.00.00.001;

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-08.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз та синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-08.00.00.003;

Лист 4 - Аналіз та синтез каскадної АСК - БР.АКП-08.00.00.004;

Лист 5 - Схема зовнішніх зеднань - БР.АКП-08.00.00.005;

Лист 6 - SCADA-система - БР.АКП-08.00.00.006.

## 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 приготування демінералізованої води як об'єкта автоматичного контролю та керування		
2	Побудова моделі та встановлення характеристик керованого об'єкта		
3	Розробка структури автоматизованої системи керування		
4	Удосконалення системи автоматичного керування на базі інтелектуальних технологій		
5	Розробка проектної документації для системи автоматичного керування		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.П. Зелінська \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

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

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 66 сторінок друкованого тексту, 19 рисунків, 9 таблиць, 10 переліків посилань на джерела і 3 додатки.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу приготування демінералізованої води».

Об'єкт дослідження: бак демінералізованої води.

Мета проекту: розробка автоматичної системи управління процесом демінералізації води.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи управління установки демінералізації води.

Результати кваліфікаційної роботи: у роботі проведений аналіз технологічного процесу приготування демінералізованої води з точки зору автоматизації, проаналізовано існуючі технології керування об'єктом.

В якості об'єкта для дослідження було вибрано бак демінералізованої води, на основі даних активного експерименту знайдено передавальну функцію об'єкта по каналу «%PO - витрата сирої промислової води» і «%PO - рівень в баку для демінералізованої води», вибрано регулятори, розраховані їх оптимальні параметри налаштування, проведено розрахунок одноконтурної та каскадної системи керування, визначено її показники якості, а також досліджено систему на стійкість.

Розроблено структурну схему ієрархічної системи керування, здійснено вибір технічних засобів автоматизації.

Ключові слова: моделювання, автоматичне керування, контролер, налаштування регулятора, технічні засоби автоматизації.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 66 pages of printed text, 19 figures, 9 tables, 10 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: "Improvement of the automation system of the technological process of preparing demineralized water".

Object of research: demineralized water tank.

Project goal: development of an automatic control system for the water demineralization process.

Research methods: experimental modeling of the automatic control system of a water demineralization plant.

Results of qualification work: the work analyzes the technological process of preparing demineralized water from the point of view of automation, and analyzes existing technologies for controlling the facility.

A demineralized water tank was selected as the object for the study, based on the data of the active experiment, the transfer function of the object was found along the channel "%PO - raw industrial water flow" and "%PO - level in the demineralized water tank", regulators were selected, their optimal settings were calculated, a single-loop and cascade control system was calculated, its quality indicators were determined, and the system was tested for stability.

A structural diagram of a hierarchical control system was developed, and technical automation tools were selected.

Keywords: modeling, automatic control, controller, regulator settings, technical automation tools.

## ЗМІСТ

	<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>8</b>
	<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ ВОДИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>10</b>
	1.1 Опис процесу демінералізації води та його призначення.....	10
	1.2 Характеристика сировини і продуктів установки.....	12
	1.3 Аналіз технологічної схеми установки приготування демінералізованої води.....	12
	1.4 Технічна характеристика технологічного устаткування.....	15
	1.5 Параметри контролю і регулювання.....	17
	1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу.....	19
	Висновки до розділу.....	20
<b>2</b>	<b>ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА.....</b>	<b>21</b>
	2.1 Аналіз та вивчення об'єкта керування.....	21
	2.2 Параметри якості та критерії ефективності автоматизованої системи керування.....	22
	2.3 Дослідження динаміки об'єкта керування.....	22
	2.3.1 Опрацювання експериментальних даних.....	23
	Висновки до розділу.....	29
<b>3</b>	<b>РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>30</b>
	3.1 Розробка одноконтурної системи автоматичного керування.....	30
	3.2 Розробка каскадної системи автоматичного керування.....	31

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу приготування демінералізованої води			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Зелінська А.П.										
Перевір.		Лагойда А.І.								6	66	
Реценз.		Чигур Л.Я.						ІФНТУНГ АКП-22-1				
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.										
Затверд.		Лагойда А.І.										

3.3	Аналіз стійкості одноконтурної автоматизованої системи керування	33
3.4	Аналіз стійкості каскадної автоматичної системи керування.....	34
3.5	Оцінка якості системи автоматичного керування.....	34
	Висновки до розділу.....	36
<b>4</b>	<b>УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	<b>37</b>
	Висновки до розділу.....	39
<b>5</b>	<b>РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>40</b>
5.1	Структурна організація ієрархічної системи керування.....	40
5.2	Вибір і обґрунтування засобів автоматизації та їх технічні характеристики.....	41
5.2.1	Вибір контролера.....	43
5.2.2	Вибір датчиків температури.....	45
5.2.3	Вибір датчиків рівня.....	46
5.2.4	Вибір датчиків тиску.....	48
5.2.5	Вибір датчика витрати.....	49
5.2.6	Обґрунтування вибору виконавчого механізму.....	51
5.3	Проектна частина системи автоматизації.....	51
5.3.1	Опис функціональної схеми автоматизації системи керування.....	51
5.3.2	Створення креслення загального виду щита системи керування.....	53
5.3.3	Проектування схеми зовнішніх з'єднань і підключень.....	54
	Висновки до розділу.....	55
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>56</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>57</b>
	<b>ДОДАТКИ</b>	
	<b>БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА</b>	

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВМ - виконавчий механізм.

АСК - автоматична система керування.

РО - регулюючий орган.

ГДК - гранично-допустима концентрація.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

КО - керований об'єкт.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

ТП - технологічний процес.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Народно-господарський комплекс України охоплює галузі промисловості, що виробляють сировину, напівфабрикати та готову продукцію, яка використовується у всіх сферах людської діяльності. Хімічна промисловість є важливою галуззю, яка забезпечує народне господарство мінеральними добривами, содою, фарбами, паливно-мастильними матеріалами, пластмасами, синтетичними волокнами та багатьма іншими видами сировини й матеріалів. Хімічна галузь може постачати сільському господарству речовини з наперед заданими характеристиками, що відзначаються підвищеною якістю та виготовляються у потрібних обсягах.

Автоматизація виробництва дозволяє заощадити фінансові, фізичні ресурси для підприємств, які застосовують технічні засоби в своєму виробництві. Розробка системи автоматизації призначена для створення певної інформаційної бази яка в подальшому сприятиме прийняттю ефективних рішень, які спиратимуться на аналіз діяльності підприємства за різноманітними показниками.

У сучасних умовах споживання продукції різних галузей промисловості та з огляду на екологічну ситуацію особливо актуальним є раціональне використання енергетичних і сировинних ресурсів у виробництві з метою отримання максимально можливого обсягу продукції заданої якості. Вирішальне значення при цьому має ефективність перебігу хіміко-технологічних процесів. Оптимальними дедалі частіше вважають такі режими, які забезпечують не лише високий вихід кінцевого продукту, а й відповідність його встановленим вимогам якості.

Ефективність процесу залежить від правильного вибору параметрів регулювання і контролю технічних засобів, які повинні вимірювати ці технологічні параметри. Значною мірою на ефективність процесу впливає якість проведення робіт з монтажу, налагодження засобів та обслуговування технічних пристроїв.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ ВОДИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

## 1.1 Опис процесу демінералізації води та його призначення

Процес призначений для отримання демінералізованої води, яка використовується в процесі полімеризації вінілхлориду та в інших галузях промисловості. Фізико-хімічною основою даного процесу є обезсолення сирогої промислової води.

Видалення розчинених солей із води визначають як процес демінералізації. У ході цього процесу вміст солей зменшується до рівня, наближеного до їх концентрації в дистильованій воді.

Способи демінералізації поділяють на дві основні категорії: ті, що супроводжуються зміною агрегатного стану, і ті, що відбуваються без такої зміни.

До першої групи методів відносяться:

- дистиляція;
- нагрів води понад критичної температури (350°C);
- заморожування;
- газгідратний метод.

До другої групи методів відносяться:

- електродіаліз;
- зворотний осмос (гіперфільтрація);
- ультрафільтрація;
- екстракція;
- іонний обмін.

У практиці очищення води найширше застосування має метод іонного обміну.

Цей спосіб пом'якшення води базується на використанні іонітів — твердих, майже нерозчинних у воді речовин, здатних заміщувати власні іони на ті, що

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

містяться у водному середовищі.

Матеріали, які здійснюють обмін катіонів, називають катіонітами, тоді як ті, що забезпечують обмін аніонів, — аніонітами.

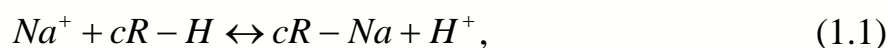
У ролі іонітів можуть використовуватися як природні матеріали, так і, переважно, синтетичні смоли. Їх ключовою технологічною характеристикою є обмінна ємність — кількість іонів, здатних брати участь у процесі обміну.

Вибір способу катіонного оброблення води залежить від вимог до якості підготовленої води, складу розчинених у ній домішок, а також техніко-економічних факторів.

Застосування одноступеневого Na-катіонування дозволяє зменшити жорсткість води до рівня 0,03–0,05 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

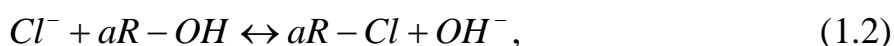
Хімізм процесу демінералізації сирової води (схематично):

Обмінник катіонів:



де  $cR$  - катіонообмінна смола.

Обмінник аніонів:



де  $aR$  - аніонообмінна смола.

Після вичерпання робочої обмінної ємності катіоніт втрачає здатність забезпечувати пом'якшення води.

Процес очищення води на катіонітових фільтрах включає низку послідовно виконуваних операцій:

1) ропускання води крізь шар катіоніту до досягнення у фільтраті максимально допустимого рівня жорсткості (швидкість процесу становить приблизно 10 - 25 м/год);

2) розпушування шару катіоніту за допомогою підйомного потоку сирової води, використаного регенерату або промивних вод (інтенсивність потоку 3 - 4 дм<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>);

3) злив водяного шару з метою запобігання розбавленню розчину для регенерації;

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) відновлення катіоніту шляхом пропускання через нього розчину для регенерації (швидкість фільтрування 3 - 5 м/год);

5) промивання катіоніту непом'якшеною водою (швидкість фільтрування 8 - 10 м/год).

## 1.2 Характеристика сировини і продуктів установки

В процесі приготування демінералізованої води використовується промислова вода, яка поступає на стадію демінералізації та демінералізована вода на виході із стадії демінералізації.

Промислова вода на стадію демінералізації: температура - не більше 28 °С, рН від 6,5 до 8,5. Електропровідність - 250 мкСм/см, завислі речовини - не більше 12 мг/дм<sup>3</sup>, загальний вміст солей - не більше 150 мг/дм<sup>3</sup>, загальна твердість - 1,44 мг-екв/дм<sup>3</sup>, загальний вміст органічного вуглецю (ТОС) - не більше 5,8 мг/дм<sup>3</sup>.

Загальний вміст катіонів - не більше 2,39 мг-екв/дм<sup>3</sup>: кальцій - не більше 1,07 мг-екв/дм<sup>3</sup>, магній - не більше 0,37 мг-екв/дм<sup>3</sup>, натрій - не більше 0,83 мг-екв/дм<sup>3</sup>, залізо - не більше 0,01 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Загальний вміст аніонів - не більше 2,39 мг-екв/дм<sup>3</sup>: хлориди - не більше 0,15 мг-екв/дм<sup>3</sup>, сульфати - не більше 0,50 мг-екв/дм<sup>3</sup>, нітрати - не більше 0,09 мг-екв/дм<sup>3</sup>, силікати (Si<sub>2</sub>) - 0,15 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Демінералізована вода на виході із стадії демінералізації: температура - не більше 28 °С; рН - від 6,0 до 8,0; електропровідність - менше 1 мкСм/см; кальцій - менше 0,05 мг/дм<sup>3</sup>; магній - менше 0,05 мг/дм<sup>3</sup>; залізо - менше 0,02 мг/дм<sup>3</sup>; натрій - менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; хлориди - менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; сульфати - менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; нітрати - менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; силікати (SiO<sub>2</sub>) - менше 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

## 1.3 Аналіз технологічної схеми установки приготування демінералізованої води

Сира (технологічна) промислова вода подається по трубопроводу до комплектної установки одержання демінералізованої (знесоленої) води.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Сира вода, яка буде знесолена, попередньо обробляється у фільтрах проходячи через пісок у фільтрі 750F070A. Тиск на межі установки повинен бути не менше 3 бар, щоб забезпечити вільний потік води через піщаний фільтр 750F070A. Потім вода заходить в ємність для промивної води 750D055.

Піщаний фільтр містить дрібний пісок (розмір зерен 0,7 - 1,25 мм) для видалення твердих частинок із технологічної води. Концентрація твердих частинок лежить в межах 4-12 мг/л, яка змінюється в залежності від сезону.

Під час фільтрації промислової води в піщаному фільтрі 750F070A механічні тверді речовини осідають між шарами фільтруючого матеріалу та збільшують втрату тиску промислової води на фільтрі.

Попередньо очищена на фільтрі 750F070A промислова вода попадає в резервуар промивної води 750D055, з якого за допомогою насоса 750P050A направляється на знесолення та нитку іонообмінного очищення.

Тиск нагнітання насоса дозволяє воді проходити наступні кроки обробки без подальшого перекачування і текти вільно в бак демінералізованої води 750T001.

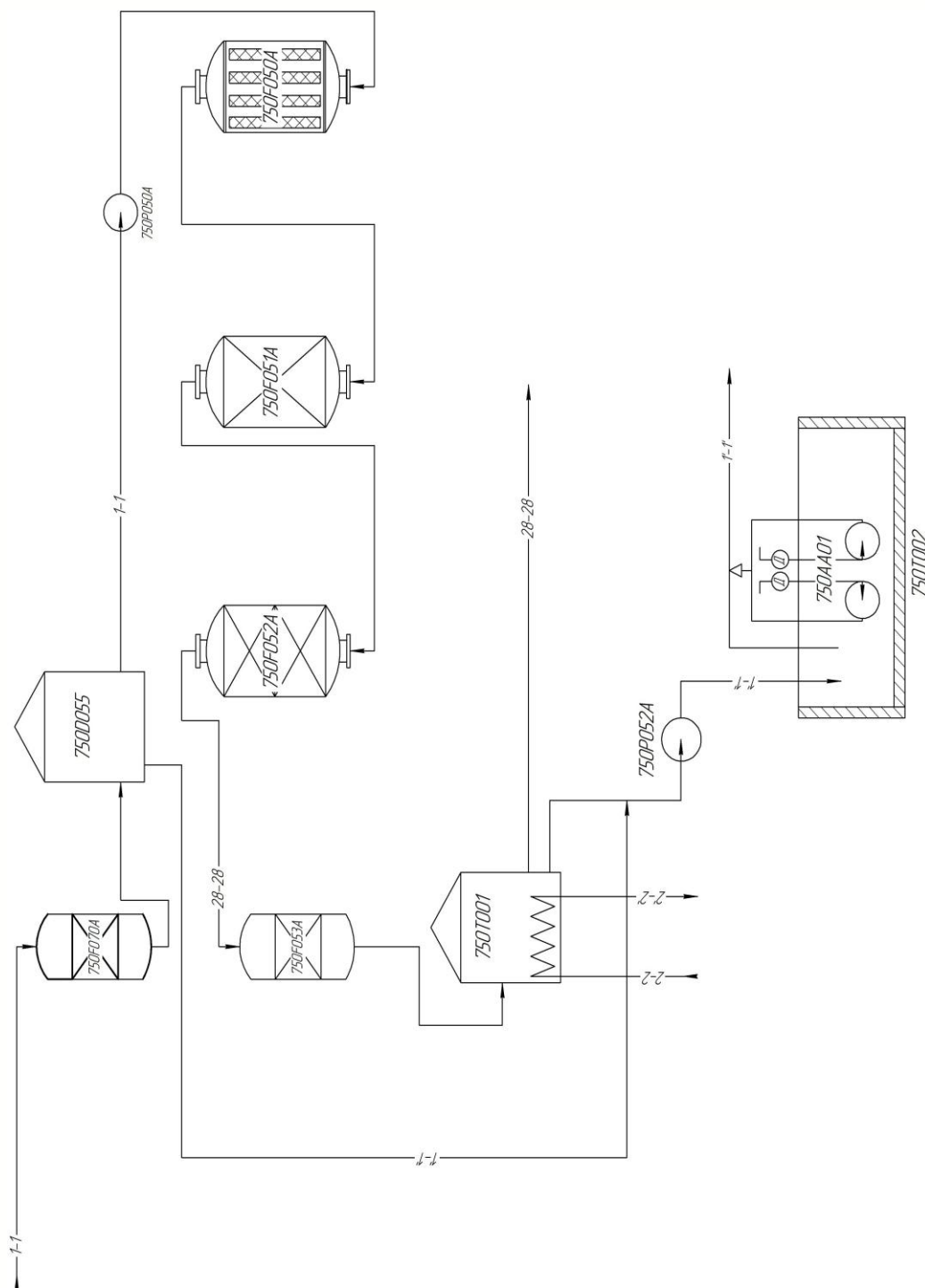
Для видалення дрібних частинок розміром більше 5 мкм, які можуть осідати в іонообмінниках, промислову воду подають на попередню фільтрацію в патронний фільтр 750F050A. Якщо перепад тиску на патронному фільтрі зросте до 1 бар набір патронів необхідно замінити.

Під дією тиску створеного відцентровим насосом 750P050A очищена від механічних часток промислова вода з патронного фільтра 750F050A подається в катіонообмінник 750F051A, який наповнений катіонообмінною смолою марки Lewatit MonoPlus SP 112H.

Після катіонообмінника 750F051A кисла, насичена іонами водню, вода поступає на аніонообмінник 750F052A, який заповнений аніонообмінною смолою марки Lewatit MonoPlus MP 64 і Lewatit MonoPlus MP 800, де сульфати, хлориди, нітрати, фосфати, карбонати та іони кремнію видаляються, вивільняючи гідроксильні іони OH<sup>-</sup> від матриці смоли. Ці гідроксильні іони були введені до органічної матриці смоли шляхом регенерації з їдким натрієм. Разом з водневими

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іонами, гідроксильні іони формують нейтральну воду.



1-1 - лінія подачі сирій технічної води; 1'-1' - відвід стічних вод; 2-2 - паропровід гріючої пари; 2'-2' - лінія відведення конденсату; 28-28 - резервуар для технічної води; 750P050A - насос перекачування сирій води

750F070A - піщаний фільтр; 750D055 - резервуар для технічної води; 750P050A - насос перекачування сирій води; 750F050A - картриджний фільтр; 750F051A - катіонітовий фільтр; 750F052A - аніонітовий фільтр; 750F053A - фільтр змішаного завантаження; 750T001 - ємність демінералізованої води; 750P052A - насос подачі демінералізованої води; 750T002 - резервуар нейтралізації; 750AA01 - змішувальний пристрій

Рисунок 1.1 - Технологічна схема установки підготовки демінералізованої води

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

Катіоно- та аніонообмінники будуть працювати в режимі псевдо зрідженого шару, коли вода заходить в обмінник знизу і виходить зверху. В комбінації з протитоком регенеруючого розчину ми отримуємо кращу ефективність в іонному обміні, зниження тиску і використання хімікатів.

Псевдо зріджений шар потребує мінімальної витрати для підтримання встановленого тиску до верхньої основи сопла. Стиснуті зерна смоли забезпечують кращу якість води, ніж завислі.

Після проходження фільтра аніонообмінної смоли 750F052A вода поступає у фільтр змішаного шару 750F053A. Він заповнений сильною катіоноактивною смолою та сильною аніоноактивною смолою і повинен видалити невелику кількість залишкових іонів. Цей, так званий, «етап тонкої доочистки» забезпечує дуже низьку заключну провідність і в цьому випадку також дуже низьку концентрацію кремнію.

Доочищена вода збирається в бак демінералізованої води 750T001 об'ємом 800 м<sup>3</sup>. Резервуар демінералізованої води 750T001 захищений від замерзання ізоляцією та внутрішнім змієвиком обігріву. Температура демінералізованої води в середині резервуару демінералізованої води 750T001 підтримується вище 5 °С. Стічні води, включаючи воду промивки, направляються до басейну нейтралізації 750T002. Вода входить в басейн через змішуюче сопло 750AA01, щоб забезпечити більшу турбулентність для інтенсивного перемішування.

#### **1.4 Технічна характеристика технологічного устаткування**

В процесі приготування демінералізованої води, використовується таке технологічне обладнання: бак демінералізованої води, піщаний фільтр, резервуар промивної води, насоси, патронний фільтр, катіонообмінник, аніонообмінник, фільтр змішаного шару, змішувальне сопло, басейн нейтралізації.

Бак демінералізованої води - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для зберігання демінералізованої води. Діаметр - 10000 мм, висота – 12192 мм, місткість - 800 м<sup>3</sup>. Матеріал - вуглецева сталь.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Піщаний фільтр - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для фільтрації технологічної води від твердих частинок. Діаметр - 2600 мм, висота – 3609 мм, місткість - 13,2 м<sup>3</sup>, висота шару піску - 2000 мм. Розхід максимальний - 140 м<sup>3</sup>/год. Матеріал - вуглецева сталь.

Ємність для промивної води - вертикальний, циліндричний апарат з конічною кришкою. Призначена для зворотнього промивання піщаного фільтра поз.750F070А та підтримання ниток демінералізації. Діаметр - 3600 мм, висота - 5900 мм, місткість - 69 м<sup>3</sup>. Матеріал - поліетилен.

Насос для перекачування сиріої води - відцентровий насосний агрегат. Призначений для подачі технологічної води від ємності для промивної води 750D055 на подальшу демінералізацію.

Тиск нагнітання - 10 бар, розрахункова температура – 60 °С, об'ємна продуктивність - 130 м<sup>3</sup>/год. Електродвигун потужністю 75 кВт, частота обертання - 2975 хв<sup>-1</sup>. Матеріал корпусу - нержавіюча сталь, матеріал робочого колеса - нержавіюча сталь.

Насос перекачування промивної води - відцентровий насосний агрегат. Призначений для регенерації піщаного фільтру 750F070А. Тиск нагнітання - 1,5бар, об'ємна продуктивність - 160 м<sup>3</sup>/год., висота подачі - 15 м. Електродвигун потужністю 11 кВт, частота обертання - 1460 хв<sup>-1</sup>. Матеріал корпусу - сірий чавун, матеріал робочого колеса - нержавіюча сталь.

Патронний фільтр - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для вловлювання завислих частинок з сиріої води розміром більше 5 мкм. Діаметр - 324 мм, висота - 1400 мм, місткість - 0,9 м<sup>3</sup>, кількість фільтруючих патронів - 15 шт., тиск подачі - 8 бар. Матеріал - нержавіюча сталь.

Обмінник катіонів - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для зв'язування (іонообмінної очистки) іонів кальцію, магнію, натрію, калію і більшої кількості валентних легких і тяжких металів до органічної матриці смоли. Діаметр - 2000 мм, висота - 2680 мм, місткість - 5,5 м<sup>3</sup>, висота шару смоли - 1650 мм. Розхід максимальний - 130 м<sup>3</sup>/год. Матеріал - вуглецева сталь.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмінник аніонів - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для зв'язування (іонообмінної очистки) сульфатів, хлоридів, нітратів, фосфатів, карбонатів і іонів кремнію до органічної матриці смоли. Діаметр - 2200 мм, висота - 4728 мм, місткість - 14 м<sup>3</sup>, висота шару смоли I - 1075 мм, висота шару смоли II - 2500 мм. Розхід максимальний - 130 м<sup>3</sup>/год. Матеріал - вуглецева сталь.

Фільтр змішаного шару - вертикальний, циліндричний апарат. Призначений для зв'язування невеликої кількості залишкових іонів, що не видалилися в обміннику катіонів і аніонів вверх по течії. Діаметр - 1800 мм, висота - 3866 мм, місткість - 7,4 м<sup>3</sup>, висота шару смоли - 2431 мм. Розхід максимальний - 130 м<sup>3</sup>/год. Матеріал - вуглецева сталь.

Змішувальне сопло призначене для перемішування стічних вод в басейні нейтралізації під час нейтралізації.

Басейн нейтралізації призначений для збирання стічних вод зі всієї стадії та їх гомогенізації. Довжина - 9000 мм, ширина - 7000 мм, висота - 3500 мм, місткість - 200 м<sup>3</sup>. Матеріал - бетон, футерований кислото - стійкою цеглою.

### **1.5 Параметри контролю і регулювання**

Для успішного проведення процесу демінералізації води необхідно здійснити правильний вибір параметрів регулювання і контролю. Показником ефективності процесу демінералізації є концентрація мінеральних речовин у демінералізованій воді. Забезпечення показника ефективності на заданому рівні досягають стабілізацією режимних параметрів.

Процес демінералізації води являється підготовчим процесом полімеризації, його головний режимний параметр - стабілізація рівня, щоб всі решта виробництва могли працювати справно і від даного процесу були незалежні.

Головним режимним параметром процесу є рівень очищеної води в резервуарі демінералізованої води. В даному випадку регулювання рівня відбувається витратою сирової води в резервуарі для промивної води.

З метою усунення збурень пропонується стабілізувати рівень, витратою сирової

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

води.

Процес демінералізації води описується за допомогою вхідних, вихідних, режимних та допоміжних параметрів, усі з яких підлягають контролю для забезпечення ефективності технологічного процесу. До режимних параметрів належить, зокрема, рівень води в резервуарі демінералізованої води. Для розрахунку техніко-економічних показників необхідно також контролювати температуру пари, конденсату та витрати сирі води.

Величини параметрів контролю та регулювання представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Величини параметрів

Найменування параметра	Номер позиції на ФСА	Одиниця вимірювання	Значення параметрів
Тиск сирі промислової води	3	МПа	0,45-0,1
Температура сирі промислової води	4	°С	20
Рівень в баку демінералізованої води	5	мм	90000
Температура гріючої пари	18	°С	160
Температура конденсату	19	°С	10
Температура в баку демінералізованої води	9	°С	
Витрата в ємність для промивної води	11	м <sup>3</sup> /год	15
Рівень в ємності для промивної води	1	мм	90000
Тиск до насоса демінералізованої води	7	МПа	0,03
Тиск після насоса демінералізованої води	8	МПа	0,03

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Найменування параметра	Номер позиції на ФСА	Одиниця вимірювання	Значення параметрів
Витрата стічної води	14	м <sup>3</sup> /Год	15
Тиск до насосу сирі води	20	МПа	0,1
Тиск після насоса сирі води	21	МПа	0,1
Тиск до патронного фільтру	13	МПа	0,8
Тиск після патронного фільтру	12	МПа	0,1

### 1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Одним з найважливіших етапів під час розроблення системи автоматизації будь-якого технологічного процесу є вибір методу автоматизації. Значну увагу необхідно звернути на технічні а відповідно й якісні показники вибраних засобів автоматизації котрі доцільно обґрунтувати, потрібно обґрунтувати також доцільність заміни функціонуючої структури а саме її вдосконалення чи розробку нового варіанту цієї системи. Вдосконалення існуючої системи автоматичного керування, або її кардинальна заміна новою системою повинна бути чітко обґрунтована.

У роботі використовуватимемо мікропроцесорні контролери фірми “Мікрол” (МК-51), які забезпечують вирішення багатьох важливих задач керування. Ці контролери дозволяють проводити локальне, каскадне, а також багатозв’язне регулювання. У проекті запропоновано використовувати засоби автоматизації таких фірм як «Метран» а також «FISHER-ROSEMOUNT». Розроблена система дозволить безперервно а найголовніше швидко контролювати і регулювати усі потрібні параметри технологічного процесу. Контролер включає у себе

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різноманітне поєднання дискретних і аналогових входів-виходів, підтримує безударну зміну, має високу надійність роботи та високу точність вихідного сигналу.

Внаслідок чіткого регулювання рівня у баку демінералізації збільшується якість продукції, а найголовніше покращується швидкодія системи автоматичного регулювання, а це в свою чергу дасть можливість збільшити прибуток підприємства.

### **Висновки до розділу**

В даному розділі зроблений аналіз технологічного процесу демінералізації води як об'єкт автоматизації. Приведена характеристика сировини і одержаних продукту. Детальний аналіз технологічної схеми дав змогу визначити вплив параметрів на процес та вибрати точки контролю і регулювання.

Запропоновано методи регулювання на базі сучасних мікропроцесорних контролерів та сучасних засобів автоматизації.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА

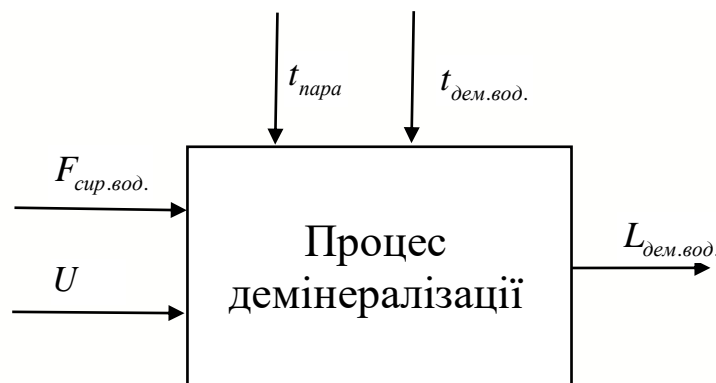
### 2.1 Аналіз та вивчення об'єкта керування

Для забезпечення ефективного контролю та регулювання параметрів, а також відображення інформації на дисплеї оператора, у проєкті використано мікропроцесорний контролер МК-51, що дозволяє підключати як аналогові, так і дискретні вхідні сигнали.

Важливим режимним параметром процесу демінералізації є рівень демінералізованої води в резервуарі.

Об'єктом регулювання є бак демінералізованої води. У першу чергу потрібно виділити вхідну й вихідну змінні.

Головним режимним параметром процесу є рівень очищеної води в резервуарі демінералізованої води. В даному випадку регулювання рівня відбувається витратою сирової води в резервуарі для промивної води (рис. 2.1).



$F_{сир.вод.}$  - витрата сирової води;  $t_{пара}$  - температура гріючої пари в змієвик;

$L_{дем.вод.}$  - рівень в баку демінералізованої води;  $t_{дем.вод.}$  - температура демінералізованої води;  $U$  - положення регулюючого органу на лінії промислової води (керуючий вплив)

Рисунок 2.1 - Структурна схема баку демінералізованої води

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **2.2 Параметри якості та критерії ефективності автоматизованої системи керування**

Головним завданням системи автоматизації є регулювання рівня демінералізованої води в резервуарі, щоб процес протікав стабільно та без порушень. Дане регулювання проводиться витратою сирової води.

Для оптимізації даного процесу регулювання рівня і підтримання параметрів в заданих межах встановимо наступні якісні показники автоматичного регулювання:

- перерегулювання не більше - 20%;
- максимальна похибка апроксимації експериментальних даних - 2,50%;
- запас стійкості по амплітуді - 0,50 - 0,60;
- відхилення керованої величини від усталеного значення менше – 5,0%;
- степінь затухання коливань - 0,750 - 0,950%;
- запас стійкості по фазі у межах - 30° - 60°.

## **2.3 Дослідження динаміки об'єкта керування**

Дослідження динамічних характеристик можливе різними способами, але кожен із них усе одно складається з таких етапів:

1. Підготовка і планування експерименту.
2. Процес проведення експерименту.
3. Процес обробки результатів експерименту.

В даній роботі застосуємо метод, який базується на припущенні про лінійність об'єкта дослідження. Це той випадок при якому вхідна змінна змінюється в досить невеликих межах, а відповідно вихідна змінна не залежить від поточного розташування об'єкта. Як реєструючий прилад використовуватимемо МТР.

Етап підготовки обладнання зводиться до вибору приладу для реєстрації зміни вихідної величини. Точність такого приладу має бути більшою 0.5 у випадку найменшої зони нечутливості. Прилад повинен мати відповідний діапазон шкали

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

реєструючого і швидкість руху діаграмного блоку.

### 2.3.1 Опрацювання експериментальних даних

Дані експерименту, отримані для основного та допоміжного каналів регулювання, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати експерименту за основним та допоміжним каналами

$t, c$	%, ВХ	$L_{дем.вод.}, M$	$F_{сир.вод.}, M^3/ГОД$
0	13	70,00	7,5
20	13	70,00	10,5
40	13	73,80	12,3
60	13	79,24	13,35
80	13	83,76	14,025
100	13	86,36	14,4
120	13	87,92	14,625
140	13	88,80	14,775
160	13	89,30	14,8275
180	13	89,56	14,955
200	13	89,76	14,97
220	13	89,86	15
240	13	89,92	15
260	13	89,96	15
280	13	89,98	15
300	13	89,98	15
320	13	90,00	15
340	13	90,00	15
360	13	90,00	15
380	13	90,00	15
400	13	90,00	15

На основі таблиці 2.1 побудуємо перехідну характеристику по основному та допоміжному каналах регулювання (рисунок 2.2 та 2.3 відповідно).

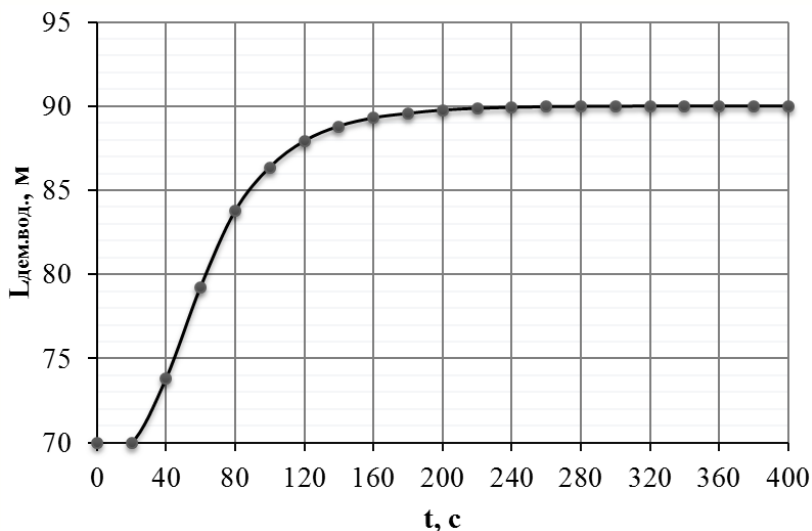


Рисунок 2.2 – Експериментальні дані основного каналу

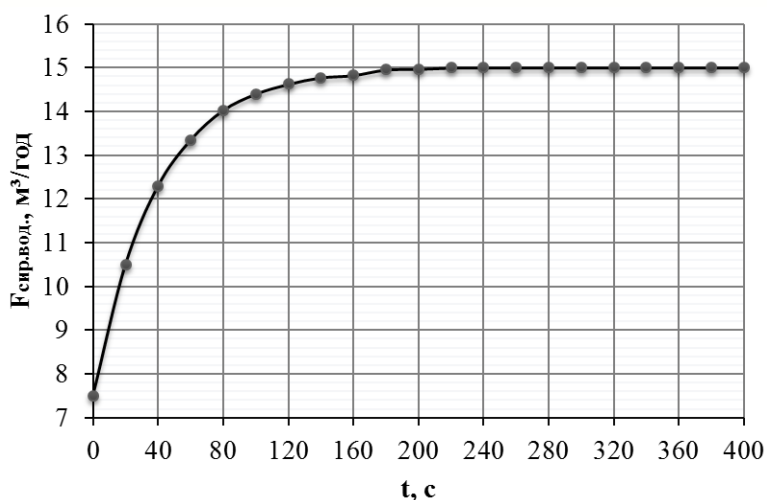


Рисунок 2.3 - Експериментальні дані допоміжного каналу

Для подальшого аналізу системи доцільно виконати нормування характеристики, представивши її у безрозмірному вигляді з використанням відповідних формул:

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

де  $X_{exi}$ ,  $Y_{vixi}$  - поточні значення вхідної і вихідної величин в розмірних одиницях;

$X_{ex0}$ ,  $Y_{vix0}$  - значення вхідних та вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{\text{вх max}}$  - максимальне значення вхідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{\text{вих max}}$  - значення вихідної величини після закінчення перехідного процесу в розмірних одиницях.

Порядок розрахунку для основного каналу:

$$x_{\text{вх}} = 1,0.$$

$$y_{\text{вих0}} = \frac{70,0 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,0;$$

$$y_{\text{вих1}} = \frac{70,0 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,0;$$

$$y_{\text{вих2}} = \frac{73,8 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,19;$$

$$y_{\text{вих3}} = \frac{79,24 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,462;$$

$$y_{\text{вих4}} = \frac{83,76 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,688;$$

$$y_{\text{вих5}} = \frac{86,36 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,818;$$

$$y_{\text{вих6}} = \frac{87,92 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,896;$$

$$y_{\text{вих7}} = \frac{88,8 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,94;$$

$$y_{\text{вих8}} = \frac{89,3 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,965;$$

$$y_{\text{вих9}} = \frac{89,56 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,978;$$

$$y_{\text{вих10}} = \frac{89,76 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,988;$$

$$y_{\text{вих11}} = \frac{89,86 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,993;$$

$$y_{\text{вих12}} = \frac{89,92 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,996;$$

$$y_{\text{вих13}} = \frac{89,96 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,998;$$

$$y_{\text{вих14-15}} = \frac{89,98 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 0,999;$$

$$y_{\text{вих16-20}} = \frac{90,0 - 70,0}{90,0 - 70,0} = 1,0.$$

Отримані результати заносимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати експерименту для основного каналу у безрозмірних одиницях

№	t, с	y <sub>вих</sub>	№	t, с	y <sub>вих</sub>
1	0	0	12	220	0,993
2	20	0	13	240	0,996
3	40	0,19	14	260	0,998
4	60	0,462	15	280	0,999

Продовження таблиці 2.2

№	$t, c$	$y_{вих}$	№	$t, c$	$y_{вих}$
5	80	0,688	16	300	0,999
6	100	0,818	17	320	1
7	120	0,896	18	340	1
8	140	0,94	19	360	1
9	160	0,965	20	380	1
10	180	0,978	21	400	1
11	200	0,988			

На основі даних таблиці 2.2 побудовано на рисунку 2.4 експериментальну перехідну характеристику, а також за допомогою програми Аргох здійснено апроксимацію та визначено передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{-10.792p + 1}{5689.874p^3 + 1084.077p^2 + 61.233p + 1}. \quad (2.2)$$

Максимальна похибка апроксимації становить 1,5 % у точці  $t = 20c$  (додаток А1).

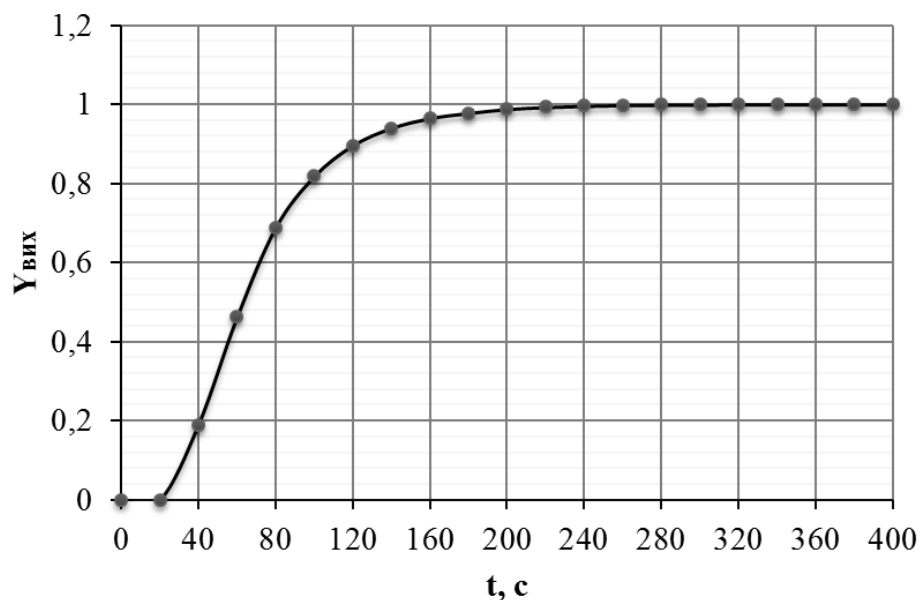


Рисунок 2.4 - Безрозмірна перехідна характеристика основного каналу регулювання

Здійснено розрахунок для допоміжного каналу:

$$x_{вх} = 1.$$

$$y_{вих0} = \frac{7,5 - 7,5}{15 - 7,5} = 0;$$

$$y_{вих1} = \frac{10,5 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,4;$$

$$y_{вих2} = \frac{12,3 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,64;$$

$$y_{вих3} = \frac{13,35 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,78;$$

$$y_{вих4} = \frac{14,025 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,87;$$

$$y_{вих5} = \frac{14,4 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,92;$$

$$y_{вих6} = \frac{14,625 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,95;$$

$$y_{вих7} = \frac{14,775 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,97;$$

$$y_{вих8} = \frac{14,8275 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,977;$$

$$y_{вих9} = \frac{14,955 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,994;$$

$$y_{вих10} = \frac{14,97 - 7,5}{15 - 7,5} = 0,996;$$

$$y_{вих11} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих12} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих13} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих14} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих15} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих16} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих17} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих18} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих19} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1;$$

$$y_{вих20} = \frac{15 - 7,5}{15 - 7,5} = 1.$$

Результати обчислень зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані допоміжного каналу в безрозмірних одиницях

№	t, с	y <sub>вих</sub>	№	t, с	y <sub>вих</sub>
1	0	0	12	220	1
2	20	0,40	13	240	1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ

Арк.

27

№	$t, c$	$y_{вих}$	№	$t, c$	$y_{вих}$
3	40	0,64	14	260	1
4	60	0,78	15	280	1
5	80	0,870	16	300	1
6	100	0,92	17	320	1
7	120	0,950	18	340	1
8	140	0,970	19	360	1
9	160	0,977	20	380	1
10	180	0,994	21	400	1
11	200	0,996			

На основі даних таблиці 2.3 побудовано на рисунку 2.5 експериментальну перехідну характеристику, а також за допомогою програми Аргох здійснено апроксимацію та визначено передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{1}{39.186p + 1}. \quad (2.3)$$

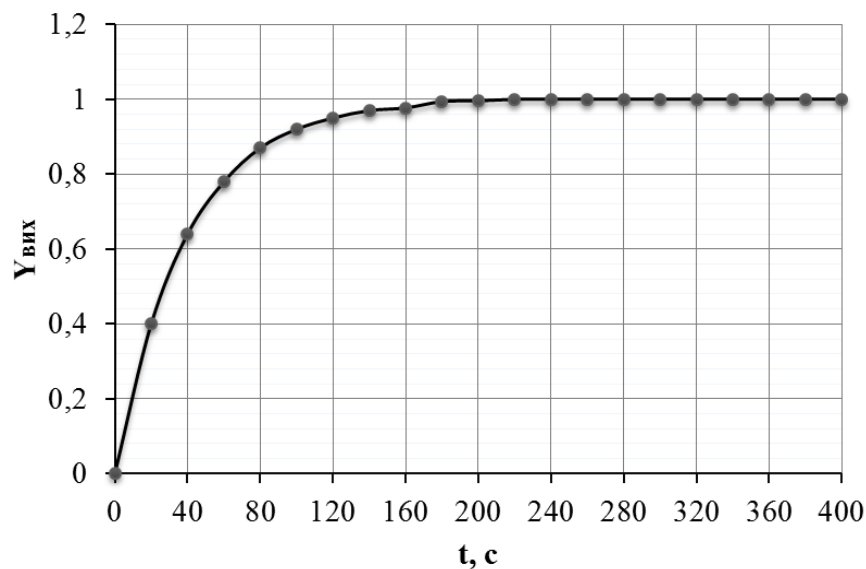


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика основного каналу регулювання у безрозмірних одиницях

Похибка апроксимації 0,06 % у точці  $t = 160c$  являється максимальною (додаток А2).

### **Висновки до розділу**

Об'єкт керування було визначено та обґрунтовано з позицій автоматизації. Дані експерименту апроксимовано з використанням програмного забезпечення Аргох. Згідно апроксимованих даних було визначено передавальну функцію об'єкта по каналах регулювання з використанням ЕОМ.

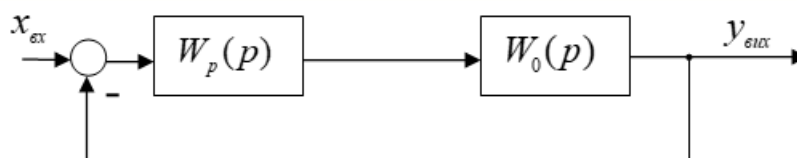
З одержаних розрахунків бачимо, що максимальна похибка апроксимації являється меншою 2.5%.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Розробка одноконтурної системи автоматичного керування

На рисунку 3.1 представлено спрощене функціональне зображення апарату, що розглядається в рамках кваліфікаційної роботи, із застосуванням одноконтурної автоматизованої системи керування.



$W(p)$  - передавальна функція керованого об'єкта;  $W_p(p)$  - передавальна функція регулятора

Рисунок 3.1 - Алгоритмічна схема одноконтурної автоматизованої системи керування

З метою забезпечення необхідної якості перехідного процесу та підвищення стійкості САК вибираємо регулятор який володіє ПІ – законом автоматичного регулювання і має у загальному такий вигляд:

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

Для створення системи керування необхідно визначити параметри регулятора та отримати передавальну функцію замкнутої системи. Для цього спершу запишемо передавальну функцію розімкнутої системи:

$$W_{роз}(p) = \frac{-10.792p + 1}{5689.874p^3 + 1084.077p^2 + 61.233p + 1} \cdot W_p(p); \quad (3.2)$$
$$W_{роз}(p) = \frac{-10.792p + 1}{5689.874p^3 + 1084.077p^2 + 61.233p + 1} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} =$$
$$= \frac{(-10.792p + 1)(C_1 p + C_0)}{5689.874p^4 + 1084.077p^3 + 61.233p^2 + p}.$$

Передавальна функція замкнутої системи матиме такий вигляд:

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

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$W_{зам}(p) = \frac{(-10.7920p + 1)(C_1p + C_0)}{5689.8740p^4 + 1084.0770p^3 + 61.2330p^2 + p} =$$

$$1 + \frac{(-10.7920p + 1.0)(C_1p + C_0)}{5689.8740p^4 + 1084.0770p^3 + 61.2330p^2 + p}$$

$$= \frac{(-10.7920p + 1.0)(C_1p + C_0)}{5689.8740p^4 + 1084.0770p^3 + 61.2330p^2 + p + (-10.7920p + 1)(C_1p + C_0)}$$

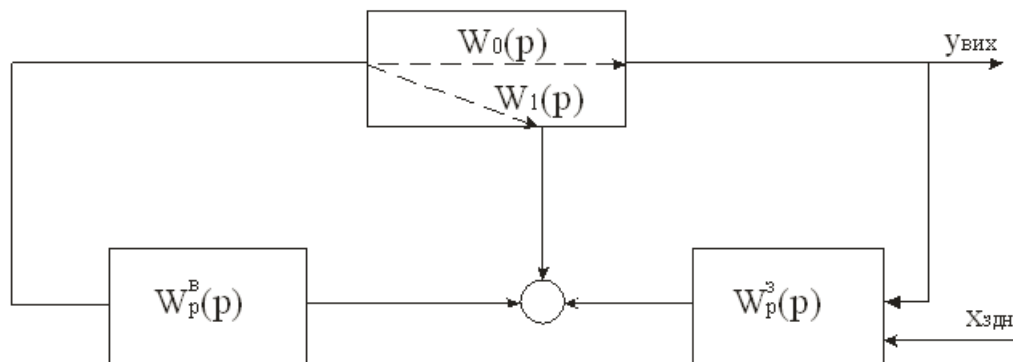
Вибір параметрів регулятора здійснено за допомогою програми MatLAB (функція Tune). Згідно з додатком Б1 отримаємо:  $K_p = C_1 = 0.6288$ ,  $K_i = C_0 = 0.01421$ .

Тоді:

$$W_{зам}(p) = \frac{-6.786p^2 + 0.475p + 0.01421}{5689.874p^4 + 1084.077p^3 + 54.447p^2 + 1.475p + 0.01421}$$

### 3.2 Розробка каскадної системи автоматичного керування

Для реалізації каскадної АСК до основного контуру додамо швидкодіючий (регулювання витрати промислової води) допоміжний контур автоматичного регулювання, структура якого у загальному вигляді наведена на рисунку 3.2.



$W_1(p)$  - передавальна функція по допоміжного каналу;  $W_0(p)$  - передавальна функція по основному каналу;  $W_p^3(p)$  - передавальна функція для зовнішнього регулятора системи керування;  $W_p^6(p)$  - передавальна функція для внутрішнього регулятора системи керування

Рисунок 3.2 - Алгоритмічна структура каскадної АСК

З основного регулятора почнемо розрахунок каскадної АСК.

Припустимо:

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

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

Припустимо, що робоча частота допоміжного контуру  $W_p''$  значно перевищує робочу частоту основного контуру  $W_p'$ , тоді у випадку рівності  $W = W_p'$  справедливою являється нерівність:

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

Тепер можна стверджувати, що  $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$ :

$$\begin{aligned} W_e'(p) &= \frac{-10.7920p + 1.0}{\frac{5689.8740p^3 + 1084.0770p^2 + 61.2330p + 1.0}{1.0}} = \\ &= \frac{-10.7920p + 1.0}{39.1860p + 1} = \\ &= \frac{-422.8950p^2 + 28.3940p + 1}{5689.8740p^3 + 1084.0770p^2 + 61.2330p + 1}. \end{aligned}$$

Визначення параметрів ПІ-регулятора здійснимо в середовищі Matlab із використанням відповідної функції. Відповідно до результатів наведених у додатку Б2 можемо бачити, що ми отримали такі результати  $K_p = C_1 = 0,4537$ ,  $K_i = C_0 = 0,02555$ .

Передавальна функція регулятора основного контуру буде мати такий вигляд:

$$W_p^s(p) = \frac{0,4537p + 0,02555}{p}. \quad (3.6)$$

Виконаємо обчислення передавальної функції допоміжного каналу системи автоматичного регулювання:

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

У наведене вище рівняння підставивши отримані попередньо результати одержимо:

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W''(p) = \frac{-10.792p + 1}{5689.874p^3 + 1084.077p^2 + 61.233p + 1} \cdot \frac{0,4537p + 0,02555}{p} + \frac{1}{39.186p + 1} =$$

$$= \frac{5689.874p^4 + 892.21p^3 + 63.31p^2 + 2.18p + 0.02555}{222963.403p^5 + 48170.51p^4 + 3483.55p^3 + 100.42p^2 + p}$$

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора буде виконано в середовищі Matlab із використанням відповідної функції. Згідно з результатами, наведеними у додатку БЗ, отримано такі значення  $K_p = C_1 = 187,6$ ,  $K_i = C_0 = 15,71$ .

$$W_p^e(p) = \frac{187.6p + 15.71}{p}$$

У символній формі еквівалентна передавальна функція каскадної системи автоматичного керування має вигляд:

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

Підставивши визначені попередньо передавальні функції та здійснивши обчислення одержимо такий результат:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{-35994.36p^4 - 2624.52p^3 + 253.85p^2 + 23.32p + 0.4013905}{222963.4p^6 + 1115590.9p^5 + 260249.9p^4 + 25994.06p^3 + 1404.42p^2 + 39.03p + 0.4013905}$$

### 3.3 Аналіз стійкості одноконтурної автоматизованої системи керування

Відповідно до критерію Михайлова, автоматизована система керування, що описується рівнянням  $n$ -го порядку, є стійкою, якщо побудований годограф послідовно проходить  $n$  квадрантів.

Характеристичний поліном у нашому випадку буде таким:

$$F(p) = 5689.874p^4 + 1084.077p^3 + 54.447p^2 + 1.475p + 0.01421.$$

Прирівняємо заданий поліном до нульового значення:

$$5689.874p^4 + 1084.077p^3 + 54.447p^2 + 1.475p + 0.01421 = 0.$$

Проведемо заміну  $p = j\omega$ :

$$5689.874\omega^4 - 1084.077j\omega^3 - 54.447\omega^2 + 1.475j\omega + 0.01421 = 0.$$

Відокремимо дійсну частину від уявної:

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$P(\omega) = 5689.874\omega^4 - 54.447\omega^2 + 0.014211;$$

$$Q(\omega) = -1084.077\omega^3 + 1.475\omega.$$

З використанням програмного забезпечення Mathcad (додаток В1) побудовано годограф Михайлова. З отриманого графіка видно, що він послідовно проходить чотири квадранти, що повністю відповідає необхідним умовам. Таким чином, згідно з критерієм Михайлова, система є стійкою.

### 3.4 Аналіз стійкості каскадної автоматичної системи керування

Запишемо характеристичний поліном для каскадної системи:

$$F(p) = 222963,400p^6 + 1115590,900p^5 + \\ +260249.9p^4 + 1404,4200p^2 + 25994.0600p^3 + 39.030p + 0.4013905.$$

Поліном прирівнюємо до нуля:

$$222963.4p^6 + 1115590,90p^5 + 260249,90p^4 + \\ +1404.42p^2 + 25994,060p^3 + 39.03p + 0.4013905 = 0.$$

Зробимо підстановку  $p = j\omega$ :

$$-222963.4\omega^6 + 1115590.9j\omega^5 + 260249.9\omega^4 - \\ -1404.42\omega^2 - 25994.06j\omega^3 + 39.03j\omega + 0.4013905 = 0.$$

Розділимо на дійсну та уявну частини:

$$P(\omega) = -222963.4\omega^6 + 260249.9\omega^4 - 1404.42\omega^2 + 0.4013905;$$

$$Q(\omega) = 1115590.9\omega^5 - 25994.06\omega^3 + 39.03\omega.$$

Аналогічним методом будуємо годограф Михайлова (Додаток В2). З графіка видно, що він проходить через шість квадрантів і прямує до нескінченності, що свідчить про стійкий характер системи.

### 3.5 Оцінка якості системи автоматичного керування

З метою оцінювання якості перехідного процесу системи керування побудуємо графік перехідної характеристики одноконтурної САК. Для цього скористаємося середовищем Matlab і пакетом Simulink (рис.3.3).

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

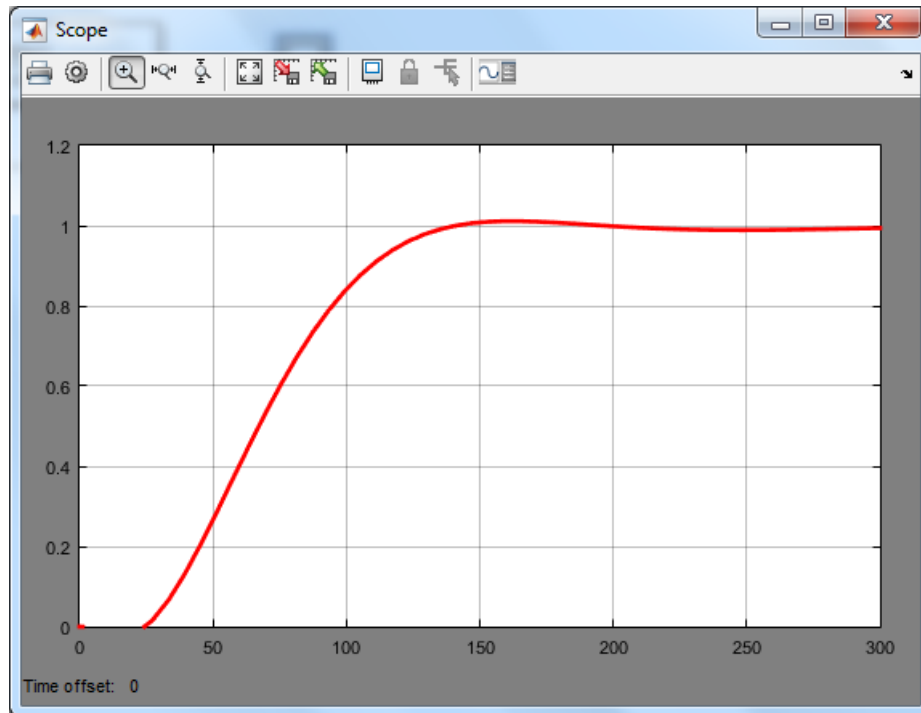
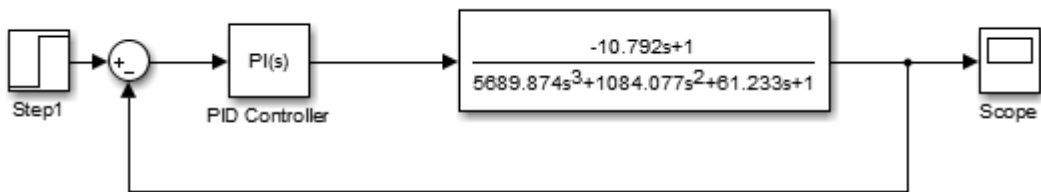


Рисунок 3.3 - Моделювання перехідної характеристики в Matlab

З метою оцінки якості системи використовується такі показники якості:

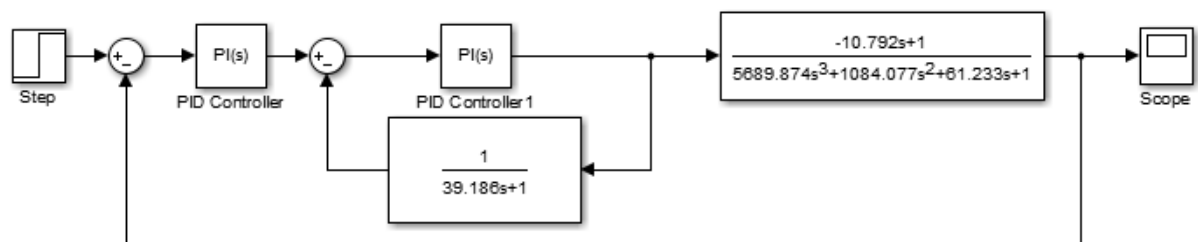
- перерегулювання системи керування:

$$\delta = 0\% ;$$

- тривалість перехідного процесу системи керування:

$$t_n = 135 \text{ с.}$$

Аналогічно і для каскадної системи побудуємо перехідну характеристику. Зазначену побудову проведемо за допомогою програми Matlab, і її компоненту Simulink (рис. 3.4).



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

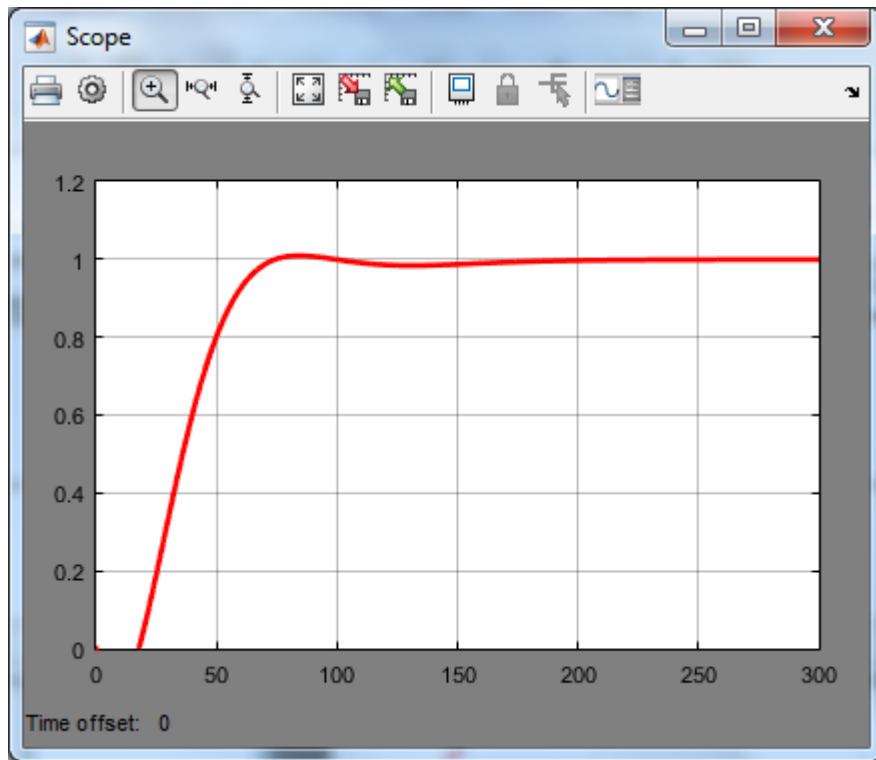


Рисунок 3.4 - Моделювання перехідної характеристики в Matlab  
 З метою оцінки якості системи використовується такі показники якості:

- перерегулювання системи керування:

$$\delta = 0\% ;$$

- тривалість перехідного процесу системи керування:

$$t_n = 70 \text{ с.}$$

### Висновки до розділу

Грунтовно проаналізовано та досліджено дві схеми керування. Визначено за допомогою Matlab параметри налаштування регуляторів. Виконано аналіз стійкості систем за критерієм Михайлова.

За допомогою програмного продукту Matlab проведено моделювання системи автоматичного керування та отримано перехідні характеристики.

## 4 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У даному розділі розглянуто процес розробки SCADA-системи для автоматизованого контролю та керування процесом приготування демінералізованої води (рис. 1.1). Реалізація системи виконана з використанням програмного середовища AVEVA System Platform, яке забезпечує високий рівень надійності, гнучкість масштабування та зручність експлуатації оператором. Основним призначенням розробленої системи є забезпечення безперервного моніторингу технологічних параметрів, оперативного керування виконавчими механізмами, візуалізації перебігу процесу, а також своєчасного інформування про відхилення та аварійні ситуації.

В основі SCADA-системи лежить мнемосхема технологічного процесу, яка відображає структуру та взаємозв'язки основного обладнання відділення. На схемі представлено піщаний фільтр 750F070A, резервуар сирової води 750D055, насос подачі сирової води 750P050A, патронний фільтр 750F050A, катіонітовий фільтр 750F051A, аніонітовий фільтр 750F052A, фільтр змішаного шару 750F053A, бак демінералізованої води 750T001, насос подачі демінералізованої води 750P052A та басейн нейтралізації 750T002. Всі зазначені елементи з'єднані трубопроводами, що забезпечують транспортування сирової, обробленої та стічної води, із відображенням напрямків потоків, що значно підвищує наочність сприйняття технологічного процесу.

Особливу увагу приділено організації інформаційного забезпечення системи. У правій частині мнемосхеми розміщено панелі контролю технологічних параметрів. Зокрема, здійснюється контроль температури сирової води, температури пари, температури конденсату та температури демінералізованої води, що є критично важливими для забезпечення ефективності процесу. Також відображаються витрати у резервуарі 750D055 та витрати стічної води, що дозволяє оцінювати баланс потоків у системі. Контроль рівня здійснюється для резервуарів

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

750D055 і 750T001, що забезпечує запобігання переповненню або спорожненню ємностей.

Окрім цього, система забезпечує контроль тиску в ключових точках технологічної схеми, зокрема тиску сирі води, тиску перед насосом 750P050A, після нього, а також тиску після насоса 750P052A та в інших ділянках трубопровідної мережі. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти гідравлічні відхилення та забезпечувати стабільність роботи обладнання.

SCADA-система реалізує функції керування виконавчими механізмами, представленими на мнемосхемі, зокрема насосами 750P050A та 750P052A, а також запірною та регулюючою арматурою. Передбачено можливість роботи як у ручному, так і в автоматичному режимах, що дозволяє здійснювати налагодження системи та її подальшу експлуатацію відповідно до заданих алгоритмів. У разі виникнення аварійних ситуацій реалізовано відповідні блокування, що запобігають пошкодженню обладнання.

Важливою складовою SCADA-системи є підсистема сигналізації, яка також відображена на мнемосхемі. Вона забезпечує інформування оператора про відхилення температурних, витратних, рівневих та тискових параметрів від допустимих значень. Використання кольорової індикації дозволяє швидко ідентифікувати стан системи та оперативно реагувати на зміну умов функціонування.

Крім того, система передбачає архівування технологічних параметрів, що відображаються на екрані, включаючи температури, витрати, рівні та тиски. Це забезпечує можливість подальшого аналізу роботи установки, побудови трендів та формування звітної документації, що є необхідним для підвищення ефективності процесу демінералізації води.

Розроблений інтерфейс (рис. 1.1) характеризується високим рівнем ергономічності, що досягається завдяки логічній структурі мнемосхеми, раціональному розміщенню обладнання (750F070A, 750D055, 750T001, 750T002) та інформаційних панелей параметрів. Це сприяє зменшенню часу реагування

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оператора та підвищенню надійності керування технологічним процесом.

Таким чином, розроблена SCADA-система забезпечує комплексний контроль і керування процесом приготування демінералізованої води, поєднуючи функції моніторингу, сигналізації, архівування та візуалізації, що відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем керування технологічними процесами.



Рисунок 4.1 - SCADA система установки

### Висновки до розділу

Виконано розробку SCADA-системи для відділення приготування демінералізованої води, яка забезпечує ефективний контроль, надійне керування та зручну візуалізацію технологічного процесу. Запропоноване рішення відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації та може бути впроваджене на реальних виробничих об'єктах.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## **5 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

### **5.1 Структурна організація ієрархічної системи керування**

Під час розробки проекту автоматизації необхідно вирішити точки управління управлятись. Де будуть розміщені операторські приміщення, пункти управління та який має бути взаємозв'язок між ними. Також потрібно вирішити питання побудови структури управління. Під структурою керування розуміють сукупність складових автоматичної системи, на які її поділяють за певними ознаками, а також канали взаємодії між цими елементами. Графічне представлення такої організації називають структурною схемою.

Ця схема виступає основним проектним документом, оскільки саме вона визначає найбільш доцільні канали адміністративно-технічного та оперативного керування технологічними процесами з метою забезпечення високої ефективності їх експлуатації.

Структурні схеми призначені для формування системи контролю та керування виробничим процесом об'єкта, що розробляється, а також для відображення взаємозв'язків між щитами, пультами керування та виробничими постами основних груп технологічного обладнання, розкриваючи при цьому адміністративно-технічну організацію централізованого управління об'єктом.

Систему автоматизованого управління та збором даних розроблятимемо із врахуванням таких вимог:

- система має забезпечувати ефективну взаємодію оператора й обслуговуючого персоналу з технологічним процесом і автоматизованими засобами, що в ньому застосовуються;

- крім того, вона повинна гарантувати надійне та результативне функціонування підприємства, реалізуючи необхідні функції керування, пов'язані з регулюванням технологічних параметрів і забезпеченням захисту процесу та обладнання;

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

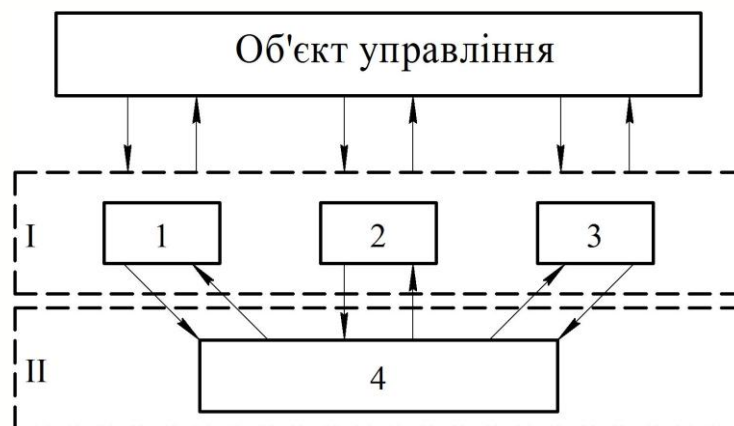
- система має забезпечувати видачу необхідної інформації за період до початку спостереження а також інформації, що необхідна для обліку та керівництва роботою усього підприємства;

- в загальному вигляді структури управління можуть бути однорівневими централізованими чи децентралізованими або багаторівневими.

Для забезпечення необхідного рівня якості керування в межах даної роботи запропоновано дворівневу систему управління (рисунок 5.1):

- перший рівень передбачає локальне керування агрегатами, яке виконується з операторських робочих місць;

- другий рівень реалізує централізоване керування агрегатами, що входять до складу відповідного технологічного процесу.



I - перший управлінський рівень (1, 2, 3 - регулятори та індикатори); II - другий управлінський рівень (4 - ПЕОМ)

Рисунок 5.1 - Структурна схема САК

Структурна схема системи керування, представлена на рисунку 5.1, забезпечує високу оперативність, надійність та зручність обслуговування. Водночас вона дозволяє ефективно реалізувати оптимальний рівень централізованого керування за рахунок мінімізації кількості засобів технічного контролю, керувальних пристроїв і каналів зв'язку між ними.

## 5.2 Вибір і обґрунтування засобів автоматизації та їх технічні характеристики

Проаналізувавши технологічний об'єкт а також особливості його роботи та

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимоги до технологічних параметрів, а також загальний рівень автоматизації розроблюваного виробництва здійсимо вибір необхідних технічних засобів автоматизації. Увесь комплекс технічних засобів автоматизації включає в себе: засоби формування і передачі інформації, засоби отримання інформації про проходження технологічного процесу, засоби надання інформації обслуговуючому персоналу та виконавчі механізми.

З урахуванням того, що досліджуване виробництво відноситься до пожежно-вибухонебезпечних здійсимо вибір конкретних типів технічних засобів автоматизації на основі даної специфіки. Первинні перетворювачі і прилади, які встановлені по місцю в операторній виконані у іскробезпечному виконанні. Зважаючи на те, що на установці здійснюється контроль і регулювання значної кількості однотипних параметрів технологічного процесу, до складу системи приладів входять уніфіковані автоматичні пристрої. Це суттєво спрощує їх експлуатацію, а також полегшує налаштування, обслуговування та ремонт.

Під час вибору ТЗА, віддаватимемо перевагу використанню автоматичних пристроїв, які мають серійне виробництво.

Під час вибору технічних засобів, врахуємо наступні фактори метрологічного а також режимного характеру:

- границі вимірювання кожного приладу;
- інерційність кожного з датчиків;
- вплив різних фізичних параметрів досліджуваного середовища, а також довкілля на роботу кожного з приладів;
- можливість застосування датчика у конкретних умовах з погляду на пожежо-чи за потреби вибухонебезпечність;
- відстані між датчиками і операторною, на котру можлива передача інформації.

Система автоматизації даної установки вимагає застосування таких ТЗА:

- первинних перетворювачів температури, витрати, тиску та рівня;
- виконавчих механізмів;

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- мікропроцесорних контролерів.

### 5.2.1 Вибір контролера

Контролер є найважливішим елементом в проєктованій системі. Як регулятор обрано мікропроцесорний контролер компанії «МІКРОЛ» — МІК-51.

Цей контролер призначений для реалізації регулювання та логічного керування технологічними процесами, а також може застосовуватися в різних галузях промисловості. Вигляд регулятора наведений на рисунку 5.2.



Рисунок 5.2 - Загальний вигляд МІК-51

Контролер забезпечує реалізацію програмного, локального, каскадного та багатозв'язного регулювання.

Архітектура МІК-51 дає змогу виконувати ручне або автоматичне вмикання, вимикання, перемикавання та переналаштування діючих контурів автоматичного регулювання, причому ці операції можуть здійснюватися незалежно від складності структури системи керування. У поєднанні з обробкою аналогових сигналів контролер дозволяє виконувати різні логічні перетворення, а також формувати аналогові, імпульсні та дискретні керувальні сигнали.

Логічні функціональні блоки формують програму керування у вигляді послідовності кроків із перевіркою умов їх виконання, а також задають часові параметри на кожному етапі та умови переходів — як умовних, так і безумовних. У взаємодії з обробкою дискретних сигналів МІК-51 забезпечує виконання широкого

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

спектра функціональних перетворень аналогових сигналів і формування як дискретних, так і аналогових керувальних впливів.

МІК-51 оснащений засобами оперативного керування, розміщеними на передній панелі. Вони дозволяють вручну змінювати режими роботи, задавати уставки, керувати виконавчими механізмами в ручному режимі, контролювати виконання програми, а також здійснювати моніторинг сигналів і фіксацію помилок. Елементи управління показані на рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 - Елементи оперативного управління

Стандартні дискретні та аналогові датчики, а також виконавчі механізми підключаються до контролера через індивідуальні кабельні з'єднання. Усередині контролера всі сигнали проходять цифрову обробку.

Контролер являє собою комплекс технічних засобів, до складу якого входить центральний мікропроцесорний блок, а в базовій комплектації — клемно-блочний з'єднувач. Центральний блок здійснює перетворення аналогових і дискретних сигналів у цифровий формат, виконує їх обробку та формує відповідні керувальні впливи.

Мікропроцесорний контролер МІК-51 є проектно-компонованим виробом, що дає змогу користувачеві самостійно формувати необхідну конфігурацію шляхом вибору модулів розширення та блоків відповідно до кількості й типів вхідних та вихідних сигналів. Склад і параметри контролера визначаються замовником і зазначаються під час оформлення замовлення.

У складі контролера МІК-51 передбачено:

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- Понад 50 типів функціональних блоків, записаних у ПЗП.
- До 9 повністю незалежних контурів регулювання, кожен з яких може працювати в локальному або каскадному режимі, з ручним, супервізорним або програмним (у тому числі багатoproграмним) завданням, а також з аналоговими чи імпульсними вихідними сигналами.
- До 100 функціональних блоків із можливістю довільного вибору з вбудованої бібліотеки та гнучкого конфігурування між собою і з входами/виходами контролера, включно з ручним налаштуванням та автопідстроюванням параметрів.
- Можливість зміни режимів керування, а також вмикання, вимикання, перемикавання та реконфігурації контурів регулювання будь-якого рівня складності.
- Об'єднання до 32 контролерів у локальну мережу, з можливістю включення інших моделей контролерів.

Таблиця 5.1 - Загальні функціональні параметри МІК-51

Технічні характеристики	Значення
Максимальна кількість функціональних блоків у програмі	99
Кількість функціональних блоків	< 50
Тривалість циклу	< 0,1 с
Годинники реального часу	Резервне живлення
Похибка виконання цифрового оброблення інформації:	
- вилучення квадратного кореня	0,1%
- ділення, множення	0,01%
- підсумовування, вирахування	0%

### 5.2.2 Вибір давачів температури

Як датчики температури обрано термоелектричні перетворювачі Метран-201, які призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних середовищ, що не руйнують матеріал

захисної арматури.

Перетворювачі мають розбірну конструкцію, що складається з внутрішнього чутливого елемента. Для даних датчиків також передбачені кабельні модифікації. Характеристика датчика подана в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Основні характеристики Метран 201

Назва показника	Значення
Чутливі елементи	1 або 2
Клас допуску	2
Діапазон вимірюваних температур	-40 до 1000°C
Робочий спай	ізолюваний
Матеріал головки	склонаповнений поліамід
Повірка	Періодичність повірки - 1 раз в рік

Загальний вигляд давача зображений на рис. 5.4.



Рисунок 5.4 - Загальний зовнішній вигляд давача і його модифікації

### 5.2.3 Вибір давачів рівня

Давачі гідростатичного тиску (рівня) серії Метран 43-ДГ призначаються для ефективної роботи у автоматичних системах контролю, регулювання, управління і забезпечують неперервне перетворення значення параметру, що вимірюється в уніфікований сигнал.

Датчики тиску Метран-43-ДГ конструктивно виконані з відкритою мембраною і призначені для використання у автоматичних системах контролю а також регулювання рівня рідини рідкого середовища. Датчики працюють з

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



#### 5.2.4 Вибір давачів тиску

В якості давача тиску вибираємо давач тиску Метран-44.

Датчик тиску Метран-44 (рис. 5.6) призначений для роботи в наступних середовищах: газ, пара, рідини, в тому числі з великою хімічною активністю при тиску не більше 2,1 МПа. Призначаються для ефективної роботи у системах контролю, регулювання, управління і забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра в уніфікований сигнал струму.

Датчики працюють з вторинною реєструючою і показуючою апаратурою, регуляторами і іншими засобами автоматизації, що сприймають стандартний сигнал струму. Датчики мають трьохмембранну конструкцію перетворювача, захищену патентом. Датчики Метран-44 виготовляються виключно з мікропроцесорним перетворювачем, який за всіма характеристиками — метрологічними, функціональними та експлуатаційними — перевершує аналогові аналоги. Як вихідні використовуються струмові сигнали: 0–5 мА, 4–20 мА, 0–20 мА, 5–0 мА, 20–4 мА та 20–0 мА.



Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд давача Метран-44

Таблиця 5.4 - Характеристика давача тиску Метран-44

Характеристика	Значення
Середовище вимірювання вимірювання	Газ, пара, рідини
Виконання	Звичайне, вибухозахищене
Вихідний сигнал	0-5, 4-20, 0-20, 5-0, 20-4, 20-0 мА
Міжповірочний інтервал (роки)	3
Гарантійний термін експлуатації	36

Давачі є стійкими до дії відносної вологи навколишнього повітря до  $(96 \pm 3)\%$  при  $35^{\circ}\text{C}$  і більш низьких температурах без конденсації вологи.

Застосування мікропроцесорної електроніки забезпечило можливість самодіагностики, контролю і настройки параметрів датчиків безпосередньо на місці експлуатації.

### 5.2.5 Вибір давача витрати

Підходящим варіантом буде витратомір 8800 фірми Fisher-Rosemount (рис. 5.7). Дані витратоміри підходять для вимірювання газу, пари та рідини.

Витратоміри вибраної моделі належать до відомого сімейства пристроїв Rosemount SMART FAMILY. Дані прилади для обміну даних використовують протокол HART. Саме застосування цифрових технологій надає витратоміру можливість забезпечувати максимальну точність а також надійність вимірювань. Легкість підключення витратоміра також являється додатковою перевагою.



Рисунок 5.7 - Загальний вигляд витратоміра Fisher-Rosemount 8800

Наявність зварного корпусу забезпечує герметичність а отже унеможливорює випадкові викиди. Абсолютно відсутні щілини та канали, які можуть забиватися а отже погіршувати характеристики витратоміра. Технічні характеристики витратоміра наведені у таблиці 5.5.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 5.5 - Характеристики витратоміра Fisher-Rosemount 8800

Параметр	Значення
Максимальна основна похибка: - цифровий та імпульсний виходи: - для рідини - для пари, газу - струмовий вихід	0,65 % від витрати 1,35 % від витрати 1,35
Вихідний сигнал	4-20 мА
Величина надлишкового тиску	3,5 МПа
Температура контрольованого середовища	
- високотемпературне виконання	-200...427 °С
- стандартне виконання	-40...232 °С
Середовище вимірювань	пара, газ, рідина

На відміну від традиційних приладів, цей витратомір визначає витрату з урахуванням динамічних змін параметрів середовища — тиску та температури, а також таких змінних у розрахункових рівняннях, як в'язкість, густина, стисливість і розширення газу. Вбудований процесорний модуль забезпечує можливість самодіагностики давача витрати.

Основні переваги витратоміра:

- широкий робочий діапазон вимірювань;
- використання мікропроцесорної електроніки скорочує час налаштування та введення в експлуатацію;
- обмін інформацією здійснюється через HART-комунікатор;
- підтримка одночасного формування аналогових, цифрових та імпульсних сигналів забезпечує можливість контролю і регулювання витрати кількома пристроями;
- придатність для застосування в різних технологічних процесах;
- наявність вбудованого або, за потреби, виносного електронного блоку підвищує зручність і гнучкість монтажу;

Поєднання в одному пристрої таких функцій, як розрахунок витрати,

багатопараметричні вимірювання та самодіагностика, робить ці давачі ефективним і універсальним рішенням для вимірювання витрати.

### **5.2.6 Обґрунтування вибору виконавчого механізму**

огляду на те, що вихідним сигналом мікропроцесорного контролера МК-51 є аналоговий електричний сигнал, доцільно застосувати електричний виконавчий механізм (ВМ), який забезпечує перетворення керуючого сигналу в задане позиціонування регулюючого органу за певний проміжок часу.

Як виконавчий механізм обрано МЕО-16/25-0,63 ПВТ4 — однообертовий ВМ типу МЕО, що забезпечує обертальний момент 16 Н·м і здійснює 0,63 оберту за 25 секунд.



Рисунок 5.8 - Виконавчий механізм

## **5.3 Проектна частина системи автоматизації**

### **5.3.1 Опис функціональної схеми автоматизації системи керування**

Функціональні схеми автоматизації є одним із ключових технічних документів проекту, що визначає структуру системи керування технологічним процесом і її оснащення засобами автоматизації. Така схема повинна формувати цілісне уявлення про об'єкт керування, яким виступає сукупність основного й допоміжного обладнання разом із встановленими в ньому запірними та регулювальними органами, а також потоками енергії, сировини та інших матеріалів, обумовлених специфікою технології. У зв'язку з цим на схемі

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

відображаються технологічні апарати (колони, теплообмінники, реактори тощо), трубопроводи, автоматичні пристрої та зв'язки між ними.

Функціональна схема автоматизації виконується у вигляді креслення, на якому показано комунікації, наявне технологічне обладнання, органи керування та засоби автоматизації (давачі, первинні перетворювачі, виконавчі механізми, вторинні прилади) із нанесенням ліній зв'язку як між ними, так і з технологічним обладнанням.

Допоміжні елементи, такі як повітряні фільтри, редуктори, джерела живлення, реле, вимикачі, автоматичні вимикачі, з'єднувальні коробки та інші монтажні компоненти, на функціональних схемах не відображаються.

Засоби автоматизації, розташовані поза щитами та безпосередньо не пов'язані з технологічним обладнанням і трубопроводами, групують у прямокутнику «Місцеві прилади». Первинні відбірні та приймальні пристрої, а також вимірювальні перетворювачі, що монтуються безпосередньо в технологічні апарати чи трубопроводи, на функціональній схемі не зображаються.

В даній кваліфікаційній роботі розробленою ФСА і нею передбачено наступне:

- Проектом передбачено показ та вивід на дисплей таких параметрів: тиск та температура сирової промислової води до піщаного фільтру; тиск до та після насоса перекачування стічної води; витрата в ємність для промислової води; тиск до та після патронного фільтру; температура гріючої пари та конденсату; тиск до та після насоса для перекачування сирової промислової води.

- Регулювання витрати стічної води відбувається за допомогою витратоміра фірми Fisher-Rosemount 8800 (поз. 10-а). Сигнал із перетворювача (поз. 10-б) надходить на регулятор МІК-51. Даний регулятор проводить корекцію та направляє керувальний сигнал на виконавчий механізм (поз. 10-в).

- Температура бака демінералізованої води контролюється регулятором МІК-51. Вхідний сигнал надходить від перетворювача (поз. 7-а), а керуючий вплив подається на виконавчий орган (поз. 7-в).

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Регулювання, контроль і вимірювання рівня в ємності з промисловою водою здійснюються таким чином: за допомогою давача «Метран-43-ДГ» (поз. 1-б) гідростатичний тиск перетворюється у відповідний сигнал, який передається на мікропроцесорний контролер МІК-51. Далі сформований керуючий сигнал надходить на позиціонер виконавчого механізму (поз. 1-в), встановленого на трубопроводі подачі сирової промислової води.

- Вимірювання, контроль та регулювання рівня в баку демінералізованої води реалізуються за аналогічним принципом: сигнал від давача «Метран-43-ДГ» (поз. 4-б) передається на мікропроцесорний регулятор МІК-51, після чого керуючий вплив подається на позиціонер виконавчого механізму (поз. 4-в), встановленого на трубопроводі демінералізованої води.

### **5.3.2 Створення креслення загального виду щита системи керування**

Щит системи автоматизації призначений для розміщення на ньому приладів контролю чи управління технологічним процесом. Щити встановлюються у виробничих чи спеціальних щитових приміщеннях: апаратних та диспетчерських, операторних.

На щитах встановлюють засоби контролю та керування технологічними процесами, а також пристрої автоматизації, блокування, захисту, елементи живлення і лінії зв'язку між ними.

Розроблення загального вигляду щита здійснюється у такій послідовності:

- підбір стандартного типу щита з урахуванням кількості використовуваних приладів, категорії приміщення та складу електроапаратури, в якому він буде встановлений;

- компонування приладів і апаратури на фасадних панелях, а також усередині щитів і пультів.

На наведеній установці, використовуються щитові шафи, виготовлені із застосуванням субблочного принципу компонування. Використовуються теж панельні щити. Ці щити характеризуються такими параметрами:

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- апаратура управління винесена на лицьову стінку субблоку, а інша допоміжна тобто малогабаритна апаратура розміщена на внутрішній поверхні субблоку. Підключення до елементів електроживлення здійснюється через роз'єми, розміщені на задній панелі субблоку;

- апаратура для керуванн насосами, а також допоміжною апаратурою, розділена на окремо стоячі блоки, що створює хороші умови для процесу управління а також спостереження в процесі безпосереднього протікання технологічного поцесу;

- малогабаритністю характеризується субблочний метод в порівнянні із іншими щитами. На лицьовій панелі розміщується сигнальна апаратура. На внутрішній поверхні субблоку розташовується реле часу та проміжне реле в необхідних кількостях. Від електрообладнання, яке розташовується всередині щита, провідники збираються в джгути.

Щоб розмістити реєструючі та показуючі прилади застосуємо повногабаритний щит панельний (ЩП 2200х600х60).

Сигналізатори та перетворювачі встановлено поза щитом на штативі. На кресленні також подано таблицю написів на табло та бірках.

### **5.3.3 Проектування схеми зовнішніх з'єднань і підключень**

Схеми зовнішніх з'єднань і підключень призначені для здійснення з'єднань між приладами які знаходяться за межами щита, засобами автоматизації та щитами.

Дані схеми будуються на базі функціональних схем а також на базі електричних схем сигналізації та управління. Виконуються вони як комбіновані схеми. На одному кресленні наводяться схеми електричних а також трубних провідок, а на другому кресленні в вигляді суміщених схем наводяться електричні провідки та підключення провідок та кабелі зовнішнього монтажу до роз'ємів.

За допомогою умовних зображень наводять: первинні перетворювачі; відбірні пристрої; щити; місцеві пункти управління; пульти; пункти контролю; пункти сигналізації; пункти вимірювання; позащитові засоби автоматизації; поза

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

щитові прилади; з'єднувальні коробки; електропроводки; протяжні коробки; кабелі, котрі прокладені за межами щитів; комутаційні затискачі; запірну арматуру; захисне заземлення. У вигляді прямокутників і кіл позначено шафи з окремими приладами, всередині яких розміщуються відповідні написи.

Лінії зв'язку однакового призначення на схемах виконують суцільною лінією, а розриви роблять лише в місцях підключення до технологічних приладів та виконавчих механізмів, що дає змогу виконати їх маркування.

### **Висновки до розділу**

Запропоновано структурну схему ієрархічної системи керування, проведено вибір та обґрунтування ТЗА і контролерів, які необхідні для коректної експлуатації розглянутого об'єкта керування, виходячи з умов протікання технологічного процесу. Було вибрано регулятори фірми «Мікрол», а технічні засоби автоматизації фірм «Метран» та «Fisher-Rosemount».

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на основі аналізу технологічного об'єкту контролю розроблена функціональна схема автоматизації процесу приготування демінералізованої води. На основі функціональної схеми спроектовано схему зовнішніх з'єднань.

Виконана робота дає змогу отримати відомості про технологічний процес, його основні характеристики та питання автоматизації, а також провести аналіз різних систем керування на основі математичного моделювання або дослідження експериментальних динамічних характеристик як процесу загалом, так і окремого об'єкта.

В даній бакалаврській роботі наводяться результати розрахунку економічних затрат на впровадження нової автоматичної системи, описуються питання безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища. Принципово новими питаннями автоматизації об'єкту є використання інтелектуальних багатофункціональних мікропроцесорних контролерів фірми "Мікрол".

Отже, бакалаврська робота дозволяє на основі розробленої документації, проведених досліджень та виконаних розрахунків реалізувати часткову автоматизацію процесу демінералізації води з використанням мікропроцесорної техніки, що сприяє підвищенню якості та обсягів продукції.

					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

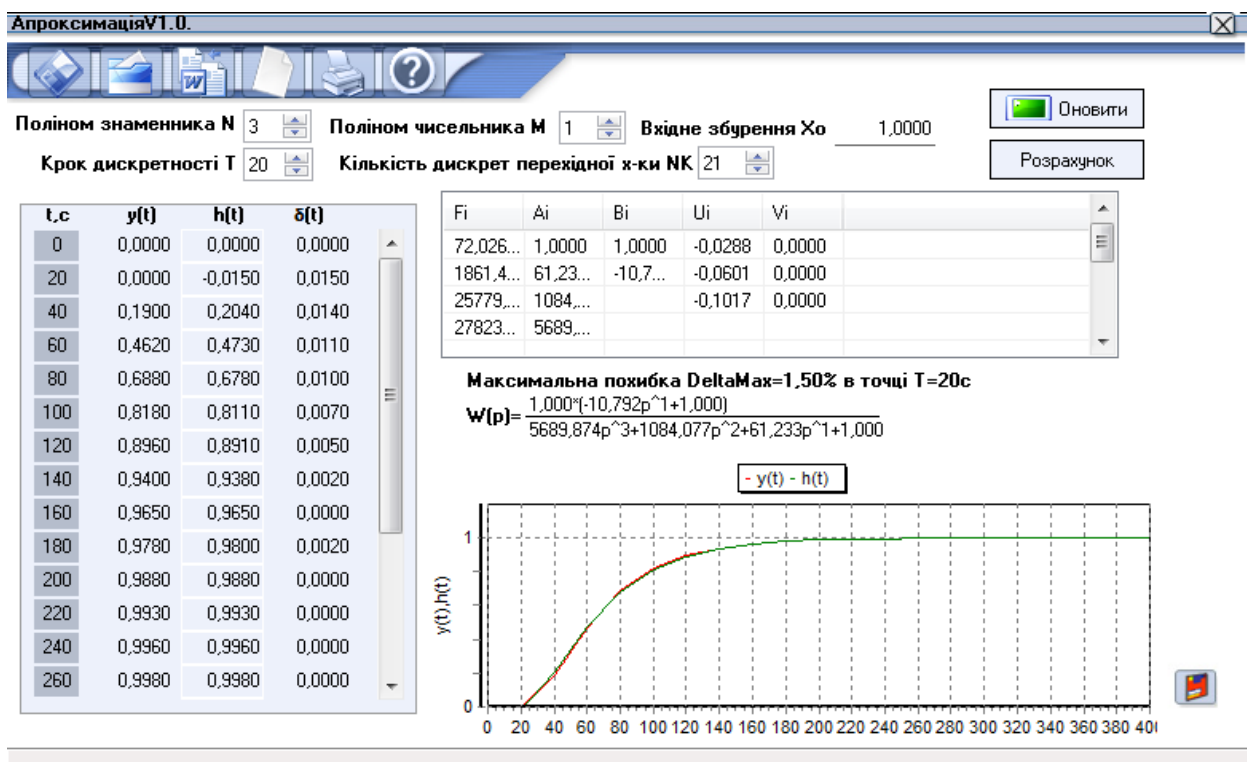
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. Івано-Франківськ: Факел, 2005. 448 с.
2. 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.
3. Автоматичне управління / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, М. М. Дранчук і ін. – Івано-Франківськ: Факел, 2003.
4. Борин, В. С. Автоматизація технологічних процесів та виробництв [Текст]: лабораторний практикум / В. С. Борин, Л. І. Фешанич, Г. Г. Зварич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. – 38 с.
5. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. 610 с.
6. Когутяк, М. І. Технічні засоби автоматизації [Текст] : навч. посіб. / М. І. Когутяк. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ Факел, 2015. – 212 с.
7. 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.
8. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.
9. Когутяк, М. І. Мікропроцесорні технічні засоби автоматизації [Текст] : навч. посіб. Ч.1 : Програмовані логічні контролери / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – 236 с.
10. 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.

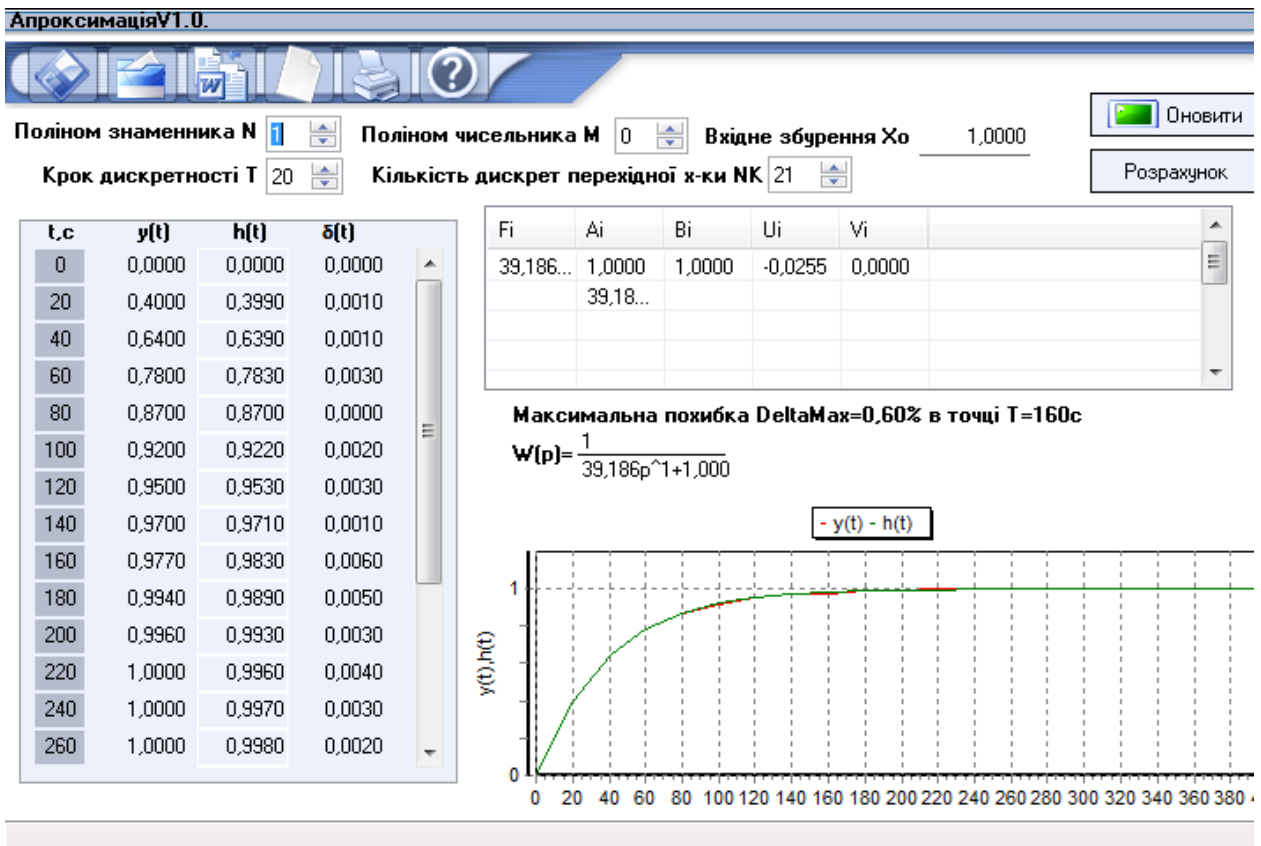
					БР.АКП-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ДОДАТКИ

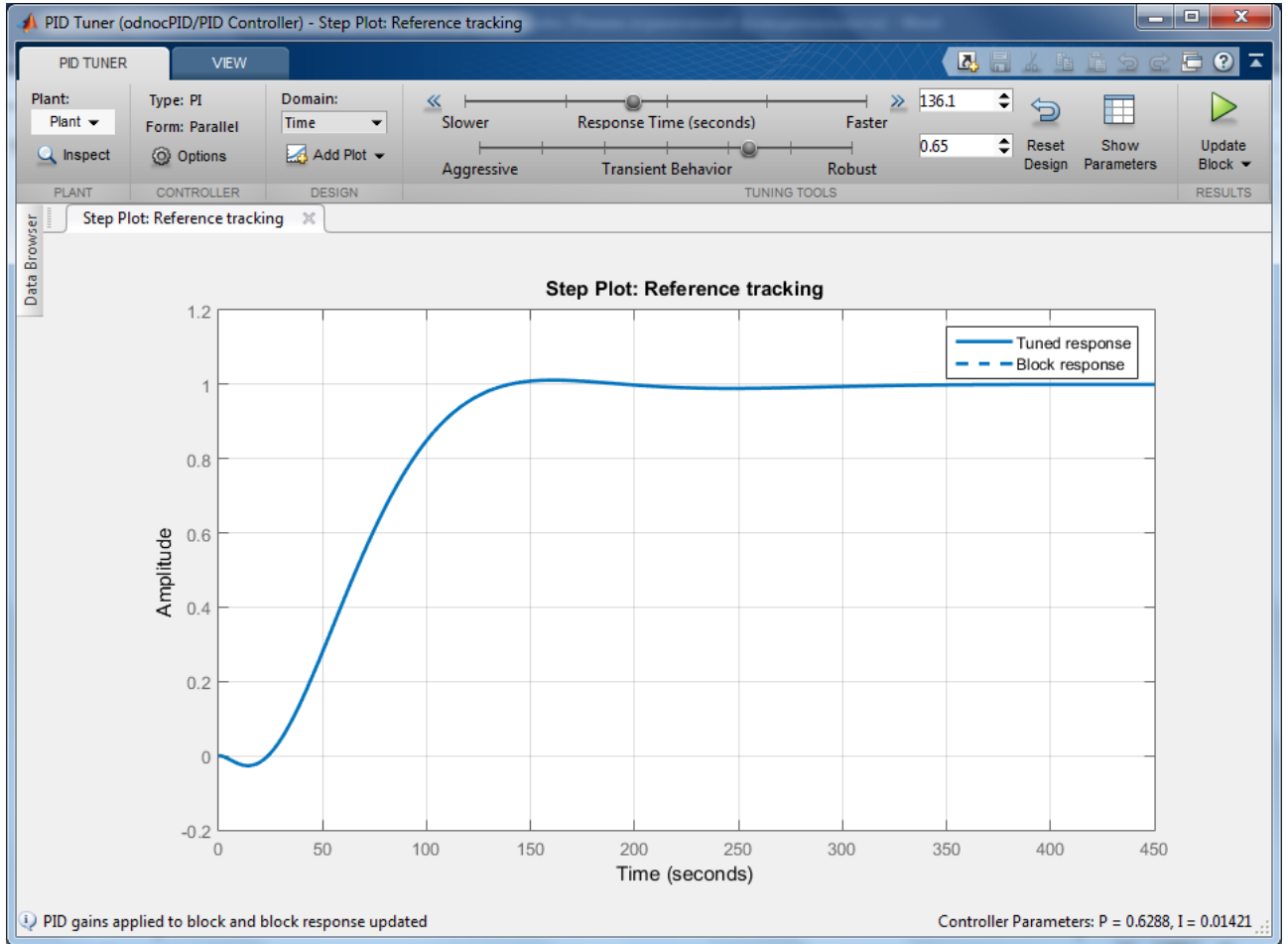
# Додаток А1



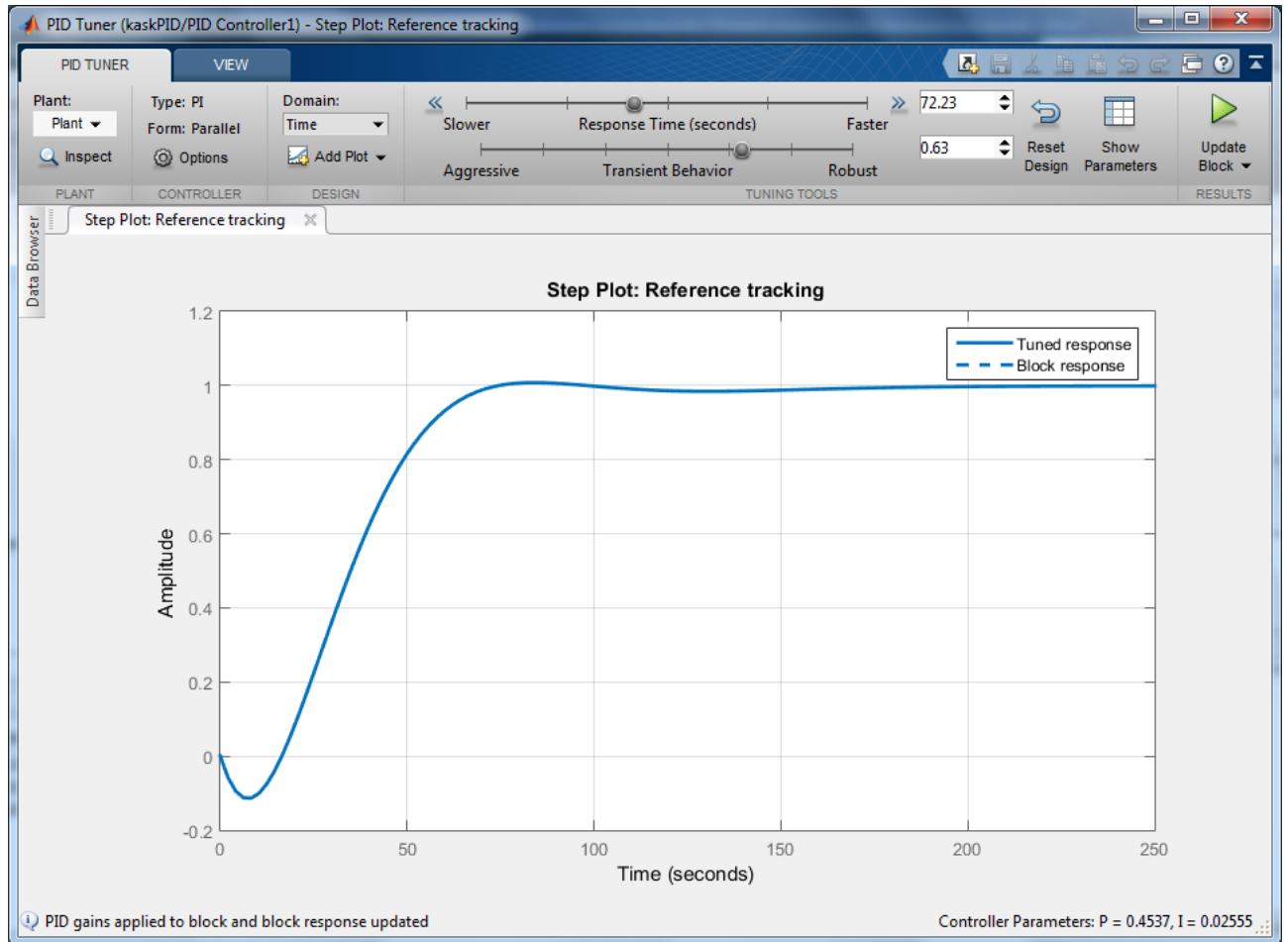
## Додаток А2



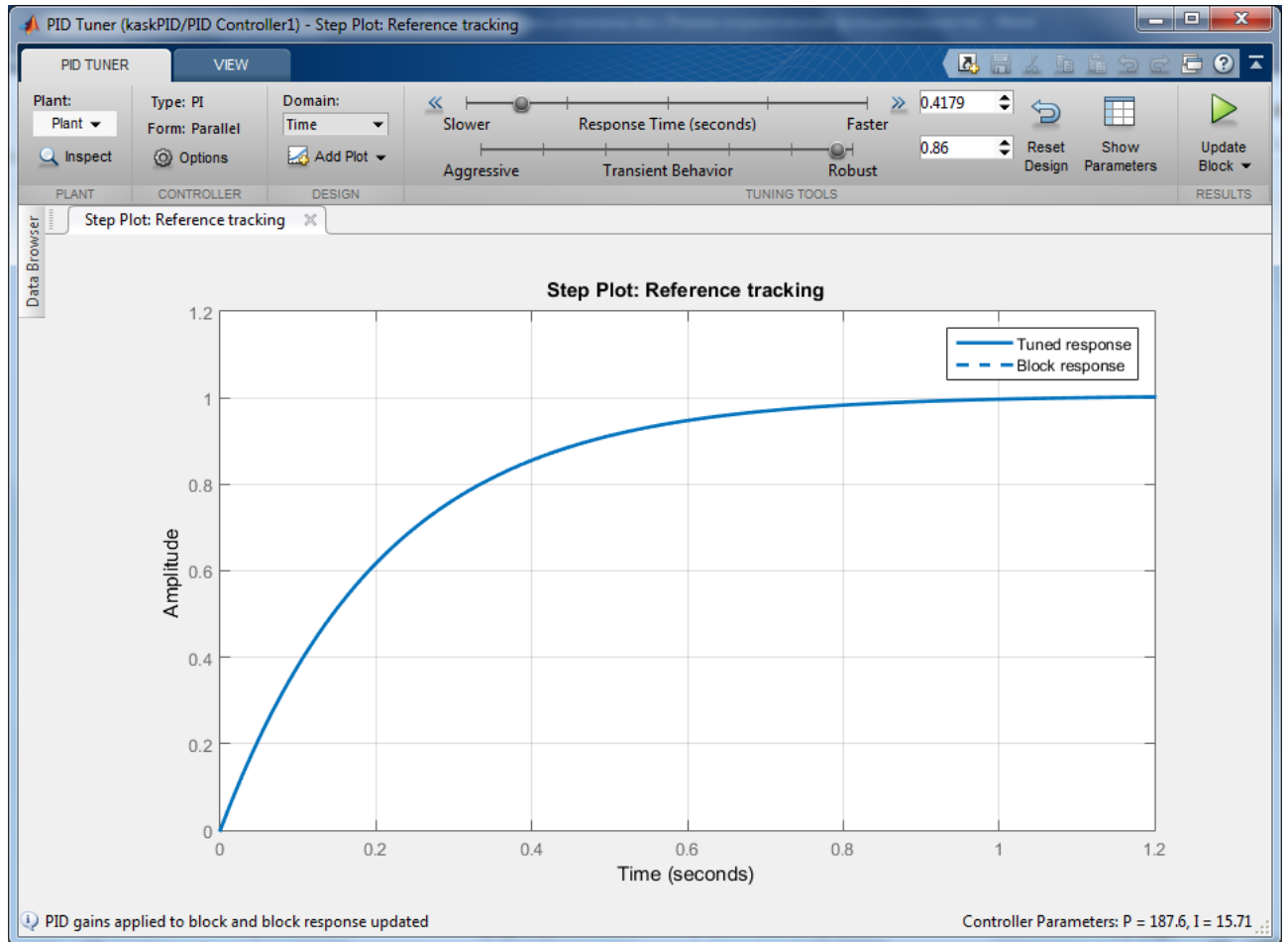
# Додаток Б1



## Додаток Б2



## Додаток Б3

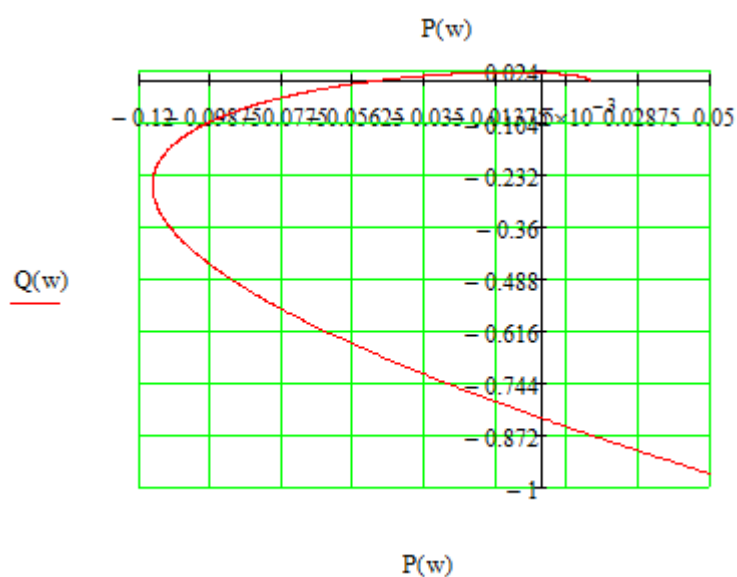
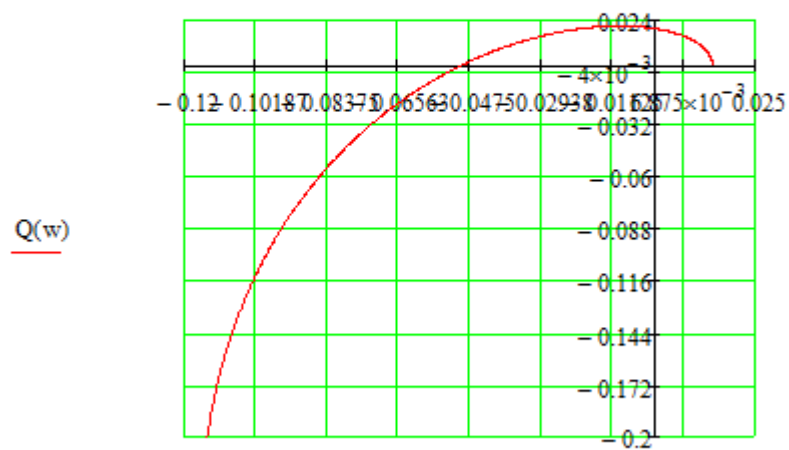


## Додаток В1

$$P(w) := 5689.874w^4 - 54.447 \cdot w^2 + 0.01421$$

$$Q(w) := -1084.077 \cdot w^3 + 1.475 \cdot w$$

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

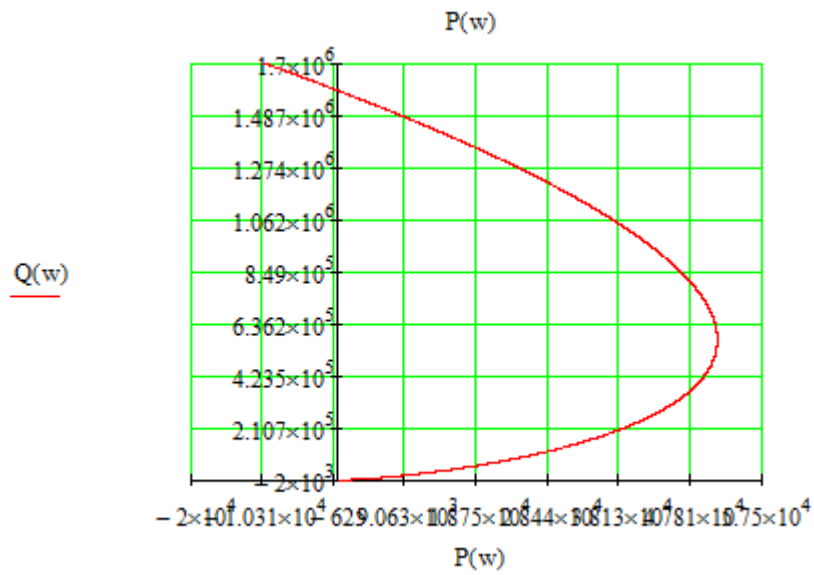
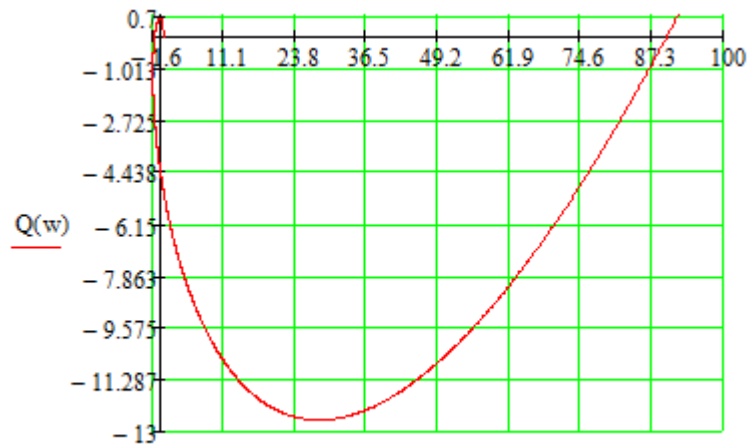
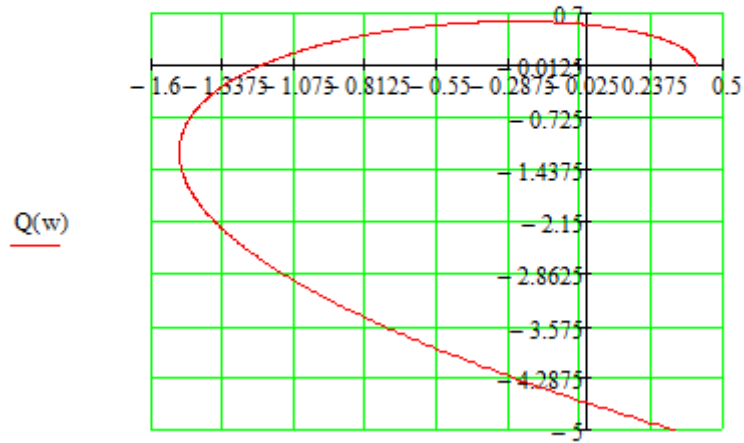


## Додаток В2

$$P(w) := -222963.4 \cdot w^6 + 260249.9 \cdot w^4 - 1404.42 \cdot w^2 + 0.4013905$$

$$Q(w) := 1115590.9w^5 - 25994.06 \cdot w^3 + 39.03 \cdot w$$

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



## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу приготування демінералізованої води».

Обсяг пояснювальної записки: 66 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. Схема зовнішніх з'єднань.
6. SCADA-система.

Дата закінчення проекту \_\_\_\_\_

Підпис студента-дипломника \_\_\_\_\_