

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ**

**Група АКП-22-1**

**Михайло Сенів**

**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

Сенів Михайло Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5:66.095

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматизації технологічного процесу виготовлення

(назва роботи)

поліетиленгліколю-1500

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

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

### Нормоконтроль

доцент

О.В. Кучмистенко

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

асистент

Г.Г. Зварич

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1

М.Р. Сенів

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

асистент

Л.І. Лагойда

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідувач кафедри

доцент

А.І. Лагойда

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Сенів Михайло Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації технологічного процесу виготовлення поліетиленгліколю-1500

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 \_\_\_\_\_

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Дослідження технологічного процесу виробництва поліетиленгліколю-1500 як об'єкта автоматизованого контролю та керування.

2. Ідентифікація та математичне моделювання об'єкта керування. 3. Побудова системи автоматичного керування. 4. Розвиток САК на основі інтелектуальних технологій. 5. Розробка проектної документації САК. Загальні висновки. Перелік посилань на джерела.

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-81.00.00.001;

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-81.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз та синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-81.00.00.003;

Лист 4 - Аналіз та синтез каскадної АСК - БР.АКП-81.00.00.004;

Лист 5 - Зовнішній вигляд щита керування - БР.АКП-81.00.00.005;

Лист 6 - SCADA-система - БР.АКП-81.00.00.006.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів бакалаврської роботи                                                                                       | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Дослідження технологічного процесу виробництва поліетиленгліколю-1500 як об'єкта автоматизованого контролю та керування |                                |          |
| 2     | Ідентифікація та математичне моделювання об'єкта керування                                                              |                                |          |
| 3     | Побудова системи автоматичного керування                                                                                |                                |          |
| 4     | Розвиток САК на основі інтелектуальних технологій                                                                       |                                |          |
| 5     | Розробка проектної документації САК                                                                                     |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |
|       |                                                                                                                         |                                |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

М.Р. Сенів \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

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

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 69 сторінок друкованого тексту, 18 рисунків, 6 таблиць, 8 переліків посилань на джерела і 3 додатки.

Тема: «Розроблення системи автоматизації технологічного процесу виготовлення поліетиленгліколю-1500».

Об'єкт дослідження: дегідратор установки приготування поліетиленгліколю.

Мета проекту: розробка автоматичної системи управління процесом виготовлення поліетиленгліколю.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи управління дегідратора.

Результати кваліфікаційної роботи: у роботі здійснено аналіз технологічного процесу виготовлення поліетиленгліколю-1500 з точки зору автоматизації, проведено аналіз існуючих технології керування об'єктом.

У якості об'єкта дослідження вибрано дегідратор, на основі експериментальних даних визначено передавальну функцію об'єкта по каналах «%РО - витрата теплоносія в змішувач дегідратора» та «%РО - температура суміші в дегідраторі». Вибрано регулятори та здійснено розрахунок їх оптимальних параметрів налаштування. Проведено дослідження одноконтурної та каскадної системи керування, визначено показники якості, а також проведено дослідження стійкості систем.

Ключові слова: технологічний процес, параметр, моделювання, автоматичне керування, контролер, налаштування регулятора.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis contains: 69 pages of printed text, 18 figures, 6 tables, 8 lists of references and 3 appendices.

Topic: "Development of an automation system for the technological process of manufacturing polyethylene glycol-1500".

Object of research: dehydrator of a polyethylene glycol preparation plant.

Project goal: development of an automatic control system for the polyethylene glycol manufacturing process.

Research methods: experimental modeling of an automatic dehydrator control system.

Results of qualification work: the work analyzes the technological process of manufacturing polyethylene glycol-1500 from the point of view of automation, analyzes existing technologies for controlling the object.

A dehydrator is selected as the object of research, and based on experimental data, the transfer function of the object is determined via the channels "%PO - coolant flow rate in the dehydrator coil" and "%PO - mixture temperature in the dehydrator". Regulators were selected and their optimal settings were calculated. A study of a single-loop and cascade control system was conducted, quality indicators were determined, and a study of the stability of the systems was conducted.

Keywords: technological process, parameter, modeling, automatic control, controller, regulator settings.

## ЗМІСТ

|          |                                                                                                                                     |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>                                                                                   | <b>9</b>  |
|          | <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                                   | <b>10</b> |
| <b>1</b> | <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ-1500 ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ.....</b> | <b>11</b> |
|          | 1.1 Суть та хімізм процесу, а також призначення установки отримання поліетиленгліколю-1500.....                                     | 11        |
|          | 1.2 Характеристика сировини, реагентів, одержаного продукту, вихідної сировини і матеріалів.....                                    | 13        |
|          | 1.3 Аналіз технологічної схеми установки одержання поліетиленгліколю-1500.....                                                      | 14        |
|          | 1.3.1 Оксидилювання ініціатора - одержання ПЕГ-1500.....                                                                            | 15        |
|          | 1.3.2 Приготування ініціатора ПЕГу-1500 з каталізатором-гідроксидом калію.....                                                      | 17        |
|          | 1.4 Технічна характеристика технологічного устаткування.....                                                                        | 20        |
|          | 1.5 Обґрунтування вибору параметрів контролю та регулювання.....                                                                    | 22        |
|          | 1.6 Обґрунтування та визначення ефективного сучасного підходу до автоматизації технологічного процесу.....                          | 23        |
|          | Висновки до розділу.....                                                                                                            | 24        |
| <b>2</b> | <b>ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ.....</b>                                                              | <b>25</b> |
|          | 2.1 Встановлення об’єкта керування.....                                                                                             | 25        |
|          | 2.2 Критерії оптимальності та основні показники якості системи автоматичного керування.....                                         | 26        |
|          | 2.3 Дослідження динаміки керованого об’єкта.....                                                                                    | 26        |

|           |                  |          |        |      |                                                                                              |                  |      |         |
|-----------|------------------|----------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|---------|
|           |                  |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ                                                                       |                  |      |         |
| Змн.      | Арк.             | № докум. | Підпис | Дата |                                                                                              |                  |      |         |
| Розроб.   | Сенів М.Р.       |          |        |      | Розроблення системи автоматизації технологічного процесу виготовлення поліетиленгліколю-1500 | Літ.             | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Лагойда Л.І.     |          |        |      |                                                                                              |                  | 6    | 69      |
| Реценз.   | Зварич Г.Г.      |          |        |      |                                                                                              | ІФНТУНГ АКП-22-1 |      |         |
| Н. Контр. | Кучмистенко О.В. |          |        |      |                                                                                              |                  |      |         |
| Затверд.  | Лагойда А.І.     |          |        |      |                                                                                              |                  |      |         |

|          |                                                                                           |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1    | Визначення вхідних і вихідних змінних, а також підготовка та планування експерименту..... | 27        |
| 2.3.2    | Опрацювання результатів експерименту.....                                                 | 27        |
|          | Висновки до розділу.....                                                                  | 33        |
| <b>3</b> | <b>ПОБУДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....</b>                                      | <b>34</b> |
| 3.1      | Побудова одноконтурної АСК.....                                                           | 34        |
| 3.2      | Побудова каскадної АСК.....                                                               | 35        |
| 3.3      | Дослідження на стійкість одноконтурної АСК.....                                           | 37        |
| 3.4      | Дослідження на стійкість каскадної АСК.....                                               | 38        |
| 3.5      | Аналіз якості керування за перехідними характеристиками.....                              | 38        |
|          | Висновки до розділу.....                                                                  | 40        |
| <b>4</b> | <b>РОЗВИТОК САК НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>                             | <b>42</b> |
|          | Висновки до розділу.....                                                                  | 44        |
| <b>5</b> | <b>РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ САК.....</b>                                           | <b>45</b> |
| 5.1      | Вибір засобів автоматизації.....                                                          | 45        |
| 5.1.1    | Вибір контролера.....                                                                     | 45        |
| 5.1.2    | Вибір мікропроцесорних індикаторів.....                                                   | 48        |
| 5.1.3    | Вибір датчиків витрати.....                                                               | 50        |
| 5.1.4    | Вибір датчиків температури.....                                                           | 52        |
| 5.1.5    | Вибір датчиків рівня.....                                                                 | 52        |
| 5.1.6    | Вибір датчиків тиску.....                                                                 | 53        |
| 5.1.7    | Вибір виконавчого механізму.....                                                          | 54        |
| 5.2      | Технічна реалізація системи автоматизації.....                                            | 54        |
| 5.2.1    | Розробка функціональної схеми.....                                                        | 54        |
| 5.2.2    | Розробка загального вигляду щита.....                                                     | 56        |
|          | Висновки до розділу.....                                                                  | 58        |
|          | <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                                      | <b>59</b> |
|          | <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>                                                   | <b>60</b> |

**ДОДАТКИ**

**БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА**

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК - автоматична система керування.

АСК ТП - автоматизовані системи керування технологічними процесами.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічного процесу.

АСР - автоматична система регулювання.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## ВСТУП

Метою кваліфікаційної роботи є систематизація та закріплення знань, а відповідно розвитку навичок пов'язаних із розробкою проектів, котрі здатні забезпечити високі показники. Завдання, які необхідно вирішити у бакалаврській роботі, тісно зв'язані із актуальними у даний час питаннями пов'язаними із розробкою та вдосконалення систем автоматичного керування, засобів пов'язаних із одержанням, обробкою та відображенням інформації на підприємствах.

Бакалаврська робота розроблена на установці виготовлення поліетиленгліколю-1500, яка служить для виготовлення поліетиленгліколю.

Установки для виробництва поліетиленгліколю мають важливе значення в хімічній промисловості. Ефективність їх функціонування значною мірою визначається точністю ведення технологічного процесу.

Світовий досвід зі створення централізованих автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) показує, що процес централізації вимагає великих затрат на експлуатацію системи складних структур програмного забезпечення каналів зв'язку та водночас не дає достатньої гнучкості, що в кінцевому підсумку зменшує надійність та якість керування.

Технічні засоби автоматизації, що ґрунтуються на мікропроцесорній техніці, спираються на сучасні підходи та інженерні методи проектування автоматичних систем, які істотно підвищують результативність проектних робіт і загальну техніко-економічну ефективність.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ-1500 ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

## 1.1 Суть та хімізм процесу, а також призначення установки отримання поліетиленгліколю-1500

Реакція проходить у контакторі між неперервною фазою випареного оксиалхілаку і вузькорозпиленої подаючої рециклом рідкою фазою.

Вузол розрахований на виготовлення всіх продуктів конденсації оксиду етилену чи оксиду пропілену з будь-яким типом ініціатора полімером ланцюга, наприклад: спиртами, алкіфенолами, гліколями, жирними кислотами, аміноамідами і т. д. У випадку, що ініціатор ланцюга знаходиться в рідкому стані і, що продукти конденсації знаходяться також в рідкому стані при робочому режимі максимально допустима в'язкість повинна бути 500 Па·с. Максимально допустима робоча в'язкість повинна бути нижче 700 Па·с.

Вузол може виконувати будь-які звичайні рецептури традиційних установок періодичного руху. Він може працювати з найбільшими кількостями каталізатора і в менш строгих режимах.

Вузол дозволяє одержувати за один робочий цикл всю гаму продуктів, маючи співвідношення росту нижче 60:1 за об'ємом, в малому контурі при умовах, що експлуатується все підприємство. Продукти з більш високим співвідношенням росту можна одержати без всяких ускладнень в наступних операціях.

Виробництво характеризується наступними показниками:

- вихід ініціатора ланцюга, 100% з відігнаною водою і низькокиплячими сумішами, за допомогою високого вакууму;
- вихід спиртоаміду, за оксидом етилену: 99,5-99,9 %, за оксидом пропілену: 98-99%;
- режими роботи. Далі наведені максимально наближені режими:
- розрахункова температура 220 °С;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

- розрахунковий манометричний тиск 1,0 МПа. Розрахунковий режим в більшій мірі перевищує вимоги, які ставляться до найбільш складних операцій. Дійсний режим роботи, як правило, входить в наведені нижче границі:

- температура реакції: 130-185 °С, мінімальна допустима температура реакції 98 °С, манометричний тиск реакції 0,2-0,6 МПа;

- номінальний вихід продуктів. Рахуючи, що процес практично не обмежує швидкість подачі оксидів при зміні кінетики основної реакції, представлений вузол розрахований на наступні виходи продуктів:

- для оксиду етилену при 180-185 °С - 7500 кг/год;

- для окису пропілену при 125-130 °С - 3000 кг/год;

- система охолодження готового продукту після реакції. Продукт з температурою реакції можна охолоджувати до температури вивантаження чи в тім же теплообміннику, призначеному для зменшення тепла реакції, чи в реакторі нейтралізації кінцевого продукту;

- система нагрівання ініціатора ланцюга. Ініціатор ланцюга нагрівається до температури початку реакції в теплообміннику, встановленому вздовж контура реакції, чи представленому нагрівнику рідинних матеріалів;

- нейтралізація кінцевого продукту. Нейтралізацію можна проводити, як в самому вузлі реакції, так і за його межами, в залежності від рецептури. Нейтралізація твердим нейтралізуючим агентом, повинна проводитися за межами головного реактора, в реакторі нейтралізації. Особливо ці всі пункти стосуються виготовлення поліетиленгліколю-1500.

Хімізм і стадії процесу виготовлення поліетиленгліколю наступні:

- приймання, зберігання і видача оксидів алкіленів;

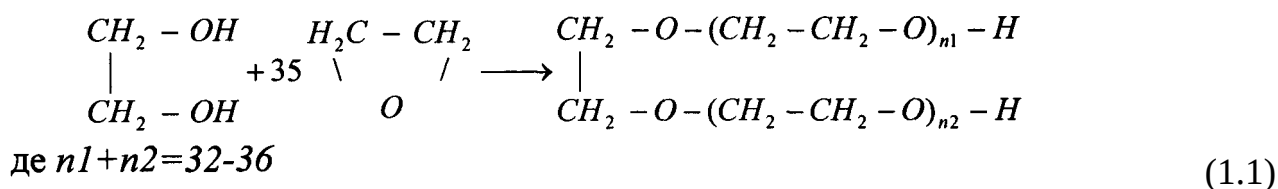
- приймання, зберігання та подача сировини;

- приймання, зберігання та подача гідроксиду калію;

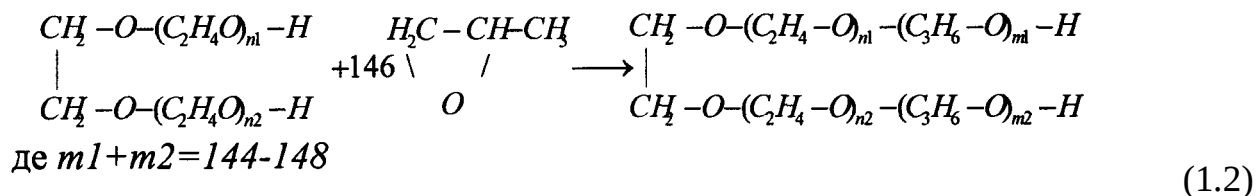
- підготовка ініціатора І — етиленгліколю з додаванням каталізатора (гідроксиду калію);

- проведення оксietiлювання ініціатора І — отримання ПЕГ-1500;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |



- приготування ініціатора II - ПЕГу-15 00 з каталізатором гідроксидом калія;
- оксипропілювання ПЕГу-1500 - одержання Ніогену П-1000;



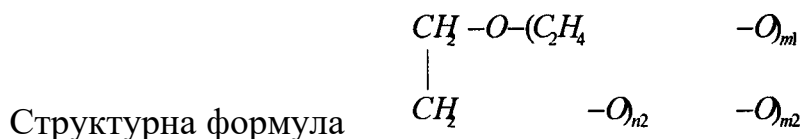
- зберігання і розфасування готової продукції. Допоміжні стадії:
- уловлювання «здувок» оксидів алкіленів;
- приготування антифризу для системи охолодження.

## 1.2 Характеристика сировини, реагентів, одержаного продукту, вихідної сировини і матеріалів

Характеристика вихідної сировини і матеріалів наступна:

- оксид етилену технічний: масова частка нелетючого залишку - 0,005%; масова частка води - 0,01 %; кислотність в перерахунку на оцтову кислоту - 0,002 %;
- оксид пропілену, сорт вищий: зовнішній вигляд - прозора рідина; масова частка води 0,01%; масова частка нелетючого залишку 0,002%;
- етиленгліколь сорт вищий: масова частка етиленгліколю 99,8 %;
- масова частка залишку після прокалювання 0,001%; масова частка води 0,1%;
- гідроксид калію технічний, твердий: масова частка їдкого калію 95%;
- азот газоподібний, сорт вищий: об'ємна частка кисню - 0,05 %.

Технічна назва - Ніоген П-1000, тобто перша стадія виготовлення ПЕГу-1500.



|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Фізико-хімічні властивості виготовленої продукції наступні:

- зовнішній вигляд - в'язка густа рідина, при стоянні розшаровується;
- середня молярна маса - 10000 кг/кмоль (ум.);
- температура застигання - +7 - 9 °С;
- густина при температурі 20 °С - 1017 - 1020 кг/м<sup>3</sup>;
- розчинність - розчиняється в ацетоні, бензолі, спирті, в воді нерозчинний.

Таблиця 1.1 - Характеристика ПЕГу-1500

| Найменування показників                                    | Норма                                                           |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Зовнішній вигляд при (20±5)°С                              | В'язка густа рідина жовтого кольору, при стоянні розшаровується |
| Колірність за йодною шкалою                                | 5                                                               |
| Кінематична в'язкість при 25°С, м <sup>2</sup> /с, в межах | (800-1100)·10 <sup>-6</sup>                                     |
| Масова частка золи ( сульфатів), %, н/б у вигляді          | 0,35                                                            |
| Масова частка заліза, %, н/б                               | 0,0025                                                          |

ПЕГ-1500 застосовується в легкій, мікробіологічній промисловості антибіотиків.

### 1.3 Аналіз технологічної схеми установки одержання поліетиленгліколю-1500

Приготування ініціатора проводять у вертикальному циліндричному апараті (дегідраторі) із нержавіючої сталі SA-103, обладнаному зовнішнім змієвиком із напівтруб для обігрівання паром тиском 1,3 МПа і мішалкою AG-101.

Проаналізований на відповідність стандартам етиленгліколь приймають в апарат SA-103. Відгонку води проводять при температурі не більше 130 °С, пуском пари у змієвики апарата SA-103 і вакуумі мінус 80 - мінус 95 кПа який створюють вакуум-насосом PAL-103.

При досягненні тиску в дегідраторі 0,2 кгс/см<sup>2</sup> (20 кПа) клапан автоматично

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

закривається. Відбирають пробу для визначення масової частки вологи в реакційній масі і при позитивному результаті аналізу приготований в апараті SA-103 ініціатор загружають в реактор SA-101, шляхом передавлювання його азотом. Допускається приготування ініціатора проводити в реакторі SA-101.

### 1.3.1 Оксietiлювання ініціатора - одержання ПЕГ-1500

Процес оксietiлювання ініціатора здійснюється у вертикальному циліндричному апараті SA-101, виготовленому з нержавіючої сталі та оснащеному зовнішнім змієвиком із напівтруб. У верхній внутрішній частині реактора закріплені дві труби з вмонтованими на них 16-а соплами для розпилення циркулюючої маси в реакційній зоні апарата.

Реактор попередньо дегазують шляхом 4-х кратного чергування вакуумування з продувкою азотом, що гарантує вміст кисню в азоті не більше 0,05%. Вакуум-насосом PAL-101 створюють вакуум мінус 91 - мінус 96 кПа, а продувку проводять азотом до тиску в реакторі 10-20кПа. Продувочні гази направляються на колону уловлювання «здувок».

Ініціатор І циркулює по контуру - реактор SA-101 - насос PC-103 - теплообмінник E-101.

Ініціатор нагрівають до температури 135 °С, подачею гарячого діатермічного масла в теплообмінник E-101. Діатермічне масло насосом PC-102 подається в теплообмінник E-103, де воно нагрівається парою, і далі в теплообмінник E-102. Управління процесом оксietiлювання здійснюється мікропроцесором по заданій програмі.

При досягненні температури початку реакції - 135 °С автоматично: закриваються клапани на лінії подачі пари в теплообмінник E-103, відкриваються відсічні клапани на лінії подачі оксиду етилену в реактор SA-101. Регулюючим клапаном встановлюється низький розхід оксиду етилену в реактор SA-101. При досягненні тиску в реакторі 0,12 МПа, контролюється ініціювання реакції оксietiлювання по зниженню тиску в реакторі і збільшенню донної температури.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Процес оксиетилювання екзотермічний. Відведення тепла реакції проводиться діатермічним маслом в теплообміннику E-101, через який циркулює реакційна маса.

Діатермічне масло насосом PC-102 подається в теплообмінник E-104, де охолоджується водою, далі через регулюючий клапан подається в теплообмінник E-101. При зниженні об'ємної подачі охолоджуючої води на теплообмінник E-104 до 50 м<sup>3</sup>/год припиняється поступання оксиду етилену в реактор SA-101.

При досягненні рівня в реакторі SA-101 на 25% відкриваються клапани для вирівнювання тисків в реакторах SA-101 і SA-102. Після вирівнювання тисків в реакторах відкривається клапан через який заповнюється контур насоса PC-101 реакційною масою. По закінченні заповнення контуру, запускається насос PC-101 і реакційна маса циркулює по схемі: SA-101 - PC-101 - E-102 - SA-102 - SA-101 - PC-103 - E-101.

Після припинення подачі оксиду етилену реакційну суміш продовжують циркулювати до повного його вступу в реакцію. Завершення витримки визначають за зниженням тиску в реакторі до сталого рівня. Після цього проводять вакуумування з метою видалення залишків оксиду етилену з реакційної маси.

Після вакуумування закривають клапан, зупиняють вакуум-насос PAL-102, відкривають клапан подачі азоту в реактор і здійснюють зрівноваження тиску. Далі відбирають пробу для проведення аналізу.

Перед відбором проби виконують продування непрореагованого оксиду етилену азотом під тиском 0,1–0,2 кгс/см<sup>2</sup> (0,01–0,02 МПа).

У разі отримання продукту з підвищеним гідроксильним числом проводять додаткове оксиетилювання, подаючи в реактор розраховану кількість оксиду етилену.

За умови отримання позитивних результатів аналізу реакційну масу охолоджують діатермічним маслом, яке циркулює через теплообмінник E-101/102, до температури 90 °С.

Після досягнення температури реакційної маси 90 °С автоматично

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

відкриваються клапани на лінії подачі азоту з тиском 0,8 МПа в реактор SA-101, клапани на лінії вивантаження реакційної маси із реактора в апарат SA-105 і закриваються клапани на лінії циркуляції.

При досягненні рівня в реакторі 10% зупиняються насоси РС-103, РС-101, а вивантаження продукту продовжується за рахунок перепаду тиску азоту в реакторі SA-101 в апараті SA-105.

Продувка трубопроводу для вивантаження ведеться до закінчення заданого часу. У випадку одержання продукту із заниженим гідроксильним числом, проводять перерахунок завантаження оксиду етилену на наступну операцію.

### **1.3.2 Приготування ініціатора ПЕГу-1500 з каталізатором-гідроксидом калію**

Окиспропілювання ПЕГ-1500 здійснюється у вертикальному циліндричному апараті SA-101, виготовленому з нержавіючої сталі та оснащеному зовнішнім змішувачем із напітруб. У верхній внутрішній частині реактора встановлено дві труби з 16 вбудованими соплами, призначеними для розпилення циркулюючої маси в реакційній зоні апарата.

Реактор попередньо дегазують шляхом 4-х кратного чергування вакуумування з продувкою азотом. Вакуум-насосом створюють вакуум мінус 91 - мінус 96 кПа , а продувку проводять азотом до тиску в реакторі 10-20 кПа.

Продувочні гази направляються на колону уловлювання.

Після закінчення визначеної кількості ініціатора, включають насос РС-103 на циркуляцію, відкривши клапани на всасі і на нагнітанні насоса, порогове реле блокує пуск насоса РС-103, якщо рівень в реакторі менший 10%.

Ініціатор II циркулює по контуру: реактор SA-101 - насос РС-103 - теплообмінник Е-101.

Ініціатор нагрівають до температури 135 °С, шляхом подачі пари із тиском 1,3 МПа у змішувач реактора і подачею горячого діатермічного масла в теплообмінник Е-101, після автоматичного відкриття клапанів.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Відкриваються відсічні клапани на лінії подачі оксиду пропілена в реактор SA-101.

При допомозі регулюючого клапана встановлюється низький розхід оксиду пропілена в реактор SA-101; при досягненні тиску в реакторі 0,12 МПа, клапан закривається і контролюється ініціювання реакції оксипропілювання по зниженню тиску в реакторі і збільшенні донної температури. При позитивних результатах ініціювання мікропроцесор розблокує послідовність для проходження реакції оксипропілювання. Процес оксипропілювання екзотермічний. Відведення тепла реакції проводиться діатермічним маслом в теплообміннику E-101, через який циркулює реакційна маса.

Діатермічне масло насосом PC-102 подається в теплообмінник E-104, де охолоджується водою, далі через регулюючий клапан подається в теплообмінник E-101.

При зниженні об'ємної подачі охолоджуючої води на теплообмінник E-104 до 50 м³/год припиняється посту пання оксиду пропілена в реактор SA-101.

При досягненні рівня в реакторі SA-101 до 25% відкриваються клапани для вирівнювання тисків в реакторах SA-101 і SA-102. Після вирівнювання тисків в реакторах відкривається клапан, через який заповнюється контур насоса PC-101 реакційною масою. По закінченні заповнення контура, запускається насос PC-101 і реакційна маса циркулює по схемах:

- SA-101 - PC-101 - E-102 - SA-102 - SA-101;
- SA-101 - PC-103 - E-101 - SA-102.

Відкриваються клапани подачі оксиду пропілену в SA-101/102.

Після припинення подачі оксиду пропілену реакційну масу продовжують циркулювати до вступлення в реакцію всього оксиду пропілену. Про закінчення витримки свідчить зниження тиску в реакторі до постійного значення. По закінченні витримки проходить вакуумування для видалення залишків оксиду пропілену з реакційної маси.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

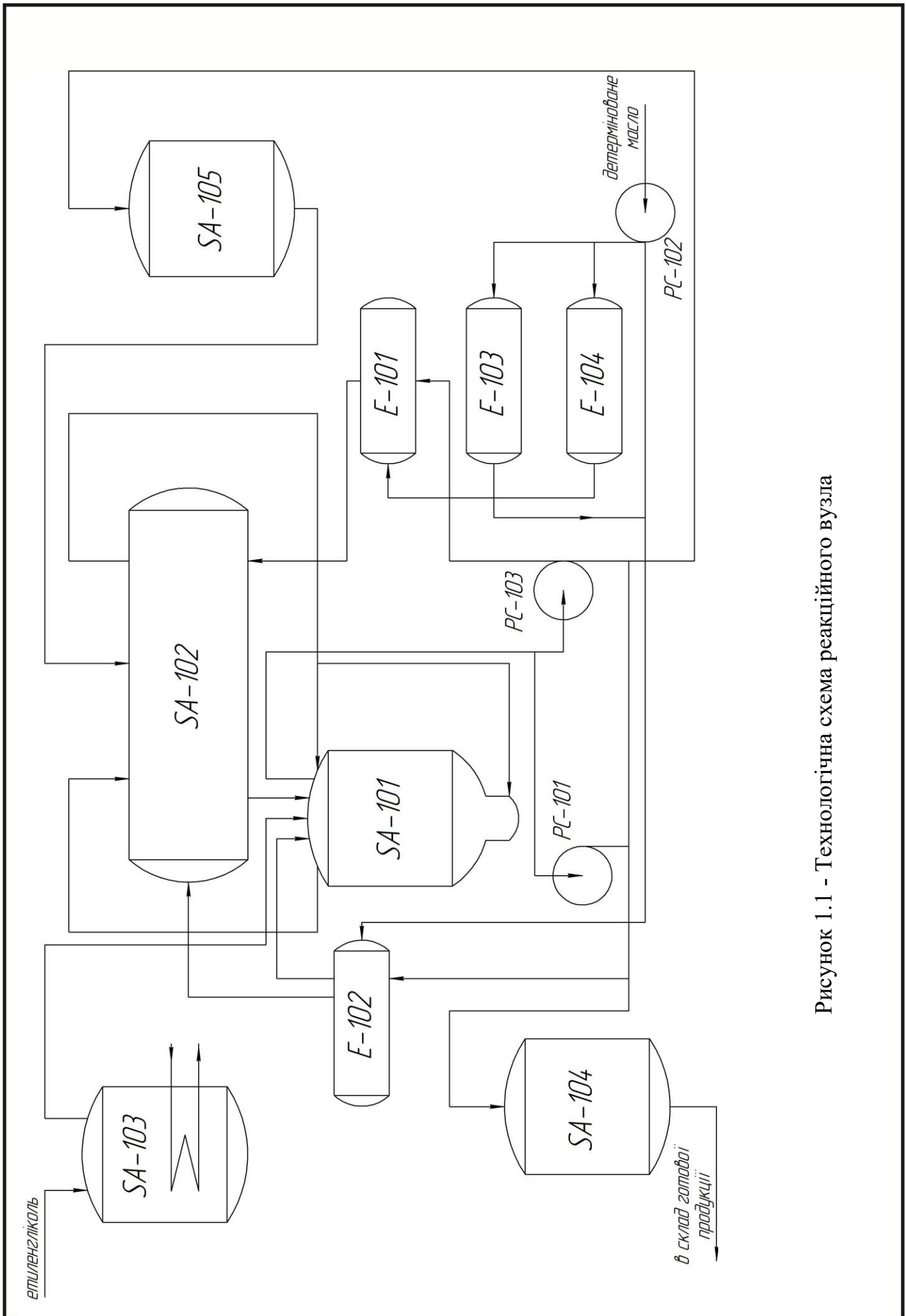


Рисунок 1.1 - Технологічна схема реакційного вузла

При цьому включається в роботу вакуум-насос. Після вакуумування зупиняється вакуум-насос, відкривається клапан на лінії подачі азоту в реактор і гаситься вакуум. Виконують відбір проби для проведення аналізу. Перед цим здійснюють продування непрореагованого оксиду пропілену під тиском азоту в межах 0,01–0,02 МПа. Якщо отриманий продукт має знижену кінематичну в'язкість, проводять додатковий етап оксипропілювання шляхом введення в реактор розрахованої кількості оксиду пропілену.

За умови отримання позитивних результатів аналізу реакційну суміш охолоджують діатермічним маслом, яке циркулює через теплообмінник Е-101/102, до температури 90 °С. Після досягнення температури реакційної маси 90 °С автоматично відкривається клапан на лінії подачі азоту в реактор SA-101, клапан на лінії вивантаження реакційної маси із реактора і закриваються клапани на лінії циркуляції. При досягненні рівня в реакторі 10%, зупиняється насос РС-103, РС-101, а вивантаження продукту продовжується за рахунок перепаду тиску азоту в реакторі SA-101 і нейтралізаторі SA-104.

По закінченні заданого часу клапани автоматично закриваються, а відкриваються - клапани на дренажних лініях і клапан на лінії азоту. Продувка трубопроводу для вивантаження ведеться до закінчення заданого часу. В апараті SA-104 створюють азотну «подушку» тиском 0,01-0,02 МПа і охолоджують реакційну масу до температури 50-80 °С.

Після охолодження в апараті SA-104 створюють тиск азоту 0,2-0,25МПа і готовий продукт відвантажують в склад.

Після перекачування продукту лінію продувають азотом з тиском 0,15-0,2 МПа.

#### 1.4 Технічна характеристика технологічного устаткування

У характеристику технологічного устаткування входить обладнання реакційного відділення, яка наведена в таблиці 1.2.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика технологічного устаткування

| Номер позиції | Назва обладнання                                  | Кількість | Матеріал         | Технічна характеристика                                   | Основні габарити |
|---------------|---------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| SA-103        | переднагрівач                                     | 1         | нержавіюча сталь | $r=10023^{-1}$                                            | $V=2; D=1,15$    |
| E-104         | теплообмінник для охолодження діатермічного масла | 1         | нержавіюча сталь | $F=120 \text{ м}^2$                                       |                  |
| E-103         | теплообмінник для нагрівання діатермічного масла  | 1         | нержавіюча сталь | $F=33 \text{ м}^2$                                        |                  |
| E-102         | теплообмінник для реакційної маси                 | 1         | нержавіюча сталь | $F=73 \text{ м}^2$                                        |                  |
| E-101         | теплообмінник для реакційної маси                 | 1         | нержавіюча сталь | $P=18 \text{ м}^2$                                        |                  |
| PC-103        | насос відцентровий для діатермічного масла        | 1         | нержавіюча сталь | $Q=230 \text{ м}^3/\text{год};$<br>$P=0,44 \text{ МПа}$   |                  |
| PC-102        | насос відцентровий для діатермічного масла        | 1         | нержавіюча сталь | $Q=3000 \text{ м}^3/\text{год};$<br>$P=0,44 \text{ МПа}.$ |                  |

| Номер позиції | Назва обладнання                                | Кількість | Матеріал            | Технічна характеристика                                | Основні габарити             |
|---------------|-------------------------------------------------|-----------|---------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------|
| PC-101        | насос<br>відцентровий<br>для реакційної<br>маси | 1         | нержавіюча<br>сталь | $Q=3000\text{м}^3/\text{год};$<br>$P=0.44\text{ МПа.}$ |                              |
| SA-102        | реактор                                         | 1         | нержавіюча<br>сталь |                                                        | $V=7,5$                      |
| SA-101        | реактор                                         | 1         | нержавіюча<br>сталь |                                                        | $V=14$                       |
| SA-104        | апарат для<br>нейтралізації                     | 1         | нержавіюча<br>сталь | $n=(36\cdot 12)\text{тис}^{-1};$<br>$N=0.5\text{кВт}$  | $V=16,67;$<br>$H=4,9; D=2,2$ |
| SA-105        | ємність                                         | 1         | нержавіюча<br>сталь | $n=32\text{тис}^{-1};$<br>$N=10\text{ кВт}$            | $V=18,3;$<br>$H=7,24; D=2,6$ |

### 1.5 Обґрунтування вибору параметрів контролю та регулювання

На процес одержання етиленгліколю-1500 впливають параметри, які наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Параметри, що підлягають контролю та регулюванню

| Назва             | Назва параметру           | Номер позиції згідно ФСА | Частота контролю             | Норми і номінальні значення параметрів |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| Реактор<br>SA-101 | тиск, кПа                 | 8                        | при продувці                 | 10-20                                  |
|                   | температура, °C           | 9                        | при нагріві                  | 135                                    |
|                   | рівень реакційної маси, % | 5                        | після загрузки<br>нінціатора | 10%                                    |

| Назва          | Назва параметру                    | Номер позиції згідно ФСА | Частота контролю      | Норми і номінальні значення параметрів |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Реактор SA-103 | температура маси, С°               | 3                        | постійно при нагріві  | 130                                    |
|                | об'єм каталізатора, м <sup>3</sup> | 1                        | постійно при загрузці | 22±2                                   |
|                | тиск, кПа                          | 7                        | після дегідrataції    | 20                                     |

### 1.6 Обґрунтування та визначення ефективного сучасного підходу до автоматизації технологічного процесу

Ключовим функціональним призначенням системи автоматизації в процесі підготовки ініціатора в дегідраторі установки синтезу поліетиленгліколю є забезпечення стабільності технологічного режиму шляхом підтримання заданих експлуатаційних параметрів. Зокрема, точне регулювання температурного поля в дегідраторі є визначальним чинником, що безпосередньо впливає на формування якісних характеристик отриманого ініціатора.

Процес підготовки ініціатора в дегідраторі являє собою сукупність пов'язаних технологічних апаратів. Якість протікання процесу залежить від кожного з апаратів.

Система автоматизації, яка використовується, побудована на основі застосування досить великої кількості пневматичних приладів та застарілих автоматичних регуляторів.

За допомогою вторинних приладів, розташованих на щитах у операційній, здійснюється контроль за протіканням технологічного процесу.

Для підвищення якості керування процесом приготування ініціатор та для дотримання норм технологічних режимів, заданої якості готової продукції, максимального використання виробничих потужностей апаратів, зменшення

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

енергоспоживання, приладовикористання, забезпечення ритмічності виробництва доцільним є встановлення багатофункціональних контролерів.

Засобом, який забезпечить дпні можливості є контролер фірми «МІКРОЛ», який використовують для вирішення широкого кола завдань. Контролери даної фірми дозволяють вести каскадне, локальне чи багатозв'язне регулювання (в залежності від моделі регулятора).

Контролер має можливість обслуговування до двох незалежних контурів регулювання з різним завданням на кожен контур. МІК-51 включає в себе поєднання як аналогових входів / виходів так само і дискретних. Забезпечується плавна (безударна) зміна режимів роботи, а також безударне вмикання, вимикання або перемикавання контурів регулювання.

Як джерела отримання та перетворення інформації пропонується використовувати сучасні засоби автоматизації, які за своїми технічними характеристиками забезпечують повну сумісність з ЕОМ та мають уніфікований вихідний сигнал.

До таких засобів належать вибухобезпечні перетворювачі, що здійснюють перетворення вимірюваних параметрів (витрати, тиску, рівня, розрідження) в уніфікований струмовий сигнал із можливістю дистанційної передачі даних.

### **Висновки до розділу**

В цьому розділі розглянуто виробництво поліетиленгліколю-1500 на основі оксидів алкіленів, етиленгліколю і гідроксиду калію. Розглянуто призначення установки її суть і хімізм процесу. Проведено аналіз схеми, установки одержання поліетиленгліколю-1500 та наведено її технічні характеристики. Здійснено та обгрунтовано вибір об'єктів керування.

Впровадження нової системи автоматичного керування дегідратором на базі контролера фірми «Мікрол» призведе до покращення якісних показників вихідного продукту, збільшення продуктивності а також зменшення енергозатрат повязаних із виробництво одиниці продукції.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

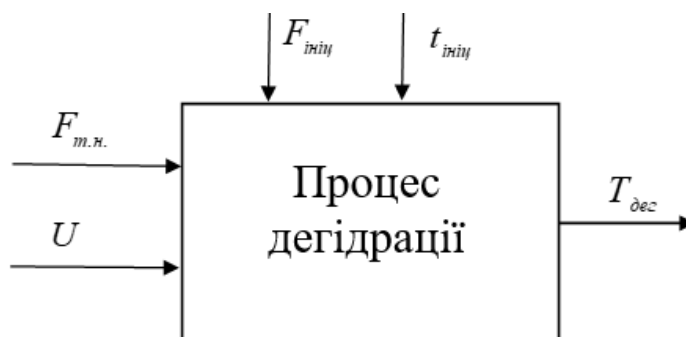
## 2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Встановлення об'єкта керування

Провівши аналіз технологічного процесу приготування поліетиленгліколю, можна зробити висновок, що дегідратор є одним із основних апаратів установки. У ньому здійснюється видалення води з вихідної сировини. Процес дегідратації відбувається за температури 130 °С та під вакуумом у межах мінус 80 – мінус 95 кПа. Основне призначення дегідратора полягає в отриманні зневодненого ініціатора, якість і чистота якого суттєво впливають на подальший процес синтезу поліетиленгліколю.

Таким чином, для стабільної роботи установки необхідно забезпечити дотримання теплових і матеріальних балансів за основними потоками. У дегідраторі підтримання температурного режиму може здійснюватися шляхом регулювання подачі теплоносія, що циркулює через змійовик, розташований всередині апарата.

Отже, ключовим елементом системи підтримання температури дегідратора є змійовик. Основним завданням автоматичної системи керування (АСК) для даного об'єкта є стабілізація заданої температури в дегідраторі. Регулювання температури доцільно виконувати зміною витрати теплоносія. На тепловий баланс дегідратора впливає значна кількість параметрів, основні з яких наведені на рисунку 2.1.



$F_{ініц}$  - подача ініціатора в дегідратор;  $T_{дег}$  - температура в дегідраторі;  $t_{ініц}$  - температура ініціатора;  $F_{т.н.}$  - витрата теплоносія в змієвик;  $U$  - керуючий вплив

Рисунок 2.1 - Структура температурного регулювання дегідратора, як об'єкта керування

Таким чином, для забезпечення стабільного температурного режиму

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

дегідратора доцільно впровадити каскадну автоматичну систему регулювання (АСР), оскільки основний регулювальний контур характеризується значною інерційністю. Крім того, у колоні доцільно здійснювати контроль тиску та температури в різних точках за висотою апарата.

## **2.2 Критерії оптимальності та основні показники якості системи автоматичного керування**

Метою САК є підтримання температури в дегідраторі для нормального протікання процесу приготування ініціатора. Зазначене регулювання проводиться за допомогою витрати теплоносія, який подається в змієвик.

Для оптимізації і підтримання параметрів даного процесу в заданих межах вибрано такі показники якості регулювання:

- тривалість перехідного процесу;
- перерегулювання повинно бути менше - 20%;
- максимальна похибка апроксимації - 2,5%.

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

З огляду на те, що математичний опис динаміки дегідратора є складним і потребує значних часових витрат, доцільно визначати його динамічні властивості експериментальним шляхом.

Динамічні характеристики дегідратора визначимо на основі активного експерименту, використовуючи метод аперіодичних входних впливів. Даний метод оснований на припущенні, що об'єкт керування лінійний при досить малих змінах входного параметру, а його наявні динамічні показники суттєво не змінюються у часі. Щоб застосувати експериментальний метод, потрібно щоб об'єкт у процесі його експлуатації був стаціонарним ергодичними випадковими процесом.

Вибраний метод дослідження включає в себе три етапи: підготовку і планування експерименту, проведення експерименту, обробку експерименту.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

### **2.3.1 Визначення вхідних і вихідних змінних, а також підготовка та планування експерименту**

Підготовка і планування експерименту при дослідженні динамічних характеристик об'єкта розпочинається з детального аналізу самого об'єкта.

У даному випадку вхідною величиною є ступінь відкриття регулюючого органу (у відсотках), а вихідною - сигнал вторинного приладу, який надалі подається на вхід регулятора.

Під час дослідження замкненої системи регулювання вхідний вплив формують шляхом зміни задавача, при цьому фіксується реакція вихідної величини, тобто сигнал вимірювального перетворювача.

Важливою умовою проведення експерименту є відсутність збурюючих впливів, тому необхідно попередньо виявити та усунути можливі джерела їх виникнення.

На етапі планування експерименту визначають тип впливу, його амплітуду та початкове значення вихідної змінної. У нашому випадку аперіодичний вплив реалізується у вигляді стрибкоподібної зміни подачі теплоносія.

Експеримент починають із встановлення стаціонарного режиму роботи об'єкта, що характеризується стабільністю вихідної величини. Далі вводять збурення шляхом відкриття регулюючого органу на 10–15% та здійснюють реєстрацію зміни вихідного сигналу. Одночасно фіксують зміни основних збурюючих факторів. Завершення перехідного процесу визначають за стабілізацією вихідної змінної; експеримент вважається завершеним, коли її значення з певного моменту часу залишається незмінним.

### **2.3.2 Опрацювання результатів експерименту**

Отримані в ході експерименту дані за основним і допоміжним каналами регулювання наведені в таблиці 2.1.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 27   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Таблиця 2.1 - Результати експериментального дослідження за основним і допоміжним каналами регулювання

| $t, \text{с}$ | %, ВХ | $T_{\text{deg}}, ^\circ\text{C}$ | $F_{\text{т.п.}}, \text{м}^3/\text{Год}$ |
|---------------|-------|----------------------------------|------------------------------------------|
| 0             | 12    | 100.00                           | 20.0                                     |
| 30            | 12    | 100.00                           | 27,6                                     |
| 60            | 12    | 105,70                           | 32,4                                     |
| 90            | 12    | 113,50                           | 35,4                                     |
| 120           | 12    | 119,80                           | 37,6                                     |
| 150           | 12    | 124,60                           | 38,6                                     |
| 180           | 12    | 126,70                           | 39,2                                     |
| 210           | 12    | 128,20                           | 39,4                                     |
| 240           | 12    | 128,80                           | 39,6                                     |
| 270           | 12    | 129,40                           | 39,8                                     |
| 300           | 12    | 129,70                           | 39,8                                     |
| 330           | 12    | 129,70                           | 39,8                                     |
| 360           | 12    | 129,70                           | 40.0                                     |
| 390           | 12    | 130.0                            | 40.0                                     |
| 420           | 12    | 130.0                            | 40.0                                     |
| 450           | 12    | 130.0                            | 40.0                                     |

На основі даних таблиці 2.1 побудуємо перехідні характеристики для досліджуваних каналів регулювання (рисунок 2.2, 2.3).

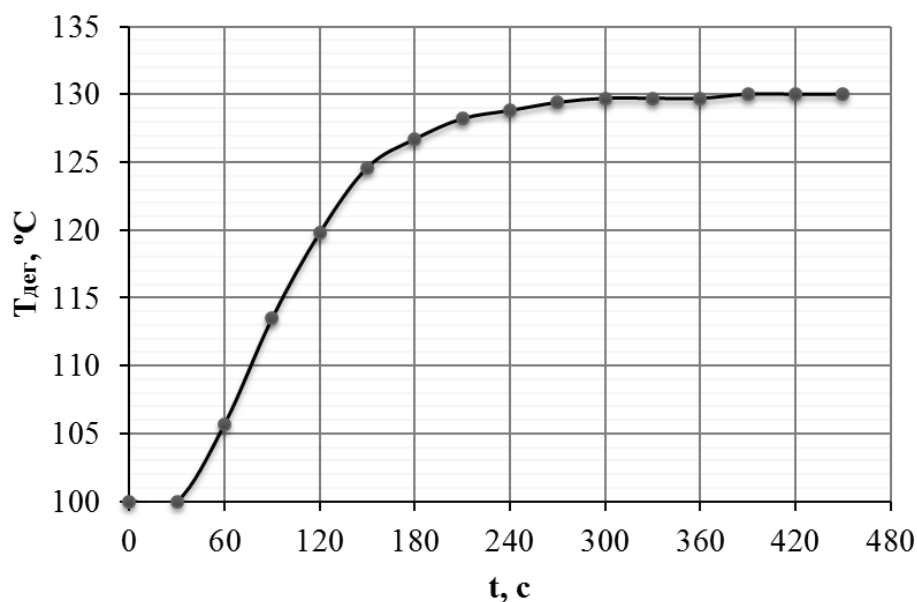


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика за основним каналом

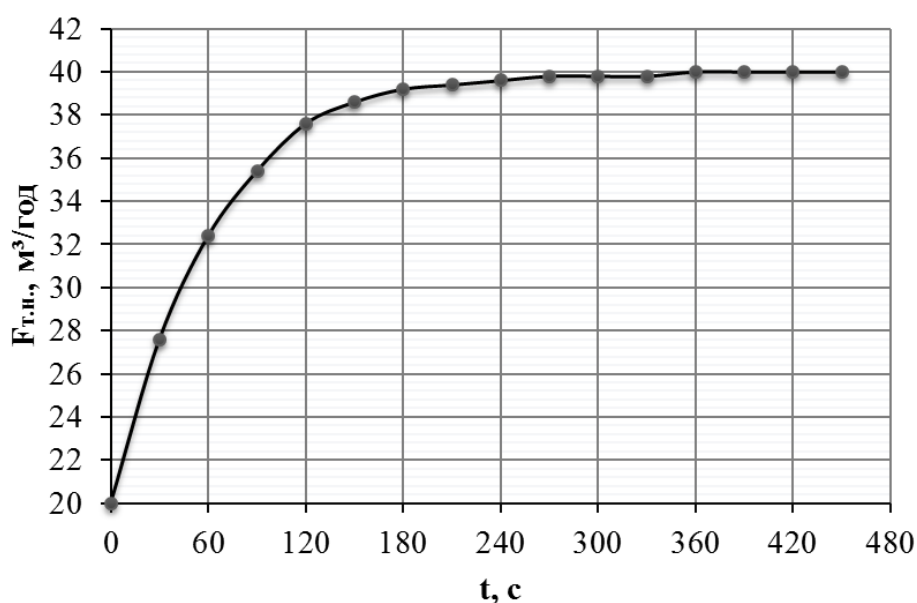


Рисунок 2.3 - Перехідна характеристика по допоміжному каналу

Для подальшого аналізу САК доцільно подати характеристики у безрозмірному вигляді, використовуючи такі формули:

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

де  $X_{\text{exi}}$ ,  $Y_{\text{vixi}}$  - біжучі значення вхідної та вихідної величин в розмірних одиницях;

$X_{\text{ex max}}$  - максимальне значення вхідної величини у розмірних одиницях;

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

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

Розрахунок для основного каналу регулювання:

$$x_{ex} = 1;$$

$$y_{вих0} = \frac{100,0 - 100}{130 - 100,0} = 0;$$

$$y_{вих1} = \frac{100,0 - 100}{130 - 100,0} = 0,0;$$

$$y_{вих2} = \frac{105.70 - 100}{130 - 100,0} = 0.190;$$

$$y_{вих3} = \frac{113.50 - 100}{130 - 100,0} = 0.450;$$

$$y_{вих4} = \frac{119.80 - 100}{130 - 100,0} = 0.660;$$

$$y_{вих5} = \frac{124.60 - 100}{130 - 100,0} = 0.820;$$

$$y_{вих6} = \frac{126.70 - 100}{130 - 100,0} = 0.890;$$

$$y_{вих7} = \frac{128.20 - 100}{130 - 100,0} = 0.940;$$

$$y_{вих8} = \frac{128.80 - 100}{130 - 100,0} = 0.960;$$

$$y_{вих9} = \frac{129.40 - 100}{130 - 100,0} = 0.980;$$

$$y_{вих10-12} = \frac{129.70 - 100}{130 - 100,0} = 0.990;$$

$$y_{вих13-15} = \frac{130,0 - 100}{130 - 100,0} = 1,0.$$

Результати узагальнюємо та подаємо у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати експериментального дослідження основного каналу регулювання, представлені у безрозмірних одиницях

| $t, c$ | $y_{вих}$ | $t, c$ | $y_{вих}$ |
|--------|-----------|--------|-----------|
| 0      | 0         | 240    | 0,96      |
| 30     | 0         | 270    | 0,98      |
| 60     | 0,19      | 300    | 0,99      |
| 90     | 0,45      | 330    | 0,99      |
| 120    | 0,66      | 360    | 0,99      |
| 150    | 0,82      | 390    | 1         |
| 180    | 0,89      | 420    | 1         |
| 210    | 0,94      | 450    | 1         |

Використовуючи дані, наведені в таблиці 2.2, побудуємо експериментальну

перехідну характеристику у безрозмірному вигляді (рисунк 2.4).

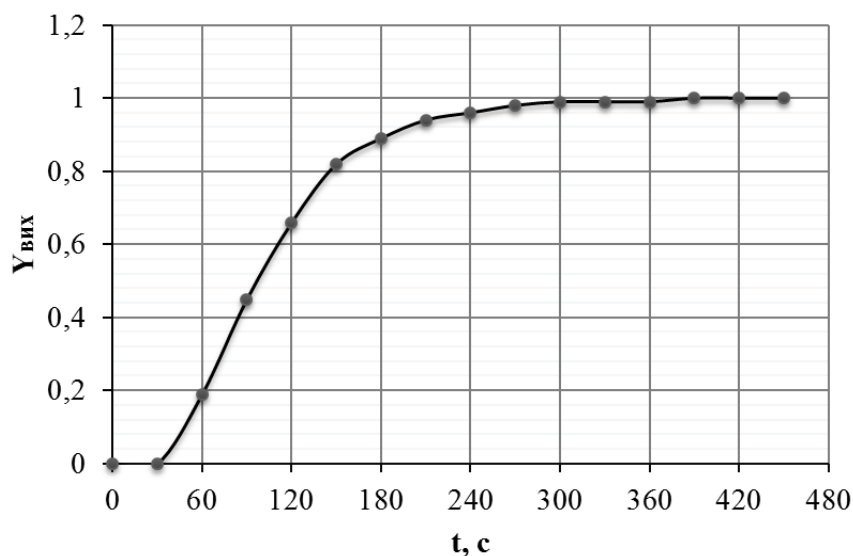


Рисунок 2.4 – Графік перехідної характеристики за основним каналу у безрозмірних одиницях

Здійснимо апроксимування за допомогою програми Аргох. Оримана передавальна функція матиме наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}. \quad (2.2)$$

Похибка апроксимації рівна 1,7% в точці  $t = 150$  с є максимальною (додаток А1).

Аналогічним способом виконаємо дослідження по допоміжному каналу.

Розрахунок для допоміжного каналу матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} y_{вих0} &= \frac{20,0 - 20}{40 - 20,0} = 0; & y_{вих1} &= \frac{27.60 - 20}{40 - 20,0} = 0.38; \\ y_{вих2} &= \frac{32.40 - 20}{40 - 20,0} = 0.62; & y_{вих3} &= \frac{35.40 - 20}{40 - 20,0} = 0.77; \\ y_{вих4} &= \frac{37.60 - 20}{40 - 20,0} = 0.88; & y_{вих5} &= \frac{38.60 - 20}{40 - 20,0} = 0.93; \\ y_{вих6} &= \frac{39.20 - 20}{40 - 20,0} = 0.96; & y_{вих7} &= \frac{39.40 - 20}{40 - 20,0} = 0.97; \\ y_{вих8} &= \frac{39.60 - 20}{40 - 20,0} = 0.98; & y_{вих9-11} &= \frac{39.80 - 20}{40 - 20,0} = 0.99; \end{aligned}$$

$$y_{вих12-15} = \frac{40,0 - 20}{40 - 20,0} = 1;$$

$$x_{ex} = 1.$$

Результати обчислень зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати експериментального дослідження по допоміжному каналу регулювання в безрозмірних одиницях вимірювання

| $t, c$ | $y_{вих}$ | $t, c$ | $y_{вих}$ |
|--------|-----------|--------|-----------|
| 0      | 0         | 240    | 0,98      |
| 30     | 0,38      | 270    | 0,99      |
| 60     | 0,62      | 300    | 0,99      |
| 90     | 0,77      | 330    | 0,99      |
| 120    | 0,88      | 360    | 1         |
| 150    | 0,93      | 390    | 1         |
| 180    | 0,96      | 420    | 1         |
| 210    | 0,97      | 450    | 1         |

На основі даних таблиці 2.3 побудуємо перехідну характеристику у безрозмірних одиницях для каналу регулювання витрати теплоносія в колоні (рисунок 2.5).

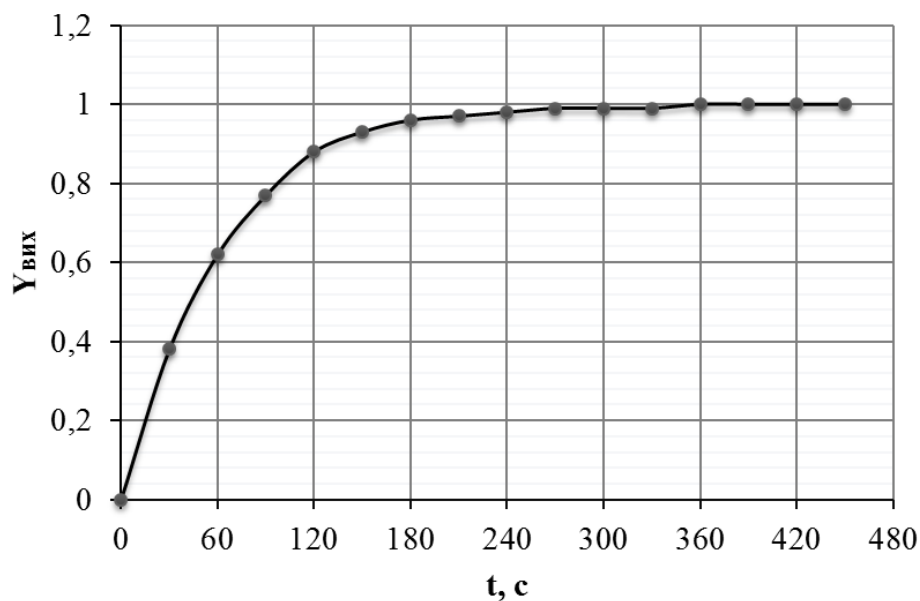


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика допоміжного каналу, подана у безрозмірному вигляді

Апроксимацію здійснимо за допомогою програми Апрох в результаті чого

отримаємо наступну таку функцію передачі:

$$W(p) = \frac{1}{60,20p + 1,0}. \quad (2.3)$$

Похибки апроксимації в точці  $t = 120$  с становить 1,7% і є максимальною (додаток А2).

### **Висновки до розділу**

Вибрано та обґрунтовано об'єкт керування. Визначено структурну схему з точки зору її автоматизації. Здійснено апроксимацію експериментально отриманих даних. Відповідно до експериментальних даних знайдено передавальну функцію об'єкта по каналах регулювання з використанням ЕОМ.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## 3 ПОБУДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

### 3.1 Побудова одноконтурної АСК

Для керування основним контуром регулювання обираємо регулятори з ПІ-алгоритмом.

Передавальна функція такого ПІ регулятора має вигляд:

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

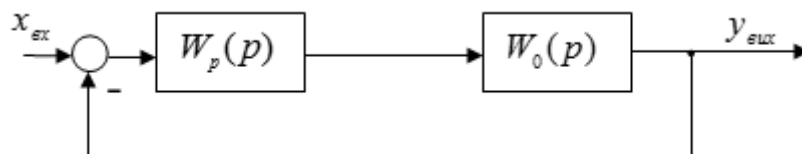
Задаємо параметри налаштування регулятора  $C_0$ ,  $C_1$  та визначаємо передавальну функцію замкненої системи.

Передавальна функція розімкнутої системи записується у вигляді:

$$\begin{aligned} W_{роз}(p) &= W_p(p) \cdot \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}; \\ W_{роз}(p) &= \frac{C_1 p + C_0}{p} \cdot \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1} = \\ &= \frac{(-16.862p + 1)(C_1 p + C_0)}{16095.4570p^4 + 2463.2480p^3 + 92.3370p^2 + 1.0p}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Структурна схема замкнутої одноконтурної САК матиме наведений нище вигляд:

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



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

Рисунок 3.1 - Одноконтурна САК

$$W_{зам}(p) = \frac{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}{1 + \frac{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.337p^2 + p}{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}} =$$

$$= \frac{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.337p^2 + p + (-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}.$$

За допомогою програми MatLAB, а саме функції Tune здійснено визначення параметрів регулятора. Згідно з даними додатку Б1 запишемо:  $K_p = C_1 = 0.5925$ ,  $K_i = C_0 = 0.0089$ .

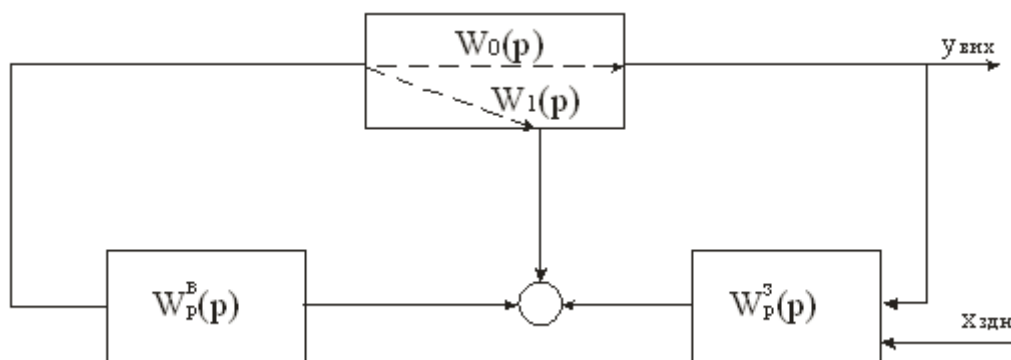
Отже:

$$W_{зам}(p) = \frac{-9.991p^2 + 0.4425p + 0.0089}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 82.346p^2 + 1.4425p + 0.0089}.$$

### 3.2 Побудова каскадної АСК

Для реалізації каскадної АСК до основного контуру регулювання додамо допоміжний малоінерційний контур. Даним контуром є система регулювання витрати теплоносія. Передавальні функції основного та допоміжного каналів регулювання подано в підрозділі 3.1.

Структурна схема автоматизації із застосування каскадної АСК зображена на рисунку 3.2.



$W_p^B(p)$  - передавальна функція регулятора внутрішнього;  $W_0(p)$  - функція передачі по основному каналу;  $W_p^3(p)$  - передавальна функція зовнішнього регулятора;

$W_1(p)$  - функція передачі по допоміжного каналу

Рисунок 3.2 - Структура каскадної АСК

Виконаємо розрахунок каскадної АСК починаючи із основного регулятора, тому, що інерційність набагато менша допоміжного каналу за основного. Для даного об'єкта передавальна функція має вид:

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

Оскільки:

$$W_0(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}.$$

$$W_1(p) = \frac{1}{60.2p + 1}.$$

Якщо прийняти, що частота основного контуру  $W_p'$  є значно меншою за частоту допоміжного контуру  $W_p''$  а також за умови  $W = W_p'$  буде справедливою наведена нижче нерівність:

$$1/W_p^e(j\omega) \ll W_1(j\omega). \quad (3.5)$$

Отже буде справедливим наступне:

$$W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$$

Або:

$$\begin{aligned} W_e'(p) &= \frac{W_0(p)}{W_1(p)} = \frac{\frac{-16.862p + 1}{16095.4571p^3 + 2463.2481p^2 + 92.3371p + 1}}{\frac{1}{60.20p + 1}} = \\ &= \frac{-1015.09241p^2 + 43.3381p + 1}{16095.4571p^3 + 2463.2481p^2 + 92.3371p + 1}. \end{aligned}$$

Для даного контуру виберемо ПІ-регулятор.

Параметри налаштування регулятора визначимо із використанням програмного середовища Matlab.

На основі наведеного у додатку Б2 отримаємо  $K_i = C_0 = 0,0165$ ,  $K_p = C_1 = 0,4098$ .

Отже:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$$W_p^3(p) = (0,4098p + 0,0165)/p. \quad (3.6)$$

Знайдемо параметри налаштування допоміжного регулятора, для якого передавальна функція має наступний вигляд:

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

Підставляючи отримані попередньо значення одержимо:

$$W_e''(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1} \cdot \frac{0,4098p + 0,0165}{p} + \frac{1}{60.2p + 1} = \frac{16095.457p^4 + 2047.263p^3 + 93.348p^2 + 2.1249p + 0.0165}{968946.5114p^5 + 164382.9866p^4 + 8021.9354p^3 + 152.537p^2 + p}.$$

Розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора виконаємо з використанням програмного забезпечення Matlab. Як показано в додатку Б3, оптимальні значення параметрів є такими:

$$W_p^e(p) = \frac{131.80p + 5.046}{p}.$$

Вигляд еквівалентної передавальної функції каскадної АСР :

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

Підставивши передавальні функції отримаємо наступне:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{-54826.8050p^4 - 1965.8250p^3 + 153.36p^2 + 7.850p + 0.0833}{968946.50p^6 + 2285764.2p^5 + 359068.890p^4 + 22786.28p^3 + 752.090p^2 + 12.90p + 0.0833}.$$

### 3.3 Дослідження стійкості одноконтурної АСК

Стійкість одноконтурної системи проаналізуємо із застосуванням критерію Михайлова. Відповідно до цього критерію автоматична система керування, що описується характеристичним рівнянням  $n$ -ого порядку, є стійкою, якщо побудований годограф проходить  $n$  квадрантів і прямує до нескінченності.

Характеристичний поліном має вигляд:

$$F(p) = 16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 82.346p^2 + 1.4425p + 0.0089.$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Прирівнявши даний поліном до нуля отримаємо:

$$16095.4571p^4 + 2463.2481p^3 + 82.3461p^2 + 1.44251p + 0.00891 = 0.$$

Замінемо  $p = j\omega$ :

$$16095.4571\omega^4 - 2463.2481j\omega^3 - 82.3461\omega^2 + 1.44251j\omega + 0.00891 = 0.$$

Розділимо дійсну і уявну частини:

$$P(\omega) = 16095.4571\omega^4 - 82.3461\omega^2 + 0.00891;$$

$$Q(\omega) = -2463.2481\omega^3 + 1.44251\omega.$$

У Mathcad виконаємо побудову (Додаток В1). Годограф проходить чотири квадранти, що підтверджує стійкість системи.

### 3.4 Дослідження на стійкість каскадної АСК

Для каскадної АСК характеристичний поліном матиме наступний вигляд:

$$F(p) = 968946,51p^6 + 2285764,21p^5 + 359068,891p^4 + 22786,281p^3 + 752,091p^2 + 12,91p + 0,0833.$$

Після прирівняння до нуля одержимо:

$$968946,51p^6 + 2285764,21p^5 + 359068,891p^4 + 22786,281p^3 + 752,091p^2 + 12,91p + 0,0833 = 0.$$

Зробимо заміну  $p = j\omega$ :

$$-968946,51\omega^6 + 2285764,21j\omega^5 + 359068,891\omega^4 - 22786,281j\omega^3 - 752,091\omega^2 + 12,91j\omega + 0,0833 = 0.$$

Виділимо дійсну і уявну частини:

$$P(\omega) = -968946.51\omega^6 + 359068.891\omega^4 - 752.091\omega^2 + 0.0833;$$

$$Q(\omega) = 2285764.21\omega^5 - 22786.281\omega^3 + 12.91\omega.$$

У програмному пакеті Mathcad зробимо побудову (Додаток В2). Годограф проходить шість квадрантів, що підтверджує стійкість системи.

### 3.5 Аналіз якості керування за перехідними характеристиками

Виконаємо оцінювання якості системи автоматичного керування за

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

графіками перехідних процесів, використовуючи при цьому програму Matlab для побудови графіків перехідних процесів як для одноконтурних так само і для каскадних систем автоматичного регулювання (рис. 3.3 та 3.4).

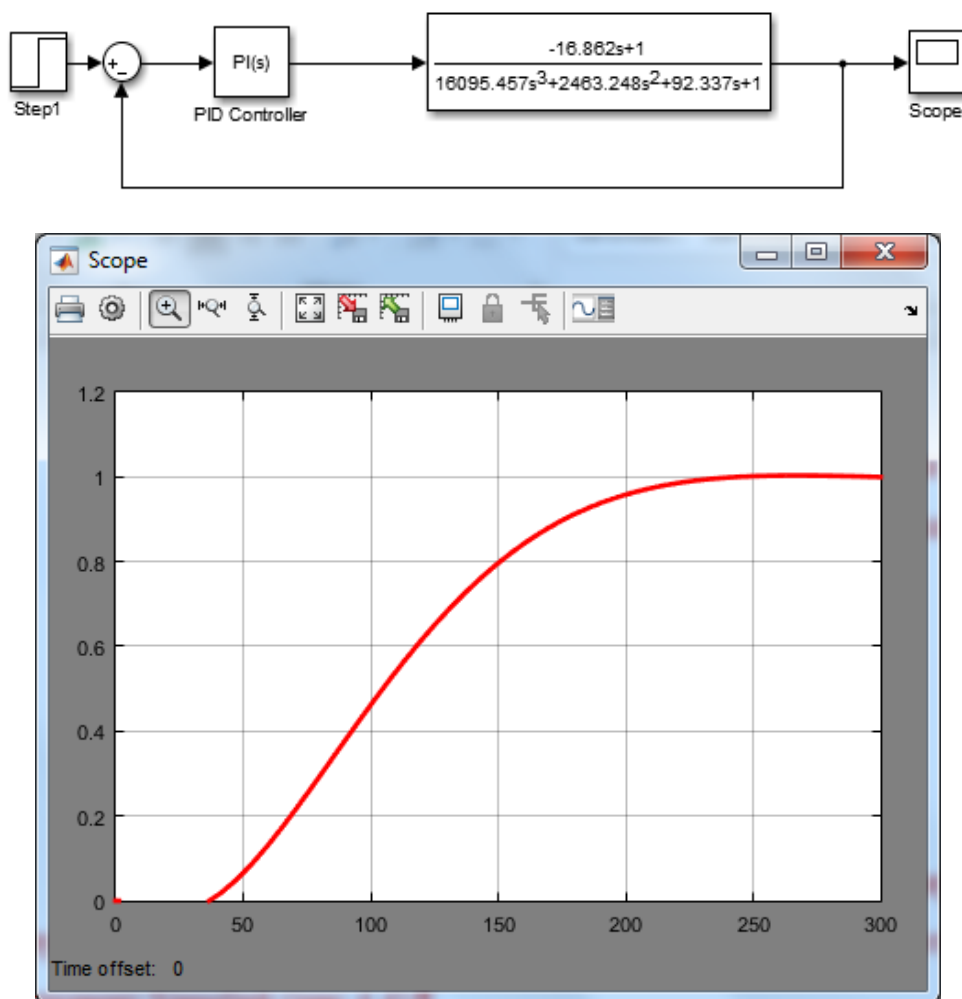


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика одноконтурної системи регулювання

З отриманого графіку визначимо такі параметри якості:

- тривалість (час) перехідного процесу становить:

$$t_n = 225,0 \text{ с};$$

- значення перерегулювання:

$$\delta = 0,0\% .$$

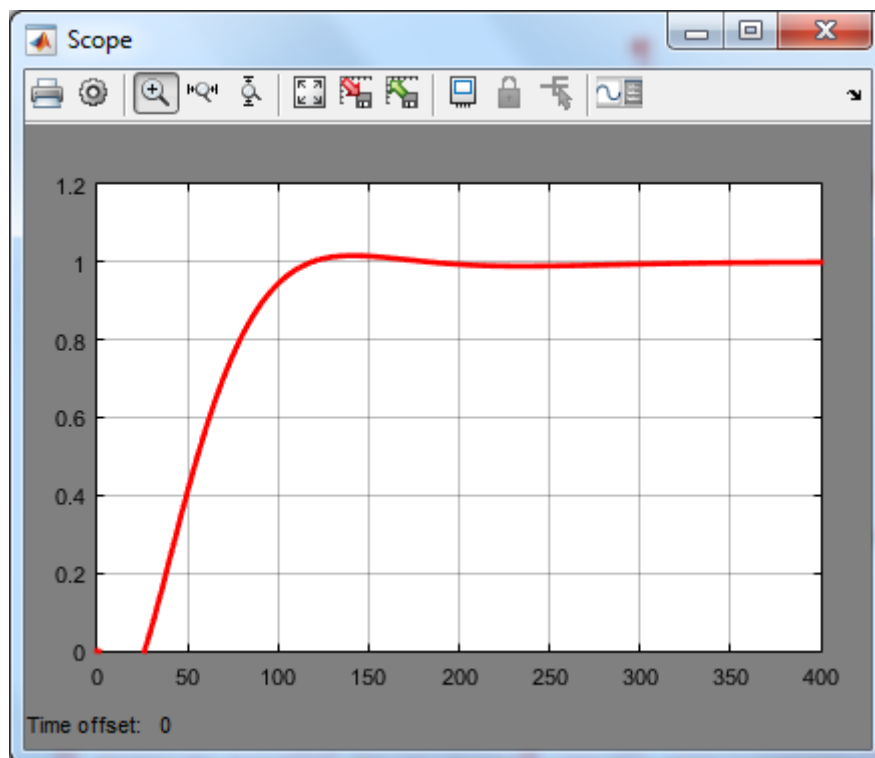
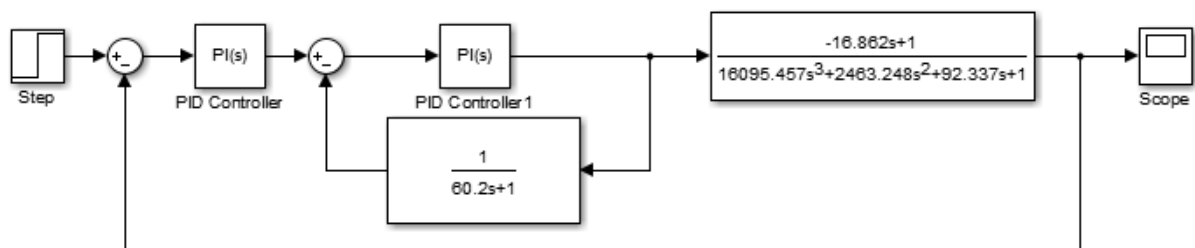


Рисунок 3.4 – Графік перехідної характеристики каскадної системи регулювання

Показники якості:

- - тривалість (час) перехідного процесу:

$$t_n = 120 \text{ с;}$$

- величина перерегулювання:

$$\delta = 1\% .$$

### Висновки до розділу

Проведено аналіз автоматичної системи керування та виконано дослідження каскадної і одноконтурної САК.

Здійснено визначення параметрів регуляторів для одноконтурної та каскадної систем керування за допомогою програмного продукту Matlab.

Дослідження стійкості систем керування за допомогою критерію Михайлова

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

засвідчило, що всі досліджувані системи є стійкими.

Визначено якісні показники систем керування. Проведено моделювання систем керування і відображені їх перехідні характеристики.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

#### 4 РОЗВИТОК САК НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розроблена SCADA-система диспетчерського контролю та керування технологічним процесом приготування ініціатора в дегідраторі установки одержання поліетиленгліколю реалізована із застосуванням сучасної платформи візуалізації та інтеграції даних, орієнтованої на принципи об'єктно-орієнтованого проектування та модульної побудови. Архітектура системи сформована за ієрархічним принципом і включає польовий рівень (датчики та виконавчі механізми), рівень програмованих логічних контролерів та верхній рівень SCADA/HMI.

На польовому рівні здійснюється безперервне вимірювання основних технологічних параметрів, зокрема температури в дегідраторі, тиску, витрат сировини та рівня робочих середовищ у резервуарах. Отримані сигнали уніфікуються та передаються на рівень ПЛК, де реалізовано алгоритми первинної обробки даних, фільтрації та автоматичного регулювання. Для критичного параметра - температури в дегідраторі - впроваджено замкнений контур регулювання з використанням ПІД-закону, що забезпечує стабільність теплового режиму та мінімізацію відхилень від заданого значення.

Верхній рівень системи реалізовано у вигляді операторського інтерфейсу, виконаного у стилі AVEVA System Platform, що відповідає сучасним вимогам ергономіки та ситуаційної обізнаності оператора. Головне мнемосхемне вікно відображає технологічну схему процесу з детальною візуалізацією апаратів (дегідратор, трубопроводи, запірно-регулююча арматура), потоків середовищ та їхніх поточних параметрів. Ключові технологічні величини (температура, тиск, витрата) відображаються у вигляді цифрових індикаторів та кольорових шкал із динамічною зміною стану залежно від відхилення від норми.

Система підтримує функції архівації технологічних параметрів із можливістю подальшого аналізу у вигляді трендів. Це дозволяє оцінювати динаміку процесу, виявляти передумови до аварійних ситуацій та оптимізувати

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

режими роботи установки. Реалізовано підсистему аварійної сигналізації, яка формує повідомлення при виході параметрів за допустимі межі, супроводжуючи їх візуальними та звуковими індикаторами. Передбачено класифікацію тривог за рівнем критичності.

Операторський інтерфейс забезпечує можливість як моніторингу, так і дистанційного керування технологічним процесом. Зокрема, оператор може змінювати уставки регуляторів, керувати положенням регулюючих клапанів, запускати або зупиняти обладнання. Для підвищення надійності функціонування системи передбачено розмежування прав доступу користувачів, що запобігає несанкціонованому втручанню в роботу технологічного процесу.

Важливою особливістю розробленої SCADA-системи є її масштабованість та можливість подальшої інтеграції з системами вищого рівня (MES/ERP), що відкриває перспективи для впровадження концепцій цифрового виробництва. Таким чином, запропоноване рішення забезпечує підвищення якості приготування ініціатора, стабілізацію технологічного режиму дегідратор та загальне підвищення ефективності функціонування установки.

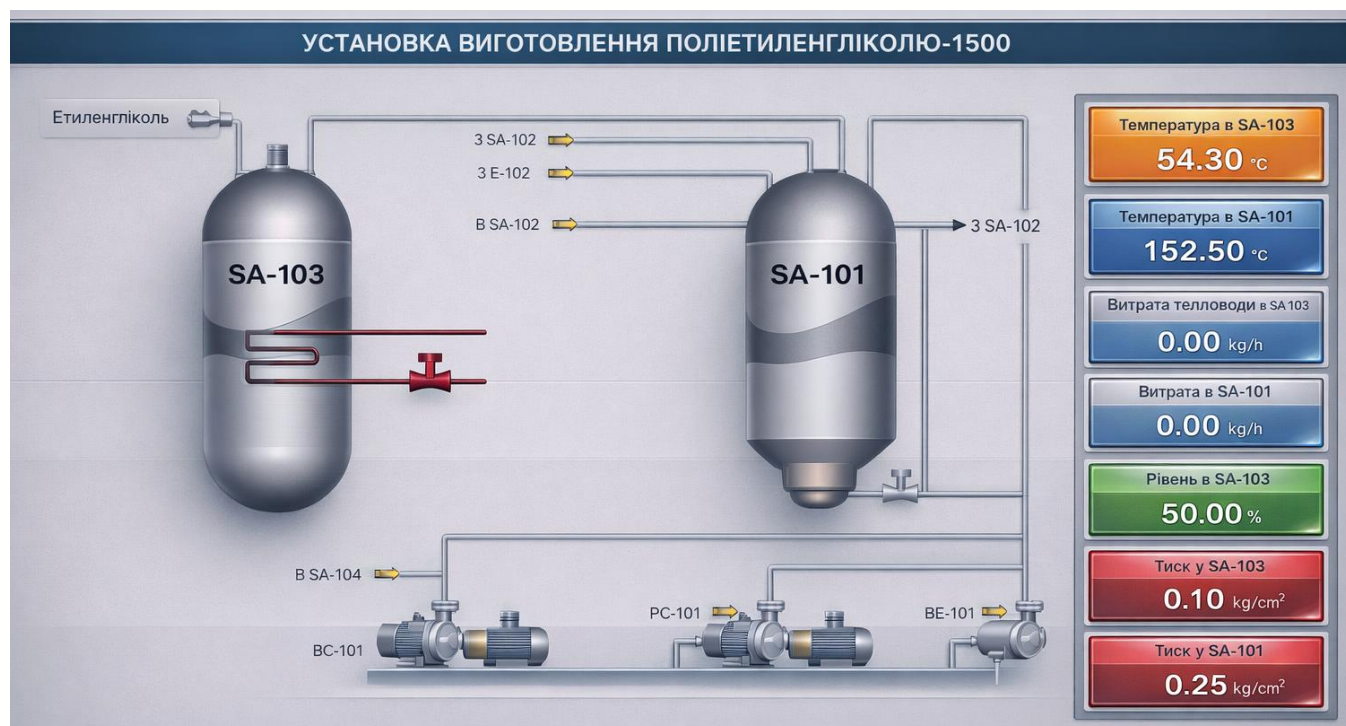


Рисунок 4.1 – Графічне зображення SCADA системи

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 43   |

## Висновки до розділу

В даному розділі розроблено SCADA-систему контролю та керування процесом приготування ініціатора в дегідраторі, яка забезпечує надійний збір, обробку та візуалізацію технологічних параметрів, а також ефективне автоматичне регулювання, зокрема температурного режиму. Запропоноване рішення підвищує стабільність роботи установки, якість кінцевого продукту, зменшує вплив людського фактора та забезпечує можливість оперативного реагування на відхилення завдяки функціям сигналізації й архівації даних, створюючи основу для подальшої цифровізації виробництва.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## 5 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ САК

### 5.1 Вибір засобів автоматизації

#### 5.1.1 Вибір контролера

МІК-51 є компактним малоканалним багатофункціональним мікропроцесорним контролером, призначеним для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами. Він застосовується в різних галузях промисловості, зокрема хімічній, електротехнічній, енергетичній, металургійній, харчовій, цементній, скляній та інших.

Контролер МІК-51 здатний вирішувати як відносно прості, так і складні задачі керування. Завдяки своїй малоканалності він забезпечує економічне керування невеликими агрегатами, а також підвищує надійність і живучість великих автоматизованих систем керування. МІК-51 дозволяє вести такі види регулювання: каскадне, локальне, програмне, супервізорне, багатозв'язне.

Існуюча архітектура мікропроцесорного контролера забезпечує можливість ручного або автоматичного вмикання й вимикання, перемикання та реконфігурації контурів регулювання. При цьому всі зазначені операції виконуються безперервно та без збурень, незалежно від складності структури системи керування.

Окрім обробки аналогових сигналів, МІК-51 також виконує логічні перетворення та формує аналогові, дискретні й імпульсні керувальні сигнали. Вбудовані логічні функціональні блоки дозволяють реалізовувати програму крокового керування із заданим контрольним часом для кожного етапу.

Поряд з обробкою дискретних сигналів контролер забезпечує виконання різноманітних функціональних перетворень аналогових сигналів і формування як дискретних, так і аналогових керувальних впливів.

Мікропроцесорний контролер МІК-51 оснащений засобами оперативного керування, які розташовані на його лицьовій панелі (рис. 1.1). Дані засоби дають можливість вручну вносити корективи у режим роботи, встановлювати необхідні

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

завдання, вручну управляти виконавчими механізмами, управляти ходом виконання програми, контролювати сигнали та показувати помилки.



Рисунок 5.1 - Елементи оперативного управління мікропроцесорного контролера

Стандартизовані аналогові та дискретні датчики, а також виконавчі механізми підключаються до мікропроцесорного контролера МІК-51 за допомогою індивідуальних кабельних з'єднань. Усередині контролера МІК-51 отримані сигнали перетворюються та обробляються у цифровій формі.

Налаштування та програмування контролера МІК-51 здійснюється як через кнопки на передній панелі пристрою, так і через інтерфейс із використанням спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема візуального редактора FBD-програм «АЛЬФА».

Як мову програмування в системі використано Function Block Diagram (FBD) — мову функціональних блокових діаграм, яка забезпечує зручний візуальний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування.

Процес програмування мікропроцесорного контролера полягає у послідовному виборі необхідних функціональних блоків із бібліотеки, що зберігається в постійній пам'яті, та їх об'єднанні у відповідну структуру згідно із заданою конфігурацією. Далі для кожного блоку задаються необхідні параметри налаштування.

Мікропроцесорного контролера МІК-51 складається з таких функціональних елементів: центральний мікропроцесорний блок контролера (рис. 1.2 а); клемно-

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

блочний з'єднувач (рис. 1.2 б); модуль розширення (рис 1.2 в).



а)



б)



в)

а - модуль розширення; б - центральний мікропроцесорний блок контролера;  
в - клемно-блочний з'єднувач

Рисунок 5.2 - Комплекс технічних засобів

Центральний блок призначений для перетворення аналогової і дискретної інформації у цифрову форму. Даний блок веде обробку цифрової інформації, а також виробляє керуючі впливи.

Мікропроцесорний контролер МІК-51 є модульним пристроєм, який дозволяє користувачу самостійно формувати необхідну конфігурацію, підбираючи потрібні модулі розширення та клемно-блочні з'єднувачі залежно від кількості та типу входних і вихідних сигналів. Його склад і технічні характеристики визначаються замовником та зазначаються у специфікації під час оформлення замовлення. До одного контролера МІК-51 дозволяється підключати лише один модуль розширення.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 47   |

Мікропроцесорний контролер МІК-51 передбачає:

- понад 80 типів вбудованих у ПЗП функціональних блоків для неперервної та дискретної обробки інформації, серед яких: блоки ПІД-регулювання, динамічні, математичні, нелінійні, аналого-дискретні й логічні перетворення;
- до 9 незалежних контурів регулювання, кожен з яких може працювати у локальному або каскадному режимі, з ручним, програмним чи супервізорним задаванням та аналоговим або імпульсним виходом;
- до 99 наявних блоків з їх вільним заповненням будь-якими функціональними блоками із наявної бібліотеки і вільною конфігурацією зв'язків між собою та із входами-виходами мікропроцесорного контролера;
- зміна наявних режимів управління, включення чи відключення, переключення та реконфігурування контурів регулювання якого небудь ступеня складності;
- ручне регулювання або автоматичне підстроювання різних характеристик, параметрів і коефіцієнтів у будь-яких функціональних блоках;
- можливе об'єднання у локальну керуючу мережу до 32 контролерів, в тому числі в цю мережу можуть включатися також й інші різновиди контролерів;
- можливе оперативне управління контурами регулювання з використанням клавіш на передній панелі;
- контролер МІК-51 може комплектуватися модулями розширення.

### 5.1.2 Вибір мікропроцесорних індикаторів

Двоканальний індикатор-регулятор ІТМ-22, призначений як для вимірювання так і для контролю і автоматичного регулювання двох вхідних технологічних параметрів, значення котрих може бути перетворене у уніфікований електричний сигнал.

Даний індикатор-регулятор забезпечує управління двохопозиційними і трьохпозиційними виконавчими механізмами. Відмінністю ІТМ-22 від ІТМ-20 є виконання лицьової панелі, а саме наявність шкальних індикаторів (рис. 5.3).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |



Рисунок 5.3 - Мікропроцесорний індикатор-регулятор ІТМ-22

Область застосування індикатор-регулятор ІТМ-22:

- Двохпозиційне та трьохпозиційної регулювання тиску, витрат, рівня, температури чи інших величин, фактичне значення котрих може бути перетворене в уніфікований сигнал.

- Диспетчерський контроль, віддалений збір даних, управління виробництвом.

- Системи цифрової та лінійної індикації технологічних параметрів процесу.

- Індикатор для двох параметрів із вихідними уставками сигналізації мінімуму і максимуму.

- Системи промислової автоматики.

- Територіально розподілені та локальні системи управління.

- Дистанційні пристрої зв'язку з об'єктом із індикацією.

Функціональні можливості:

- Цифрове налаштування нуля шкали та діапазону вимірювання.

- Підключення до пристрою джерел стандартизованих сигналів.

- Наявність чотирьох дискретних виходів із можливістю програмування.

- Вибір способу лінійного відображення (сегментний або у вигляді гістограми).

- Вбудований цифровий фільтр для аналогових вхідних сигналів.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

- Формування сигналізації при виході за мінімальні та максимальні уставки.
- Лінеаризація вхідного сигналу за 16 контрольними точками.
- Збереження налаштувань при вимкненні живлення.
- Підтримка до 255 пристроїв у мережі RS-485.
- Захист від несанкціонованої зміни параметрів.

Технічні характеристики:

- Період виміру: 0,5 сек.
- Кількість вимірювальних каналів: 2.
- Висота символів світлодіодного індикатора: 8 мм.
- Основна приведена похибка вимірювання:  $\pm 0,2\%$ .
- Розрядність цифрового індикатора: 4 розряди (для кожного каналу).
- Роздільна здатність індикації:  $\pm 0,01\%$ .
- Маса пристрою: не більше 0,95 кг.
- Кількість сегментів лінійного індикатора: 21 (для кожного каналу).
- Споживана потужність: до 8,5 Вт.
- Підйом сегмента лінійних індикаторів: 5 мм.
- Монтажна глибина: 240 мм.

### 5.1.3 Вибір давачів витрати

Виберемо для вимірювання витрати багатопараметричний інтелектуальний витратомір компанії Fisher-Rosemount моделі 8800.

Даний витратомір належить до лінійки приладів Rosemount SMART FAMILY. Пристрої даної лінійки використовують для обміну даними HART протокол.

Даний регулятор потоку моделі 8800 (рис. 5.4) проводить перетворення сигналу у цифрову форму, що відповідно дає велику точність та широкий робочий діапазон без суттєвого погіршення характеристик.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |



Рисунок 5.4 - Вигляд витратоміра Fisher-Rosemount 8800

Керований мікропроцесором унікальний цифровий фільтр забезпечує адаптивну обробку вхідного сигналу для отримання чистішого виходу при наявності перешкод.

Метод обробки сигналу також може бути змінений із врахуванням конкретного застосування з метою отримання максимально високих характеристик. Оскільки вихідний сигнал є стійким до перепадів температур навколишнього середовища появляється можливість використовувати витратомір у різноманітних умовах без наявності помітного погіршення його точності.

Даний регулятор потоку має надзвичайну гнучкість у застосуванні. Він використовується для вимірювання рідин, газів або пари. В поєднанні із високотемпературним сенсором він розширює стандартний робочий діапазон температур від -200 до 427 ° C.

Можлива подача змінних у різних форматах. За допомогою традиційного дво-провідного контура датчика (4-20 мА) можна одночасно здійснювати передавання вимірних значень витрати в вигляді аналогового та цифрового HART сигналу. Даний цифровий сигнал передає безпосереднє значення витрати у певних технічних одиницях або значеннях частоти. Також можна визначити значення сумарної витрати за допомогою комунікатора HART чи системи управління Rosemount.

Додатковий цифровий індикатор дає можливість на місці здійснювати

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

зчитування значення змінних процесу і сумарну витрату.

З урахуванням того, що вихровий сигнал має коливальну природу, то немає потреби періодично регулювати зміщення нуля та шкали, а унікальна профільна конструкція пластини, яка створює завихрення, значно підвищує надійність. З урахуванням того, що пластина не має сенсорних отворів, які піддаються впливу робочого середовища, то рідина не має можливості засмітити сенсор і понизити точність. Окрім того, усі змочувані частини датчика повністю виконані в вигляді зварної конструкції, яка зводить до мінімуму імовірність витоку, а також знімає проблеми з ущільненням.

#### 5.1.4 Вибір давачів температури

Термоопір мідний типу TCM-100M використаємо під час розробки нашого проекту для вимірювання температури. Даний термоопір використовуватимемо для вимірювання температури гарячих газових, а також рідинних потоків у температурному діапазоні не більшому за 300 °С.

Коротка характеристика приладу:

- приведена похибка  $\pm 0,8\%$ ;
- діапазон вимірювання температури від 0 °С до 300 °С;
- довжина занурюваної частини дорівнює 300 мм;
- прилад має клас точності 0.5.



Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд термометра опору типу TCM-100M

#### 5.1.5 Вибір давачів рівня

Для вимірювання рівня доцільно застосувати перетворювач гідростатичного тиску Сапфір-22ДГ 2530, який допускає налаштування на будь-який

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

нестандартний діапазон у межах 4,0–40,0 кПа.

Даний рівнемір має такі найважливіші характеристики:

- температура вимірюваного середовища не більша 300 °С;
- струмовий вихід рівний 4...20 мА;
- максимальний гідростатичний тиск рівний 40 МПа;
- клас точності приблизно  $\pm 0,5\%$ .



Рисунок 5.6 - Перетворювач гідростатичного тиску Сапфір-22ДГ 2530

#### 5.1.6 Вибір давачів тиску

За допомогою перетворювача SITRANS P DS III проведемо вимірювання тиску.

Перетворювачі тиску, які мають серію DS III можуть використовуватися у галузях промисловості, які мають високі хімічні і механічні навантаженнями. Дані перетворювачі можуть бути укомплектовані різними конструкціями розділової мембрани для спеціалізованих додатків, як приклад, для вимірювання речовин із високою в'язкістю. Перетворювачі тиску можуть управлятися локально із допомогою трьох кнопок управління, чи програмно ззовні через HART - комунікацію або за допомогою інтерфейсу PROFIBUS.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд SITRANS P DS III

### 5.1.7 Вибір виконавчого механізму

Як виконавчий механізм обрано електропривідний клапан V2001-E3.



Рисунок 5.8 - Клапан електропривідний V2001-E3

Вибір виконавчого механізму здійснено з урахуванням максимального робочого тиску, необхідної пропускної здатності та відповідного діаметра умовного проходу.

Зазначений клапан застосовується у хіміко-технологічних процесах, а також у галузях легкої промисловості. Він придатний для роботи з рідкими, газоподібними середовищами та водяною парою.

## 5.2 Технічна реалізація системи автоматизації

### 5.2.1 Розробка функціональної схеми

Основним технічним документом котрий визначає функціональну а також

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 54   |

блочну структури усіх вузлів автоматичного управління технологічного процесу а також забезпечення об'єкта управління технічними засобами автоматизації являється функціональна схема.

В якості об'єкта керування в системі автоматизації технологічних процесів виступає сукупність різноманітного устаткування разом з запірними та регулюючими органами (РО), а також різноманітні матеріали, які обумовлені особливостями технологічних процесів.

Вирішення критичних проблем автоматизації являється найефективнішим у випадку його вирішення на етапі розробки технологічного процесу.

На етапі розробки досить часто виникає потреба у зміні схеми процесу з метою найефективнішого пристосування їх до існуючих вимог автоматизації.

Для ефективного створення систем автоматичного керування потрібно ґрунтовно вивчити технологічний процес усім учасникам процесу.

Для розробки функціональних схем потрібно розглянути наступні елементи:

- одержання первинної інформації, яка стосуватиметься технологічного процесу а також устаткування;
- для керування процесом можливі сфери впливу;
- ефективна стабілізація параметрів досліджуваного процесу;
- контроль стану технологічного устаткування та його параметрів.

Наведені вище задачі вирішуються за допомогою аналізу устаткування, наявних законів а також критеріїв керування технологічним об'єктом і вимог, які стосуються точності стабілізації а також, контролю й реєстрації технологічних параметрів.

Функціональною схемою автоматизації установки передбачено:

- Температура дегідрататора SA-103 (1-а) регулюється за допомогою циркулюючого теплоносія. Витрата теплоносія вимірюється за допомогою витратоміра Fisher-Rosemount 8800 (поз. 6-а). Сигнал із перетворювача (поз. 6-б) надходить до регулятора МІК-51 (поз. 6-с). Одночасно на цей регулятор із термоперетворювача (поз. 1-а) подається інший уніфікований сигнал,

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

пропорційний температурі. Регулятор виконує обробку даних і формує керуючий вплив, який передається на виконавчий механізм (поз. 1-с).

- Вимірювання, контроль і регулювання тиску в дегідраторі SA-103 здійснюється за допомогою первинного перетворювача SITRANS (поз. 3-а), встановленого в місцевій шафі. Значення тиску перетворюється в електричний сигнал 4–20 мА, що надходить до мікропроцесорного індикатора ITM-22 (поз. 3-б), де на цифровому дисплеї відображається поточне значення тиску.

- Контроль і регулювання рівня в дегідраторі SA-103 реалізується із застосуванням датчика Сапфір-22ДГ (поз. 7-а). Гідростатичний тиск перетворюється на сигнал 4–20 мА, який через кабель передається до контролера МІК-51 (поз. 7-б). Контролер відображає значення рівня, задану уставку та величину керуючого впливу. Далі сигнал керування через клеми подається на позиціонер виконавчого механізму (поз. 7-с), встановлений на трубопроводі відведення кубового залишку.

- Вимірювання та контроль тиску в реакторі SA-101 здійснюється за допомогою перетворювача SITRANS (поз. 4-а), який формує сигнал 4–20 мА. Цей сигнал надходить до індикатора ITM-22 (поз. 4-б), де відображається поточне значення тиску.

- Температура в реакторі SA-101 (поз. 2-а) виводиться на дисплей мікропроцесорного індикатора ITM-22 (поз. 2-б).

- Вимірювання та регулювання рівня в реакторі SA-101 здійснюється таким чином: датчик Сапфір-22ДГ (поз. 8-а) перетворює гідростатичний тиск у сигнал 4–20 мА, який передається до контролера МІК-51 (поз. 8-б). МІК-51 на цифровому табло відображає значення вимірюваного рівня. З клемних затискачів потрібна регулююча дія яка має вигляд деякого уніфікованого електричного сигналу поступає на позиціонер виконавчого механізму (поз. 8-с).

### 5.2.2 Розробка загального вигляду щита

Призначенням щитів та пультів систем автоматизації являється розміщення на них засобів призначених для контролю а також керування процесом, рвзноманітних контрольно-вимірювальних приладів, апаратури для керування,

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 56   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

сигнальних пристроїв, автоматичних регуляторів і т.п.

Щити систем автоматизації встановлюються у спеціалізованих щитових приміщеннях тобто у диспетчерських, апаратних та операторських.

Призначаються для монтажу у закритих приміщеннях у яких температура навколишнього середовища поливається у межах від мінус 30 до плюс 50°C. Відносна вологість не перевищує 80% а також при відсутності вібрацій, наявності агресивних газів та парів а також струмопровідного пилю.

У разі встановлення у щитах приладів із вузьким температурним діапазоном роботи або за умов зниженої вологості, вимоги до температури навколишнього середовища повинні визначатися відповідними технічними умовами експлуатації цих приладів чи обладнання.

Забороняється:

1) розміщувати прилади та засоби автоматизації на бічних стінках і дверях щитів (за винятком дверей малогабаритних щитів);

2) монтувати внутрішньощитову апаратуру на дверях і бічних стінках малогабаритних щитів, а також на панелях пультів;

3) встановлювати прилади та інші засоби автоматизації на допоміжних елементах щитів і пультів, зокрема на допоміжних панелях із дверима, окремих допоміжних панелях, торцевих декоративних панелях, кутових вставках і кришках щитів.

Щити шафового та панельного типу з каркасною конструкцією, а також штативи не призначені для одночасного розміщення апаратури систем автоматизації разом із силовими електричними пристроями, такими як магнітні пускачі, контактори, рубильники, автоматичні вимикачі та запобіжники, що застосовуються для керування і захисту силового обладнання, електроприводів технологічних установок і запірних органів (за винятком електроприводів виконавчих механізмів систем регулювання).

Разом із тим допускається встановлення засобів дистанційного керування, контролю та сигналізації електроприводів (ключів керування, кнопок, сигнальних

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

елементів, електровимірювальних приладів), якщо відповідно до прийнятої структури керування технологічним процесом або агрегатом необхідно об'єднати їх на одному щиті з апаратурою систем автоматизації.

Щоб розмістити реєструючі, показуючі та самопишущі вторинні прилади, використаємо панельний щит повногабаритної конструкції (ЩП 2200х600х60). На кресленні загального вигляду щита наведена таблиця написів.

### **Висновки до розділу**

У даному розділі проведено розробку технічної документації на САК. Вибрано технічні засоби автоматизації, які будуть застосовуватись в технологічному процесі, який розглядається.

,

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено аналіз технологічного процесу виробництва поліетиленгліколю з позиції його автоматизації. Оскільки метою бакалаврської роботи є автоматизація дегідрататора, встановлено, що ключовим параметром, який визначає перебіг процесу та безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту, є температура в апараті. У зв'язку з цим основну увагу приділено розробці та дослідженню каналу регулювання температури.

Експериментальним шляхом отримано передавальну функцію об'єкта керування, що дозволило адекватно описати його динамічні властивості. На основі цього здійснено вибір регуляторів для одноконтурної та каскадної систем автоматичного регулювання, а також виконано розрахунок їх оптимальних параметрів налаштування. Проведено оцінювання показників якості роботи систем (перерегулювання, час встановлення, статична похибка тощо) та досліджено їхню стійкість за відповідними критеріями.

Додатково обґрунтовано доцільність застосування каскадної системи регулювання, яка забезпечує підвищення точності та швидкодії керування, а також покращує компенсацію збурень. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих рішень і можуть бути використані для підвищення якості продукції та надійності роботи технологічного обладнання.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 59   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

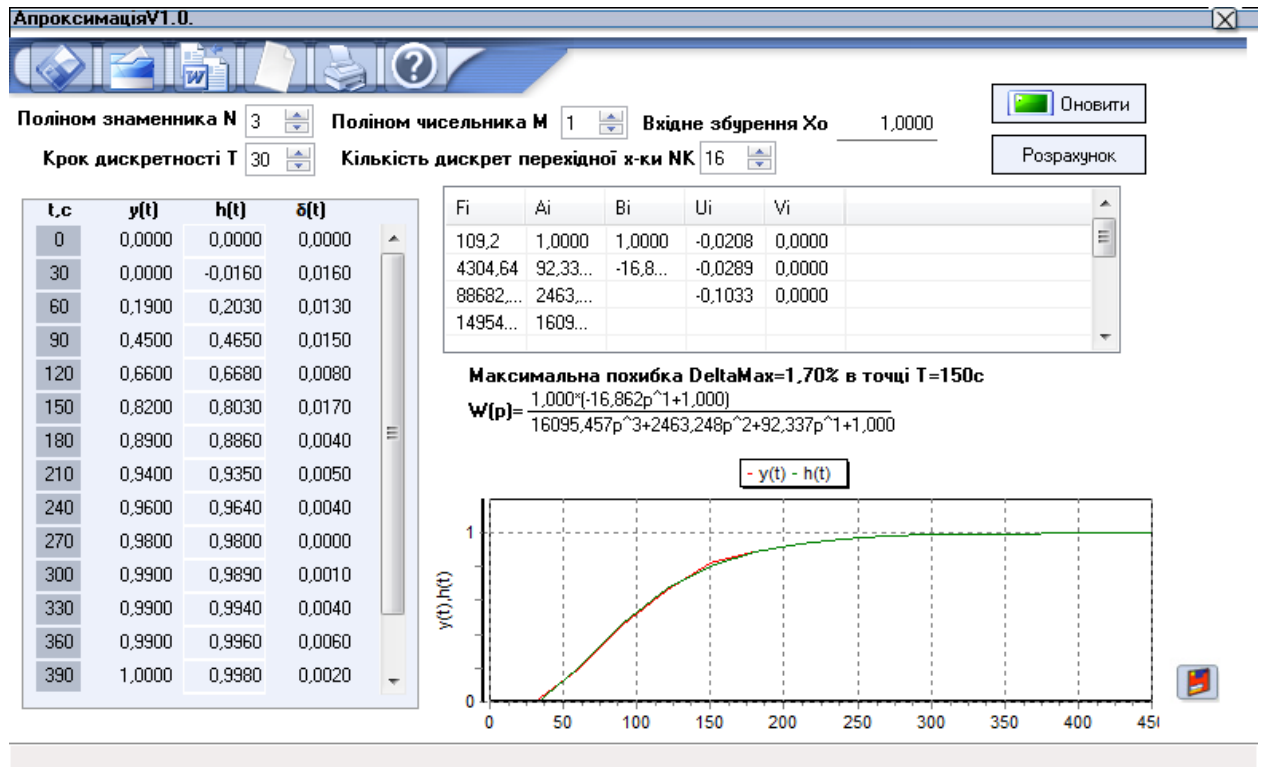
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. 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.
2. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.
3. 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.
4. Лагойда, А. І. Комп'ютерно-інтегровані системи управління [Текст] : лаборатор. практикум. Ч. 1 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2025. – 307 с.
5. Семенцов Г. Н., Горбійчук М. І., Жуган Л. І., Чеховський С. А. Автоматизація процесів переробки нафти і газу. Львів, 1992. 268 с.
6. 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.
7. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. Івано-Франківськ: Факел, 2005. 448 с.
8. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. 610 с.

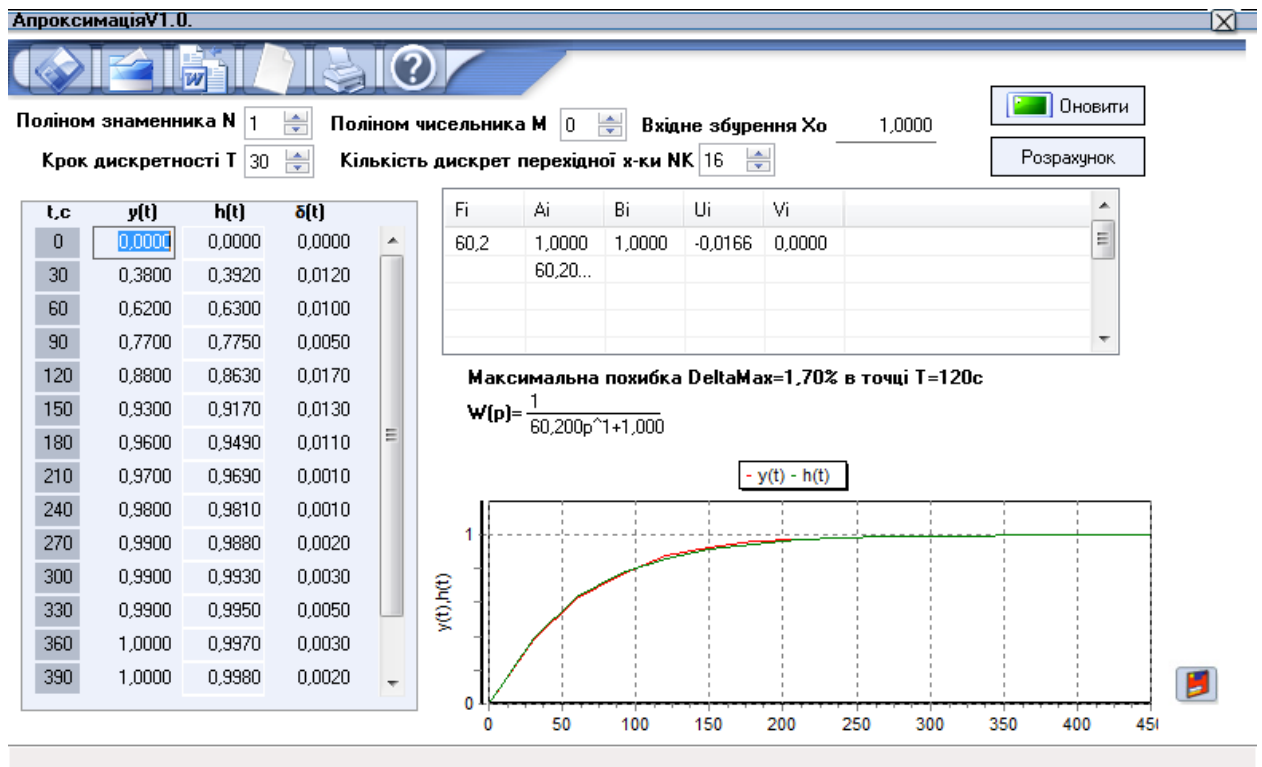
|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БР.АКП-81.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                        | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

ДОДАТКИ

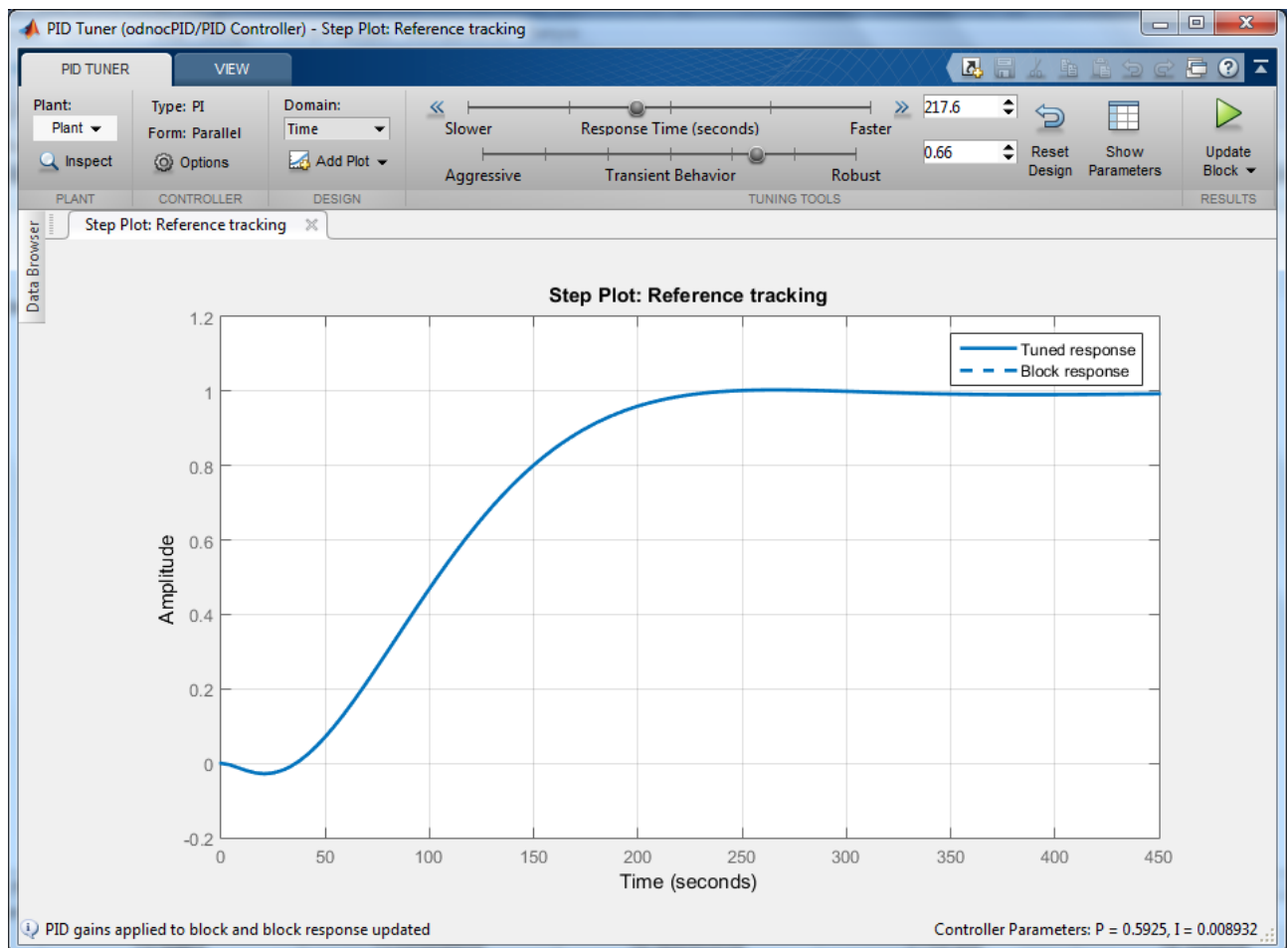
## Додаток А1



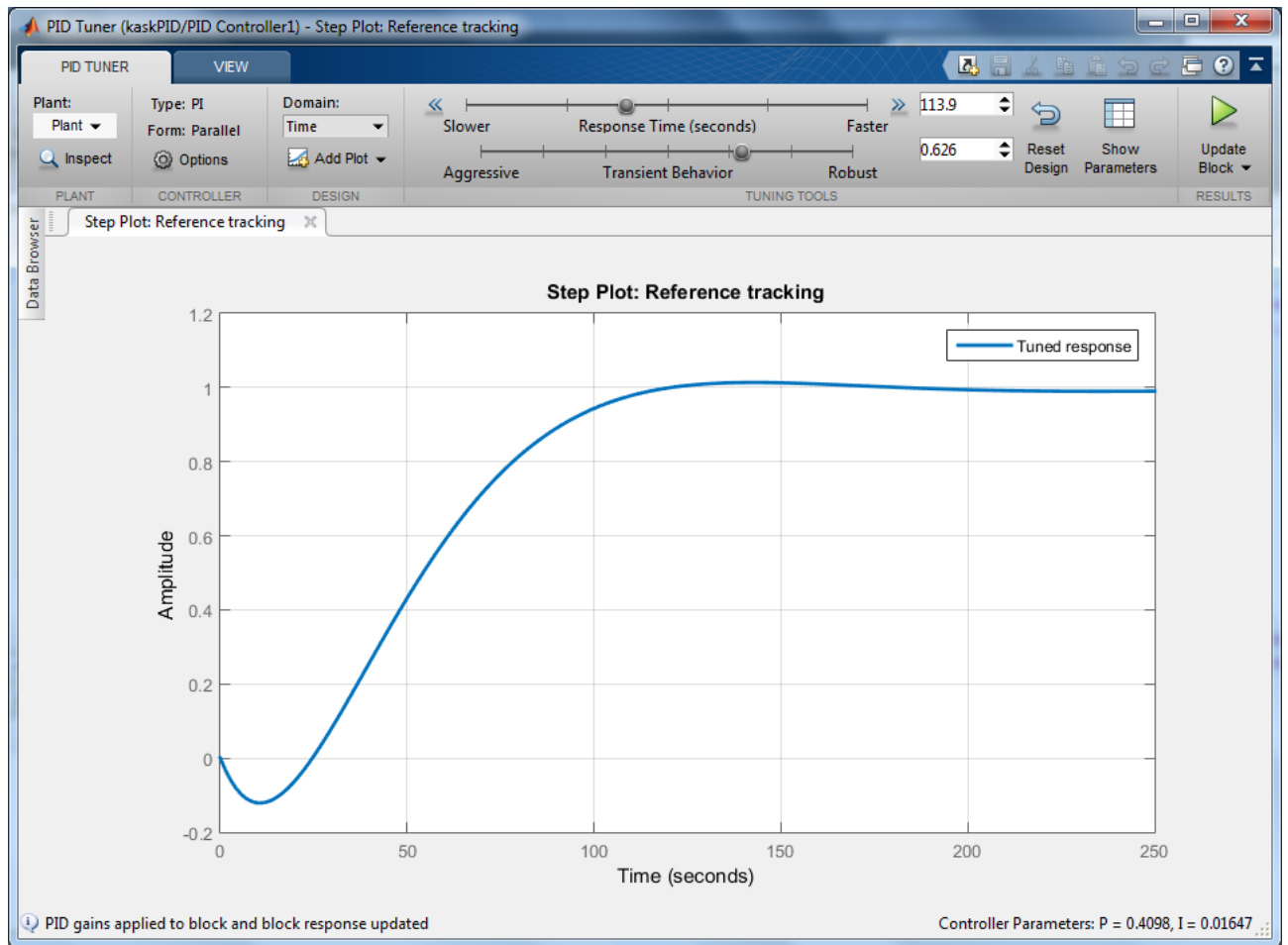
## Додаток А2



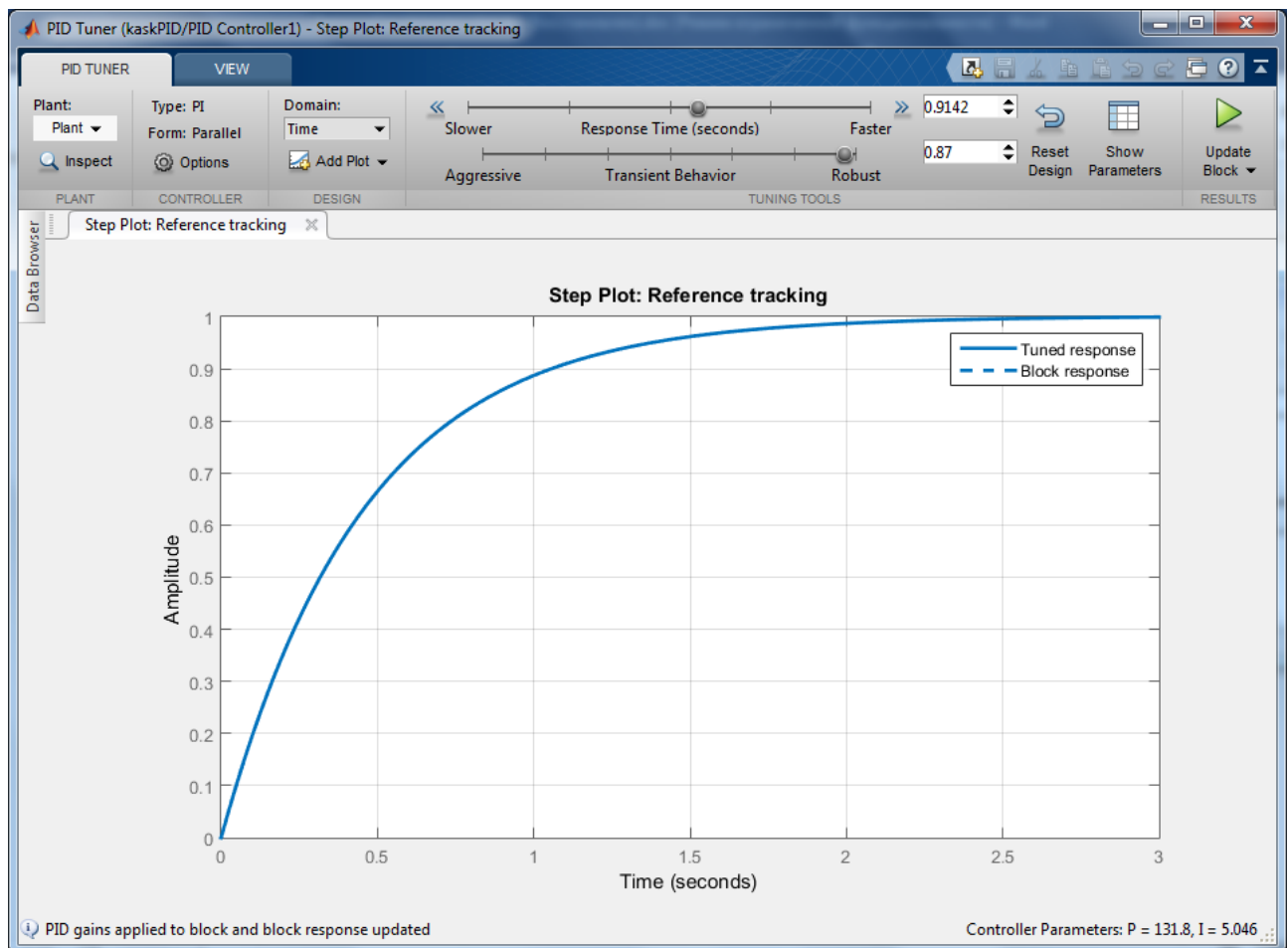
## Додаток Б1



## Додаток Б2



## Додаток Б3



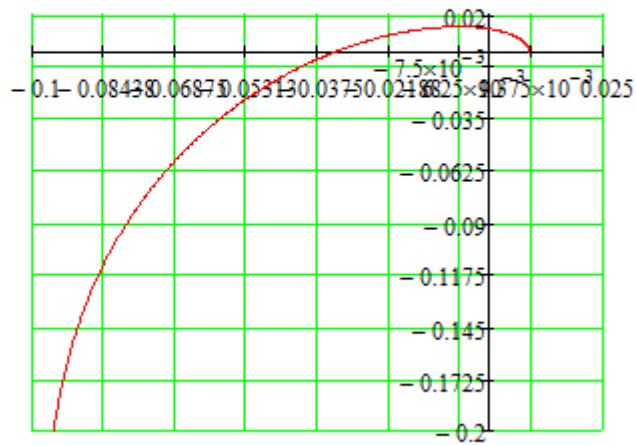
## Додаток В1

$$P(w) := 16095.457w^4 - 82.346w^2 + 0.0089$$

$$Q(w) := -2463.248w^3 + 1.4425w$$

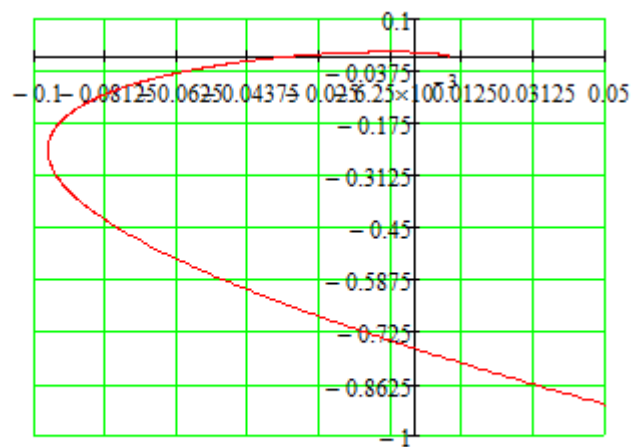
$$w := 0,0001..30$$

Q(w)



P(w)

Q(w)



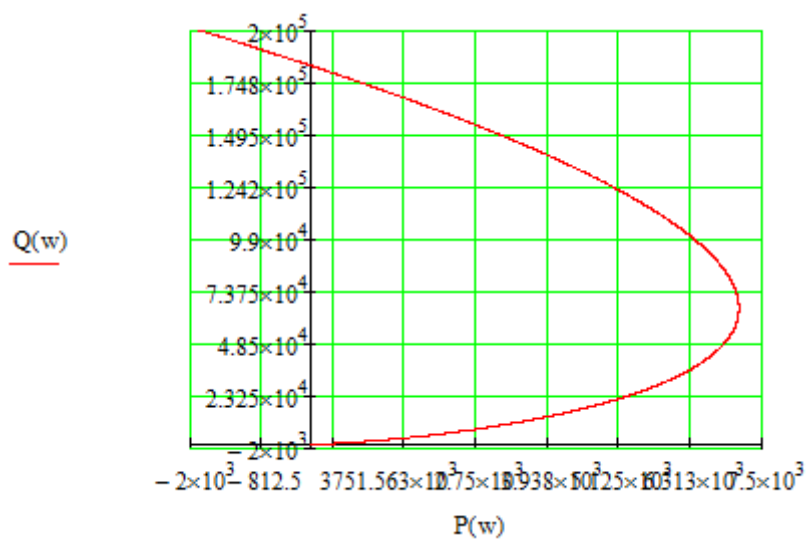
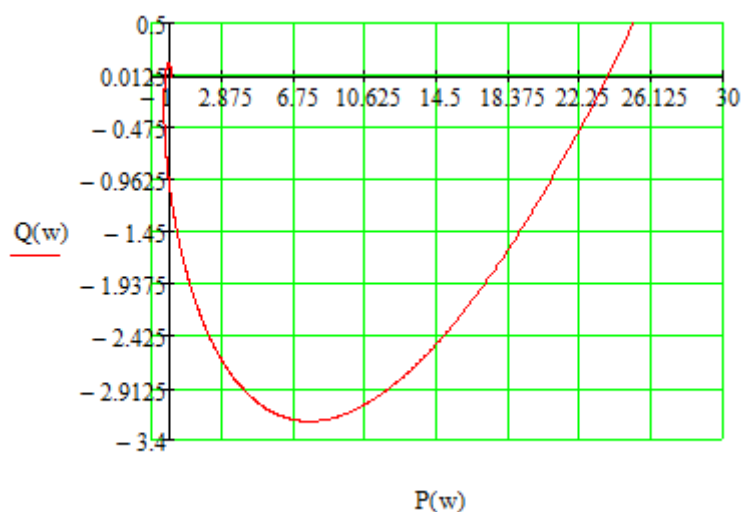
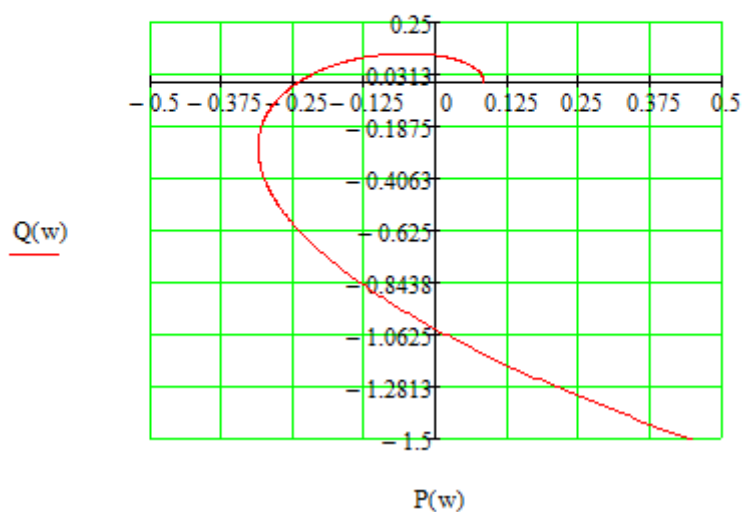
P(w)

## Додаток В2

$$P(w) := -968946.5 \cdot w^6 + 359068.89 \cdot w^4 - 752.09 \cdot w^2 + 0.0833$$

$$Q(w) := 2285764.2w^5 - 22786.28w^3 + 12.9w$$

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



## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Розроблення системи автоматизації технологічного процесу виготовлення поліетиленгліколю-1500».

Обсяг пояснювальної записки: 69 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. Зовнішній вигляд щита керування.
6. SCADA-система.

Дата закінчення проекту \_\_\_\_\_

Підпис студента-дипломника \_\_\_\_\_