

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Сміщенко Антон Олександрович  
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного курування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Трипутень М.М.			
розділів:				
Теоретичний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Експериментальний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Цифрове моделювання системи керування	доц. Трипутень М.М.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	доц. Трипутень М.М.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та  
інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студентки Сміщенко А.О. академічної групи 151М-22-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного курування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ .2023 № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.23 – 07.09.23
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.09.23 – 15.09.23
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.09.23 – 01.10.23
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.10.23 – 01.11.23
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування	01.11.23 – 15.11.23
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.11.23 – 30.11.23

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії \_\_\_\_\_

30.11.2023

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Сміщенко А.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 45 рис., 8 табл., 3 додатків, 6 джерел.

ПОЛІЕТИЛЕН, ХОЛОДИЛЬНИК, ОХОЛОДЖУВАЛЬНИЙ АГЕНТ, ВИРОБНИЦТВО, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, РЕГУЛЯТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ГІПОТЕЗА.

Мета роботи: підвищення ефективності технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску.

Об'єкт дослідження: система автоматичного регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску.

Мета дослідження: вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу «витрати води - температура етилену».

Основними методами дослідження використаними для досягнення поставленої мети були: аналіз літературних джерел, теоретичні та обчислюванні дослідження, статистичний аналіз даних.

У вступі описано стан питання автоматизації технологічного процесу виготовлення поліетилену високого тиску.

У розділі «Стан питання та постановка задачі» наведено властивості та види поліетилену високого тиску, розглянуто технологічну схему виробництва поліетилену, показані параметри холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 та представлення його як об'єкта керування.

У розділі «Теоретична частина» виконано аналіз відомих методів регулювання об'єктами управління з запізнюванням. Розглянуто методики вибору структури і визначення параметрів предиктивного ПІ-регулятора. Виконано теоретичні дослідження стійкості САК технологічним процесом виготовлення поліетилену високого тиску. Розраховано області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного керування, визначені параметри регуляторів.

У розділі «Експериментальний розділ» виконано обчислювальні дослідження на ЕОМ САР технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску по уточненню параметрів регулятора і визначено вплив коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора на показники якості системи автоматичного керування.

В «Цифрове моделювання системи керування» розроблена цифрова модель системи керування, розроблено програмне забезпечення системи керування, розроблено програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу та здійснена перевірка функціонування програмного забезпечення.

У розділі «Економічна частина» наведена доцільність розробки САК, розраховані для неї капітальні та експлуатаційні витрати, показана економічна ефективність системи автоматизації.

У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів при технологічному процесі виробництва поліетилену високого тиску, розроблені інженерно-технічні заходи з охорони праці, проведено розрахунки: оцінки ризику неконтрольованого витоку етилену, ймовірності виникнення пожежі, ризику ураження електричним струмом, отримання травми. Розглянуті питання пожежної профілактики.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Сфера застосування та способи виготовлення поліетилену високого тиску	10
1.2 Властивості, характеристики та види поліетилену високого тиску	11
1.3 Технологічний процес	13
1.4 Об'єкт керування	16
1.4.1 Очищення та охолодження зворотного етилену	17
1.4.2 Холодильник етилену зворотного проміжного тиску	18
1.4.3 Структура об'єкту керування	19
1.5 Апаратне забезпечення системи керування	21
1.5.1 Структура системи керування	21
1.5.2 Функціональна схема автоматизації	22
1.5.3 Розробка схеми електричної принципової	24
1.6 Формулювання завдань дослідження	26
2 Теоретичний розділ	27
2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання	27
2.2 Методи регулювання об'єктів з запізненням	31
2.3 Регулювання з передбаченням	32
2.3.1 Предиктор Сміта	32
2.3.2 Розрахунок предиктивного ПІ-регулятора	34
2.4 Висновки до розділу	37
3 Експериментальний розділ	39
3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора	39
3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ППІ-регулятором	42
3.3 Визначення експериментальної залежності величини регулювання САР від коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора	45
3.4 Висновки до розділу	46
4 Цифрове моделювання системи керування	47

	6
4.1 Цифрова модель системи керування	47
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	50
4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу	53
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	55
4.5 Висновки до розділу	57
5 Економічна частина	58
5.1 Доцільність розробки САК	58
5.2 Капітальні витрати для САК	59
5.3 Експлуатаційні витрати	60
5.4 Економічна ефективність	63
5.5 Висновки до розділу	64
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	65
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при технологічному процесі виробництва поліетилену високого тиску	65
6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	66
6.2.1 Розрахунок оцінки ризику неконтрольованого витоку етилену	66
6.2.2 Розрахунок ймовірності виникнення пожежі	68
6.2.3 Розрахунок ризику ураження електричним струмом при виробництві етилену	69
6.2.4 Розрахунок травми при контакті з холодильником поліетилену високого тиску	70
6.3 Пожежна профілактика	72
6.4 Висновки до розділу	73
Висновки	75
Список літератури	77
Додаток А	78
Додаток Б ПЗ САК	82
Додаток В ПЗ НМІ	84
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	89

## Вступ

**Актуальність теми.** У ході науково-технічного прогресу вдосконалюються технологічні процеси різних галузей виробництва в тому числі і виготовлення поліетилену. Збільшення функціональності та швидкості виготовлення готової продукції досягається впровадженням новітніх технологій, механізмів, та систем керування. Нововведення дозволяють підвищити ритмічність виробництва, зменшити виробничих втрат.

Поява обчислювальної техніки та надійних швидкодіючих обчислювальних машин дало можливість вирішувати задачі керування як окремими технологічними апаратами так цілими технологічними лініями. На даний час накопичений значний досвід керування виготовлення поліетилену високого тиску.

На сьогодні значну частину поліетиленової сировини, яка синтезується у світі, використовують для виробництва труб різного технологічного призначення, такого як будівництво напірних водопроводів та газопроводів і т. ін. За останні десять років розроблено велику кількість різних типів поліетиленів, які виробляються для цього, з істотно різними фізико-хімічними характеристиками.

Значну частину полімерної сировини, що синтезується у світі, використовують для виробництва проміжних конструкційних матеріалів – заготовок у вигляді труб, плівок, суцільних та плетених листів, з яких на наступному етапі виготовляють конкретні вироби. Такі конструкційні полімерні матеріали постійно удосконалюються, розробляються нові їх типи, підвищуються експлуатаційні властивості. За десятки років з початку будівництва трубопроводів із пластмас різного технологічного призначення було розроблено та застосовано для виробництва труб низку типів поліетиленової сировини, фізико-механічні характеристики яких істотно відрізняються [8].

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу виробництва поліетилену високого тиску за рахунок вдосконалення системи автоматичного регулювання температури поліетилену в холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація відхилень поточних значень температури поліетилену від заданого значення в динамічному сенсі.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою поліетилену;

- проведений синтез системи автоматичного керування температурою поліетилену з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження залежностей цих критеріїв від параметрів регулятора.

**Об'єкт дослідження** – система автоматичного регулювання процесом виготовлення поліетилену високого тиску.

**Предмет дослідження** – закони та алгоритми автоматичного керування процесом виробництва поліетилену високого тиску.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування процесом виробництва поліетилену високого тиску використані методи теорії автоматичного керування та моделювання. Експериментальні дослідження (моделювання) проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

- синтезовано предиктивний ПІ-регулятор системи автоматичного регулювання процесом виробництва поліетилену високого тиску;

- визначено області стійкої та нестійкої роботи системи



автоматичного керування;

– показано відсутність впливу інтегральної частини предиктивного ПІ-регулятора на показники якості перехідного процесу вихідної величини в системі автоматичного регулювання виробництва поліетилену високого тиску;

– визначена область оптимальних значень коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора системи автоматичного керування виробництва поліетилену високого тиску.

**Наукове положення** – мінімум часу перехідного процесу системи автоматичного регулювання процесом виробництва поліетилену високого тиску досягається застосуванням передбачуваного управління з використанням пропорційної частини предиктивного ПІ- регулятора.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Сфера застосування та способи виготовлення поліетилену високого тиску

Сфера застосування гранул ПЕВТ досить різноманітна.

З цього матеріалу сьогодні виготовляють:

- труби для напірних магістралей та іригаційних мереж, а також фітинги до них;
- корпуси побутової техніки;
- вироби, отримані шляхом дуття, наприклад, каністри та пляшки;
- теплоізоляцію, для якої використовується спінений ПЕВТ;
- електроізоляційну оболонку для кабельної продукції;
- рукави, мішки, пакети та плівки різних видів, у тому числі термозбіжні;
- термоклей порошкоподібної форми, отриманий з подрібнених гранул;
- черепицю з полімер-піщаної суміші та руберойд;
- деталі та вузли для автомобілебудування;
- неткані матеріали, нитки для текстильної промисловості та інші вироби [6].

Залежно від різновиду ПЕВТ і його призначення способи обробки полімеру можуть бути різними:

- литтям під тиском виробляються вироби господарського та загального призначення, в тому числі контактують з продуктами харчування, крупна- і малогабаритні вироби з товщиною стінки 0,5...3 мм, а також фітинги для труб;
- екструзія використовується для виробництва труб (напірних і безнапірних), фітингів, оболонки (ізоляції) проводів і кабелів, плівки (термоусадочної, пакувальної, загального і спеціального призначення, для виготовлення мішків, а також для сільськогосподарських потреб), покриттів, що наносяться на тканини і папір, профільно-погонних виробів;
- пресуванням виготовляють вироби, що мають технічне призначення (фітинги, листи, плити);
- видувне формування застосовують для виготовлення пластикових пляшок, судин, ємностей, об'ємом 10...30 дм<sup>3</sup>, в тому числі що контактують з харчовими продуктами;
- заливку використовують для заповнення окремих деталей електроустаткування;
- напиленням формуються спеціальні покриття на виробах різного роду;
- шляхом ротаційного формування виготовляються вироби, об'ємом до 200 дм<sup>3</sup>, що застосовуються в технічних цілях [7].

## **1.2 Властивості, характеристики та види поліетилену високого тиску**

Поліетилен високого тиску випускається у формі гранул, структура яких складається з великого числа розгалужених макромолекул, що утворюють

кристалічну решітку. Через слабкі міжмолекулярні зв'язки, цей матеріал має більш низьку щільність, за що він отримав другу назву – поліетилен низької щільності.

#### Основні характеристики ПЕВТ:

- молекулярна маса: 80 000...500 000;
- щільність: 0,910...0,930 г/см<sup>3</sup>;
- температура розм'якшення: +80...+90°C;
- температура плавлення: +103...+115°C;
- твердість за Бринеллем: 14...25 МПа.

ПЕВТ має універсальні властивості, що дозволяють використовувати його для різних цілей.

Відмінними особливостями гранул і виробів з цього матеріалу є:

- гнучкість, пластичність та м'якість, що роблять продукт приємними на дотик;
- хороша стійкість щодо впливу хімічно активних середовищ;
- можливість отримання виробів з блискучою та ідеально гладенькою поверхнею, що надає продукції більш привабливий зовнішній вигляд, у порівнянні з матовими виробами з ПНТ;
- непроникність для вологи та повітря;
- стійкість до ультрафіолетового випромінювання сонця;

- абсолютна інертність і відсутність запаху, в тому числі й у вторинних гранул;
- відмінні діелектричні властивості.

Крім того, ПЕВТ є нетоксичним та екологічно безпечним матеріалом для людини й навколишнього середовища, тому за санітарними нормами дозволяється його застосування у контакті з харчовими продуктами та для виготовлення дитячих іграшок.

Існують різні види гранул LDPE, що отримують шляхом його додаткової обробки.

- Основними модифікаціями цього полімерного матеріалу є:
- ПЕ спінений, що має пористу структуру, завдяки введенню газової суміші вуглеводнів у ПВТ: це робить його пластичним і міцним водночас; такий матеріал випускається листами, в рулонах або у вигляді джгутів;
- зшитий ПЕ високого тиску, що має підвищену щільність та міцність завдяки наявності поперечних зв'язків, утворених ланцюжком атомів водню між відгалуженням макромолекул – така структура досягається шляхом введення перекису водню до розплавленої сировини;
- полімери ПВТ з ПЕ іншого різновиду або різними мономерами [6].

### **1.3 Технологічний процес**

Способи отримання поліетилену при високому тиску відомі давно.

Найбільш часто ці способи здійснюють в трубчастих реакторах високого тиску. Однією з причин обмеженої глибини екзотермічної полімеризації етилену при високому тиску є проблема відводу тепла. Тепловідведення при полімеризації в трубчастих реакторах високого тиску ускладнюється, зокрема,

внаслідок утворення на внутрішніх стінках реактора відкладення, що перешкоджають ефективному теплообміну.

Стабілізація, фарбування і грануляція - загальні стадії для поліетилену низької і високої щільності. Отже процес виробництва поліетилену можна розбити на наступні частини:

- стиснення етилену;
- полімеризація етилену;
- поділ реакційної суміші і виділення поліетилену;
- підготовка ініціатора полімеризації;
- стабілізація, фарбування і грануляція.

На рис. 1.1 приведена принципова технологічна схема установки синтезу поліетилену при високому тиску.

Етилен з установки газо-розділення під тиском 1...2 МПа і при температурі 10...40 °С подається в ресивер 1, де в нього вводиться зворотній етилен низького тиску і кисень (кисень), який використовується як ініціатор. Суміш стискується компресором проміжного тиску 2 до 25...30 МПа, з'єднується з потоком зворотного етилену проміжного тиску, стискується компресором реакційного тиску 3 до 150...300 МПа і направляється в автоклавний реактор 5. У реакторі відбувається полімеризація етилену при температурі 200...275°С.

Поліетилен, який утворився в реакторі, розплавлений з етиленом, що не прореагував (конверсія етилену в полімер 18 %), безперервно виводиться з реактора через дроселюючий клапан і надходить у віддільник низького тиску 10. Етилен зворотного проміжного тиску з відділювача 8 проходить апарати охолодження 7 і сепарації (циклон) 12, де охолоджується до 30...40°С і

де відділяється низькомолекулярний поліетилен, і потім подається на всмоктування компресора 3.

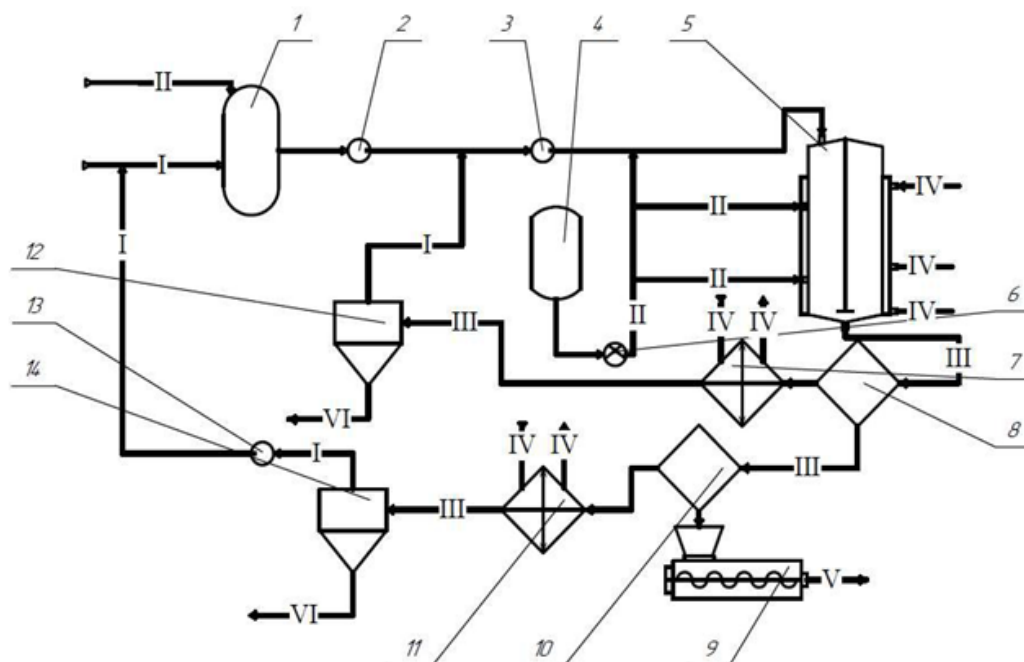


Рисунок 1.1 - Схема полімеризації етилену при високому тиску

У відділювача низького тиску 10 при тиску 0,1...0,5 МПа і температурі 200...250°C з поліетилену виділяється розчинений етилен (зворотній газ низького тиску), який через апарати охолодження 11 і сепарації (циклон) 14 надходить у компресор 13 і далі на змішання зі свіжим етиленом. Розплавлений поліетилен з віддільника низького тиску 10 надходить у екструдер 9, а з нього у вигляді гранул – на забарвлення і додаткову обробку.

Таким чином у реакції беруть участь дві речовини – етилен  $C_2H_4$  та кисень  $O_2$ .

Для спрощення сприйняття технологічних потоків і даних, представимо їх на рис. 1.2 і у табл. 1.1 властивості кожного апарату. При складанні матеріального балансу враховуємо лише масообміні апарати.

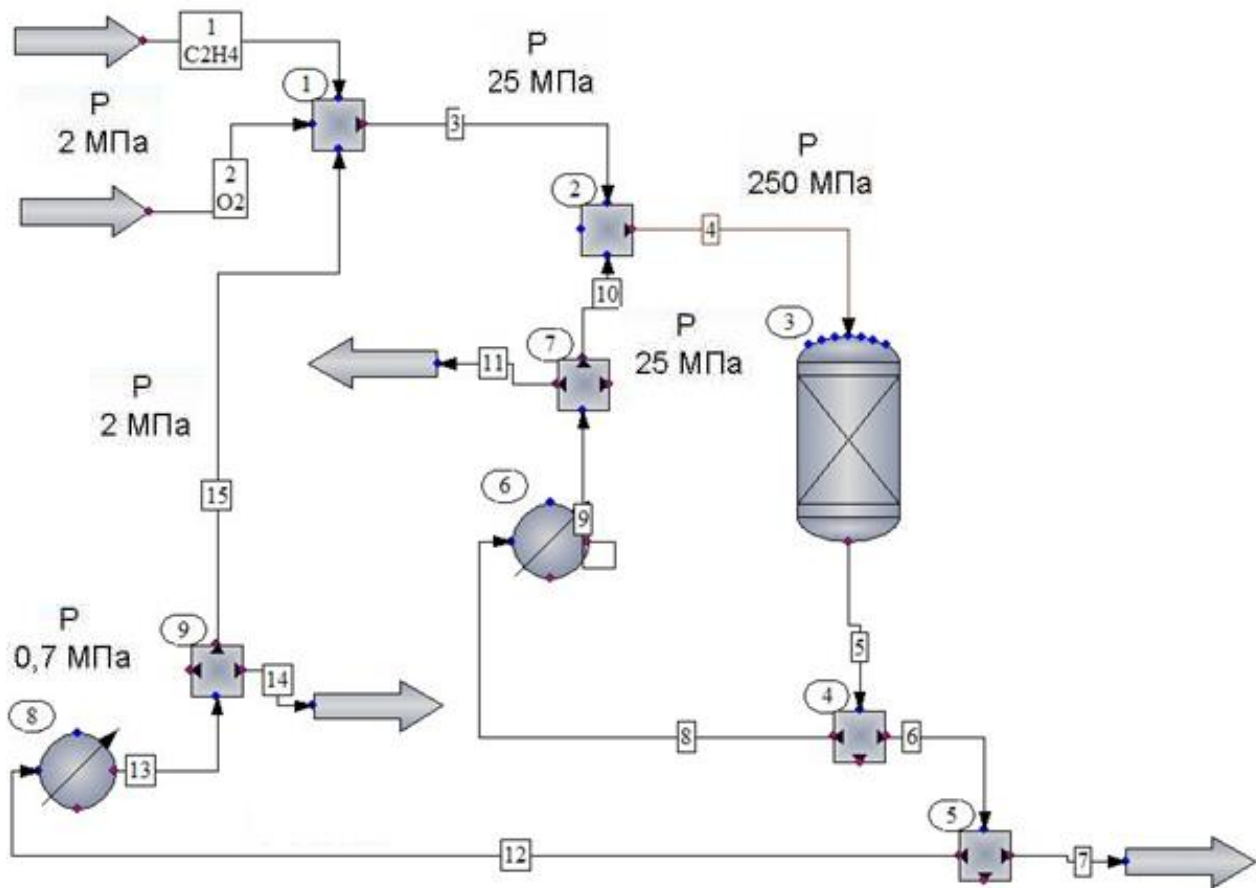


Рисунок 1.2 – Спрощена схема полімеризації етилену при високому тиску

- 1, 2 – міксер;   3 – реактор;  
 4, 5, 7, 9 – дільник;                               6, 8 – теплообмінник

Таблиця 1.1 – Технічні параметри основних технологічних апаратів

Апарат	Вхідні потоки	Параметри потоку			
		T, °C	P, МПа	Вхідні витрати	
				м <sup>3</sup> /хв	кг/хв
Міксер_1	1	30	1,2	79,1	99
	2	30	1,2	1,5	2
Реактор_3	4	280	220	200	480
Теплообмінник_6	8	280	220	60	192,67
	3	30	220	150	310
Міксер_2	10	35	220	55	180
Теплообмінник_8	12	280	220	75	240

#### 1.4 Об'єкт керування

Одним з головних технологічних елементів виготовлення поліетилену високого тиску є холодильники охолодження зворотного етилену проміжного



та низького тиску. Від їх стабільної роботи залежить якість кінцевої продукції і безпека виробництва.

#### **1.4.1 Очищення та охолодження зворотного етилену**

Не проредагований (зворотний) етилен, відокремлений від поліетилену в сепараторах середнього і низького тиску, охолоджується і очищається від низькомолекулярного поліетилену, що міститься в ньому. Поліетилен міститься в етилену у вигляді дрібних крапельок, що переносяться потоком газу з сепараторів, і в розчиненому вигляді.

Розчинність поліетилену при заданій температурі визначається його молекулярною масою: чим нижче молекулярна маса, тим вище розчинність.

Технологія очищення заснована на охолодженні, яке знижує розчинність поліетилену, і він виділяється з газу, і спочатку виділяються більш високі молекулярно-вагові фракції поліетилену з більш високою точкою заливки. Температура знижується крок за кроком для забезпечення оптимальних умов для посадки і зливу з системи поліетилену низької молекулярної маси.

Система очищення і охолодження зворотного газу проміжного тиску може складатися з декількох послідовних з'єднаних секцій (зазвичай 3...4), кожен з яких включає холодильник і сепаратор тип циклону. Гаряча вода використовується як охолоджуючий засіб в першому розділі газу, а в наступних секціях - перероблена вода. У міру охолодження в холодильнику з газу виділяється поліетилен, який періодично скидається з сепаратора. Потім газ відправляється на наступний розділ, де процес повторюється, але при більш низькій температурі. Температура газу на виході кожної секції становить: з першої 180°C, з другої 90°C, з останніх 30...40°C. Очищений і охолоджений етилен надходить в всмоктування компресора реакційного тиску.

При значному коливанні охолодженого поліетилену у часі він може прилипати до стінок холодильника. Це збільшує падіння тиску в зворотній газовій системі і погіршує тепловіддачу, що викликає підвищення температури зворотного газу. Висока температура газу, що надходить в стиснення, знижує

продуктивність компресорів. Тому питання стабільної роботи холодильника дуже важливо.

Для очищення холодильників використовуються різні методики. Так, робляться паралельні секції, які періодично відключаються для пропарювання. Ще один спосіб - періодично міняти послідовне з'єднання секцій. Наприклад, спочатку з'єднується остання секція газу, що надходить в нього гарячим газом, розплавляє відкладений на стінках шар поліетилену і переносить його в сепаратор.

#### 1.4.2 Холодильник етилену зворотного проміжного тиску

В якості об'єкту керування обрано технологічний комплекс - холодильник етилену зворотного проміжного тиску (рис. 1.3).

Технологія очищення етилену основана на охолодженні, під час якого знижується розчинність поліетилену і він виділяється з газу, причому спочатку виділяються високомолекулярні фракції поліетилену з більш високою температурою застигання. Як охолоджувальний агент газу в секції холодильника застосовується вода.

Технічні параметри холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300:

–	вхідна температура газової суміші етилену, °С:	260...280;
–	вихідна температура етилену, °С:	30...40;
–	тиск газової суміші поліетилену, МПа:	200...250;
–	об'єм газової суміші поліетилену, м <sup>3</sup> /хв:	70...75;
–	продуктивність поліетилену, кг/хв:	220...240;
–	об'єм води, м <sup>3</sup> /хв	8...16;
–	тиск води, МПа	1,5...2,5.



Рисунок 1.3 - Холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії  
КАЕ-250-300

### 1.4.3 Структура об'єкту керування

До контуру керування холодильником входить клапана подачі охолоджувального агента у холодильник, та датчика температури етилену на виході (рис. 1.4).

Регулювання кількості охолоджувального агента - води, яка подається в холодильник регулюється клапаном V1, в залежності від поточної температури поліетиленової суміші. Чим вище температура газу поліетиленової суміші, тим більше треба витрати охолоджувальної води.

Згідно принципу роботи об'єкту керування - холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300, можна визначити основні канали керування:

- «витрати води → температура етилену»;

– «продуктивність етилену → температура етилену».

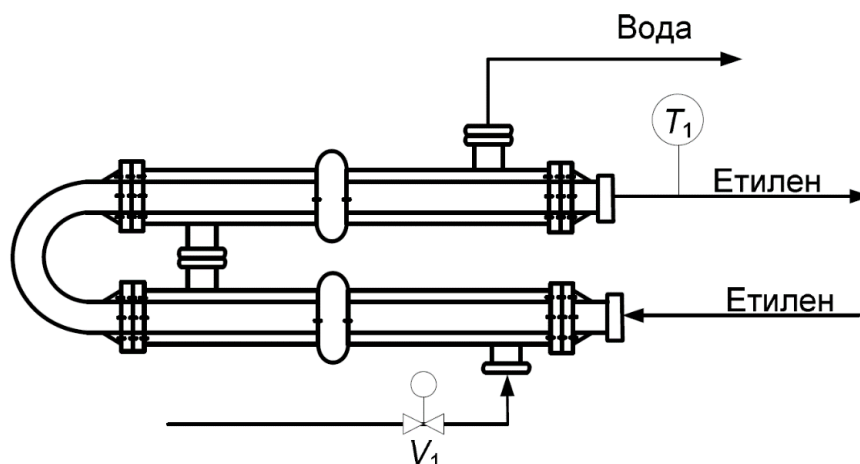


Рисунок 1.4 - Схема керування температурою на виході холодильника

$V_1$  – клапан подачі води в холодильник;  $T_1$  – датчик температури на виході холодильника

Головним елементом єдиної системи захисту процесу охолодження етилену у виробництві поліетилену високого тиску є система керування роботою холодильника. Будь-яка зупинка / запуск виробництва – це складні та відповідальні операції, навіть якщо не брати до уваги неминучі економічні витрати. Потенційна можливість неспрацювань датчика чи / та виконавчого механізму, хибної зупинки устаткування порушує основний аспект безпеки, пов'язаний із участю людини. Аналіз застосовуваних схем захисту показує, що підвищену ймовірність небезпечних відмов та хибних спрацювань має бути закладено в систему керування вже на перших етапах проектування.

Роботою холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 керує автоматичний регулюючий прилад, який має автоматично підтримувати задані технологічні параметри, які визначені технологічною картою.

## 1.5 Апаратне забезпечення системи керування

### 1.5.1 Структура системи керування

Об'єктом керування є холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300.

Структура система керування має наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- об'єм газової суміші поліетилену, м<sup>3</sup>/хв: 70...75;
- об'єм води, м<sup>3</sup>/хв 8...16;

Вихідні сигнали керування:

- вхідна температура газової суміші етилену, °С: 260...280;
- вихідна температура газової суміші етилену, °С: 30...40;
- тиск газової суміші поліетилену на вході, МПа: 200...250;
- тиск газової суміші поліетилену на виході, МПа: 180...220;
- тиск води на вході, МПа 1,5...2,5.

Роботою холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 керує програмований логічний контролер ПЛК. Система керування має підтримувати задану температуру етилену на виході холодильнику межах діапазону температур 30...40 °С завдяки регулюючим можливостям продуктивності подачі охолоджувальної води (рис. 1.5).

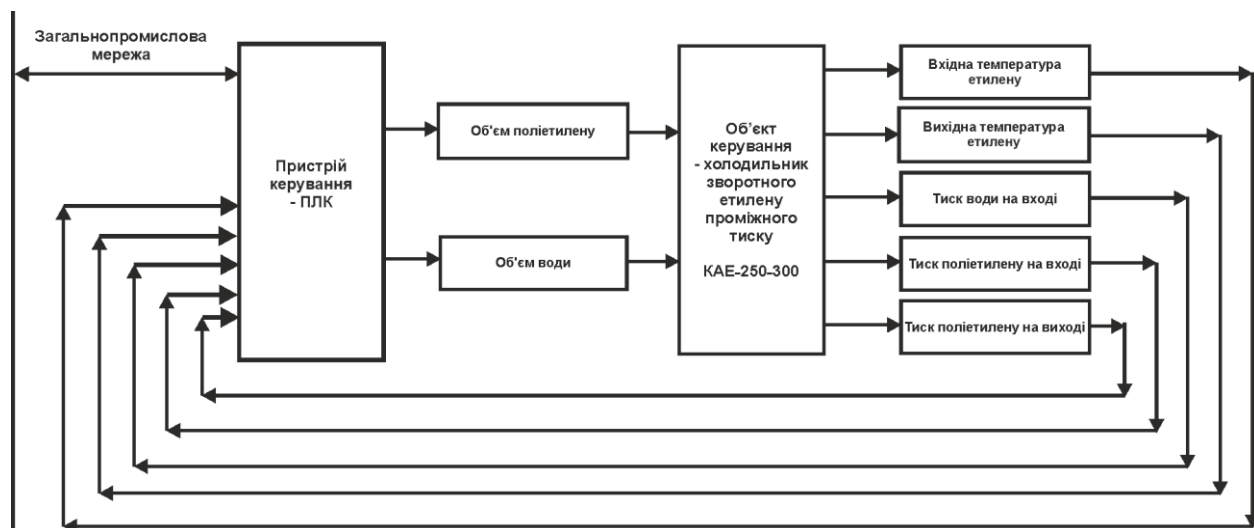


Рисунок 1.5 – Структурна схема підсистеми керування

Продуктивність подачі води в холодильник змінюється в межах 8...16 м<sup>3</sup>/хв. Обрано основні канали керування:

- «витрати води → температура етилену»;
- «продуктивність етилену → температура етилену».

Датчики тиску і температури надають інформацією до системи керування. Система керування підтримує задану температуру і тиск в холодильнику КАЕ-250-300.

ПЛК має вихідні сигнали керування:

- засувка газової суміші поліетилену;
- засувка води.

### 1.5.2 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації системи керування холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 наведена на рис. 1.6.

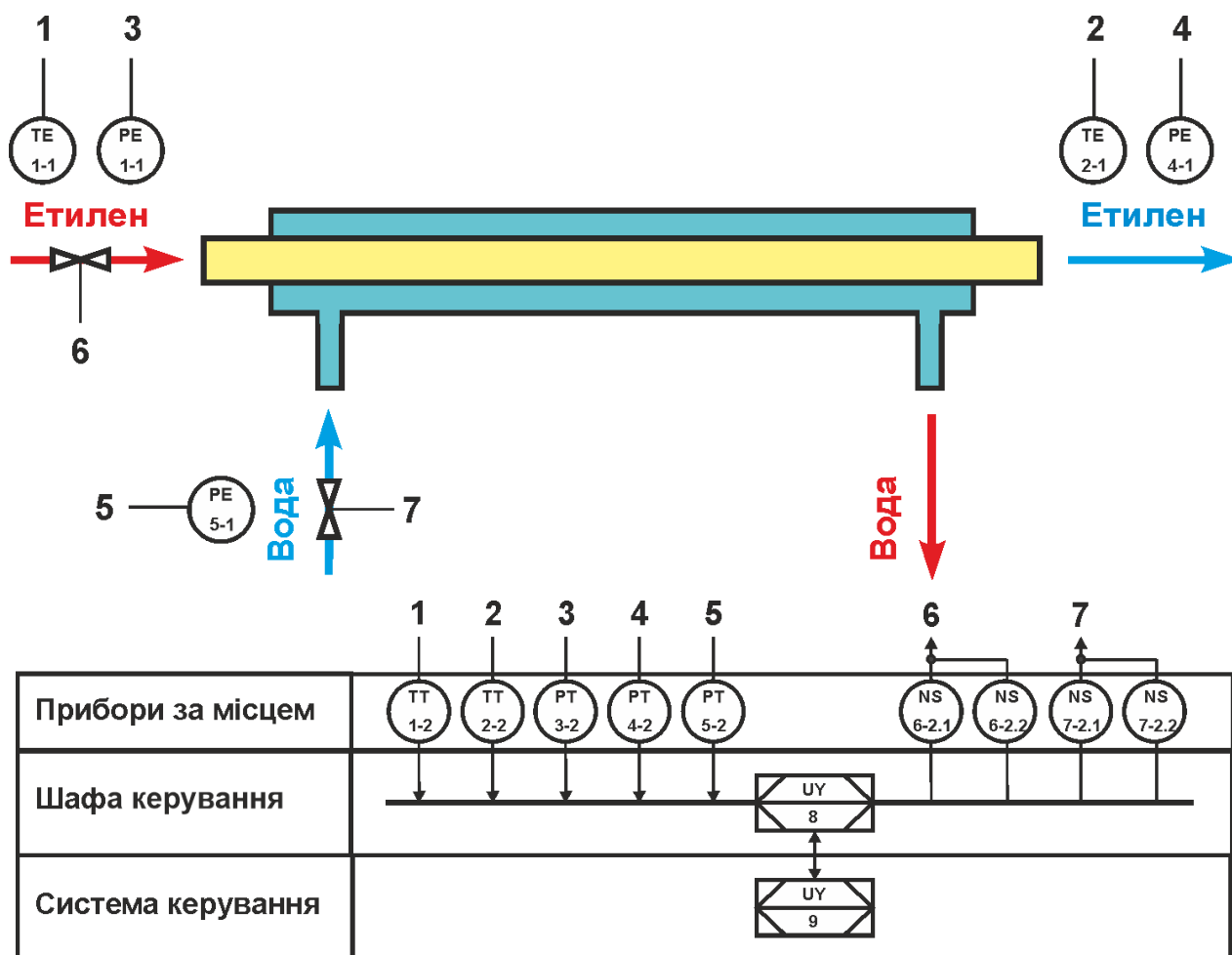


Рисунок 1.6 – Функціональна схема автоматизації холодильнику

ПЛК (UY 8) підключено до АСУ ТП вищого рівня АСУ ТП (UY 9), зв'язок між ними забезпечує інтерфейс RS-485.

Вимірювання температури здійснюється двома датчиками (TE 1, TE 2) з перетворювачами 4...20 мА.

Вимірювання тиску здійснюється датчиками (PE 3, PE 4, PE 5) з перетворювачами 4...20 мА.

ПЛК (UY 10) формує керуючі впливи для підтримки заданого режиму роботи холодильнику за допомогою з реверсивної електрозасувки через трифазні твердотільні реле (NS-6, яNS-7).

### 1.5.3 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова системи керування холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 представлена на рис. 1.7.

Перший блок живлення Carlo Gavazzi (G1) підключено до ПЛК (A1). Другий блок живлення (G2) підключено до модулю аналогового виводу (A1 – X5) та до п'яти датчиків (BK1...BK5).

Виміряні значення з аналогових датчиків підключені до модулів аналогового вводу (A1 – X3) каналів 0...3 та (A1 – X1) до каналу 0 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА.

Керування електрозасувками продуктивності подачі етилену YA1, YA2 та етилену YA3, YA4 використовується модуль дискретного виводу (A1 – X5), керування YA1...YA4 здійснюється каналами каналів 0...3.

Зв'язок між ПЛК (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).



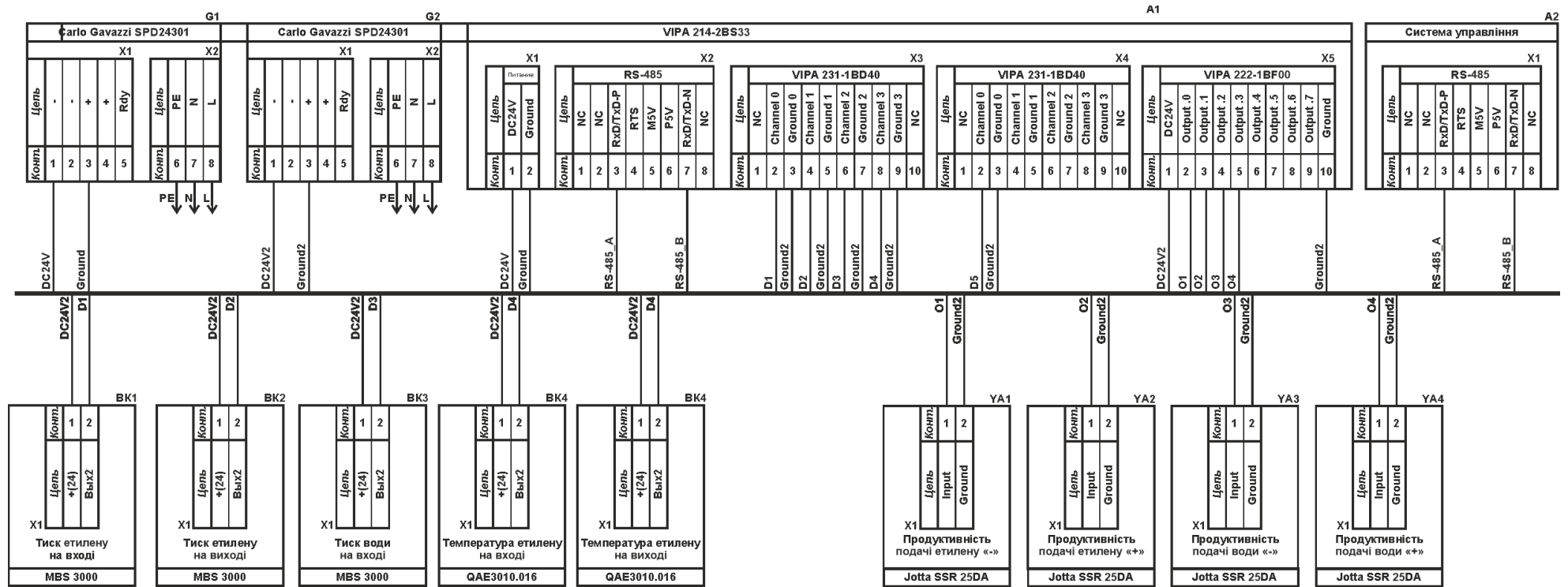


Рисунок 1.7 – Схема електрична принципова системи керування холодильником

## 1.6 Формулювання завдань дослідження

Проаналізувавши об'єкт керування, зроблено висновок, що об'єкт належить до класу безперервних.

Метою магістерської роботи є вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "витрати води - температура етилену".

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

- визначити області стійкої та нестійкої роботи САР процесом виробництва поліетилену високого тиску;
- визначити критичний час запізнення САР процесу витрати води → температура етилену;
- визначити параметри ППІ-регулятора;
- визначити показники якості ППІ-регулятора;
- встановити експериментальну залежність показників якості перехідного процесу від параметрів ППІ-регулятора;
- підтвердити на емуляторі керованого процесу магнітної сепарації ефективність запропонованої САР.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання

В кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску» отримана модель процесу по каналу «витрати води – температура етилену» у вигляді передаточної функції об'єкта першого порядку з запізненням:

$$W(p) = -1,2508 \cdot e^{-610p} / (16,577p + 1) \quad (2.1)$$

Якщо вихідну величину (поточне значення температури етилену) подати на вхід системи автоматичного керування, то отримаємо замкнуту систему з одиничним зворотним зв'язком – систему автоматичного регулювання (САР). Неважко бачити, що така система буде нестійкою, оскільки коефіцієнти об'єкта керування мають різні знаки. Для того, щоб САР була стійкою, необхідно на вхід об'єкта керування подати сигнал протилежний до сигналу на виході порівняльного елемента – величини похибки. Це можна зробити або увімкненням перед об'єктом керування пропорційної ланки з коефіцієнтом підсилення -1, або змінивши знаки на протилежні у порівняльного елемента. На рис. 2.1 показана структурна схема САР із підсилювальною ланкою.

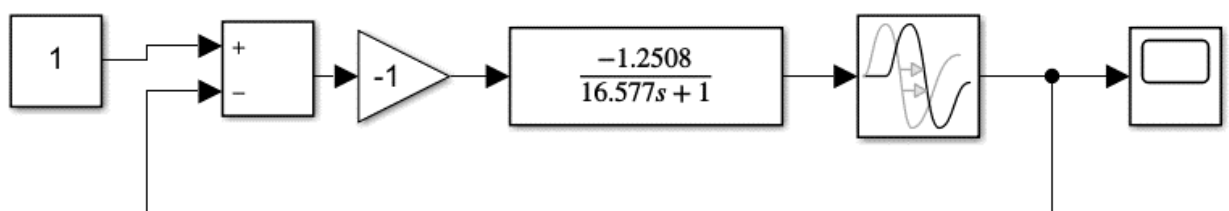


Рисунок 2.1 – Структура схема САР

Визначимо межу стійкості та критичний час запізнювання даної САР без коригувального пристрою, об'єднавши в підсилювальну ланку з об'єктом керування [6].

Межу стійкості САР розрахуємо за частотним критерієм Михайлова. Позначимо коефіцієнт підсилення, постійну часу та час чистого запізнення

відповідно  $T$ ,  $K$ ,  $\tau$ . Враховуючи наявність пропорційної ланки в прямому колі системи, вважатимемо коефіцієнт підсилення додатним.

Визначимо характеристичний поліном системи автоматичного регулювання, додавши до знаменника чисельник передаточної функції розімкнутої системи:

$$D(p) = Tp + 1 + Ke^{-\tau p} \quad (2.2)$$

Заміною  $p$  на  $j\omega$  в (2.2) перейдемо від характеристичного поліному до характеристичного комплексу:

$$D(j\omega) = jT\omega + 1 + Ke^{-\tau j\omega}, \quad (2.3)$$

Розкладемо експоненту на суму геометричних функцій за формулою Ейлера:

$$D(j\omega) = jT\omega + 1 + K(\cos\tau\omega - jsin\tau\omega). \quad (2.4)$$

Згідно критерію Михайлова система автоматичного керування буде перебувати на межі стійкості, якщо годограф Михайлова пройде через початок координат, тобто дійсна та уявна частини характеристичного комплексу дорівнюватимуть нулю. Виділимо дійсну та уявну частину у виразі (2.4) і прирівняємо їх до нуля:

$$\begin{cases} X(\omega) = 1 + K\cos\tau\omega = 0 \\ Y(\omega) = T\omega - K\sin\tau\omega = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Розв'яжемо перше рівняння системи відносно коефіцієнта підсилення  $K$ :

$$K = -\frac{1}{\cos\tau\omega}, \quad (2.6)$$

Розв'яжемо друге рівняння системи відносно постійної часу  $T$ :

$$T\omega - K\sin\tau\omega = 0, \quad (2.7)$$

$$T = \frac{K\sin\tau\omega}{\omega}. \quad (2.8)$$

В останньому виразі врахуємо залежність  $K$  від  $\cos(\tau\omega)$ :

$$T = \frac{-\frac{1}{\cos\tau\omega} \sin\tau\omega}{\omega}, \quad (2.9)$$

$$T = \frac{-tg\tau\omega}{\omega}, \quad (2.10)$$

Враховуючі, що  $K > 0$  і  $T > 0$ , складемо систему рівнянь: та визначимо діапазон зміни  $\omega$ :

$$\begin{cases} -\frac{1}{\cos\tau\omega} > 0 \\ -\frac{tg\tau\omega}{\omega} > 0 \end{cases}, \quad (2.11)$$

Із (2.10) визначимо діапазон зміни частоти  $\omega$  із умови  $\omega > 0$ :

$$\begin{cases} \cos\tau\omega < 0 \\ tg\tau\omega < 0 \end{cases}, \quad (2.12)$$

Вирази в лівих частинах нерівності (2.11) одночасно більше нуля тоді, коли  $\frac{\pi}{2} < \tau\omega < \pi$ . Тоді  $\frac{\pi}{2\tau} < \omega < \frac{\pi}{\tau}$ .

Для заданого значення  $\tau = 610$  с на площині координат  $[T; K]$  будемо за рівняннями (2.6), (2.10) межу стійкості, змінюючи  $\omega$  від  $\frac{\pi}{1220}$  до  $\frac{\pi}{610}$  (рис. 2.2). На даному рафіку показані також області стійкої та нестійкої роботи. Неважко бачити, що точка з координатами  $K = 1,2508$  та  $T = 16,577$  с знаходиться в області нестійкої роботи. Час чистого запізнення, при якому система автоматичного керування перебуватиме на межі стійкості називається критичним. Для його визначення скористаємося частотним критерієм Найквіста. Згідно даного критерія система автоматичного регулювання перебуватиме на межі стійкості, якщо амплітудно-фазова частотна характеристика її розімкнutoї частини пройде через точку з координатами  $[-1; j0]$ , тобто для деякої частоти  $\omega_0$  амплітудно частотна характеристика дорівнює 1, а фазова частотна характеристика дорівнює  $-\pi$ .

Розімкнута частина САР складається із аперіодичної ланки та ланки чистого запізнення, які з'єднані послідовно. Амплітудно частотна характеристика розімкнутої частини визначається лише амплітудно частотною характеристикою аперіодичної ланки. Тоді для розімкнутої маємо:

$$A(\omega_0) = \frac{K}{\sqrt{T^2 \omega_0^2 + 1}} \quad (2.13)$$

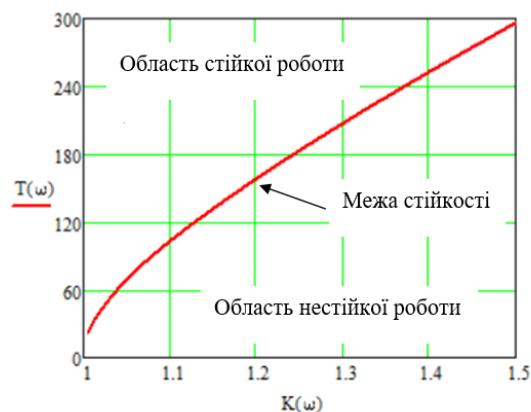


Рисунок 2.2 – Графік межі стійкості

Із (2.13) дістанемо:

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{K^2 - 1}}{T} \quad (2.14)$$

Фазова частотна характеристика із послідовно з'єднаних аперіодичної ланки та ланки чистого запізнення дорівнює сумі фазових частотних характеристик цих ланок. Отже:

$$\varphi_0(\omega_0) - \tau_{кр} \omega_0 = -\pi \quad (2.15)$$

Визначимо критичний час запізнення, підставивши в (2.13) замість  $\omega_0$  вираз

із (2.14):

$$\tau_{кр} = \frac{\pi + \varphi_0(\omega_0)}{\omega_0} = \frac{T(\pi - \arctg(\sqrt{K^2 - 1}))}{\sqrt{K^2 - 1}} \quad (2.16)$$

Після підстановки в (2.16) значень коефіцієнтів отримаємо:

$$\tau_{кр} = \frac{16,577(\pi - \arctg(\sqrt{1,2508^2 - 1}))}{\sqrt{1,2508^2 - 1}} \approx 55,098 \quad (2.17)$$

Аналіз САР показав, що процес регулювання без коригуючих пристроїв є нестійким, час чистого запізнення об'єкта на порядок перевищує критичний час запізнення. Така система є непрацездатною і потребує введення додаткових динамічних ланок – коригуючих пристроїв.

## 2.2 Методи регулювання об'єктів з запізненням

Серед усієї різноманітності структур регуляторів зазвичай виділяють окремий тип - пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор). Відомо, що щонайменше 80% регуляторів у промисловості - це ПІД-регулятори.

ПІД-регулятор призначений для вирішення завдань управління об'єктами з одним входом та одним виходом. Його застосування доцільно тоді, коли відношення  $\mu$  величини чистого запізнення  $\tau$  до часу перехідного процесу  $t_{пер}$  перебуває в межах  $\mu \in (0,05; 0,2]$ .

Визначимо відношення  $\mu$  для даного об'єкту керування:

$$\mu = \frac{\tau}{5 \cdot T} = \frac{610}{5 \cdot 16,577} \approx 7,4 \quad (2.18)$$

Якщо  $\mu > 0,2$  застосовують керування з передбаченням, або регулятори з використанням особливих алгоритмів. До регуляторів з передбаченням відноситься предиктор Сміта та його модифікації (предиктивний ПІ-регулятор, регулятор Ресвіка). Регулятори з використанням особливих алгоритмів спираються на фазі-логіку, нейронні мережі та генетичні алгоритми.

Перевага САУ з регулятором Сміта над класичними, наприклад ПІД-регуляторами, пояснюється тим, що при одних і тих же параметрах настройки регуляторів запас стійкості САУ з передбаченням вище, ніж у звичайних САУ. Це означає, що при однаковому запасі стійкості САУ (наприклад, при одній і тій же мірі загасання перехідних процесів) для регулятора Сміта можна прийняти більший коефіцієнт підсилення, що забезпечить кращу якість регулювання. До недоліків регулятора Сміта, крім складності його структури і апаратурною реалізації, відноситься висока чутливість до параметрів настройки моделі.

Помилки в налаштуванні моделі, викликані неточністю апріорних знань про характеристики об'єкта або нестационарністю його властивостей, можуть привести не тільки до погіршення якості перехідних процесів, а й до втрати стійкості системи регулювання.

Застосування нечітких алгоритмів регулювання не дає будь-яких явних переваг перед класичними методами управління. А проблема стійкості в системі з нелінійним алгоритмом регулювання істотно ускладнюється.

## 2.3 Регулювання з передбаченням

### 2.3.1 Предиктор Сміта

ПД-регулятор, який передбачає поведінку об'єкта керування через час  $\tau$ , називається предиктором Сміта. Головна ідея предиктора Сміта полягає в тому, щоб з моделі виключити затримку і таким чином спрогнозувати зміни вихідної величини об'єкта керування до того, як вони там з'являться. Така можливість з'являється завдяки штучному введенню в контур управління певної динамічної ланки та ланки чистого запізнення.

Структурна схема системи автоматичного керування представлена на рис. 2.3. В наведеній системі можна виділити регулятор, об'єкт керування та модель об'єкта керування. Робота даної системи полягає в наступному.

Передаточні функції системи автоматичного без урахування та з урахуванням моделі об'єкта керування мають відповідно вигляд (2.19) та (2.20):

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}} \quad (2.19)$$

тут:  $W_{\text{рег}}(p)$  - передаточна функція регулятора.

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_0(p)} \quad (2.20)$$

Формула (2.20) є передатною системою автоматичного регулювання, у якій одиничний зворотний зв'язок не охоплює ланку чистого запізнення. Для пошуку структури та параметрів регулятора можна скористатися методом Циглера-



Ніколса. В основі даного метода є використання експериментальних даних для розрахунку параметрів ПІД-регулятора. В подальшому розраховані параметри уточнюються при налаштуванні ПІД-регулятора на реальному об'єкті.

Використання метода Циглера-Ніколса починається з експериментального дослідження системи автоматичного регулювання. На цьому етапі до складу САР входить лише пропорційна частина ПІД-регулятора.

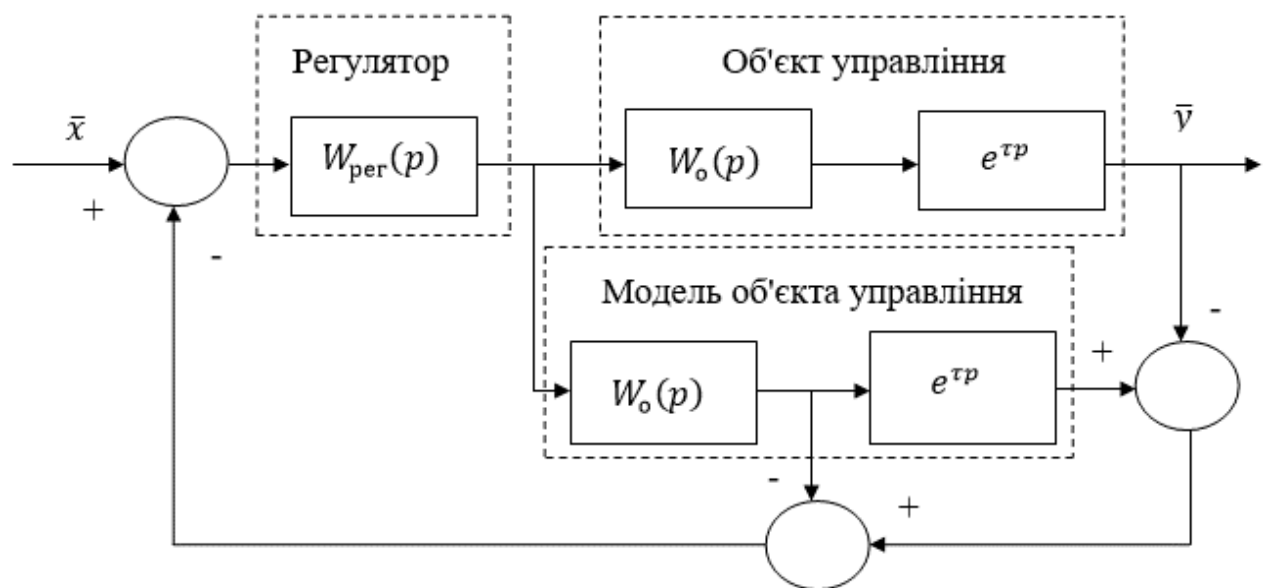


Рисунок 2.3 – Система управління з передбаченням

Поступовим збільшенням коефіцієнта підсилення  $K_{\Pi}$  виводять САР на межу стійкості і фіксують значення коефіцієнта підсилення  $K_{\Pi}^*$  та період  $T^*$  сталих коливань. Надалі розраховують параметри типових регуляторів згідно табл. 2.1.

Метод Циглера-Ніколса забезпечує необхідний запас стійкості системи.

Таблиця 2.1 - Формули розрахунку параметрів типових регуляторів

	$K_{\Pi}$	$K_i$	$K_D$
П-регулятор	$0,50K_{\Pi}^*$	-	-
ПІ-регулятор	$0,45K_{\Pi}^*$	$0,54K_{\Pi}^*/T^*$	-
ПІД-регулятор	$0,60K_{\Pi}^*$	$1,20K_{\Pi}^*/T^*$	$0,075K_{\Pi}^*T^*$

### 2.3.2 Розрахунок предиктивного ПІ-регулятора

Предиктивний ПІ-регулятор (ППІ-регулятор) – є модифікацією предиктора Сміта, який поширений в автоматичних системах більш широко ніж сам предиктор Сміта. Один із варіантів ППІ-регулятора наведено на рис. 2.4. Тут:  $W_o(p) = \frac{K}{Tp+1}$  – дробова-раціональна частина передаточної функції об'єкта управління;  $K$ ,  $T$  – коефіцієнт підсилення і постійна часу;  $\tau$  – час чистого запізнювання об'єкта управління. Визначимо математичний вираз для розрахунку критичного коефіцієнта підсилення  $K_n^*$  для ППІ-регулятора системи на рис.2.4. Розімкнута частина має передаточну функцію [6]:

$$W_{роз}(p) = K_n^* \frac{1}{1 - \frac{e^{-p\tau}}{Tp+1}} \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp+1} \quad (2.21)$$

або:

$$W_{роз}(p) = K_n^* \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp+1 - e^{-p\tau}} \quad (2.22)$$

Характеристичний поліном системи автоматичного регулювання визначимо як суму поліномів чисельника та знаменника передаточної функції розімкнutoї частини:

$$D(p) = Tp + 1 - e^{-p\tau} + K_n K e^{-p\tau} \quad (2.23)$$

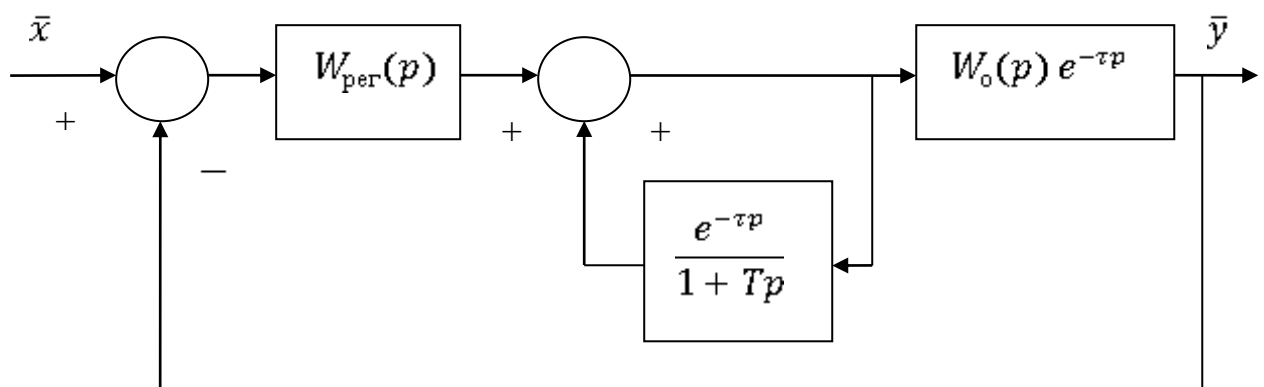


Рисунок 2.4 – Система управління з ППІ-регулятором

Властивості САР повністю визначаються коренями її характеристичного поліному:

$$Tp + 1 - e^{-p\tau} + K_n K e^{-p\tau} = 0 \quad (2.24)$$

Перейдемо від характеристичного поліному (2.22) до характеристичного комплексу і запишемо його в тригонометричній формі:

$$Tj\omega + 1 - (\cos\tau\omega - jsin\tau\omega) + K_n K (\cos\tau\omega - jsin\tau\omega) = 0 \quad (2.25)$$

Для того, щоб система перебувала на межі стійкості необхідно, щоб дійсна та уявна частини характеристичного комплексу дорівнювали нулю. Маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 1 - \cos\tau\omega + K_n K \cos\tau\omega = 0 \\ T\omega + \sin\tau\omega - K_n K \sin\tau\omega = 0 \end{cases} \quad (2.26)$$

Система рівнянь є параметричною. Розв'яжемо її рівняння відносно  $K_n^*$ :

$$K_n = -\frac{1 - \cos\tau\omega}{K \cos\tau\omega} \quad (2.27)$$

$$K_n = \frac{T\omega + \sin\tau\omega}{K \sin\tau\omega} \quad (2.28)$$

Із (2.27) і (2.28) маємо:

$$-\frac{1 - \cos\tau\omega}{K \cos\tau\omega} = \frac{T\omega + \sin\tau\omega}{K \sin\tau\omega} \quad (2.29)$$

Після тотожних перетворень (2.27) дістанемо:

$$-tg\tau\omega = T\omega \quad (2.30)$$

Розв'яжемо графічно рівняння (2.30) відносно величини  $\omega$ . Для цього застосуємо пакет прикладних програм MATHCAD.

Підставимо в (2.28) значення параметрів технологічного процесу магнітної сепарації:

$$-tg610\omega = 16,577\omega \quad (2.31)$$

Оскільки тангенс є функцією періодичною, рівняння (2.29) має безліч коренів. Тому при збільшенні коефіцієнта підсилення  $K_n$  П-регулятора починаючи з нуля, матимемо безліч значень сталих коливань з різними частотами  $\omega^*$  відповідно для різних  $K_n^*$ . Визначимо перше значення  $K_{n1}^*$ , яке відповідатиме найменшому значенню  $\omega_1^*$ . Для цього оцінимо проміжок, в якому має перебувати  $\omega_1^*$ . Оскільки права частина (2.29) більше нуля, то і  $-tg610\omega > 0$ . Тоді  $tg610\omega < 0$ . Звідки:

$$-\frac{\pi}{2} + \pi k \leq 610\omega < \pi k, \quad k \in Z$$

І остаточно:

$$-\frac{\pi}{1220} + \frac{\pi}{610}k \leq \omega < \frac{\pi}{610}k, \quad k \in Z \quad (2.32)$$

В табл. 2.2 наведені проміжки, в яких перебувають значення  $\omega^*$ , розраховані за виразом (2.30).

Таблиця 2.2 - Визначення частоти  $\omega^*$

$k$	0	1	2
Проміжки	$-\frac{\pi}{1220} \div 0$	$\frac{\pi}{1220} \div \frac{\pi}{610}$	$\frac{3\pi}{1220} \div \frac{\pi}{305}$

Оскільки частота  $\omega$  не може бути від'ємною, то  $\omega_1^* \in [\pi/1220 \div \pi/610)$ . Визначимо  $\omega_1^*$ . Для цього в середовищі пакету прикладних програм MATHCAD збудуємо окремо графіки лівої і правої частин рівняння (2.29) і знайдемо координати точки їх перетину. Результати розв'язання рівняння на визначеному проміжку існування  $\omega_1^*$  наведені на рис. 2.5 і 2.6. На рис.2.5 показані збудовані графіки і точка їхнього перетину, на рис. 2.6 – абсциса і ордината точки перетину графіків, визначених за допомогою функції *X-YTrace*. Отже  $\omega_1^* \approx 0,005 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

Визначимо період сталих коливань  $T^* = \frac{2\pi}{\omega_1^*} \approx \frac{2\pi}{0,005} \approx 1256 \text{ с}$  Підставимо  $\omega_1^* \approx 0,005 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  в (2.25) і визначимо  $K_{n1}^*$ :

$$K_{n1}^* = -\frac{1 - \cos \tau \omega_1^*}{K \cos \tau \omega_1^*} \approx -\frac{1 - \cos(610 \cdot 0,005)}{1,2508 \cdot \cos(610 \cdot 0,005)} \approx 1,6 \quad (2.33)$$

Значення параметрів ПІ-регулятора, розрахованих з урахуванням  $T^* \approx 1256 \text{ с}$  і  $K_{n1}^* \approx 1,6$  наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Параметри предиктивного ПІ-регулятора

	$K_n$	$K_i$	$K_d$	Передаточна функція
ПІ-регулятор	0,72	0,0006	-	$W_{\text{п}}(p) = 0,72 + \frac{0,0006}{p}$

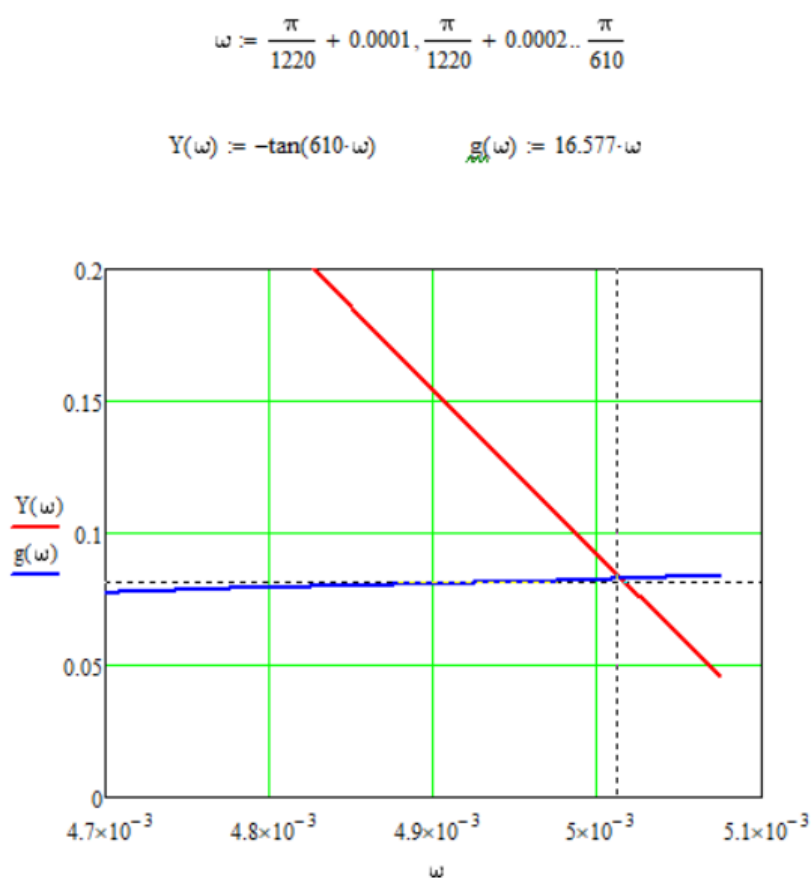
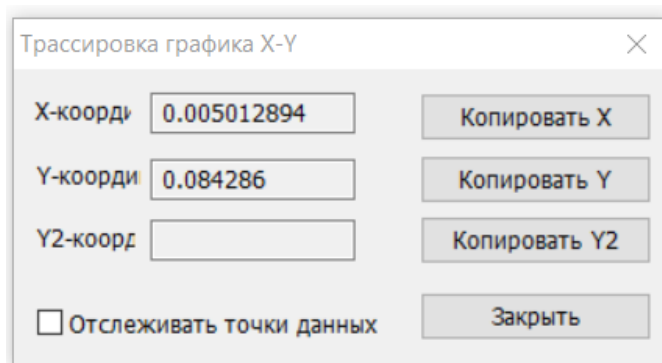


Рисунок 2.5 – Графічне розв'язання рівняння

Рисунок 2.6 - Визначення значення  $\omega_1^*$ 

## 2.4 Висновки до розділу

1. Система автоматичного регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску є нестійкою і потребує введення додаткових динамічних елементів для переведу її до працездатного стану.

2. Регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску доцільно виконувати із застосуванням штучної моделі в контурі керування. Розрахунок параметрів регулятора доцільно виконати на основі метода Циглера-Нікольса.

3. Визначення частоти сталих коливань керованої величини на межі стійкості системи автоматичного регулювання доцільно виконати графоаналітичним методом.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі в ході обчислювального експерименту перевірені результати теоретичних досліджень, а також встановлено вплив коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора на показники якості перехідного процесу системи автоматичного керування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску. Зазначені дослідження виконані на ЕОМ в середовищі додатку SIMULINK в ППП MATLAB.

В ході обчислюваного експерименту були поставлені і вирішені наступні задачі:

- перевірка правильності розрахунків області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску за відсутності коригувального пристрою;
- перевірка правильності розрахунку критичного часу запізнення системи автоматичного керування за відсутності коригувального пристрою; визначення найкращих уставок регуляторів за відсутності збурюючих впливів методом моделювання в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- визначення найкращого налаштування предиктивного ПІ-регулятора;
- отримання експериментальної залежності ступеня стійкості системи автоматичного регулювання від коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора.

#### 3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску (за відсутності регулятора) в середовищі SIMULINK ППП MATLAB (рис. 2.1).

З даними графіка 2.2 (п. 2.1) визначаємо координати стійкої роботи системи [1,2508; 300], нестійкої роботи системи [1,2508; 16,577] і роботи системи на межі

стійкості [1,2508;185]. Даним координатам відповідають перехідні процеси наведені відповідно на рис. 3.1-3.3.

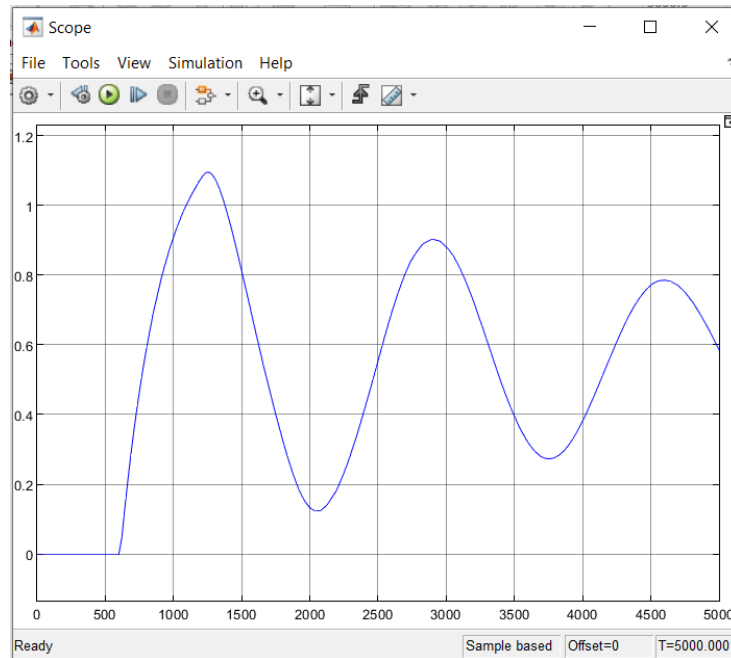


Рисунок 3.1 – Графік перехідного процесу стійкої системи

Неважко бачити, що результати моделювання відповідають теоретичним розрахункам.

Для перевірки критичного часу чистого запізнення встановимо в ланці чистого запізнення  $\tau_{кр} \approx 55,098$ , розрахованого за формулою п. 2.1 (формула 2.16). Графік перехідного процесу наведений на рис. 3.4.



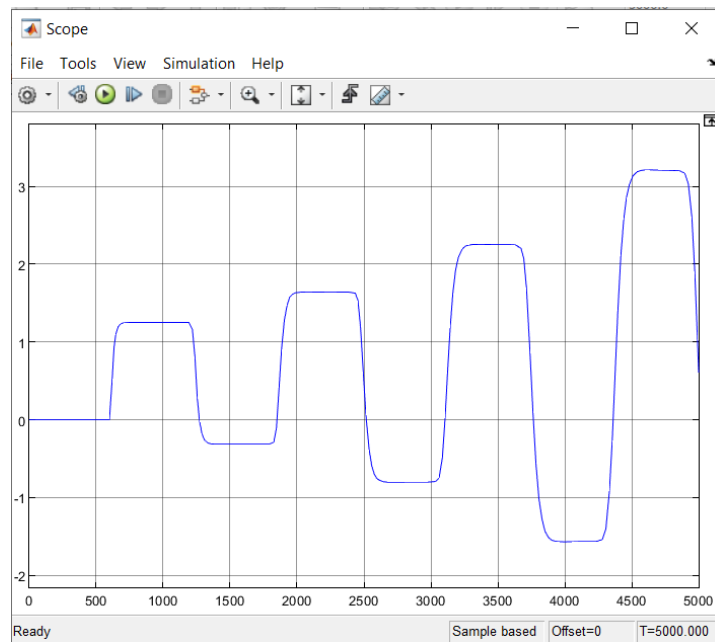


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу нестійкої системи

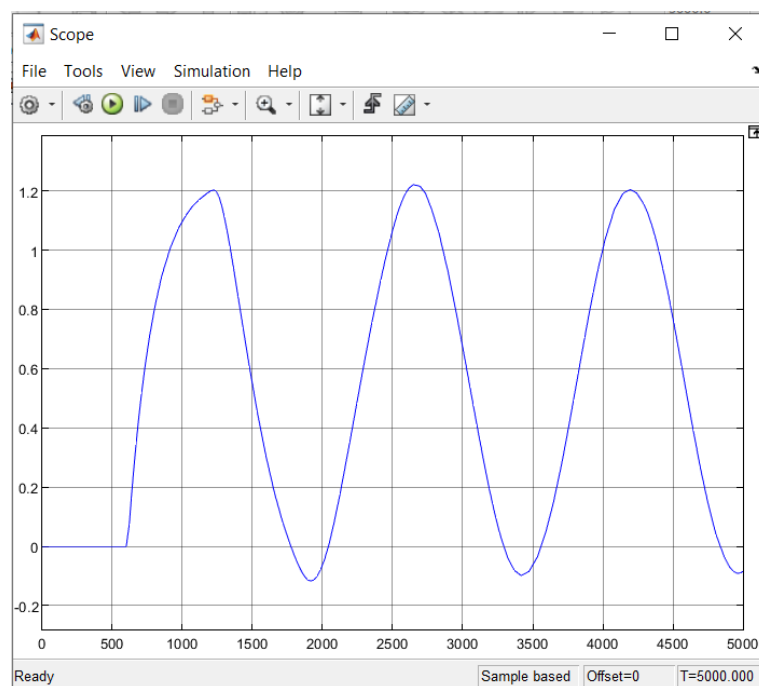


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу системи на межі стійкості

З рис. 3.4 випливає, що САР перебуває на межі стійкості. Отже критичний час запізнення розраховано правильно.

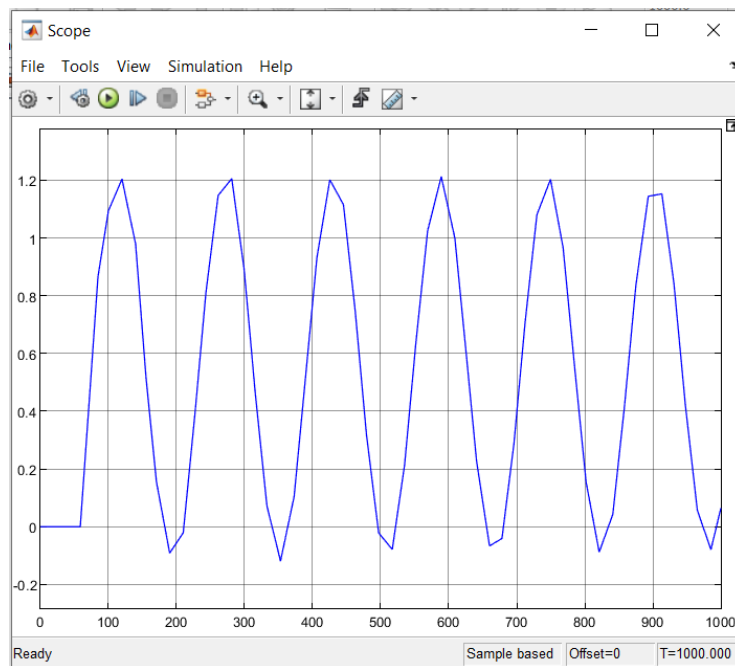


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу при  $\tau_{кр} \approx 55,098$

### 3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ППІ-регулятором

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску з предиктивним ПІ-регулятором в середовищі SIMULINK ПППІ MATLAB (рис. 3.5). В структурній схемі встановлено розрахований в п. 2.3.3 (формула 2.33) критичний коефіцієнт підсилення  $K_{н1}^* \approx 0,8$  для перевірки періоду коливань при виведенні САР на межу стійкості. На рис. 3.6 наведено графік перехідного процесу.

Як видно з рис. 3.6 період коливань  $T^* \approx 1200$  с, що відповідає розрахункам.

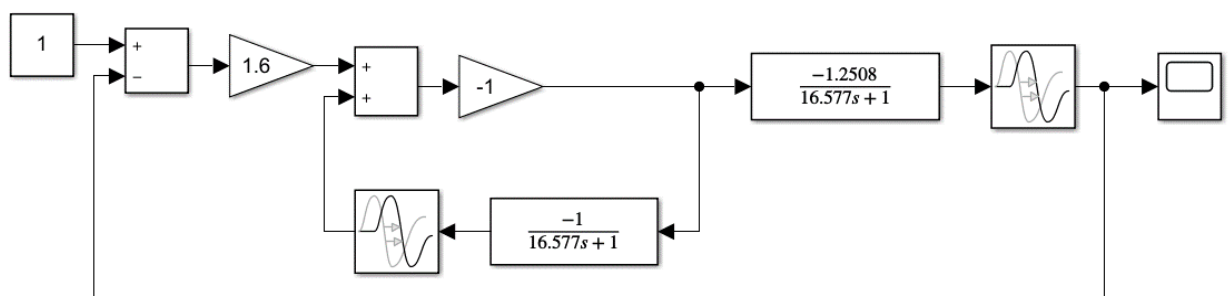


Рисунок 3.5 – Структурна схема САР з предиктивним ПІ-регулятором

Перевірку якості керування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску виконаємо з використанням структурної схеми САР з предиктивним П-регулятором на рис. 3.7. В моделі даної структурної схеми встановлені коефіцієнт підсилення та інтегральний коефіцієнт, що розраховані в п. 2.3.2 (табл. 2.3).

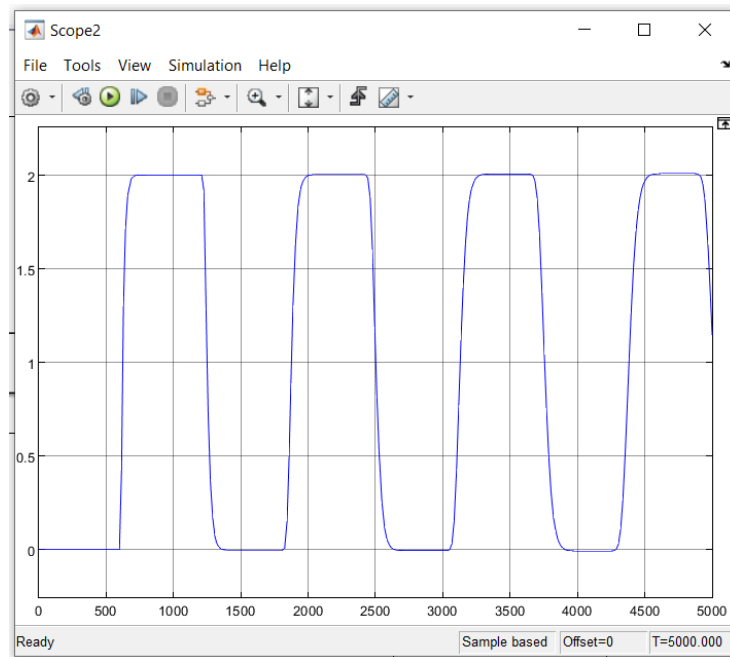


Рисунок 3.6 – Графік перехідного процесу

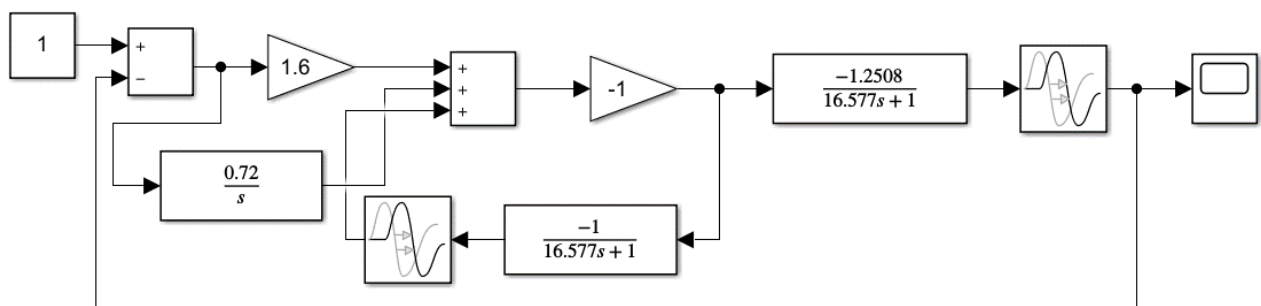


Рисунок 3.7 – Модель САР з предиктивним П-регулятором

Після додаткового налаштування параметрів регулятора САР встановлена передаточна функція регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = 0,8 \quad (3.1)$$

На рис. 3.8, 3.9 показані перехідні процеси з найкращим налаштуванням предиктивним ПІ-регулятором, а в табл. 3.1 – показники якості перехідного процесу.

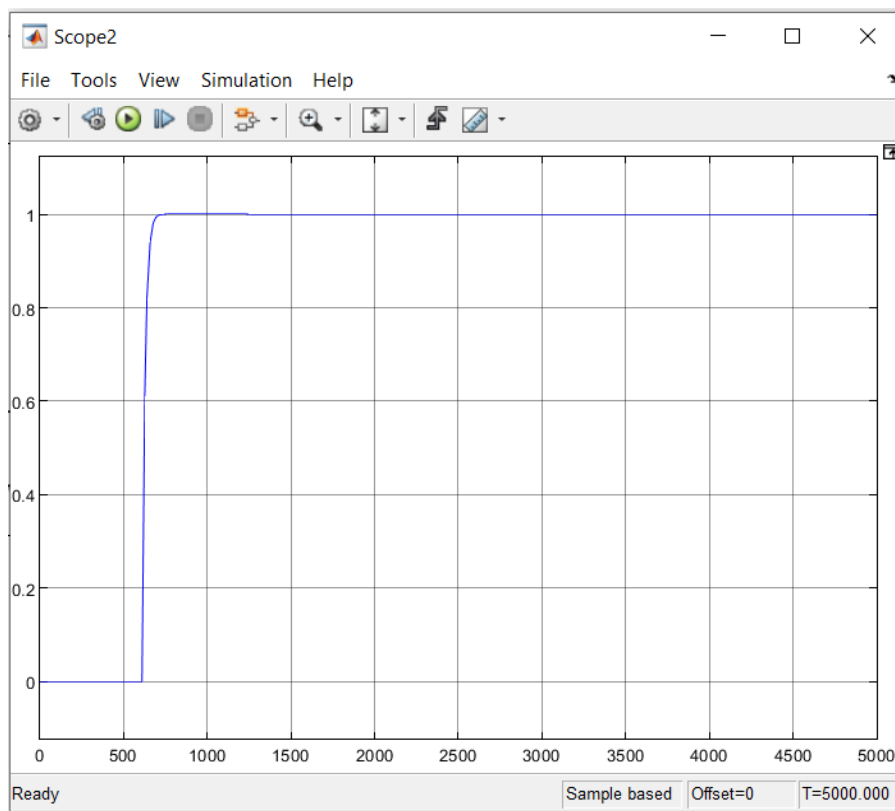


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд перехідного процесу в САР з найкращими налаштуваннями регулятора

Таблиця 3.1 - Показники якості системи управління з ПІІ-регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Перерегул ювання, %	Коливання
ПІІ- регулятор з найкращими настройками	0,033	0	90	0	0

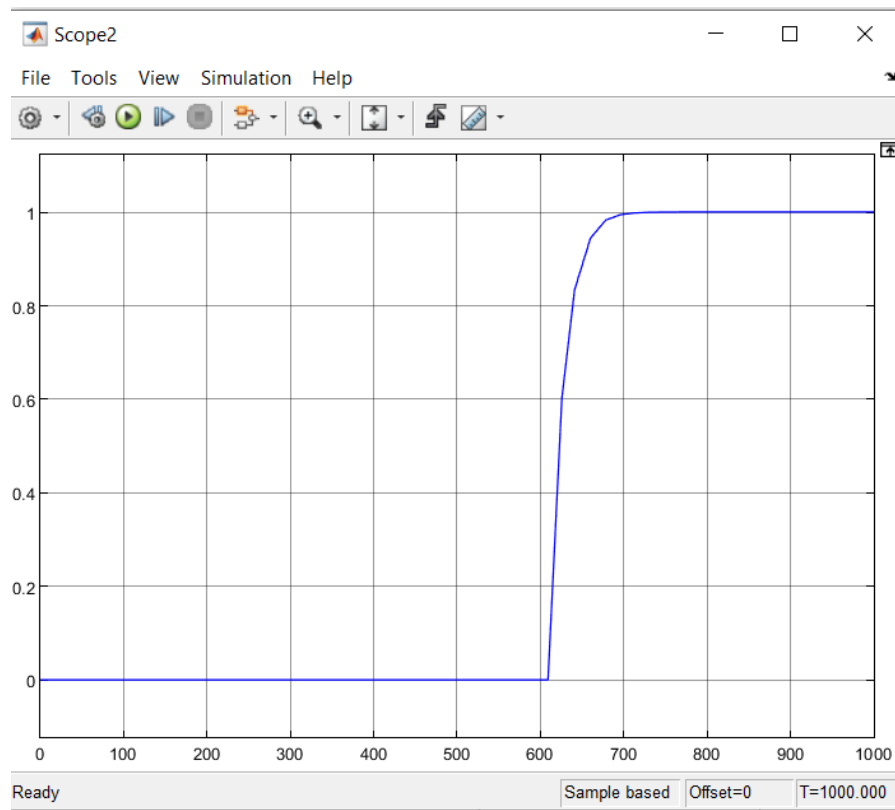


Рисунок 3.9 – Перехідний процес в САР з найкращими налаштуваннями регулятора для оцінки показників якості

### 3.3 Визначення експериментальної залежності величини регулювання САР від коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора

Залежність показників якості САР технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску від коефіцієнта підсилення  $K_{\Pi}$  пропорційної частини представлені в табл. 3.2. На рис. 3.10 представлена експериментальна залежність величини регулювання від коефіцієнта підсилення пропорційної частини регулятора  $t_{\text{рег}} = f(K_{\Pi})$ . Незабачити, що найкраще регулювання відповідає  $K_{\Pi}(p) = 0,8$ . В табл. 3.2 значення показників якості, які відповідають найкращому коефіцієнту підсилення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Параметри	Ступінь стійкості, $\eta$	Статична похибка,	Час регулювання $t_{\text{рег}}$ , ХВ	Перерегулювання, $\sigma$ , %	Коливання $m$
$k_{\Pi}$					

0,4	0,001	0	3090	0	0
0,5	0,002	0	1990	0	0
0,6	0,003	0	1190	0	0
0,7	0,005	0	640	0	0
<b>0,8</b>	<b>0,033</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
0,9	0,005	0	640	11	1
1,0	0,003	0	1190	23	1
1,1	0,002	0	1890	30	1
1,2	0,001	0	3090	50	2

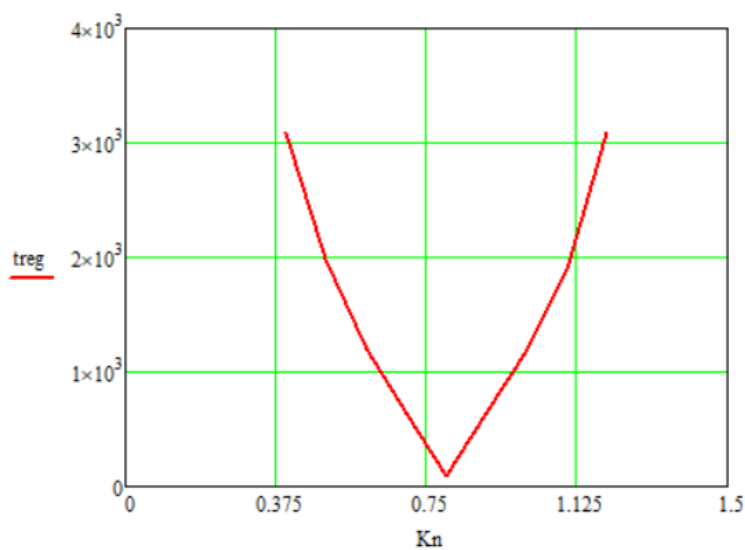


Рисунок 3.10 – Залежність  $t_{рег} = f(K_p)$

### 3.4 Висновки до розділу

1. Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання за відсутності регулятора.

2. Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання з предиктивним ПІ-регулятором.

3. При регулюванні технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску на основі предиктивного ПІ-регулятора суттєвий вплив на перехідний процес чине тільки пропорційна частина.

4. Залежність часу регулювання системи автоматичного керування від коефіцієнта пропорційної частини предиктивного ПІ-регулятора має екстремальний характер.

## 4 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 4.1 Цифрова модель системи керування

Для моделювання роботи САР у SCADA системі zenon треба перетворити безперервну модель у цифрову та згенерувати у MATLAB програмне забезпечення (ПЗ).

Спочатку перетворимо безперервну модель об'єкта керування до цифрового варіанту та порівняємо їх роботу на ідентичність (рис. 4.1).

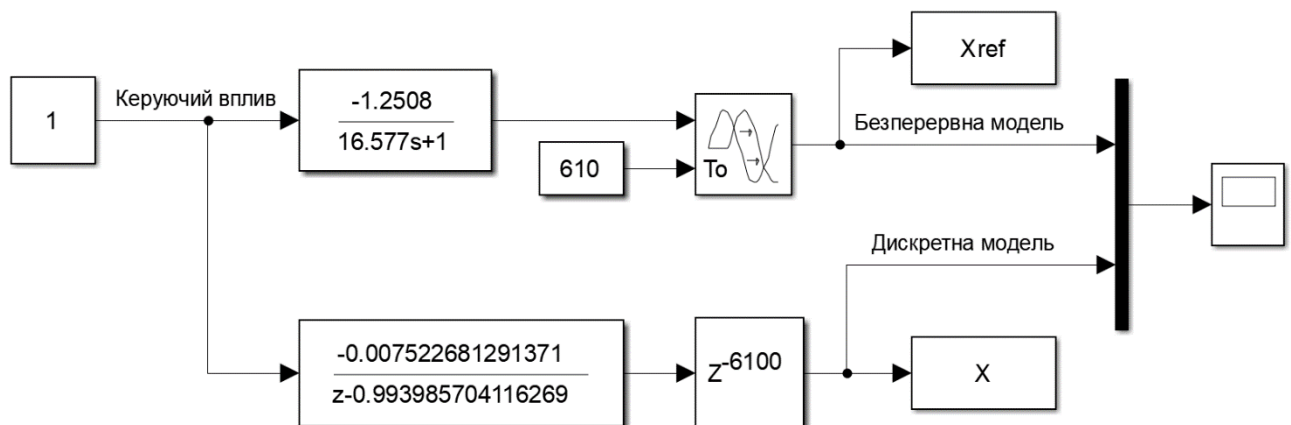


Рисунок 4.1 – Схема безперервного та цифрового об'єкта керування

Моделювання роботи безперервної та цифрової моделей об'єкта керування продемонстровано на рис. 4.2 рис. 4.3.

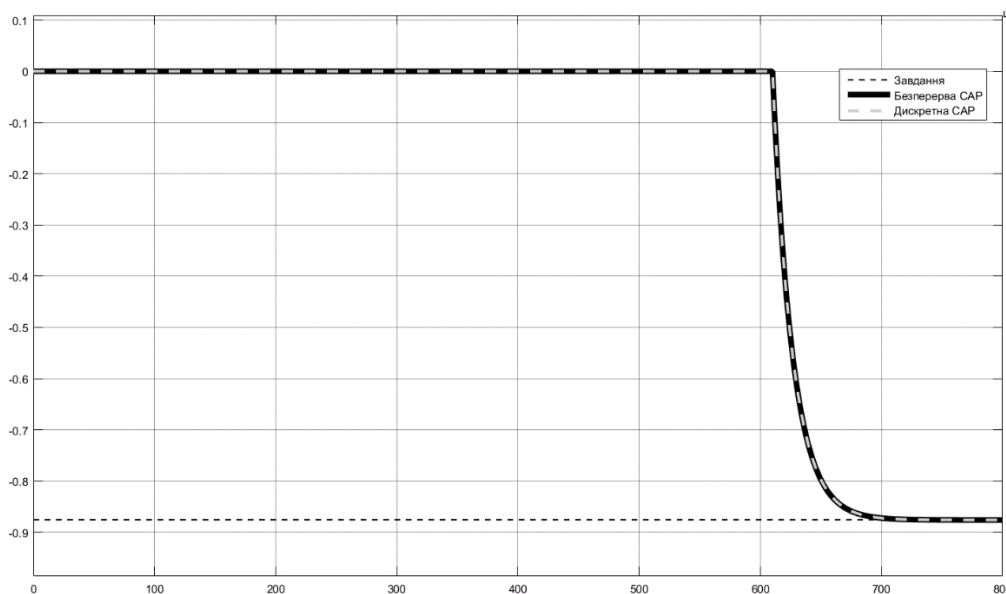


Рисунок 4.2 – Порівняння роботи безперервної та цифрової моделей об'єкта керування

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

Аналіз на адекватність цифрової моделі (X):

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0

Коефіцієнт кореляції: 1.000
Статистичний критерій Фішера: 6004048903222758400.000
Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.706
|
Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.
Модель є адекватною до об'єкта керування.

fx >> |

```

Рисунок 4.3 – Перевірка на адекватність аналогової і цифрової моделей об'єкта керування

Результат моделювання САР наведена на рис. 4.4... рис. 4.9.



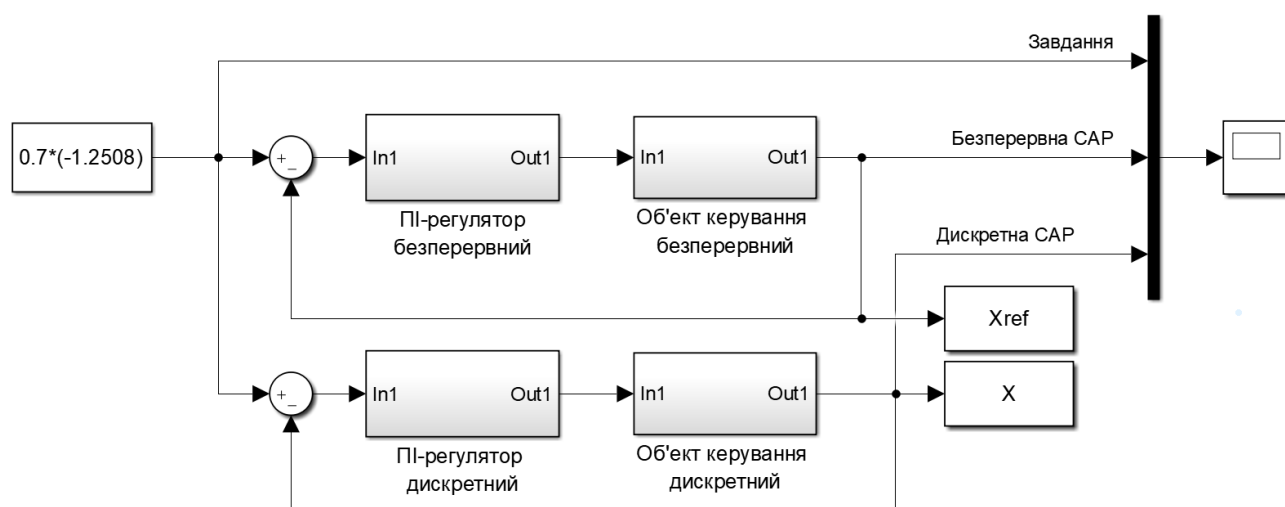


Рисунок 4.4 - Моделювання роботи безперервної та цифрової САР

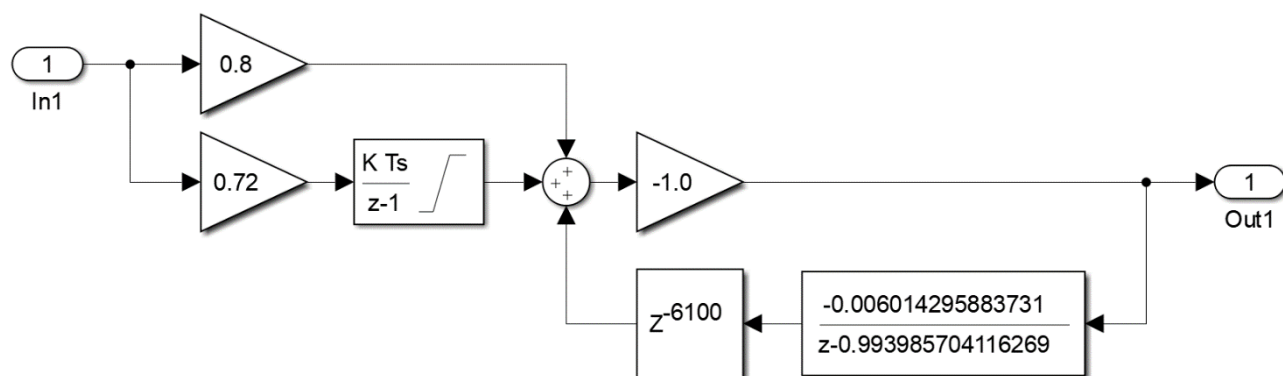


Рисунок 4.5 - Безперервний ПІ-регулятор

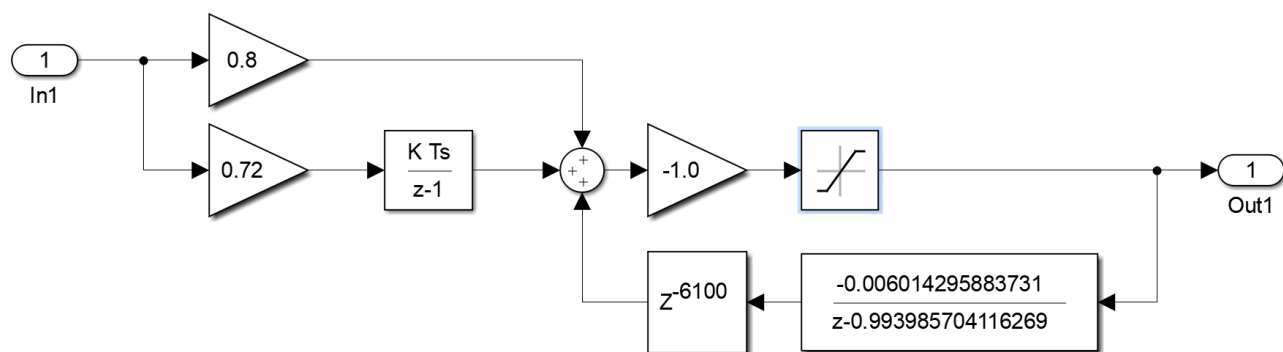


Рисунок 4.6 - Цифровий ПІД-регулятора

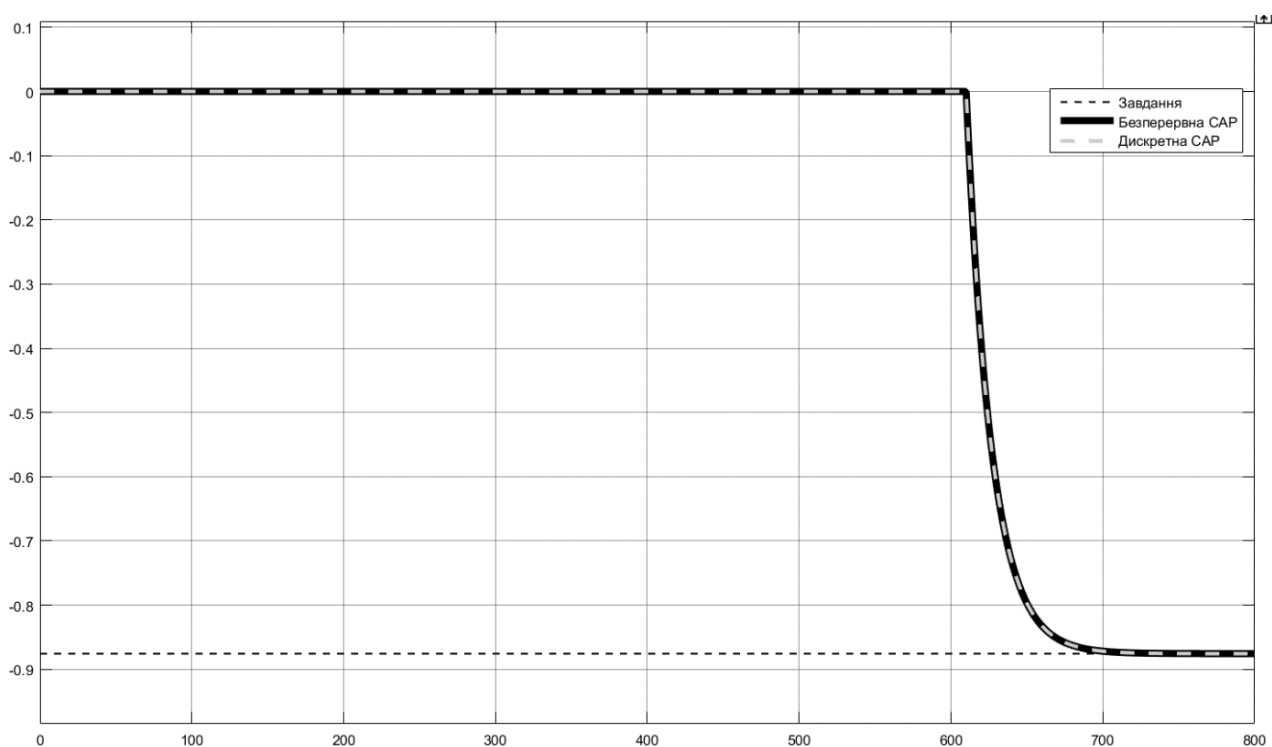


Рисунок 4.7 – Моделювання роботи безперервного і цифрового варіантів САК

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

Відповідність безперервної і цифрової моделей САК: 100.00 %

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0

Коефіцієнт кореляції: 1.000
Статистичний критерій Фішера: -9006073354834157600.000
Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.706

Статистичний критерій Фішера менший критичного значення!
Модель не є адекватною до об'єкта керування.

fx >>

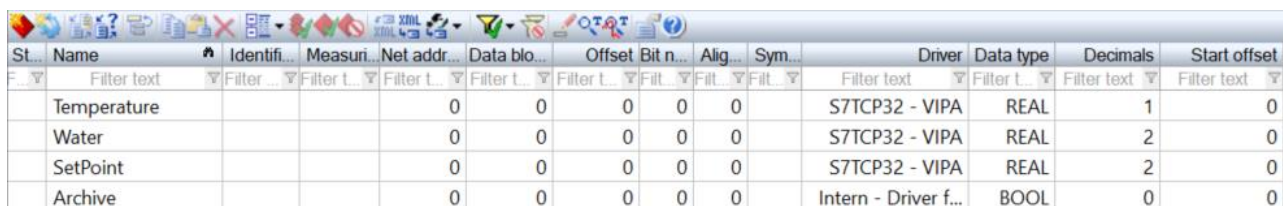
```

Рисунок 4.8 – Результат перевірки параметрів на адекватність цифрової до безперервної моделі САК

Наступним етапом була генерація ПЗ цифрових моделей об'єкту керування та П-регулятора, яке знаходиться у додатку А.

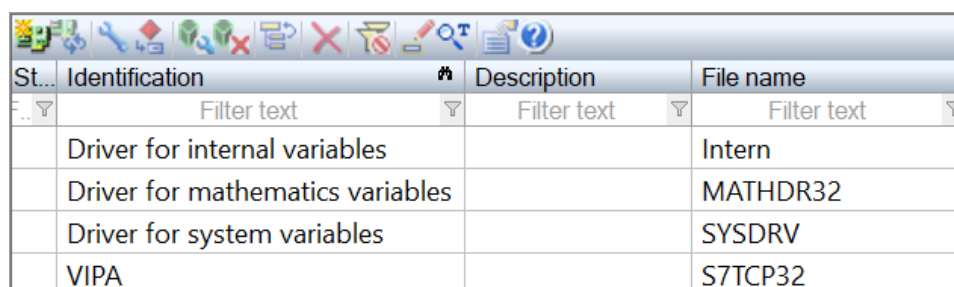
## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Для симуляції роботи САК в SCADA системі zenon треба створити необхідні змінні ПЗ (рис. 4.9) та під'єднати драйвер ПЛК (рис. 4.10).



St...	Name	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Temperature				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Water				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	SetPoint				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive				0	0	0	0	0	Intern - Driver f...	BOOL	0	0

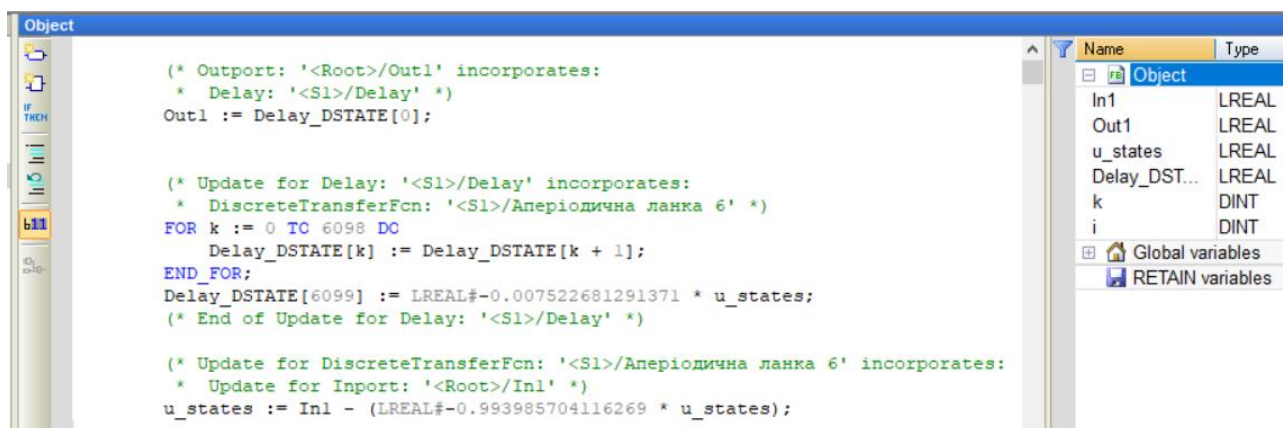
Рисунок 4.9 – Змінні ПЛК



St...	Identification	Description	File name
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

Рисунок 4.10 – Драйвер ПЛК

ПЗ ПІ-регулятора та об'єкта керування функціонує на ПЛК в режимі симуляції в zenon Logic і представлено відповідно функціональними блоками “Object” та “Controller”, яка написано на мові програмування Structured Text (рис. 4.11 та рис. 4.12).



```

Object
(* Outputport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
FOR k := 0 TO 6098 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END FOR;
Delay_DSTATE[6099] := LREAL#-0.007522681291371 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (LREAL#-0.993985704116269 * u_states);

```

Name	Type
Object	
In1	LREAL
Out1	LREAL
u_states	LREAL
Delay_DST...	LREAL
k	DINT
i	DINT
Global variables	
RETAIN variables	

Рисунок 4.11 - ПЗ об'єкту керування “Object”.

```

Controller
(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
FOR k := 0 TO 6098 DC
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[6099] := LREAL#-0.007522681291371 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (LREAL#-0.993985704116269 * u_states);

```

Name	Type
Controller	
In1	LREAL
Out1	LREAL
u_states	LREAL
Delay_DST...	LREAL
k	DINT
i	DINT
Global variables	
RETAIN variables	

Рисунок 4.12 - ПЗ ПД-регулятору “Controller”.

На рис. 4.13 і рис. 4.14 наведена схема САК і результат перевірки її роботи в симуляторі zenon Logic.

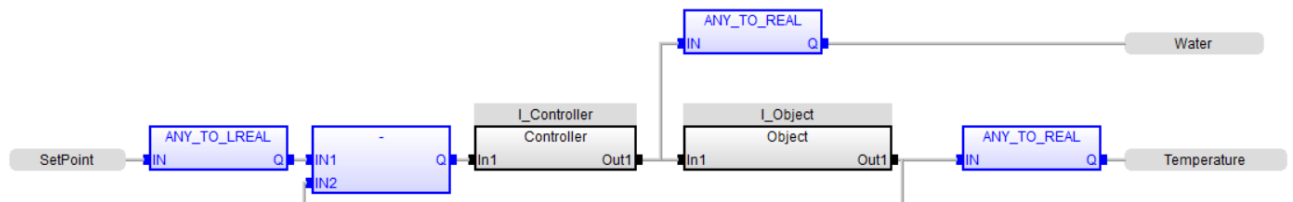


Рисунок 4.13 – Схема САК

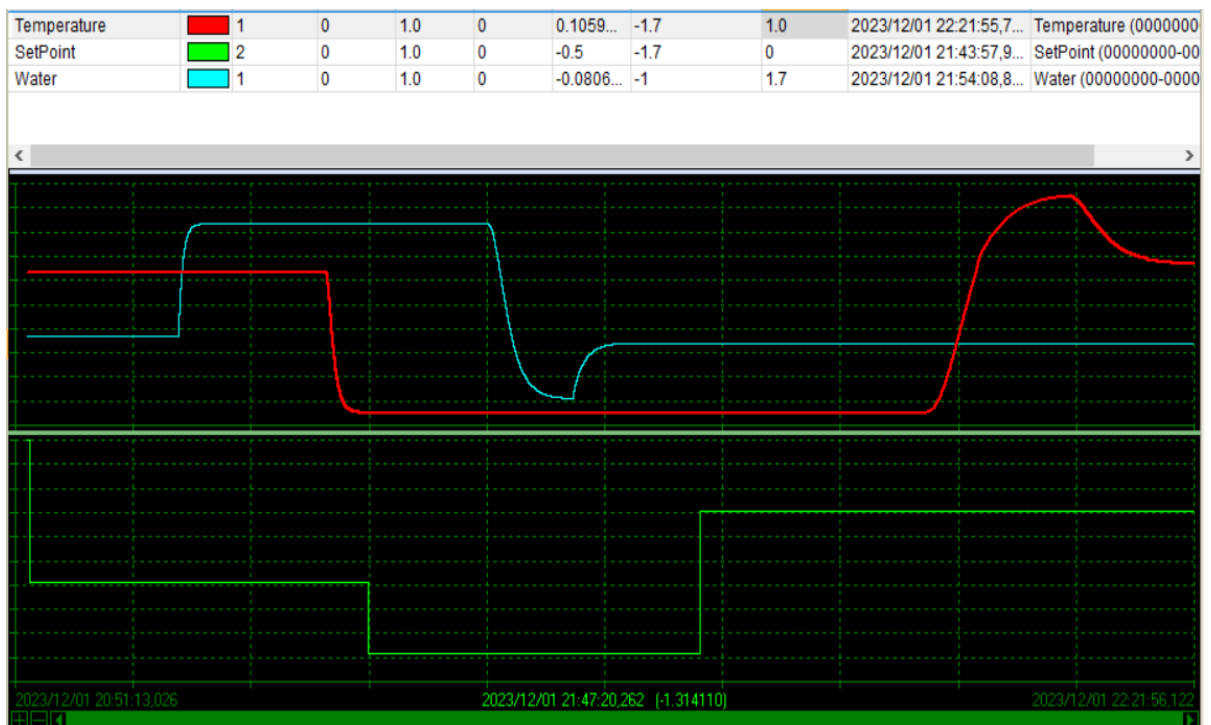


Рисунок 4.14 – Результат моделювання роботи об’єкта керування

### 4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс (НМІ) - це інтерфейс користувача або приладна дошка, що з'єднує людину з машиною, системою або пристроєм. Хоча технічно цей термін може бути застосований до будь-якого екрана, який дозволяє користувачеві взаємодіяти з пристроєм, НМІ найчастіше використовується в контексті промислового процесу. НМІ в чомусь схожі на графічні інтерфейси користувача (GUI), але вони не є синонімами; Графічні інтерфейси часто використовуються в НМІ для візуалізації.

У промислових умовах людино-машинні інтерфейси можуть використовуватися для:

- візуальне відображення даних;
- відстежування часу виробництва, тенденції та теги;
- нагляд за ключовими показниками ефективності;
- контролю входів та виходів машин;
- І багато іншого.

Оператор може використовувати НМІ для перевірки та контролю технологічних параметрів, щоб перевірити, чи працює певний механізм на об'єкті. НМІ може включати вбудовані екрани на машинах, комп'ютерних моніторах і планшетах, але незалежно від їх формату або терміну, який використовується для їх позначення, їх призначення полягає в тому, щоб дати уявлення про механічні характеристики та технологічний прогрес.

Шаблони ШМІ-зображень призначені для показу основної інформації та розміщення кнопок навігації (рис. 4.15).

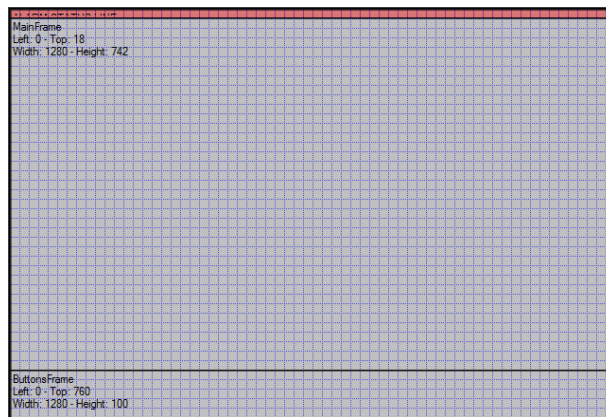


Рисунок 4.15 – Шаблони HMI- інтерфейсу

Кнопки навігації забезпечують оперативне перемикання між екранами відображення інформації про технологічний процес та завершення режиму роботи з HMI (рис. 4.16).



Рисунок 4.16 – Кнопки навігації

Екрани містить головну інформацію про роботу та параметри технологічного процесу (рис. 4.17...4.19).

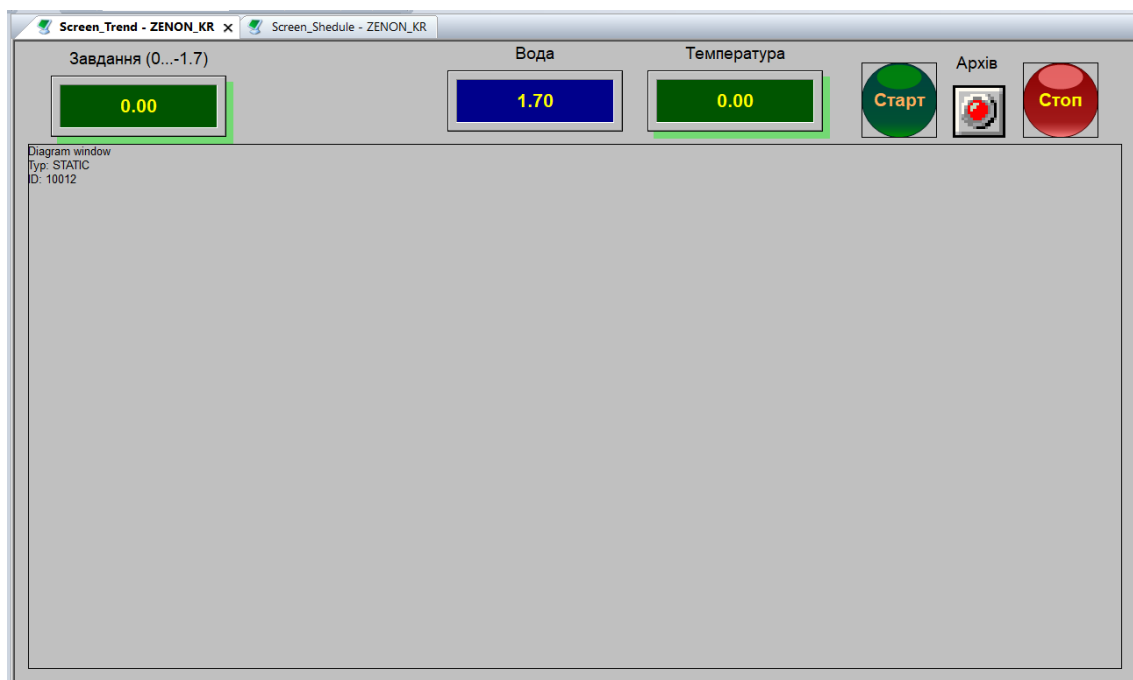


Рисунок 4.17 – Екран «Trend»

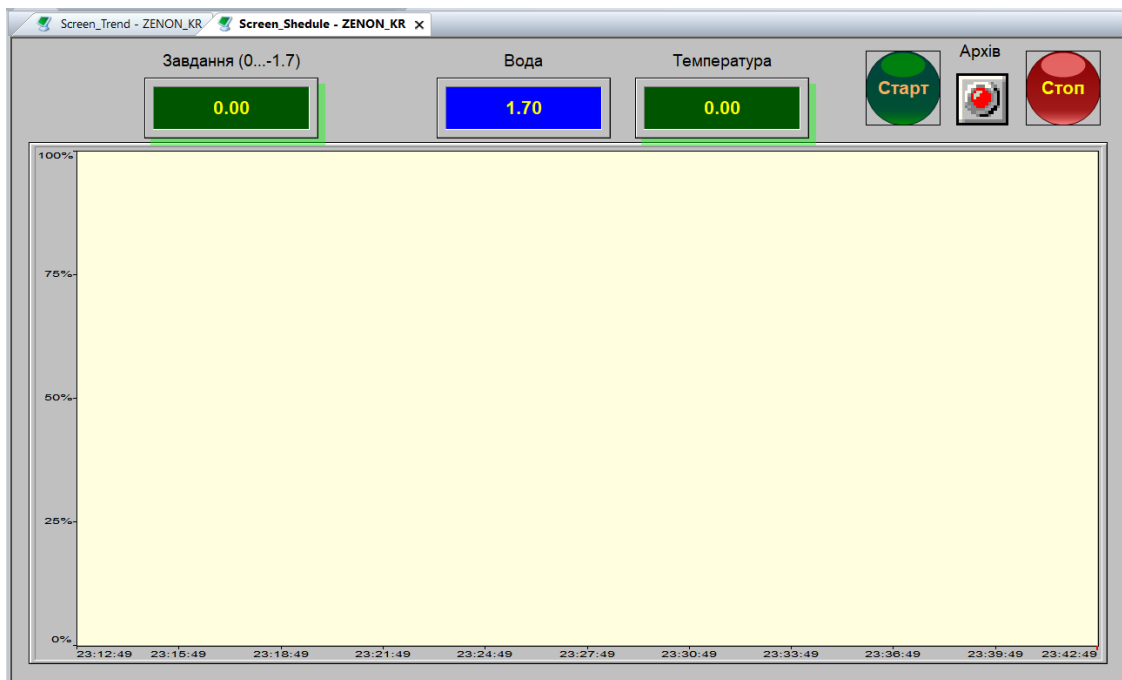


Рисунок 4.18 – Екран «Schedule»

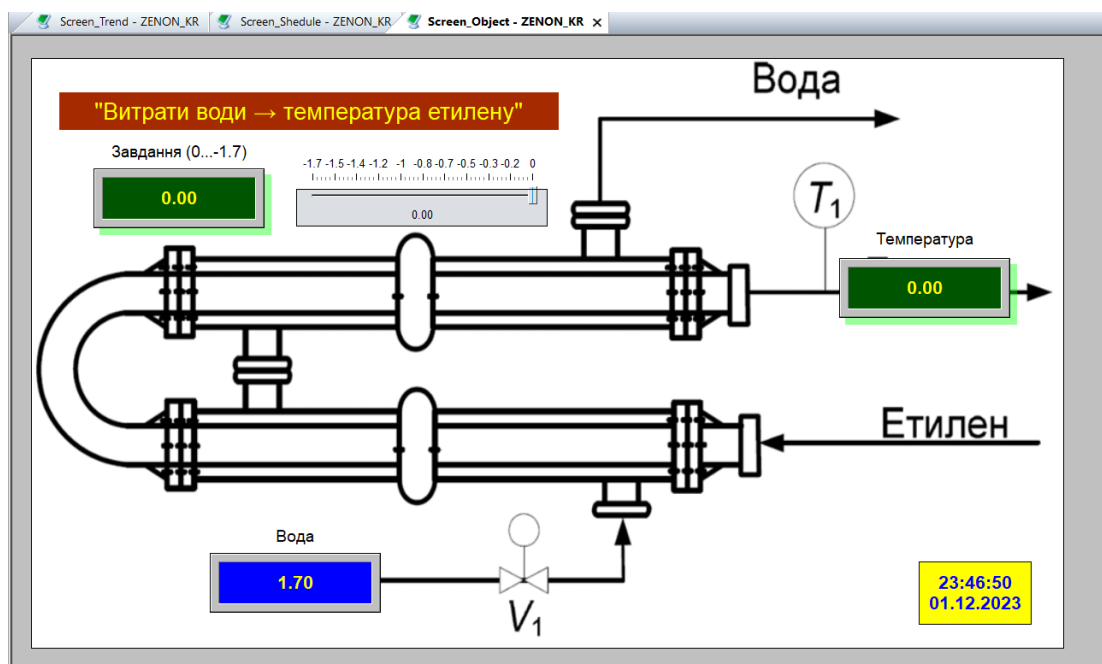


Рисунок 4.19 – Екран «Object»

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Працездатність роботи ПЗ проводилась за допомогою уставки температури в інтервалі  $-1,5 \dots 0$  умовних одиниць для керуючого впливу та здійснювався контроль для охолодження етилену в холодильнику. Можна зробити висновок -

об'єкт керування та ПІ-регулятор працюють згідно з запланованими показниками, кнопки НМІ виконують свої функціональні призначення (рис. 4.20...4.22).

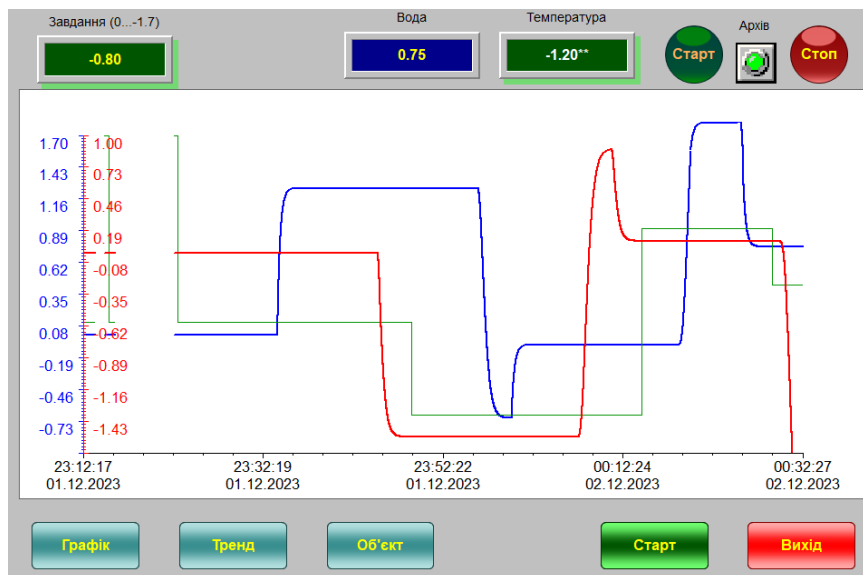


Рисунок 4.20 – Екран НМІ «Trend»

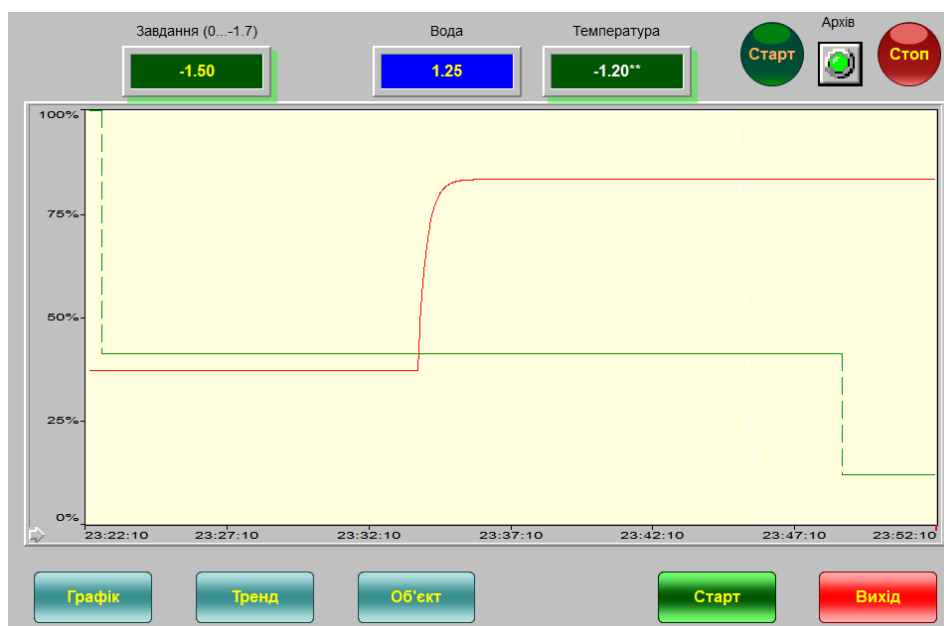


Рисунок 4.21 – Екран НМІ «Schedule»



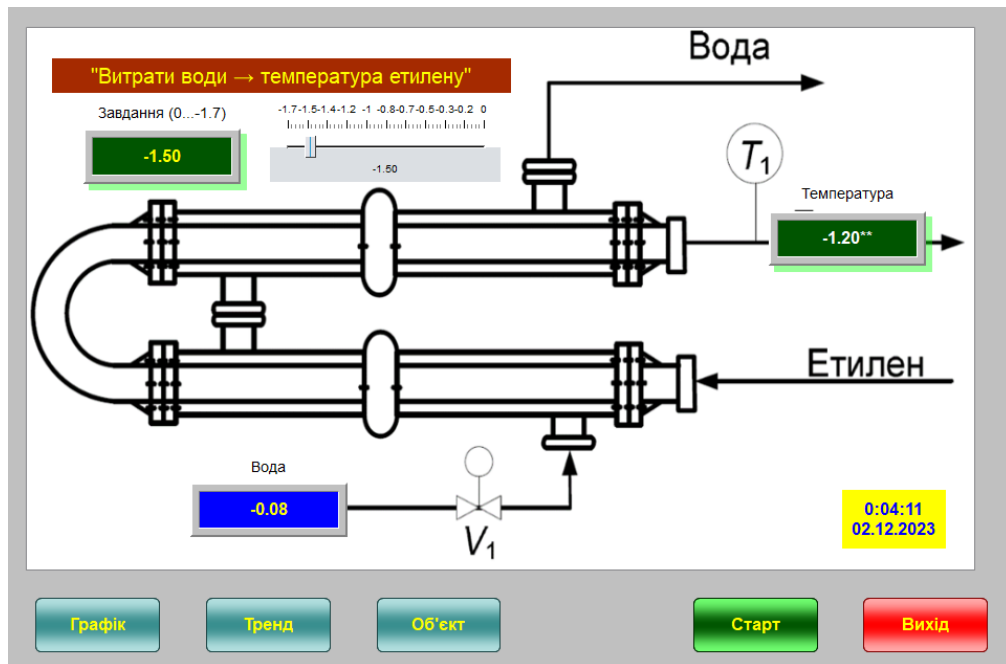


Рисунок 4.22 – Екран НМІ «Об'єкт»

#### 4.5 Висновки до розділу

Розроблені та перевірені на функціональність безперервні та цифрові моделі регулятора та об'єкта керування у MATLAB. Для цифрових моделей було згенеровано ПЗ, імпортовано до SCADA zenon, перевірена їх робота у симуляторі, розроблено НМІ-інтерфейс, працездатність якого теж була перевірена у SCADA zenon.

ПЗ та НМІ-інтерфейс функціонують за визначеними алгоритмами з керування технологічним процесом охолодження етилену у холодильнику.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Доцільність розробки САК

У 20 столітті стався сплеск розвитку застосування продукції з пластику. Промисловість з випуску поліетилену стала важливою частиною розвитку виробничої галузі. Своєю еволюцією ця промисловість створила основу, яка базувала свою конкурентоспроможність на задоволенні потреб людей і промисловості у товарах з поліетилену.

Зі зростанням попиту для досягнення бажаних виробничих цілей знадобилося вдосконалення певних технологічних процесів, що досягалося за рахунок автоматизації та робототехніки, повної автоматизовані технологічних процесів. У технологічних лініях виробництва поліетилену процес є безперервним і здійснюється занадто швидко та з великою продуктивністю, тому бажано виконувати етапи виробництва, які безпосередньо підтримують цей технологічний процес автоматичними системами без участі людини в оперативному керування цим технологічним процесом.

У нашому випадку робота з автоматизації полягає в заміні застарілого регулятора, який був впроваджений раніше на більш сучасний. Завдяки новій елементній базі з автоматизації, технологічне обладнання, яке наразі знаходиться на виробництві, тепер буде відповідати необхідним сучасним вимогам з якості випуску продукції та підвищить продуктивність його роботи.

Розробка САК сприятиме відновленню старого технологічного обладнання, та покращить поточні завдання і загальні потреби в умовах сучасних ринкових вимог, підвищить економічну стійкість технологічних процесів та заощадить енергоресурси.

## 5.2 Капітальні витрати для САК

Капітальне фінансування - це витрати на поповнення та оновлення основних технічних фондів. Технічне оснащення діючого підприємства - це заміна застарілих і зношених приладів на нові високої продуктивності, а також впровадження нових технологій, автоматизація виробництва, безперебійна заміна основних фондів, що вийшли з ладу в процесі виробничої діяльності, на нові.

Капітальні витрати розраховуємо за наступною формулою:

$$K = B_o + B_{mp} + B_m, \quad (5.1)$$

де  $B_o$  – витрати обладнання, грн.;  $B_{mp}$  – витрати на транспортування, грн;  $B_m$  – витрати на монтаж та наладку, грн.;  $B_{пз}$  – витрати на ПЗ, грн.

Таблиця 5.1 – Перелік комплектуючих

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛК VIPA 214DPM (214-1BM02)	од.	1	19 284,16	19 284,16
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	10 836,42	21 672,84
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	8 554,42	8 554,42
4	Датчик температури QAE3010.016	од.	2	8 433,60	16 867,20
5	Датчик тиску MBS 3000	од.	3	8 456,53	25 369,60
6	Електрозасувка 5200LA/530M	од.	1	392 000,00	392 000,00
7	Електрозасувка 30ч939р Ду-125	од.	1	41 440,00	41 440,00
8	Трифазне твердотільне реле Jotta SSR 10DA	од.	4	1 642,20	6 568,80
9	Тиристорне джерело DPU 33C025R	од.	1	35 560,00	35 560,00
10	Мережний кабель	м	300	35,84	10 752,00
11	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	54 040,42	54 040,42
12	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 030,00	4 060,00
	Разом				636 169,44

Витрати на обладнання  $B_o = 636 169,44$  грн.

Транспортні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

$$B_{mp} = B_o * 0,06 \quad (5.2)$$

$$B_{mp} = 636 169,44 * 0,06 = 38 170,17 \text{ грн.}$$

Монтажні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

$$B_m = B_o * 0,07 \quad (5.3)$$

$$B_m = 636 169,44 * 0,07 = 44 531,87 \text{ грн.}$$

Витрати на ПЗ:

- SCADA zenon: 40 150,00 грн;
- Windows 11: 6 453,00 грн;
- розробка ПЗ: 29 500,00 грн;

$$B_{пз} = 40\,150,00 + 6\,453,00 + 29\,500,00 = 76\,103,00 \text{ грн.}$$

Просумуємо складові капітальних витрат:

$$K = 636\,169,44 + 38\,170,17 + 44\,531,87 + 76\,103,00 = 794\,974,48 \text{ грн.}$$

### 5.3 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати, пов'язані з веденням виробництва. Вони відрізняються залежно від галузі і від того, як компанія вирішує працювати на основі своєї бізнес-моделі.

Експлуатаційних витрати можна розрахувати за формулою:

- амортизація  $C_a$ ;
- заробітна плата  $C_z$ ;
- соціальні заходи  $C_c$ ;
- ремонт  $C_{р.т.о.}$ ;
- електроенергія  $C_{еe}$ ;
- інші статті  $C_{інш.}$

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{р.т.о.} + C_{еe} + C_{інш.}, \quad (5.4)$$

Амортизація - це метод розрахунку, який використовується для зменшення балансової вартості капітальних активів протягом певного періоду часу.

Для 4 групи обладнання термін експлуатації становить 5 років, амортизацію основних засобів можна розрахувати за методом прискореного зменшення залишкової вартості за нормою амортизації:

$$H_a = (2 / T) * 100, \quad (5.5)$$

де  $T$  – термін експлуатації, рік;  $H_a$  – норма амортизації, %;

$$H_a = (2 / 5) * 100 = 40, C_a = (K * H_a) / 100, \quad (5.6)$$

$C_a$  – річна сума амортизації;  $K$  – капітальні витрати, грн;

$$C_a = 794\,974,48 * 40 / 100 = 317\,989,80 \text{ грн.}$$

Робочий час - це календарний період, протягом якого працівник повинен перебувати на робочому місці і виконувати трудові обов'язки відповідно до правил внутрішнього розпорядку підприємства, тривалість участі працівника в трудовому процесі. Сюди відноситься і робочий час, який здійснюється поза нормою, встановленою адміністрацією. У трудовому законодавстві робочий час вимірюється тривалістю робочого дня, робочого тижня, робочого місяця, робочого року. Робочий день - це період, протягом якого працівник працює на підприємстві протягом доби.

Річний фонд робочого часу можна розрахувати за формулою:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) \cdot T_{зм} \quad (5.7)$$

де,  $T_k$  – календарний фонд, дні ( $T_k = 365$ );  $T_{вих.св}$  – вихідні дні та свята, дні ( $T_{вих.св} = 118$ );  $T_{відп}$  – відпустка, дні ( $T_{відп} = 21$ );  $T_{зм}$  – тривалість зміни, год ( $T_{зм} = 8$ ).

$$T_{ном.рік} = (365 - 118 - 21) \cdot 8 = 1\,808 \text{ год.}$$

Технологічний процес виготовлення поліетилену високого тиску є безперервним, тому роботи відбуваються цілодобово протягом трьох восьми годинних змін. У процесі роботи задіяно - один оператор кожної зміни, один технолог - одну зміну на добу і один електрослюсар у кожній зміні. Фонд заробітної плати зведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор	3	141,48	1 840	780 969,60	62 477,57	54 667,87	898 115,04
2	Технолог	1	162,44		298 889,60	23 911,17	20 922,27	343 723,04
3	Наладчик	1	150,65		277 196,00	22 175,68	19 403,72	318 775,40
Разом								1 560 613,48

Заробітна плата:  $C_3 = 1\,560\,613,48$  грн.

Відрахування на соціальні заходи - це кошти спрямовані на соціальні послуги: для складних побутових ситуацій (інвалідність, неможливість піклуватися про себе у зв'язку зі збільшенням віку, хвороба, дитячий будинок, догляд, нужда, безробіття, відсутність певного типу проживання, сімейного піклування, самотності, тощо), надання соціального захисту громадян, соціально-побутових, соціально-медичних, психолого-педагогічних, соціально-правових послуг та матеріальної допомоги, діяльність соціальних установ з соціальної реабілітації та оздоровлення.

Відрахування на соціальні заходи розраховуємо за формулою:

$$C_c = k_c * C_3, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $k_c$  – процентна ставка на соціальні заходи від заробітної плати  $C_3$ .

$$C_c = 0,22 * 1\,560\,613,48 = 343\,334,97 \text{ грн.}$$

Відрахування на ремонт розраховуються за формулою:

$$C_{p.t.o.} = K * k_p, \text{ грн.}, \quad (5.9)$$

де  $k_p$  – процентна ставка на ремонт від капітальних витрат  $K$ .

$$C_{p.t.o.} = 794\,974,48 * 0,04 = 31\,798,98 \text{ грн.}$$

Важлива відмінність електроенергії полягає в тому, що вона може вироблятися одночасно і одночасно може споживатися. Приймач електроенергії струмом - це пристрій для прийому і використання електроенергії. В нашому випадку вартість спожитої електроенергії розраховуємо за формулою:

$$C_{ee} = K_e * K_{dp} * T, \quad (5.10)$$

де  $K_e$  – потужність, кВт (2,4 кВт);  $K_{dp}$  - кількість днів у році (365 днів);  $T$  – тариф на електроенергію (2,86 грн за кВт/год з ПДВ).

$$C_{ee} = 2,4 * 365 * 24 * 2,86 = 60\,128,64 \text{ грн.}$$

Інші витрати пов'язані з повсякденним виробництвом, вони включають прямі витрати на інші накладні додаткові витрати специфічні спеціалізовані послуги, загальні та адміністративні послуги. Інші витрати розраховуємо за формулою:

$$C_{i.nsh} = C_3 * k_{i.nsh} \quad (5.11)$$

де  $k_{i.nsh}$  – процентна ставка на інші витрати від заробітної плати  $C_3$ .

$$C_{\text{інш}} = 1\,560\,613,48 * 0,04 = 62\,424,54 \text{ грн.}$$

Просумуємо складові річних експлуатаційних витрат:

$$C_e = 317\,989,80 + 1\,560\,613,48 + 343\,334,97 + 31\,798,98 + 60\,128,64 + 62\,424,54 = \\ = 2\,376\,290,41 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати надані в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	317 989,80
Фонд заробітної плати	1 560 613,48
Відрахування на соціальне страхування	343 334,97
Ремонт і технічне обслуговування	31 798,98
Електроенергія	60 128,64
Інші витрати	62 424,54
Разом	2 376 290,41

#### 5.4 Економічна ефективність

Продуктивність це відношення обсягу одержуваної продукції до праці, витраченої на її виготовлення (ефективність праці в процесі виробництва), яка характеризується кількістю виробленої продукції в часовому вимірі (виробництво) або часом, витраченим на розмір виробу (трудомісткість).

Продуктивність - це відношення продукції, виробленої цією системою за даний період часу, до кількості ресурсів, витрачених на вироблену або видобуту продукцію протягом цього періоду.

Собівартість продукції складається з витрат на працю і витрат на виробниче обладнання. Останніми роками свого часу були понесені трудовитрати.

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат можна розрахувати за формулою:

$$E_p = E / K, \text{ частки од.} \quad (5.12)$$

де E – загальна річна економія, грн.; K – капітальні витрати, грн.

Холодильна установка з технологічного комплексу по виробництву поліетилену високого тиску приносить підприємству до 40 млн. грн прибутку. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 1,0 % в прибутку.

$$E = 40\,000\,000 * 0,01 = 400\,000 \text{ грн.}$$

$$E_p = 400\,000 / 794\,974,48 = 0,5.$$

Нормативне значення коефіцієнту економічної ефективності дорівнює 0,15.

$$E_p > E_n \quad (5.13)$$

$$0,5 > 0,15$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$ :

$$T_p = K / E, \text{ років} \quad (5.14)$$

$$T_p = 794\,974,48 / 400\,000 = 2 \text{ роки.}$$

### 5.5 Висновки до розділу

При впровадженні САК холодильною установкою з технологічного комплексу по виробництву поліетилену високого тиску капітальні витрати складають майже 800 тис. грн., експлуатаційні витрати становитимуть приблизно 2,4 млн. грн. на рік. Коефіцієнт ефективності значно більший ніж його нормативне значення в середньому по галузі, термін окупності САК до 2 років.

Впровадження САК холодильною установкою з технологічного комплексу по виробництву поліетилену високого тиску є доцільним та економічно вигідним.



## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при технологічному процесі виробництва поліетилену високого тиску**

Технологічний процес виробництва поліетилену високого тиску (ПЕТ) є хімічним процесом полімеризації етилену під тиском 150...300 атм і температурою 160...300°C. У процесі виробництва ПЕТ виникають небезпечні та шкідливі фактори, які можуть призвести до травм, отруєнь та інших негативних наслідків для здоров'я працівників.

До небезпечних факторів, які можуть виникнути в процесі виробництва ПЕТ, відносяться:

1. Вибухонебезпечність. У процесі виробництва ПЕТ використовується етилен, який є вибухонебезпечним газом. При неконтрольованому витoku етилену може статися вибух.

2. Пожежна безпека. Етилен є легкозаймистою речовиною. При контакті з джерелом вогню може виникнути пожежа.

3. Електрична безпека. У процесі виробництва ПЕТ використовуються електричні установки, які можуть бути джерелом електротравм.

4. Ризики, пов'язані з рухомими механізмами. У процесі виробництва ПЕТ використовуються різні механізми, які можуть бути джерелом травм, пов'язаних з рухомими частинами.

До шкідливих факторів, які можуть виникнути в процесі виробництва ПЕТ, відносяться:

1. Забруднення повітря шкідливими речовинами. У процесі виробництва ПЕТ виділяються шкідливі речовини, такі як етилен, оксиди вуглецю, оксиди азоту, сірковуглець, бензол та інші.

2. Забруднення води шкідливими речовинами. У процесі виробництва ПЕТ відходи, що містять шкідливі речовини, можуть потрапляти в навколишнє середовище.

3. Різниця температур. У процесі виробництва ПЕТ можуть виникати значні перепади температур, які можуть призвести до переохолодження або перегрівання працівників.

## **6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

### **6.2.1 Розрахунок оцінки ризику неконтрольованого витоку етилену**

На підприємстві, яке виробляє поліетилен високого тиску, є ємність для зберігання етилену об'ємом 1000 м<sup>3</sup>. Ємність має систему захисту від витоку, яка включає в себе датчики тиску та температури, а також систему автоматичного відключення подачі етилену.

Частоту неконтрольованого витоку етилену можна оцінити за наступною формулою:

$$\text{Частота} = 1 / (\text{Термін служби ємності} * \text{Шанс витоку за 1 рік}).$$

Термін служби ємності прийнято вважати рівним 20 років. Шанс витоку за 1 рік можна оцінити як 1/1000.

$$\text{Частота} = 1 / (20 * 1/1000) = 50\ 000.$$

Тобто, за даними оцінки, ємність для зберігання етилену може дати неконтрольований витік 50 000 разів за 20 років.

Тяжкість наслідків неконтрольованого витоку етилену можна оцінити за наступною формулою:

$$\text{Тяжкість наслідків} = (\text{Обсяг витоку} * \text{Шанс вибуху}) / (\text{Зона дії вибуху}).$$

Обсяг витоку можна оцінити як 10% від загального об'єму ємності, тобто 100 м<sup>3</sup>. Шанс вибуху можна оцінити як 1/100. Зона дії вибуху прийнято вважати рівною 100 м від місця витоку.

$$\text{Тяжкість наслідків} = (100 * 1/100) / 100 = 1.$$

Тобто, у разі вибуху в результаті неконтрольованого витоку етилену з ємності об'ємом 1000 м<sup>3</sup> постраждає площа 100 м<sup>2</sup>.

На основі оцінки частоти та тяжкості наслідків неконтрольованого витоку етилену можна визначити ризик цього явища.

Ризик = Частота \* Тяжкість наслідків

Ризик = 50 000 \* 1 = 50 000.

Тобто, ризик неконтрольованого витоку етилену з ємності об'ємом 10 00 м<sup>3</sup> є дуже високим.

Для зниження ризику неконтрольованого витоку етилену з даної ємності можна вжити такі заходи:

Забезпечити регулярне проведення інспекцій обладнання.

Навчити працівників з питань охорони праці, зокрема з питань запобігання вибухам.

Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, які захищають від вибухів.

Виконання цих заходів допоможе знижувати ризик неконтрольованого витоку етилену та забезпечити безпечні умови праці для працівників.

Ємність для зберігання етилену об'ємом 1 000 м<sup>3</sup>. Ємність знаходиться в зоні, де є джерела вогню, такі як газові пальники, електричні машини та обладнання.

Частоту контакту з джерелом вогню можна оцінити за наступною формулою:

Частота = (Час роботи обладнання \* Кількість джерел вогню) / (Об'єм ємності / Обсяг витоку).

Час роботи обладнання прийнято вважати рівним 8 годин на добу, 300 днів на рік. Кількість джерел вогню можна оцінити як 10. Об'єм витоку можна оцінити як 10% від загального об'єму ємності, тобто 100 м<sup>3</sup>.

Частота = (8 \* 300 \* 10) / (1000 / 100) = 24 000.

Тобто, за даними оцінки, ємність для зберігання етилену може контактувати з джерелом вогню 24 000 разів за рік.

Тяжкість наслідків контакту з джерелом вогню можна оцінити за наступною формулою:

$$\text{Тяжкість наслідків} = (\text{Шанс вибуху}) / (\text{Зона дії вибуху}).$$

Шанс вибуху можна оцінити як 1/100. Зона дії вибуху прийнято вважати рівною 100 м від місця витоку.

$$\text{Тяжкість наслідків} = (1/100) / 100 = 1/10\ 000.$$

Тобто, у разі вибуху в результаті контакту з джерелом вогню постраждає площа 1/10 000 м<sup>2</sup>.

На основі оцінки частоти та тяжкості наслідків контакту з джерелом вогню можна визначити ризик цього явища.

$$\text{Ризик} = \text{Частота} * \text{Тяжкість наслідків}.$$

$$\text{Ризик} = 24000 * 1/10000 = 2,4$$

Тобто, ризик контакту з джерелом вогню з ємністю для зберігання етилену об'ємом 1000 м<sup>3</sup> є середнім.

Для зниження ризику контакту з джерелом вогню з даної ємності можна вжити такі заходи:

- встановити захисні бар'єри між ємністю та джерелами вогню;
- забезпечити регулярне проведення інспекцій обладнання;
- навчити працівників з питань охорони праці, зокрема з питань запобігання вибухам.

### **6.2.2 Розрахунку ймовірності виникнення пожежі**

Ємність для зберігання етилену об'ємом 1 000 м<sup>3</sup>. Ємність має систему захисту від пожежі, яка включає в себе датчики диму та температури, а також систему автоматичного відключення подачі етилену.

Ймовірність виникнення пожежі можна оцінити за наступною формулою:

$$\text{Ймовірність} = (1 - \text{Шанс успішної роботи системи захисту}).$$

Шанс успішної роботи системи захисту можна оцінити як 99%.

$$\text{Ймовірність} = (1 - 99\%).$$

Ймовірність = 1%.

Тобто, ймовірність виникнення пожежі в результаті неконтрольованого витоку етилену з ємності об'ємом 1000 м<sup>3</sup> є низькою.

Для зниження ймовірності виникнення пожежі можна вжити такі заходи:

- забезпечити регулярне проведення інспекцій обладнання;
- навчити працівників з питань охорони праці, зокрема з питань запобігання пожежам.

### **6.2.3 Розрахунок ризику ураження електричним струмом при виробництві етилену**

На підприємстві, яке виробляє етилен, є електрообладнання, яке працює під напругою 1000 В.

Частоту контакту з електрообладнанням можна оцінити за наступною формулою:

Частота = (Час роботи обладнання \* Кількість працівників) / (Кількість працівників, які мають доступ до обладнання).

Час роботи обладнання прийнято вважати рівним 8 годин на добу, 300 днів на рік. Кількість працівників на підприємстві можна оцінити як 1000. Кількість працівників, які мають доступ до електрообладнання, можна оцінити як 100.

$$\text{Частота} = (8 * 300 * 1000) / 100.$$

$$\text{Частота} = 240\ 000.$$

Тобто, за даними оцінки, кожен працівник може контактувати з електрообладнанням 240 000 разів за рік.

Тяжкість наслідків контакту з електрообладнанням можна оцінити за наступною формулою:

Тяжкість наслідків = (Шанс ураження струмом) \* (Смертельна доза струму).

Шанс ураження струмом можна оцінити як 1/10000. Смертельна доза струму для людини становить 0,1 А.

$$\text{Тяжкість наслідків} = (1/10000) * 0,1.$$

$$\text{Тяжкість наслідків} = 0,0001.$$

Тобто, у разі ураження струмом у результаті контакту з електрообладнанням є ймовірність 0,0001, що людина загине.

На основі оцінки частоти та тяжкості наслідків контакту з електрообладнанням можна визначити ризик цього явища.

$$\text{Ризик} = \text{Частота} * \text{Тяжкість наслідків}.$$

$$\text{Ризик} = 240000 * 0,0001.$$

$$\text{Ризик} = 24.$$

Тобто, ризик ураження електричним струмом при виробництві етилену є високим.

Для зниження ризику ураження електричним струмом при виробництві етилену можна вжити такі заходи:

1. Забезпечити регулярне проведення інспекцій електрообладнання.
2. Навчати працівників з питань охорони праці, зокрема з питань електробезпеки.
3. Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, які захищають від ураження електричним струмом.

#### **6.2.4 Розрахунок травми при контакті з холодильником поліетилену високого тиску**

Холодильником поліетилену високого тиску, який використовується на підприємстві. Частоту контакту з ним можна оцінити за наступною формулою:

$$\text{Частота} = (\text{Час роботи обладнання} * \text{Кількість працівників}) / (\text{Кількість працівників, які мають доступ до обладнання});$$

Час роботи обладнання прийнято вважати рівним 8 годин на добу, 300 днів на рік. Кількість працівників на підприємстві можна оцінити як 1 000. Кількість працівників, які мають доступ до екструдера, можна оцінити як 100.

$$\text{Частота} = (8 * 300 * 1000) / 100.$$

Частота = 240 000.

Тобто, за даними оцінки, кожен працівник може контактувати з холодильником поліетилену високого тиску 240 000 разів за рік.

Тяжкість наслідків контакту з холодильником поліетилену високого тиску можна оцінити за наступною формулою:

Тяжкість наслідків = (Шанс травмування) \* (Ступінь тяжкості травми).

Шанс травмування можна оцінити як 1/1000. Ступінь тяжкості травми можна оцінити як 10.

Тяжкість наслідків = (1/1000) \* 10

Тяжкість наслідків = 0,1

Тобто, у разі травмування у результаті контакту з холодильником поліетилену високого тиску є ймовірність 0,1, що травма буде тяжкою.

На основі оцінки частоти та тяжкості наслідків контакту з холодильником поліетилену високого тиску можна визначити ризик цього явища.

Ризик = Частота \* Тяжкість наслідків.

Ризик = 240 000 \* 0,1.

Ризик = 2 400.

Тобто, ризик травмування при роботі з екструдером є високим.

Для зниження ризику травмування при роботі з холодильником поліетилену високого тиску можна вжити такі заходи:

- забезпечити регулярне проведення інспекцій холодильника поліетилену високого тиску;
- навчати працівників з питань охорони праці, зокрема з питань безпеки при роботі з рухомими механізмами;
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, які захищають від травмування.

### 6.3 Пожежна профілактика

Етилен є легкозаймистим газом, тому пожежі при його виготовленні є серйозною загрозою. Основні причини пожеж при виготовленні етилену такі:

1. Неконтрольований витік етилену. Етилен може витікати з резервуарів, трубопроводів, арматури тощо. У разі неконтрольованого витоку етилену він може накопичуватися в приміщенні або на відкритому повітрі, що створює небезпеку вибуху або пожежі.

2. Контакт етилену з джерелом запалення. Етилен легко запалюється від відкритого вогню, електричної дуги, статичної електрики тощо. У разі контакту етилену з джерелом запалення може статися пожежа або вибух.

3. Несправності обладнання. Несправності обладнання, яке використовується для виробництва етилену, можуть призвести до витоку етилену або контакту етилену з джерелом запалення.

4. Недотримання правил безпеки. Недотримання правил безпеки працівниками підприємства може призвести до витоку етилену або контакту етилену з джерелом запалення.

Для запобігання пожежам при виготовленні етилену необхідно проводити такі заходи:

- регулярно проводити інспекції обладнання та систем безпеки;
- навчати працівників з питань охорони праці, зокрема з питань пожежної безпеки;
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, які захищають від пожеж.

Цех для виробництва етилену має площу 1 000 м<sup>2</sup>. У цеху є такі зони підвищеної небезпеки:

- зона зберігання етилену;
- зона екструзії поліетиленових труб;
- зона електрообладнання.

Для кожної зони підвищеної небезпеки необхідно встановити такі датчики:



- датчики витоку етилену;
- датчики диму;
- датчики підвищення температури.

Кількість датчиків у кожній зоні визначається за наступною формулою:

Кількість датчиків = (Площа зони / Площа датчика) \* (Кількість зон підвищеної небезпеки).

Площа датчика витоку етилену прийнято вважати рівною 10 м<sup>2</sup>. Площа датчика диму прийнято вважати рівною 20 м<sup>2</sup>. Площа датчика підвищення температури прийнято вважати рівною 100 м<sup>2</sup>.

- кількість датчиків витоку етилену =  $(1000 / 10) * 3 = 300$ ;
- кількість датчиків диму =  $(1000 / 20) * 3 = 150$ ;
- кількість датчиків підвищення температури =  $(1000 / 100) * 3 = 10$ .

Отже, для цеху площею 1 000 м<sup>2</sup> необхідно встановити такі датчики:

- 300 датчиків витоку етилену;
- 150 датчиків диму.
- 10 датчиків підвищення температури.

Ці датчики повинні бути підключені до автоматизованої системи сигналізації, яка буде сповіщати про небезпеку працівників цеху та персоналу пожежної охорони.

Система сигналізації повинна мати такі функції:

- виявлення витоку етилену, диму та підвищення температури;
- повідомлення про небезпеку працівників цеху та персоналу пожежної охорони;
- відключення обладнання, яке може призвести до пожежі;
- система сигналізації повинна бути протестована та відпрацьована, щоб забезпечити її ефективну роботу.

#### **6.4 Висновки до розділу**

У розділі було розглянуто такі основні питання:

- оцінка ризику неконтрольованого витоку етилену.
- ймовірність виникнення пожежі в результаті контакту з джерелом вогню;
- ризик ураження електричним струмом при виробництві етилену;
- ризики, пов'язані з рухомими механізмами при виробництві етилену;
- основні причини пожеж при виготовленні етилену;
- заходи щодо запобігання пожежам при виготовленні етилену;
- розрахунок автоматичної системи сигналізації у цеху при виробництві етилену.

На основі розглянутих питань можна зробити такі висновки:

- виробництво етилену є небезпечним процесом, який вимагає дотримання всіх заходів безпеки;
- неконтрольований витік етилену, контакт етилену з джерелом запалення, несправності обладнання та недотримання правил безпеки є основними причинами пожеж при виготовленні етилену.

Для запобігання пожежам при виготовленні етилену необхідно проводити такі заходи:

- регулярно проводити інспекції обладнання та систем безпеки.
- навчати працівників з питань охорони праці, зокрема з питань пожежної безпеки.
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, які захищають від пожеж.
- встановити автоматизовану систему сигналізації, яка буде сповіщати про небезпеку працівників цеху та персоналу пожежної охорони.
- важливо також усвідомлювати, що ризик пожеж при виробництві етилену завжди буде існувати, тому необхідно постійно працювати над його зниженням.

## ВИСНОВКИ

Атестаційна робота є закінченою дослідницькою роботою, в якій вирішена задача управління технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску по каналу "витрати води – температура етилену".

Основними результатами роботи є:

1. Проведений аналіз роботи САР технологічним процесом виробництва поліетилену за відсутності регулятора.

2. Для ППІ-регуляторів розраховані значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, при якому система виходить на межу стійкості. Розраховані частота і період коливань.

3. Обґрунтований вибір типу регулятора САР технологічним процесом виробництва поліетилену.

4. За методом Циглера-Нікольса визначені параметри предиктивного ПІ-регулятора.

5. Методом моделювання на ЕОМ в середовищі SIMULINK ППІ MATLAB підтвержені теоретичні розрахунки та вибраний найкращий регулятор, виходячи із оцінок показників якості САР.

6. Методом обчислювального експерименту показана екстремальна залежність часу регулювання САР від коефіцієнту пропорційності предиктивного ПІ-регулятора.

7. Розроблений людино-машинний інтерфейс управління процесом флотації для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7/0.

8. Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.

9. Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

10. Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, виконані розрахунки освітлення.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поліетилен високого тиску: технічні характеристики. Режим допуску: <https://irren.com.ua/polietylen-vysokogo-tysku-tehnichni-harakterystyky.html>
2. М.В. Юрженко Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна. Аналіз виробництва та використання поліетиленових труб для будівництва трубопроводів різного призначення (огляд). Режим допуску: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29\\_2/25.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29_2/25.pdf)
3. Голубятников В.А., Шувалов В.В. «Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1991.
4. УДК 631.363, Аналіз надійності можливих схем керування процесом охолодження етилену, Кравченко І.Ю., Лукінюк М.В., Національний технічний університет України «КПІ», 2016
5. Очистка и охлаждение возвратного этилена. Режим допуску: <https://msd.com.ua/polietilen-vysokogo-davleniya/ochistka-i-oxlazhdenie-vozvratnogo-etilena/>
6. Теорія автоматичного управління (лінійні та особливі системи). Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів напряму підготовки 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Частина 1/ Упоряд.: М.М. Трипутень, В.Є Воскобоник. -Дніпро НТУ «ДП» 2018. – 93 с.

## ДОДАТОК А

### ПРОГРАМНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

#### А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: E1_Model_SAU.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "Model_SAU/Об'єкт
керування
дискретний"
*
* Model name                : Model_SAU
* Model version             : 1.148
* Model creator             : Anton
* Model last modified by    : Anton
* Model last modified on    : Thu Nov 30 22:25:52 2023
* Model sample time        : 0.1s
* Subsystem name           : Model_SAU/Об'єкт керування
дискретний
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2013
* ST code generated on     : Thu Nov 30 22:27:49 2023
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..6099] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 6099 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
*)
        u_states := 0.0;
    SS_STEP:

```

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
FOR k := 0 TO 6098 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[6099] := -0.007522681291371 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (-0.993985704116269 * u_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Model_SAU.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "Model_SAU/ПІ-
регулятор
дискретний"
*
* Model name                : Model_SAU
* Model version              : 1.148
* Model creator              : Anton
* Model last modified by    : Anton
* Model last modified on    : Thu Nov 30 22:25:52 2023
* Model sample time         : 0.1s
* Subsystem name            : Model_SAU/ПІ-регулятор
дискретний
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2013
* ST code generated on      : Thu Nov 30 22:29:17 2023
*
* Target IDE selection       : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included        : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR

```

```

    u_DSTATE: LREAL;
    u_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..6099] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 6099 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор2'
*)
        u_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
*)
        u_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
        * Delay: '<S1>/Delay'
        * DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор2'
        * Gain: '<S1>/Gain 4'
        * Gain: '<S1>/Gain 5'
        * Inport: '<Root>/In1'
        * Sum: '<S1>/Sum2' *)
        Out1 := -(((0.8 * In1) + u_DSTATE) + Delay_DSTATE[0]);

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
        FOR k := 0 TO 6098 DO
            Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
        END_FOR;
        Delay_DSTATE[6099] := -0.006014295883731 * u_states;
        (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор2' incorporates:
        * Gain: '<S1>/Gain 3'
        * Inport: '<Root>/In1' *)
        u_DSTATE := ((0.72 * In1) * 0.1) + u_DSTATE;
        IF u_DSTATE >= 1.2508 THEN
            u_DSTATE := 1.2508;
        ELSIF u_DSTATE <= 0.0 THEN
            u_DSTATE := 0.0;
        END_IF;
        (* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор2' *)

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
        u_states := Out1 - (-0.993985704116269 * u_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;

```



```
END_VAR  
VAR_GLOBAL  
END_VAR
```

## ДОДАТОК Б ПЗ САР

### Б.1 Програмне забезпечення керування

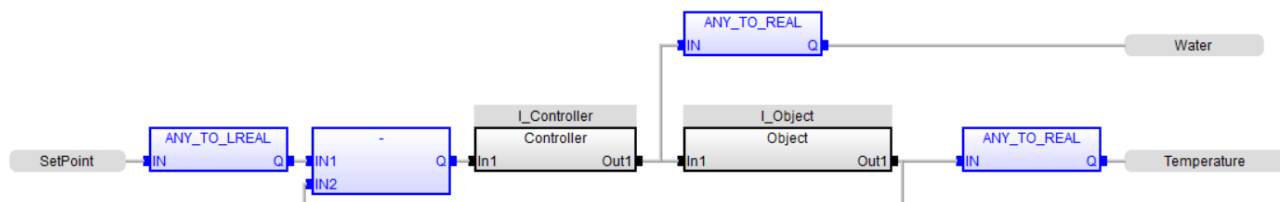
#### Б.1.1 Список програм

[FBD] Object

[ST] Controller

[ST] Main\_object

#### Б.1.2 Основна програма



#### Б.1.3 Контролер. Користувачський функціональний блок

```
(* Outputport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
FOR k := 0 TO 6098 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[6099] := LREAL#-0.007522681291371 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (LREAL#-0.993985704116269 * u_states);
```

#### Б.1.4 Контролер. Перелік змінних

```
VAR_INPUT
    In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
    u_states : LREAL ;
```

```

Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 6099] OF LREAL ;
k : DINT ;
i : DINT ;
END_VAR

```

### Б.1.5 Об'єкт керування. Користувацький функціональний блок

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
FOR k := 0 TO 6098 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[6099] := LREAL#-0.007522681291371 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (LREAL#-0.993985704116269 * u_states);

```

### Б.1.6 Об'єкт керування. Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
  u_states : LREAL ;
  Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 6099] OF LREAL ;
  k : DINT ;
  i : DINT ;
END_VAR

```

## ДОДАТОК В ПЗ НМІ

### В.1 Драйвера

St...	Identification	Description	File name
	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

### В.2 Перелік змінних

St...	Name	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Filter text	Filter ...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filt...	Filt...	Filt...	Filter text	Filter t...	Filter text	Filter text
	Temperature				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Water				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	SetPoint				0	0	0	0	0	S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive				0	0	0	0	0	Intern - Driver f...	BOOL	0	0

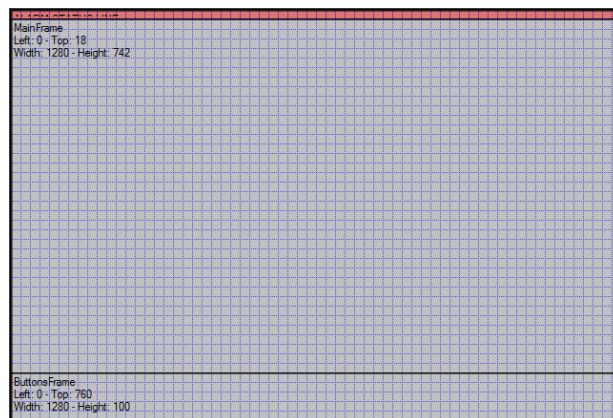
### В.3 Шаблони зображень

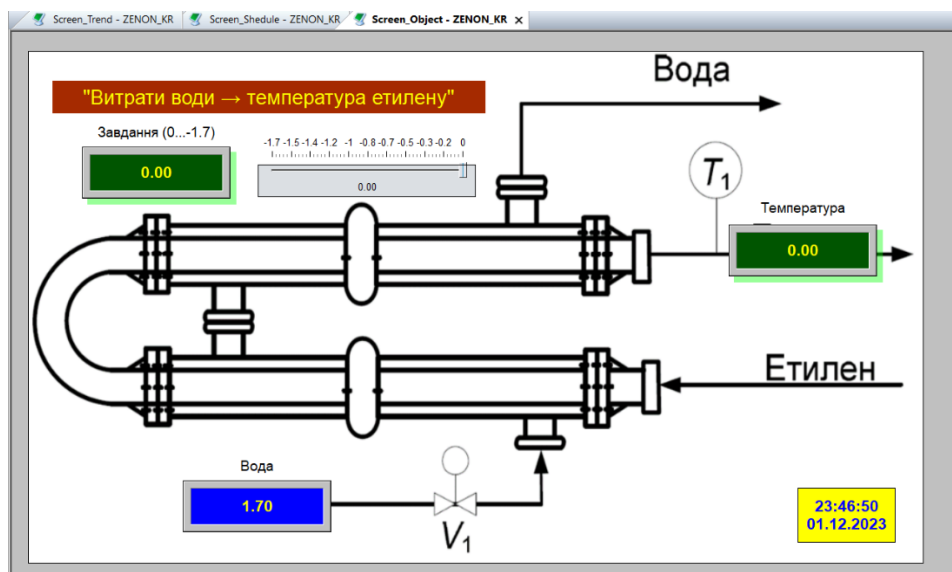
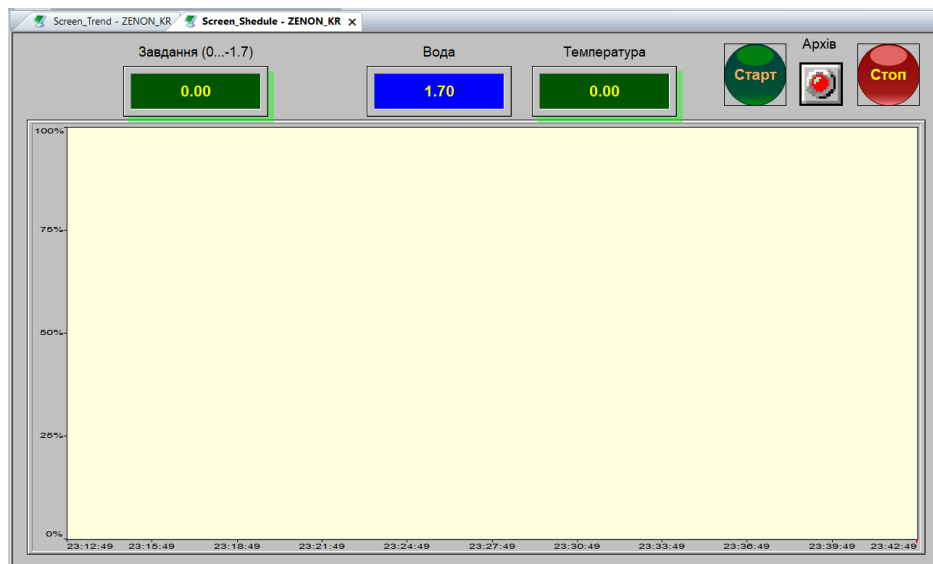
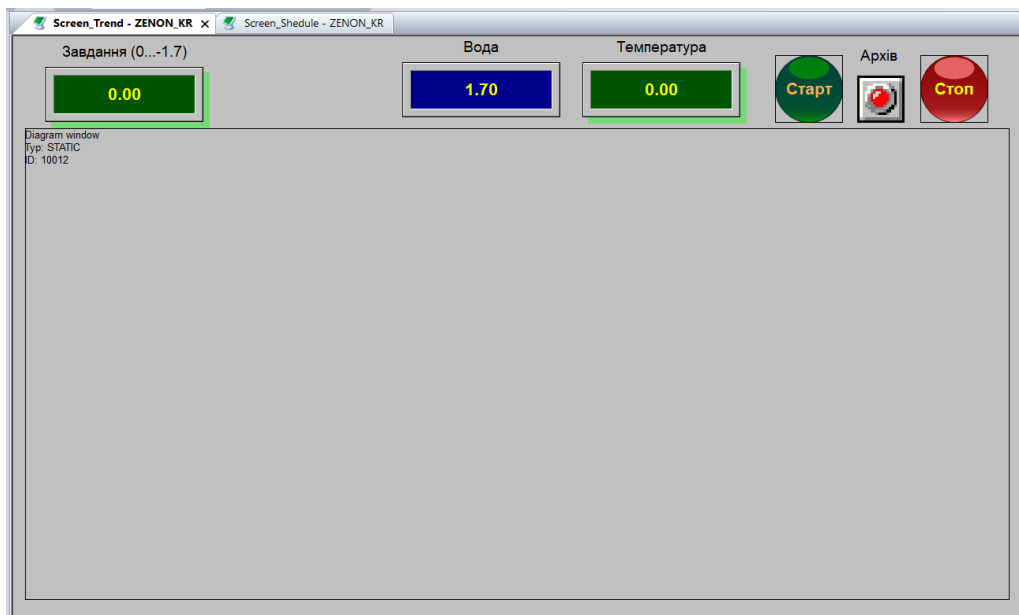
Sta...	Name	Screen type	Frame	Backgroun...	Start function	End function
	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Screen_Trend	Extended Tr...	MainFrame	<input type="checkbox"/> #C0C0	Function_Bu...	< no functi...
	Screen_Schedule	Standard	MainFrame	<input type="checkbox"/> #C0C0	Function_Bu...	< no functi...
	Screen_Object	Standard	MainFrame	<input type="checkbox"/> #C0C0	Function_Bu...	< no functi...
	Screen_Buttons	Standard	ButtonsFra...	<input type="checkbox"/> #C0C0	< no functi...	< no functi...

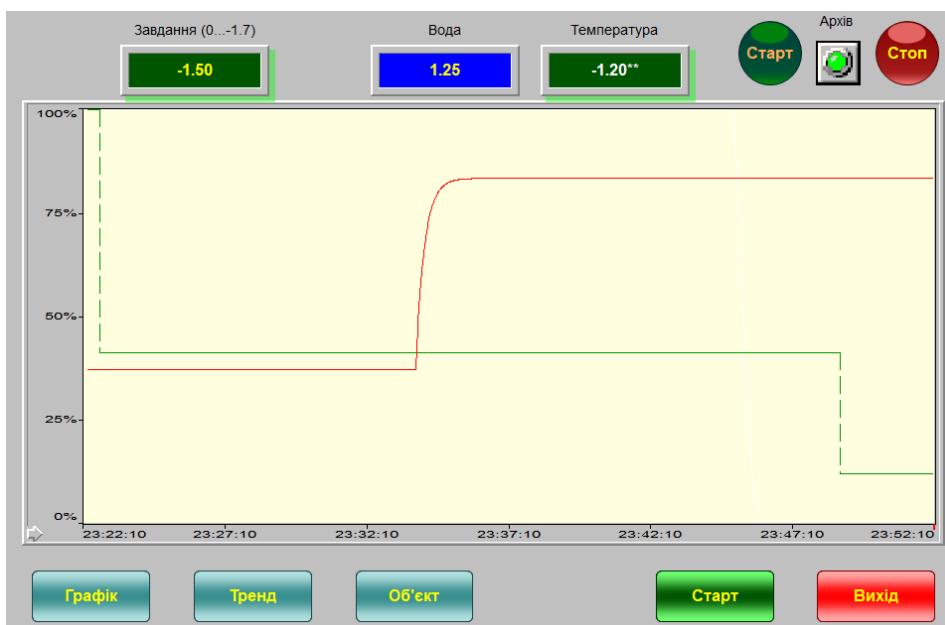
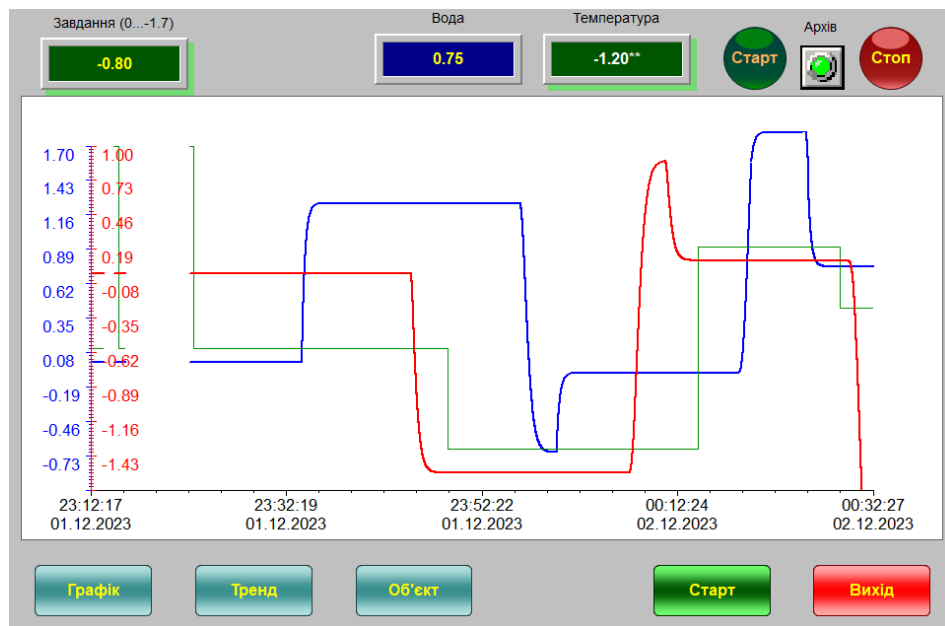
### В.4 Функції

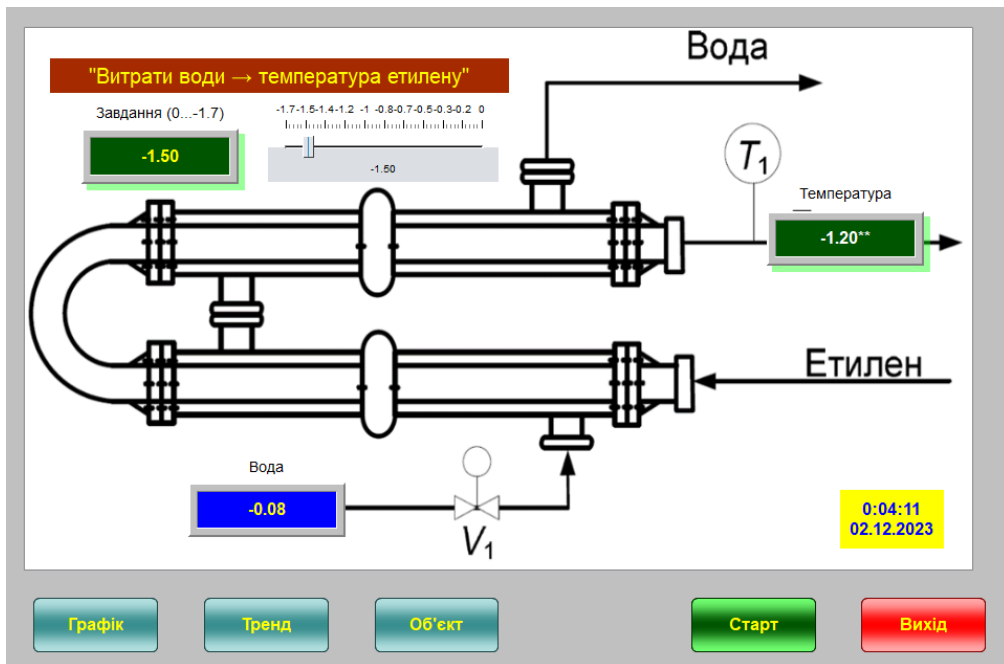
St...	Name	Type	Parameter
	Filter text	Filter text	Filter text
	Function_Button_Exit	Exit Runtime	
	Function_Button_Start	Reload project online	changed objects
	Function_Buttons_Screen	Screen switch	Screen_Buttons (Standard)
	Function_Button_Schedule	Screen switch	Screen_Shedule (Standard)
	Function_Button_Object	Screen switch	Screen_Object (Standard)
	Function_Button_Trend	Screen switch	Screen_Trend (Extended Trend) - TRE...
	Function_Archive_Start	Write set value	Archive - On (1)->
	Function_Archive_Stop	Write set value	Archive - Off (0)->
	Function_Button_ArchiveStart	Archive: Start	A0
	Function_Button_ArchiveStop	Archive: Stop	A0

## В.5 Зображення











## **ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри кіберфізичних  
та інформаційно-вимірювальних  
систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи магістра на тему “Створення та дослідження системи автоматичного керування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску”, здобувача вищої освіти, групи 151м-22-1, Сміщенко Антон Олександрович.

Загальний обсяг пояснювальної записки кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 86 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки пояснювальної записки кваліфікаційної роботи Unichesk. Рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи складає 26,4 %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам

«Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Керівник кваліфікаційної роботи,

доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ Трипутень М.М  
(підпис)

## РЕЗУЛЬТАТ ПЕРЕВІРКИ НА ЗАПОЗИЧЕННЯ



Ім'я користувача:  
Микола Трипутень

ID перевірки:  
1015971564

Дата перевірки:  
05.12.2023 11:51:58 EET

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
05.12.2023 12:08:28 EET

ID користувача:  
100008962

Назва документа: Сміщенко\_А\_О

Кількість сторінок: 86 Кількість слів: 11337 Кількість символів: 85278 Розмір файлу: 2.34 MB ID файлу: 1015650768

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

49%  
Схожість

Найбільша схожість: 26.4% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015650753)

30% Джерела з Інтернету

712

Сторінка 88

47.2% Джерела з Бібліотеки

171

Сторінка 93

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0%  
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

268

Підозріле форматування

20  
сторінок

Відповідальна особа,

доцент, к.т.н

\_\_\_\_\_

(підпис)

Бойко О.О.