

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Шосткинський інститут**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра системотехніки та інформаційних технологій**  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Георгій Худолей  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**  
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,  
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійної / освітньо-наукової) ( (назва програми)  
та робототехніка»

на тему: Система управління технологічним процесом виробництва дихлоретану з  
хлору та етилену

Здобувача (ки) групи СУз-01 Львов Максим Андрійович  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник \_\_\_\_\_ викладач, к.т.н. \_\_\_\_\_ Андрусенко О.О. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

**Шостка – 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри системотехніки та  
інформаційних технологій

\_\_\_\_\_ Г. М. Худолей

« 16 » квітня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на бакалаврську роботу

студент Львов Максим Андрійович

1. Тема проекту Система управління технологічним процесом виробництва  
дихлоретану з хлору та етилену

Затверджено наказом директора інституту  
№ 24-ОД від « 15 » квітня 2024 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «17» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

\_\_ - завдання кафедри \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокування.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту  
та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1. Функціональна схема автоматизації.

7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	24.04.2024 - 29.04.2024
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокування. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	30.04.2024 - 06.05.2024
3	Виконання розрахункової частини.	07.05.2024- 11.05.2024
4	Технічне оформлення роботи. Задача роботи керівнику.	12.05.2024 - 15.06.2024

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ викладач, к.т.н. \_\_\_\_\_ Андрусенко О.О.  
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУз - 01ш \_\_\_\_\_ Львов М.А.  
Підпис Прізвище І.П.

## РЕФЕРАТ

Львов Максим Андрійович. Система управління технологічним процесом виробництва дихлоретана з хлору та етилену. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 56 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 32 рисунків, 4 таблиць; 1 креслення.

У даній роботі представлено процес розробки системи управління технологічним процесом виробництва дихлоретана з хлору та етилену. Автоматизація спрощує участь людини в технологічному процесі, забезпечуючи високу адаптивність системи до можливих збурень, які виникають під час експлуатації обладнання. Розроблена система керування дозволяє ефективно управляти великими та потужними агрегатами виробництва, зменшуючи необхідність ручної праці до мінімуму та зосереджуючи зусилля на точному налаштуванні та регулюванні автоматизованих пристроїв контролю.

Ключові слова: дихлоретан, технологічний процес, системи управління, програмовані мікропроцесорні контролери, алгоритми управління, регулювання параметрів.

## ABSTRACT

Lvov Maksym Andriyovych. Process control system for the production of dichloroethane from chlorine and ethylene. Bachelor's thesis. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor's thesis contains 56 sheets of explanatory note, including 32 figures, 4 tables; 1 drawing.

This work presents the process of developing a control system for the technological process of dichloroethane production from chlorine and ethylene. Automation simplifies human participation in the technological process, providing high adaptability of the system to possible disturbances that arise during equipment operation. The developed control system makes it possible to efficiently manage large and powerful production units, reducing the need for manual labor to a minimum and focusing efforts on fine-tuning and adjusting automated control devices.

Keywords: dichloroethane, technological process, control systems, programmable microprocessor controllers, control algorithms, parameter adjustment.

## ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень	3
Вступ	4
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	6
2 Аналіз параметрів технологічного процесу	9
3 Вибір каналів контролю та управління	10
4 Вибір засобів автоматизації	15
5 Розрахункова частина	33
6 Алгоритм роботи системи управління	50
7 Розробка АСУТП та структурної схеми	54
Висновок	60
Список використаних джерел	61

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце  
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом  
АЦП – аналого-цифровий перетворювач  
ВО – виконуючий орган  
ВМ – виконуючий механізм  
КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика  
МУ – мета управління  
ОУ – об'єкт управління  
П-регулятор – пропорційний регулятор  
ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор  
ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор  
ПЗ – програмне забезпечення  
ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом  
ПЛК – програмований логічний контролер  
ПК – персональний комп'ютер  
ППП – пристрій плавного пуску  
ПТК – програмно-технічний комплекс  
ПЧ – перетворювач частоти  
ПУ – пристрій управління  
РКІ – рідкокристалічний індикатор  
РО – робочий орган  
САПР – система автоматизованого проектування  
САР – система автоматичного регулювання  
САУ – система автоматичного управління  
ТО – термперетворювач опору  
ТП – технологічний процес  
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач  
ЦД – цифровий дисплей  
ЦП – центральний процесор  
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

## ВСТУП

Технологічні процеси хімічної промисловості характеризуються численними особливостями та вимогами. Це включає складність хімічних реакцій, великі швидкості протікання процесів, високі вимоги до якісних та кількісних показників речовин, а також чутливість кінцевого результату до змін технологічних параметрів.

Експлуатація устаткування в хімічній галузі повинна відбуватися відповідно до законів, правил та нормативів, зокрема, "Правил будівництва і безпечної експлуатації пічного обладнання", "Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж", "Правил технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж" та інших.

У теплогенеруючому обладнанні хімічної промисловості ключовими вимогами є висока продуктивність та безпека. Людина, обмежена природними факторами (втомлюваність, обмежена сприйнятливість до обробки великої кількості інформації, швидкість прийняття рішень), не може ефективно керувати технологічним процесом на безпечному, стабільно високому рівні якості. Тому в сучасній хімічній промисловості комплексна автоматизація є необхідною складовою, на яку приділяється велика увага.

Однією з ключових сполук, яка використовується у великій кількості промислових процесів, є дихлоретан. Дихлоретан (також відомий як етиленхлорид) виробляється шляхом реакції хлору з етиленом і використовується у виробництві пластмас, різних хімічних речовин та в якості розчинника.

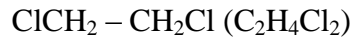
Ця дипломна робота присвячена розгляду технологічного процесу виробництва дихлоретану з хлору та етилену та розробці системи автоматизованого управління цим процесом. Для досягнення цієї мети роботи було проведено аналіз параметрів технологічного процесу, вибір каналів контролю та управління, а також вибір засобів автоматизації, що сприятиме покращенню якості та ефективності виробництва дихлоретану.

В роботі розглянуто переваги централізованого управління технологічним процесом за допомогою мікропроцесорного контролера Овен.

# 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

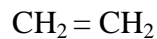
## 1.1 Відомості про речовину і її сировини

Дихлоретан є органічною сполукою, що містить хлор, безбарвний та видає солодкуватий аромат. Його хімічна формула



Ця речовина відома своєю сильною наркотичною дією та потенційною канцерогенністю для людини. Вперше дихлоретан був синтезований у 1795 році голландськими науковцями. Він широко використовується у промисловості, зокрема як проміжний продукт в органічному синтезі, найчастіше для виробництва вінілхлориду, а також служить розчинником [1].

Етилен — це безбарвний газ з легким солодкуватим ароматом. Він класифікується як високотоксична і отруйна речовина, належить до 4-го класу небезпеки. Хімічна формула етилену:



Його фізико-хімічні характеристики включають молекулярну масу 28 моль, щільність 1.261 кг/м<sup>3</sup>, розчинність у воді при нормальних умовах становить 0.281 г/дм<sup>3</sup>. Температура кипіння етилену — мінус 103.71°C, а температура плавлення — мінус 169.5°C. Гранично допустима концентрація в повітрі становить 100 мг/см<sup>3</sup>. При перевищенні цього порога етилен може спричинити наркотичний вплив, головний біль, запаморочення, ускладнення дихання та втрату свідомості. Етилен є легкозаймистим газом, що може вибухнути при підвищеному тиску, високій температурі або внаслідок контакту з відкритим вогнем і киснем. Його концентраційні межі займання в повітрі варіюються від приблизно 3.11% до 32% об'ємних [2].

Хлор — це негорючий, токсичний газ з різким запахом та жовто-зеленим кольором. Він важчий за повітря у 2.5 рази. Основні фізико-хімічні властивості хлору включають молекулярну масу 35 моль та щільність 3.214 кг/см<sup>3</sup>. Його розчинність у воді при нормальних умовах складає 7.4 г/дм<sup>3</sup>. Температура кипіння хлору становить мінус 34.05°C, а температура плавлення — мінус 101.6°C. Хлор може викликати подразнення дихальних шляхів і слизових оболонок, а також набряк легень. При контакті з шкірою він може спричинити хімічні опіки. Хлор віднесено до 2 класу небезпеки, що означає його високу



небезпеку. Також при взаємодії з воднем хлор утворює вибухонебезпечні суміші. Гранично допустима концентрація хлору в повітрі становить 1 мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1 – Характеристики сировин

Сировина	Показники для обов'язкової перевірки	Регламентовані показники, допустимі відхилення
Етилен (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Об'ємна частка етилену, %	Не менше 99.9
	Об'ємна частка пропілену, %	Не більше 0.005
	Об'ємна частка метану та етану в сумі, %	Не більше 0.1
	Об'ємна частка ацетилену, %	Не більше 0.1
Хлор (Cl <sub>2</sub> )	Об'ємна частка хлора, %	Не менше 97.6
	Об'ємна частка води, %	Не більше 0.01
	Об'ємна частка кисню, %	Не більше 2.0

Дихлоретан — це безбарвна летюча рідина із специфічним запахом, схожим на хлороформ. Ця речовина має температуру кипіння 83.7°C та температуру плавлення мінус 35.3°C, а її температура випаровування становить 77.3 ккал/кг. Щільність дихлоретану при 20°C є 1.253 г/см<sup>3</sup>. Він утворює з водою азеотропну суміш, яка кипить при 72°C і містить 80.5% дихлоретану. Дихлоретан погано загоряється, а колір його горіння має зеленуватий відтінок; при горінні вивільняється хлористий водень, але полум'я легко може бути загашено водою. Пари дихлоретану з повітрям можуть утворювати вибухонебезпечні суміші. Дихлоретан змішується з усіма спиртами, бензолом, ацетоном та іншими органічними сполуками. Його застосовують як розчинник через здатність добре розчиняти маслянисті речовини, жири, смоли, віск, каучук та алкалоїди, а також деякі неорганічні речовини, такі як сірка, жовтий фосфор і йод. Окрім того, при температурі нижче 25°C тверді вуглеводні розчиняються в дихлоретані погано, що використовується для депарафінізації мастил[1].

Дихлоретан — отруйна речовина з наркотичними властивостями та канцерогенним впливом на організм, тому робота з ним вимагає особливої уваги до дотримання техніки безпеки. Вдихання парів дихлоретану може спричинити головний біль, подразнення

дихальних шляхів, помутніння рогової очей, кашель і навіть смерть. Типові симптоми, які з'являються через 1-2 години після вдихання, включають біль у животі, зниження активності та слабкість, які можуть супроводжуватись сонливістю. Через 6-12 годин можуть зникнути деякі симптоми, але може з'явитися жовтяниця, зниження сечовиділення, повторні втрати свідомості, погіршення дихання, зупинка серця, судоми та смерть. Клінічні прояви інтоксикації залежать від шляху отруєння: найменш токсичний вплив спостерігається при потрапленні через шкіру, тоді як найбільш важкі отруєння виникають при оральному вживанні. Дихлоретан швидко всмоктується в кров, нерівномірно розподіляючись і накопичуючись у жировій тканині, з максимальною концентрацією в крові, яка досягається через 1-3 години після отруєння. Допустима концентрація парів дихлоретану у повітрі виробничих приміщень становить 10 мг/м<sup>3</sup>, а максимальна концентрація у атмосферному повітрі — 3 мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 2 – Характеристики виробляємої речовини

Сировина	Показники обов'язкові для перевірки	Регламентовані показники, допустимі відхилення
Дихлоретан – ректифікат (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> )	Масова частка дихлоретану, %	Не менше 99.1
	Масова частка води, %	Не більше 0.0015
	Масова частка хлора, %	Не більше 0.0002
	Масова частка заліза, %	Не більше 0.0007
	Масова частка суми легкокипячих, %	Не більше 0.5
	Масова частка суми висококипячих, %	Не більше 0.4

## 1.2 Опис технологічного процесу

У хлоратор, заповнений дихлоретаном, подають висушені етилен (надмір 5-10% відносно хлору) і хлор, розбавлений повітрям на 8-10%. Температура підтримується в межах 20-30°C холодною водою, що циркулює в змійовику. Парогазова суміш охолоджується в колонному конденсаторі змішувачі і холодильнику, в результаті чого дихлоретан конденсується, а гази промиваються водою в скрубєрі і викидаються в

атмосферу. Дихлоретан в нейтралізаторі промивається розчином лугу і подається на ректифікацію.

Дихлоретан є вихідною сировиною для добування гліколю, етилендіаміну та багатьох інших цінних продуктів.

Гідрохлорування етилену здійснюють при 15°C при наявності каталізатора – безводного хлориду алюмінію. Утворений етилхлорид використовують для виробництва антидетонатора тетраетилсвинцю., діючи ним на сплав свинцю з натрієм, а також для виробництва етилцелюлози.

### **1.3 Реактор (хлоратор) прямого хлорування етилену.**

Реактор відноситься до технології отримання хлорвуглеводородов хлоруванням олефінів, конкретно до пристрою для отримання 1,2-дихлоретану, використововуваного в якості розчинника і як продукт в промисловому синтезі. Реактор прямого хлорування етилену містить циліндричний корпус, патрубки введення вихідних етилену і хлору, конденсату дихлоретану і виведення продуктів реакції у вигляді парів разом з абгазами. Реактор забезпечений секціонуючими ґратами, що розбивають його корпус по висоті на окремі секції, і внутрішньої циркуляційної трубою. Верхня частина циркуляційної труби перфорована, і перфорація виконана у вигляді прямокутних вікон, розташованих по колу циркуляційної труби біля основи секціонуючих решіток або біля основи секціонуючої решітки принаймні однієї верхньої секції. Дана конструкція реактора дозволить підвищити технологічність процесу хлорування і інтенсифікувати його, так як забезпечується безпека процесу і збільшується швидкість хлорування етилену.

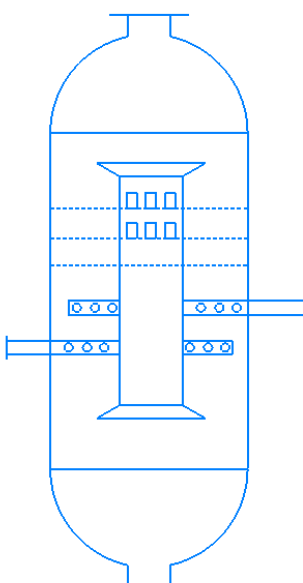


Рисунок 1 – схема хлоратора

Реактор прямого хлорування етилену, що містить циліндричний корпус, патрубки введення вихідних етилену і хлору, конденсату дихлоретану і виведення продуктів реакції у вигляді парів разом з абгазами, з секціонуєчими ґратами, розбиваєчими реактор по висоті на окремі секції і внутрішньої циркуляційною трубою, відрізняється тим, що верхня частина циркуляційної труби перфорована і перфорація виконана у вигляді прямокутних вікон, розташованих по колу циркуляційної труби біля основи секціонуєчих решіток або біля основи секціонуєчої решітки принаймні однієї верхньої секції.

## 2. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Проаналізувавши технологічний процес, його структурну схему, визначимо основні параметри та їх номінальні значення [2].

З метою зручності представлення інформації представимо її у вигляді таблиці.

Таблиця 1. Основні параметри технологічного процесу отримання дихлоретану

Місце встановлення	Назва параметру	Значення		Відхилення	Функція
		min	max		
Хлоратор	Температура	20 °С	30 °С	5%	контроль, управління, сигналізація
Хлоратор	Витрати етилену	100 м <sup>3</sup> /год	110 м <sup>3</sup> /год	5%	контроль, управління
Хлоратор	Витрати хлору	90 м <sup>3</sup> /год	100 м <sup>3</sup> /год	5%	контроль, управління
Збирач дихлоретану-сірцю	Рівень	1,65 м	1,85 м	5%	контроль, управління, сигналізація
Холодильник	Температура	20 °С	30 °С	5%	контроль, управління, сигналізація
Промивний скруббер	Рівень	1,65 м	1,85 м	5%	контроль, управління, сигналізація
Нейтралізатор	Рівень	1,65 м	1,85 м	5%	контроль, сигналізація
Збирач нейтралізованого дихлоретану	Рівень	1,65 м	1,85 м	5%	контроль, управління
Збирач луку	Рівень	1,65 м	1,85 м	5%	контроль, управління,

					сигналізація
Збирач лугу	Витрати лугу	0,9 м <sup>3</sup> /год	1 м <sup>3</sup> /год	5%	контроль, управління

### 3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

В попередніх пунктах ми ретельно проаналізували технологічний процес отримання дихлоретану і склали таблицю з основними параметрами його перебігу.

На основі отриманої інформації розробимо канали контролю та управління.

#### 3.1 Канали контролю та управління

##### 3.1.1 Температура у хлораторі

З метою підтримки якості хлорування етилену, необхідно контролювати, сигналізувати та регулювати температуру в хлораторі. Для цього в ньому встановлено датчик температури.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі охолодженої води.

Контур регулювання температури зображено на рисунку нижче:

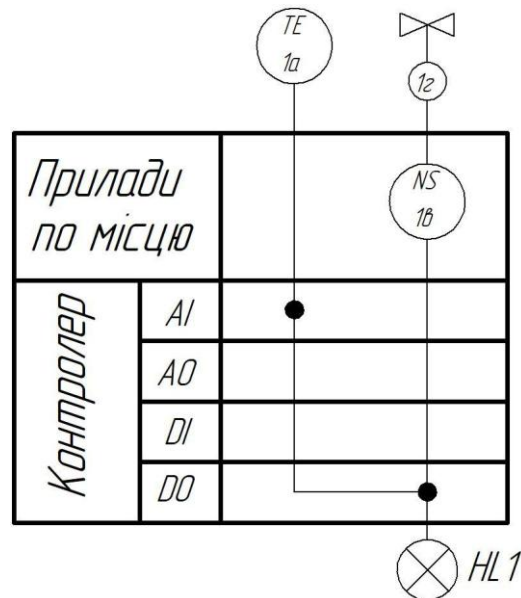


Рисунок 3 – Схема регулювання температури в хлораторі

##### 3.1.2 Витрати етилену в хлоратор

З метою підтримки процесу хлорування, необхідно контролювати та регулювати витрати етилену. Для цього на трубопроводі подачі етилену встановлено датчик витрат.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі етилену.

Контур регулювання витрат зображено на рисунку нижче:

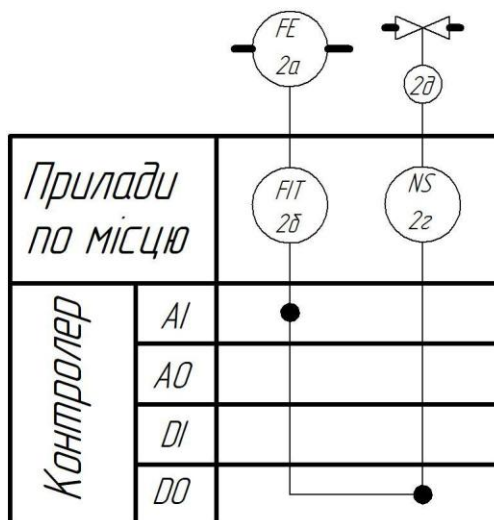


Рисунок 4 – Схема регулювання витрат етилену

### 3.1.3 Витрати хлору в хлоратор

З метою підтримки процесу хлорування, необхідно контролювати та регулювати витрати хлору. Для цього на трубопроводі подачі хлору встановлено датчик витрат.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі хлору.

Контур регулювання витрат зображено на рисунку нижче:

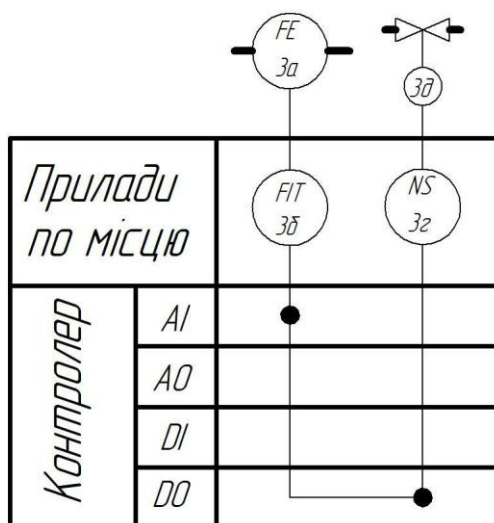


Рисунок 5 – Схема регулювання витрат хлору

### 3.1.4 Рівень в збирачі дихлоретану-сірцю

З метою підтримки якісного процесу збирання, необхідно контролювати, сигналізувати та регулювати рівень в збирачі дихлоретану-сірцю. Для цього в ньому встановлено датчик рівня.





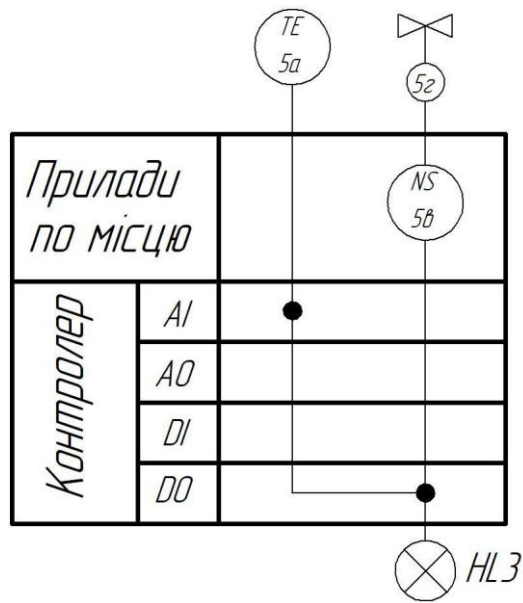


Рисунок 7 – Схема регулювання температури в холодильнику

### 3.1.6 Рівень в промивному скрубєрі

З метою підтримки процесу очистки газів в скрубєрі, необхідно контролювати, сигналізувати та регулювати рівень в ньому. Для цього в скрубєрі встановлено датчик рівня.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану, який впливає на подачу води в скрубєр.

Контур регулювання рівня зображено на рисунку нижче:

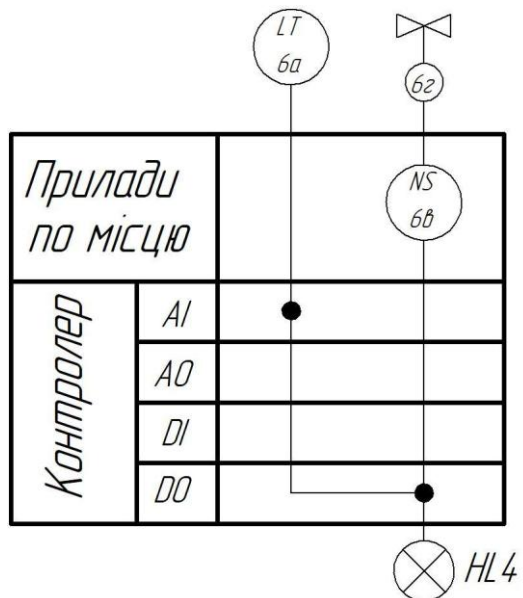


Рисунок 8 – Схема регулювання рівня в скрубєрі

### 3.1.7 Рівень в нейтралізаторі

З метою підтримки процесу нейтралізації дихлоретану-сирцю, необхідно контролювати та сигналізувати рівень в нейтралізаторі. Для цього в ньому встановлено датчик рівня.

Контур контролю рівня зображено на рисунку нижче:

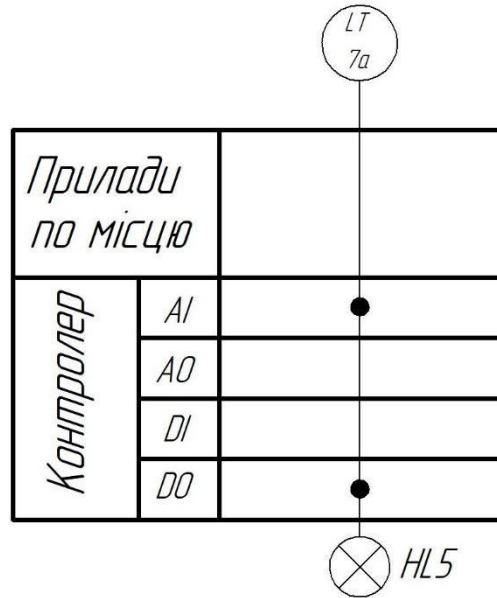


Рисунок 9 – Схема контролю рівня в нейтралізаторі

### 3.1.8 Рівень в збирачі нейтралізованого дихлоретану

З метою підтримки якісного процесу збирання, необхідно контролювати та регулювати рівень в збирачі нейтралізованого дихлоретану. Для цього в ньому встановлено датчик рівня.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі дихлоретану.

Контур регулювання рівня зображено на рисунку нижче:

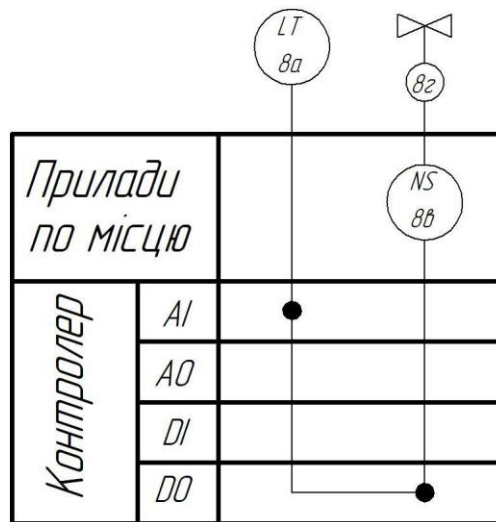


Рисунок 10 – Схема регулювання рівня в збирачі дихлоретану-сірцю

### 3.1.9 Рівень в збирачі лугу

З метою підтримки якісного процесу збирання, необхідно контролювати, сигналізувати та регулювати рівень в збирачі лугу. Для цього в ньому встановлено датчик рівня.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі лугу.

Контур регулювання рівня зображено на рисунку нижче:

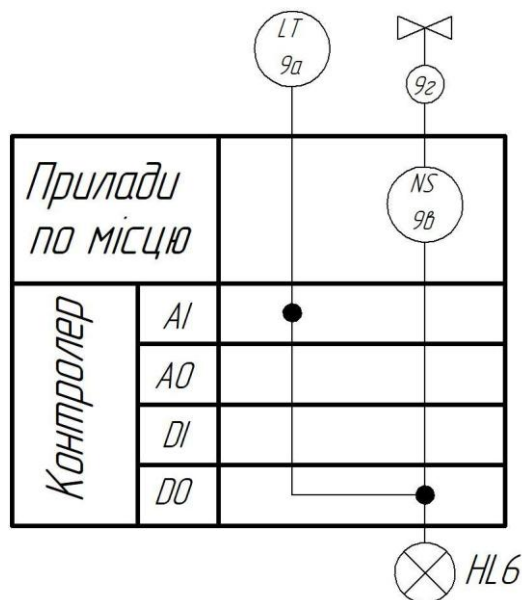


Рисунок 11 – Схема регулювання рівня в збирачі лугу

### 3.1.10 Витрати лугу в збирач лугу

З метою підтримки якісного процесу збирання, необхідно контролювати та регулювати витрати лугу. Для цього на трубопроводі встановлено датчик витрат.

Регулювання відбувається за рахунок відкриття/закриття клапану подачі лугу.

Контур регулювання витрат зображено на рисунку нижче:

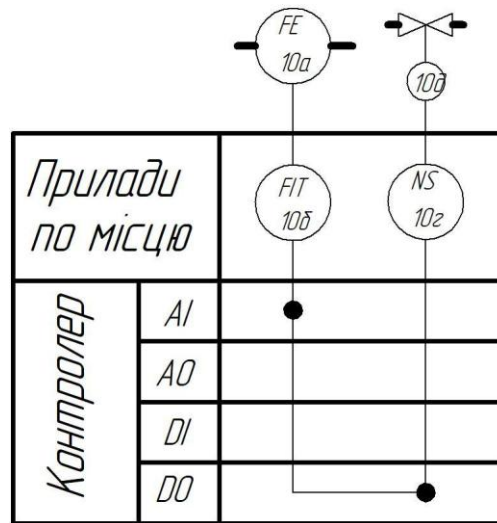


Рисунок 12 – Схема регулювання витрат лугу

### 3.1.11 Керування насосом 1

З метою оптимізації наявної системи, організовано керування насосом 1. Передбачено дистанційне керування та керування за місцем встановлення насоса 1.

Схему керування насосом 1 зображено на рисунку нижче:

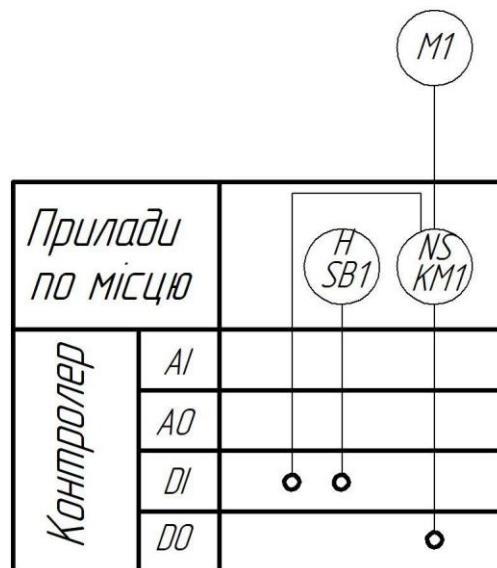


Рисунок 13 – Схема керування насосом 1

### 3.1.12 Керування насосом 2

З метою оптимізації наявної системи, організовано керування насосом 2. Передбачено дистанційне керування та керування за місцем встановлення насоса 2.

Схему керування насосом 2 зображено на рисунку нижче:

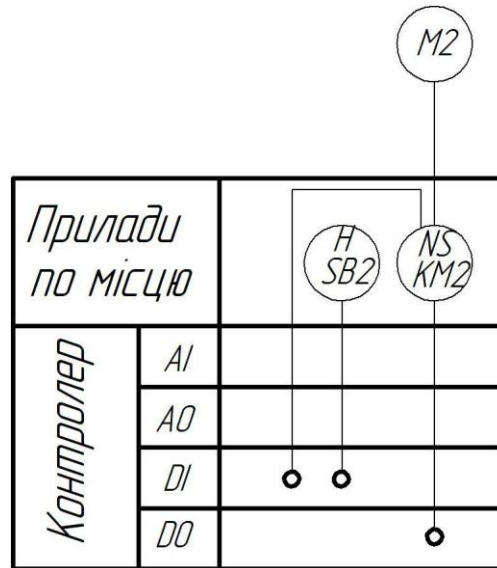


Рисунок 14 – Схема керування насосом 2

### 3.1.13 Керування насосом 3

З метою оптимізації наявної системи, організовано керування насосом 3. Передбачено дистанційне керування та керування за місцем встановлення насоса 3.

Схему керування насосом 3 зображено на рисунку нижче:

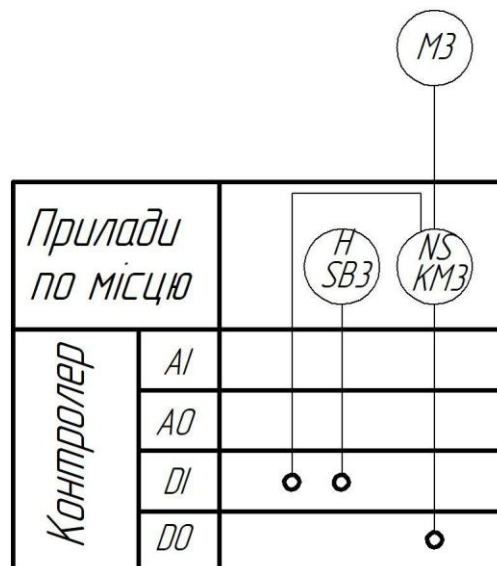


Рисунок 15 – Схема керування насосом 3

### 3.1.14 Керування мішалкою нейтралізатора

З метою оптимізації наявної системи, організовано керування мішалкою. Передбачено дистанційне керування та керування за місцем встановлення мішалки.

Схему керування мішалкою зображено на рисунку нижче:

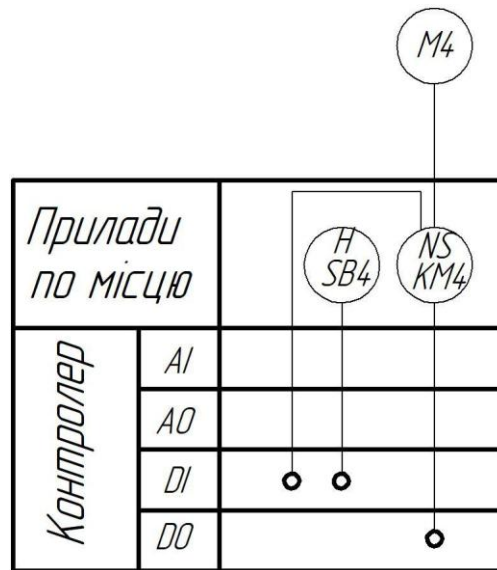


Рисунок 16 – Схема керування мішалкою

### 3.2 Функціональна схема та замовна специфікація технічних засобів автоматизації

Взявши до уваги структурну схему і опис технологічного процесу отримання дихлоретану, параметрів цього технологічного процесу, розроблених контурів управління, ми розробили функціональну схему системи управління процесу отримання дихлоретану (Додаток 1).

Додатково розроблено замовну специфікацію технічних засобів автоматизації процесу отримання дихлоретану [6].

## 4. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

З метою автоматизації процесу отримання дихлоретану застосовуватимемо централізовану систему управління. Всі прилади отримання, фіксації, реєстрації інформації, технічні засоби автоматизації, прилади управління, сигналізації, захисту та блокування обиратимемо виходячи з використання саме централізованої системи управління.

Оскільки процес отримання дихлоретану відноситься до хімічної промисловості, основними критеріями відбору є точність, швидкодія, надійність, стійкість до агресивних середовищ, уніфікованість.

Також врахуємо вимоги до мінімізації. Тобто мінімальна кількість технічних засобів автоматизації має забезпечувати номінальний безаварійний режим роботи всього обладнання.

### 4.1 Вибір датчиків

З визначених основних параметрів технологічного процесу та побудованих контурів регулювання, констатуємо факт, що нам знадобляться датчики тиску, температури та рівня.

#### 4.1.1 Вибір датчиків витрат

Вихровий витратомір Rosemount 8800DF040



Рисунок 16 – Зовнішній вигляд датчика витрат Rosemount 8800DF040

Точність витратоміра

- $\pm 0,65\%$  від витрати для рідин
- $\pm 1\%$  від витрати для газу та пари

Вихід



- 4-20 мА с HART®
- 4-20 мА з HART® і масштабованим імпульсним виходом
- FOUNDATION™ Fieldbus з 2 блоками аналогового введення, 1 функціональним блоком активного планувальника резервних каналів зв'язку та 1 функціональним блоком інтегратора (1 функціональний блок ПІД-регулятора опціонально)

Матеріал корпусу

Неіржавка сталь — 316/316L і CF3M

Нікелевий сплав C22 і CW2M

Робочі температури

От -330 ° F до 800 ° F (от -200 ° C до 427 ° C)

Ціна: 192000 грн.

Ультразвуковий витратомір газу GE DigitalFlow XGM868i



Рисунок 17 – Зовнішній вигляд датчика витрат GE DigitalFlow XGM868i  
Компактне виконання

Всі електронні елементи перетворювача XGM868i розміщені в його компактному корпусі, який може бути встановлений безпосередньо на трубопровідній лінії або газоході в точці контролю, значно спрощуючи підключення ультразвукових перетворювачів і підвищуючи надійність системи вимірювання витрати в цілому.

Кореляційна час-імпульсна технологія

XGM868 засновані на використанні кореляційної час-імпульсної технології вимірювання витрати Correlation Transit-Time™ фірми Panametrics. Прилад вимірює час

пригоди акустичного сигналу між двома ультразвуковими перетворювачами, а потім розраховує величину витрати вимірюваного середовища.

#### Дистанційне або локальне програмування XGM868i

Виміряні значення витрати можуть бути відображені за місцем контролю на додатково вбудованому в XGM868 дисплеї або передані в віддалену систему, використовуючи порт RS232 або RS485. Доступ до розширених функцій програмування XGM868 здійснюється через порт RS485.

#### Двоканальна модель

Додатково до стандартної одноканальної моделі XGM868i, двоканальна модель забезпечує збільшення точності в разі застосування двухлучевого способу вимірювання витрати на одній трубі. Двоканальна модель може також використовуватися для вимірювання витрати в двох різних трубах. Для кожного з каналів вимірювання витрати використовується незалежна пара ультразвукових перетворювачів фірми Panametrics, які при установці в трубопровід не створюють перешкод руху потоку.

#### Зниження експлуатаційних витрат

Вимірювальні перетворювачі витрати газу XGM868i не створюють перешкод руху потоку середовища і, відповідно, втрат тиску, що знижує необхідність їх регулярного обслуговування на відміну від інших витратомірів, що вимагають значних витрат на технічне обслуговування.

#### Експлуатація в широкому діапазоні змін витрати і тиску газу

На відміну від традиційних витратомірів, перетворювач XGM868i може бути використаний для вимірювання витрати будь-яких газів при тиску до 22 МПа. Динамічний діапазон XGM868i дорівнює 1500: 1.

#### Відсутність необхідності в регулярному технічному обслуговуванні

XGM868i представляє подальший розвиток серії сучасних ультразвукових витратомірів газу фірми GE Panametrics. Ультразвукові перетворювачі XGM868i не призводять до втрат тиску, не мають рухомих частин або деталей, де можуть накопичуватися забруднення. Прилад не вимагає регулярного технічного обслуговування і забезпечує надійні, вільні від дрейфу вимірювання витрати.

#### Межі вимірювання і похибка

#### Діапазон вимірювання швидкості (реверсивний потік)

від -46 до -0,03 м/с

від 0,03 до 46 м/с

Відносна похибка вимірювання швидкості  $\pm 1\%$  при швидкості потоку в межах від  $\pm 0,9$  до  $\pm 46$  м / с

Примітка: Похибка залежить від розмірів труби і використання 1 або 2-х ходового способу вимірювання

динамічний діапазон 1500 : 1

Відтворюваність Від  $\pm 0,2$  до  $\pm 0,5\%$  при швидкості потоку від 0,3 до 46 м / с

Примітка: Характеристики справедливі для потоку з повністю розвиненим профілем і залежать від установки перетворювачів. При цьому може бути необхідна наявність прямих ділянок труби довжиною 20D і 10D, відповідно, до місця установки і після нього

Живлення

Напруга, частота

Стандартне: від 200 до 240 В  $\pm 10\%$ , 50/60 Гц

Додатково: від 12 до 28 В  $\pm 5\%$  постійного струму

Споживана потужність 20 Вт максимум

Ціна 56 000 грн

За оптимальними показниками співвідношення ціна-характеристики, обираємо ультразвуковий витратомір GE DigitalFlow XGM868i

#### **4.1.2 Вибір датчиків температури**

На сьогоднішній день існує велике різномаяття датчиків температури. В промисловості широкого застосування набули термоперетворювачі, пірометричні термометри.

Враховуючи специфіку технологічного процесу виготовлення дихлоретану, обиратимемо між термоперетворювачів, які матимуть захисні характеристики від умов технологічного процесу.

#### **Термоперетворювач ТХК-2788**

Даний датчик температури призначений для вимірювання температур твердих тіл, рідких та газоподібних середовищ.

Технічні характеристики ТХК-2788:

Матеріали, що використовуються, хромель-капель.

Діапазон вимірювання температури  $-40 \div +200$  °С.

Показник теплової інерції – не більше 8 с.

Тиск вимірюваного середовища  $0 \div 0,6$  МПа.

Похибка не більше 0,5% на кожні 10 °С.

Зовнішній вигляд термоперетворювача термоелектричного ТХК-2788 зображено на рисунку 14 нижче:



Рисунок 18 – Зовнішній вигляд датчика температури ТХК-2788

### **Термоперетворювач ТСМ101**

Датчики температури цієї групи здатні безперервно вимірювати температуру середовищ будь-якого агрегатного стану: рідина, газ, тверді тіла тощо.

Технічні характеристики ТСМ101:

Чутливий елемент 100М.

Діапазон вимірювання температури  $-40 \div +180$  °С.

Показник теплової інерції – не більше 15 с.

Тиск вимірюваного середовища не більше 10 МПа.

Межа основної абсолютної похибки, °С –  $[0,15+0,002(t)]$ .

Зовнішній вигляд термоперетворювача TCM101 зображено на рисунку 15 нижче:

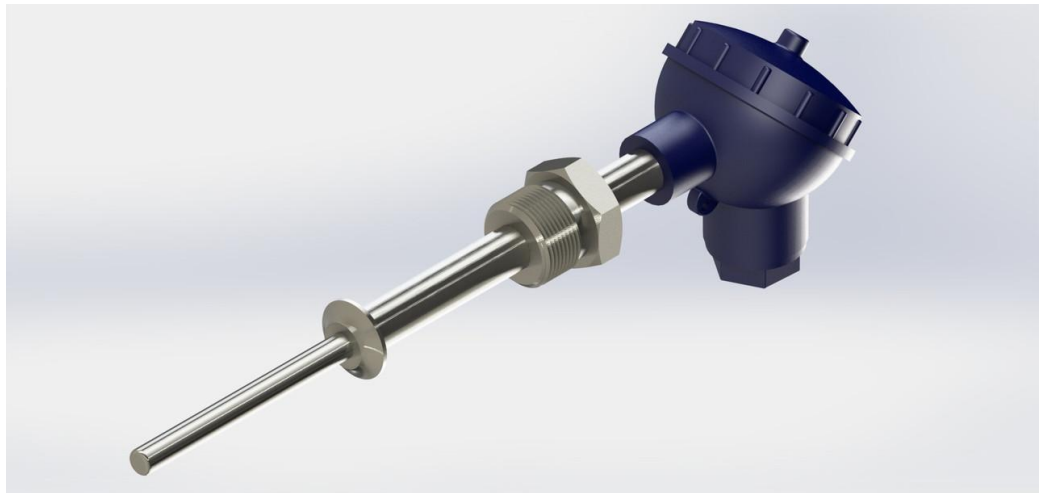


Рисунок 19 – Зовнішній вигляд датчика температури TCM101

Як ми бачимо, ТХК-2788 та TCM101 мають схожі характеристики, надійні, точні. Проте останній коштує майже в два рази менше.

Враховуючи економічну складову проектування, оберемо в якості датчика температури термоперетворювач TCM101.

#### 4.1.3. Вибір датчиків рівня

Перед тим, як перейти до вибору датчика рівня, коротко наведемо класифікацію, які взагалі бувають датчики вимірювання рівня в залежності від принципу роботи:

- буйкові
- гідростатичні
- електромагнітні
- ємнісні
- звукові
- поплавкові

#### Датчик рівня Liquicap FMI51

Цей датчик відноситься до первинних перетворювачів ємнісного типу дії. Виготовлений в першу чергу для безперервного вимірювання рівня різноманітних рідин.

Технічні характеристики **Liquicap FMI51**:

- Діапазон вимірювання від 0,1 ÷ 4,0 м.
- Температура вимірюваного середовища -80 ÷ +200 °С.
- Похибка повторюваність 0,1%

- Вихідні сигнали: струмовий 4 ÷ 20 мА.
- Робочий тиск 0 ÷ 1 МПа.

Зовнішній вигляд рівнеміра **Liquicap FMI51** зображено на рисунку 16 нижче:



Рисунок 20 – Зовнішній вигляд рівнеміра **Liquicap FMI51**

#### **Датчик рівня Овен ПДУ-И**

Це поплавковий рівнемір рідких середовищ. Однаково якісно працює як в звичайних резервуарах, так і в таких, що знаходяться під тиском.

Датчик відноситься до категорії первинних перетворювачів. Стійкий до агресивних середовищ. Має захищене виконання.

Технічні характеристики **ОВЕН ПДУ-И**:

- Діапазон вимірювання від 0,25 ÷ 4,0 м.
- Температура вимірюваного середовища -60 ÷ +125 °С.
- Похибка повторюваність 0,2%
- Вихідні сигнали: струмовий 4 ÷ 20 мА.
- Робочий тиск 0 ÷ 2 МПа.
- Живлення 12 ÷ 36 В постійного струму.

Зовнішній вигляд рівнеміра **ОВЕН ПДУ-И** зображено на рисунку 17 нижче:



Рисунок 21 – Зовнішній вигляд рівнеміра **ОВЕН ПДУ-И**

Порівнюючи два вищевказані датчики рівня (**Liquicap FM151 та ОВЕН ПДУ-И**) бачимо, що вони мають дуже схожі сфери використання та характеристики. Проте економічна складова (вітчизняне виробництво, ціна) все ж таки на боці датчика рівня **ОВЕН ПДУ-И**.

Тому для вимірювання рівня оберемо датчик рівня **ОВЕН ПДУ-И**.

#### **4.2 Вибір регулюючих органів та виконавчих механізмів**

Виконавчий механізм рухає регулюючий орган, змінює його положення та/або стан. В свою чергу, зміна положення регулюючого органу змінює стан об'єкта управління, а отже і значення відповідної фізичної величини.

Для нашої системи автоматичного регулювання процесу виготовлення дихлоретану ми оберемо такі регулюючі органи та виконавчі механізми, які конструктивно знаходяться в різних корпусах.

Мова йде про сідельний клапан H6200W630-S7 з електроприводом Belimo GV12-230-3-T.

Технічні характеристики Belimo GV12-230-3-T:

- Температура вимірюваного середовища  $-10 \div +120$  °С.
- Керування трьохточкове.
- Допустимий перепад тисків 400 кПа.
- Живлення 240 В змінного струму.

Зовнішній вигляд електроприводу Belimo GV12-230-3-T зображено на рисунку 18 нижче:

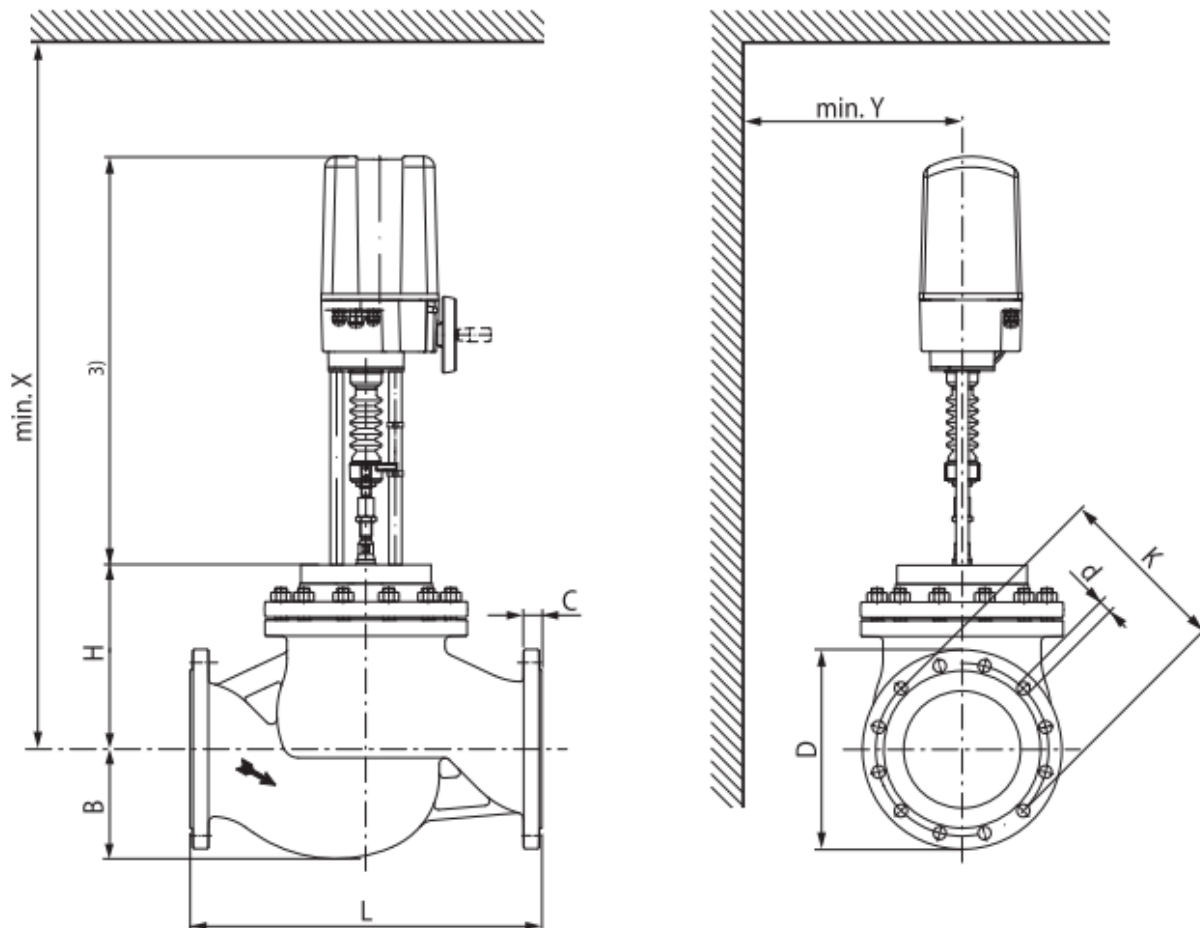


Рисунок 22 – Зовнішній вигляд сідельного клапану H6200W630-S7 з електроприводом Belimo GV12-230-3-T

#### 4.3 Вибір контролера

Після детального вивчення процесу виготовлення дихлоретану, переконуємося в тому, що він має кілька складних відповідальних ділянок. Тут важливі такі фактори як точність, безпомилковість, надійність, безвідмовність роботи.

Не слід також забувати й про можливість масштабування або модернізацію системи управління.

Беручи до уваги всі вище зазначені вимоги, оберемо в якості регулюючого пристрою програмований логічний контролер (ПЛК).

Компанія ОВЕН – один з найбільших вітчизняних виробників засобів автоматизації для виробництва та промисловості. Тому обиратимемо серед ПЛК цієї компанії [7].

Спираючись на функціональну схему автоматизації та специфікацію технічних засобів автоматизації, висунемо вимоги до входів/виходів ПЛК:



Таблиця 2 - Вимоги до входів/виходів контролера.

Види сигналів	Кількість сигналів
Вхідні аналогові сигнали	10
Вхідні дискретні сигнали	8
Вихідні аналогові сигнали	0
Вихідні дискретні сигнали	28

#### 4.3.1 Контролер для малих та середніх систем автоматизації Овен ПЛК200-01-CS

Овен ПЛК200-01-CS – програмований логічний контролер, для малих та середніх систем автоматизації. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 19 нижче:



Рисунок 23 – Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера Овен ПЛК200-01-CS

Даний ПЛК має моноблокове виконання. Модулі дискретних та аналогових входів/виходів вбудовані.

Пам'ять: ROM 512 Мбайт (NAND). RAM 256 Мбайт (DDR3). RETAIN 64 Кбайт (MRAM).

Корпус контролера дуже ергономічний, з можливістю кріплення DIN-рейку.

Клемники можна знімати, але гвинти в них не випадають, що значно полегшує монтаж та обслуговування ПЛК.

Застосування Ethernet в комунікативних цілях дозволяє швидко опитувати ПЛК і взагалі використовувати різні варіанти топології мережі.

Підтримка широко спектру протоколів: Modbus RTU / ASCII / TCP, OPC UA (Server), MQTT, NTP.

Можливість використання хмарних технологій OwenCloud.

З детальними технічними характеристиками Овен ПЛК200-01-CS можна ознайомитися на офіційному сайті компанії ОВЕН.

#### **4.3.2 Додаткові модулі розширення контролера**

Базова комплектація контролера Овен ПЛК200-01-CS не задовільняє всіх вимог нашої системи (в рамках таблиці 2).

Тому разом з контролером слід замовити ще два модулі розширення:

- Модуль вводу аналогових сигналів з Ethernet MB210-101 –  
2шт
- Модуль виводу аналогових сигналів з Ethernet MU210-402 –  
1шт

## 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Виробництво дихлоретану шляхом реакції хлору з етиленом є складним технологічним процесом, який вимагає точного дотримання технологічних параметрів для забезпечення якісної продукції та безпеки виробництва. Одним із критичних параметрів цього процесу є температура в хлораторі.

Температура реакції є важливим фактором, що впливає на швидкість хімічної реакції та якість кінцевого продукту.

Для забезпечення стабільності технологічного процесу та високої якості кінцевої продукції в хлораторі необхідно підтримувати задану температуру шляхом використання контуру регулювання температури. Контур регулювання температури включає:

Температурні датчики: Датчики температури, розміщені в ключових точках хлораторної установки, дозволяють постійно моніторити температуру реакційної суміші.

Регулятори температури: Регулятори температури, що отримують дані від датчиків, дозволяють автоматично коригувати температуру за допомогою нагрівачів або охолоджувачів, забезпечуючи підтримку оптимальних умов для протікання реакції.

Система управління: Мікропроцесорний контролер, Овен, забезпечує централізоване управління контуром регулювання температури, обробляючи дані від датчиків та регуляторів, що дозволяє підтримувати стабільний тепловий режим у хлораторі.

Таким чином, регулювання температури в хлораторі є ключовим аспектом, що забезпечує стабільність технологічного процесу, високу якість продукції та безпеку виробництва дихлоретану.

### 5.1 Ідентифікація об'єкта

Ідентифікація об'єкта регулювання є важливим кроком у розробці та впровадженні автоматизованої системи управління технологічним процесом. Метою ідентифікації об'єкта регулювання в процесі виробництва дихлоретану є:

1. Визначення динамічних характеристик процесу:
  - Аналіз динамічних параметрів об'єкта регулювання дозволяє отримати математичну модель, що описує поведінку технологічного процесу при зміні вхідних сигналів (температури, тиску, концентрації реагентів тощо).
  - Це допомагає зрозуміти, як швидко і в якій мірі система реагує на зовнішні збурення та керуючі дії.

2. Оптимізація параметрів регулювання:
  - Ідентифікація дозволяє налаштувати параметри регулювання таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу технологічного процесу.
  - Це включає вибір оптимальних значень коефіцієнтів регуляторів (пропорційного, інтегрального, диференціального) для досягнення бажаних характеристик системи.
3. Забезпечення якості продукції:
  - Завдяки ідентифікації, система управління може підтримувати оптимальні умови для проведення хімічної реакції, що забезпечує високу якість кінцевого продукту.
  - Це допомагає мінімізувати відхилення технологічних параметрів від заданих значень, що важливо для отримання дихлоретану високої чистоти.
4. Підвищення ефективності та безпеки процесу:
  - Точна модель об'єкта регулювання дозволяє передбачати поведінку системи в різних режимах роботи, що сприяє підвищенню ефективності виробництва.
  - Це також дозволяє виявляти та запобігати можливим аварійним ситуаціям, забезпечуючи безпечну експлуатацію обладнання.
5. Зниження енергетичних та ресурсних витрат:
  - Оптимізована система управління, розроблена на основі ідентифікації об'єкта, забезпечує раціональне використання енергетичних та матеріальних ресурсів.
  - Це сприяє зниженню собівартості виробництва дихлоретану.
6. Адаптація до змін умов виробництва:
  - Ідентифікація об'єкта регулювання дозволяє системі управління адаптуватися до змінних умов виробництва, таких як коливання вхідних параметрів або зовнішніх збурень.
  - Це забезпечує стабільність та надійність технологічного процесу в довгостроковій перспективі.

Таким чином, ідентифікація об'єкта регулювання є необхідною для розробки ефективної та надійної системи автоматизованого управління процесом виробництва дихлоретану. Вона дозволяє забезпечити оптимальні умови для проведення реакції, підвищити якість продукції, знизити витрати та покращити безпеку виробництва.

## **5.2 Аналітичне визначення математичної моделі**

У процесі виробництва дихлоретану з етилену та хлору критично важливим є контроль за кінцевою температурою продукту, що має залишатись не вище 30 °С для запобігання аварійним ситуаціям. Основна мета оперативного регулювання температури полягає у зниженні ризиків для довкілля та ефективному використанні ресурсів. Охолодження дихлоретану здійснюється за допомогою води з температурою 10 °С, при цьому температура самого дихлоретану на вході до охолоджувача становить 60 °С. Змійкові теплообмінники, що використовуються у цьому процесі, мають теплообмінну поверхню у формі змійовика, розміщеного всередині апарату, із теплоносієм під високим тиском. Ці теплообмінники застосовуються в широкому спектрі галузей, включаючи хімічну, нафтогазову та харчову промисловість. Змійкові теплообмінні апарати класифікуються за призначенням, станом теплоносіїв, схемою їхнього руху, а також за конфігурацією і розташуванням теплообмінних елементів [3].

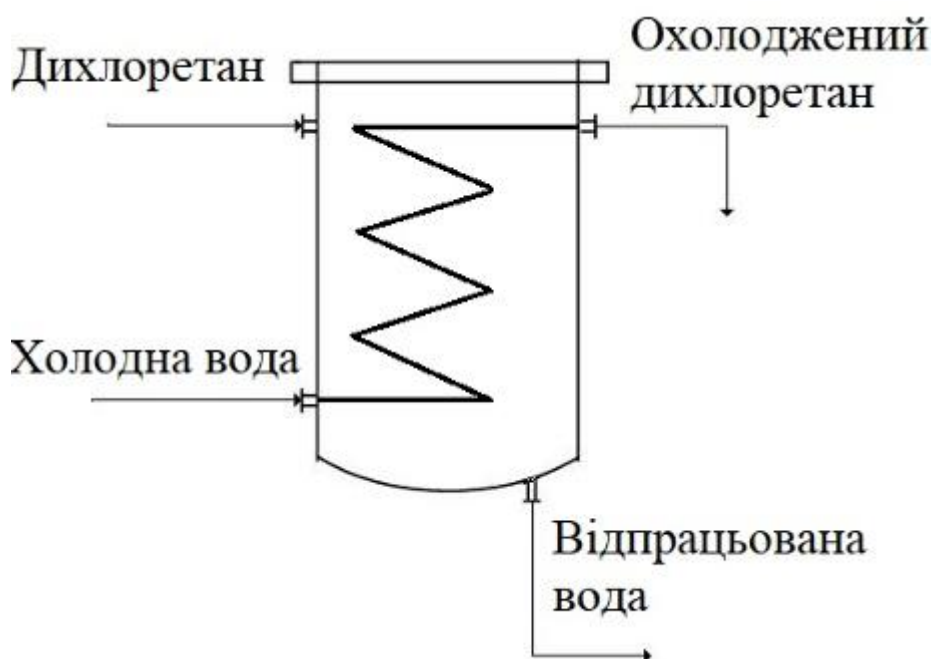


Рисунок 5.1 – Структурне зображення змійкового теплообмінника.

У виробництві дихлоретану ключовими вихідними параметрами для контролю є витрата і температура речовини. Переважним параметром для регулювання є температура. Можливість її керування обмежується двома засобами: регулюванням витрати та температури охолоджувальної води. Однак, коригування температури води виявляється неефективним через додаткові витрати на встановлення і експлуатацію теплообмінника, що знижує загальну ефективність системи. Таким чином, оптимальним методом управління температурою дихлоретану є регулювання витрати охолоджувальної води.

Основна задача полягає у досягненні оптимальної ефективності охолоджувальної системи. Перший крок у вирішенні цієї задачі — розробка математичної моделі процесу охолодження, що включатиме створення передатної функції для каналу керування. На основі цієї моделі можна налаштувати параметри регуляторів для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи. Складемо схему інформаційно-матеріальних потоків (рис 5.2).

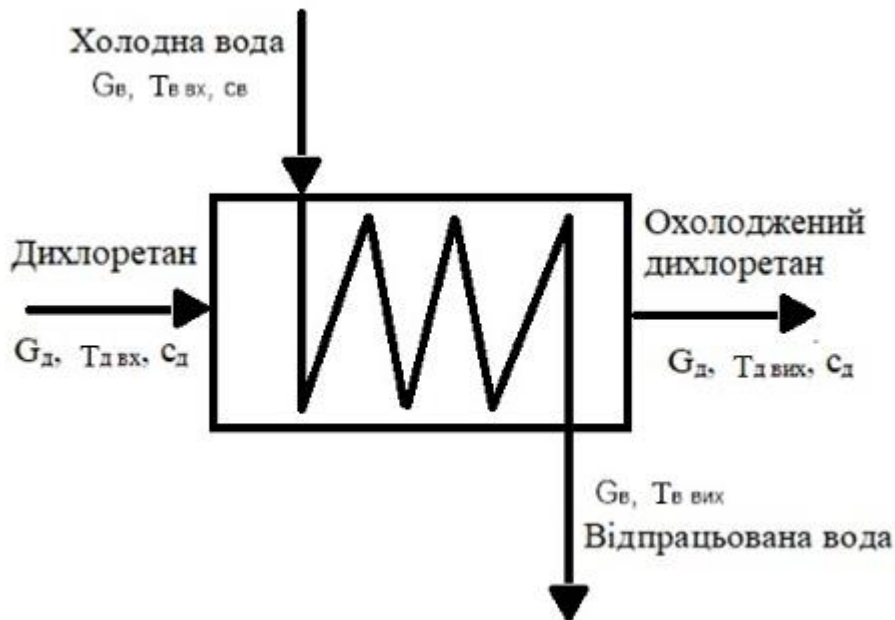


Рисунок 5.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків.

У виробництві дихлоретану ключовими вихідними параметрами для контролю є витрата і температура речовини. Переважним параметром для регулювання є температура. Можливість її керування обмежується двома засобами: регулюванням витрати та температури охолоджувальної води. Однак, коригування температури води виявляється неефективним через додаткові витрати на встановлення і експлуатацію теплообмінника, що знижує загальну ефективність системи. Таким чином, оптимальним методом управління температурою дихлоретану є регулювання витрати охолоджувальної води.

Основна задача полягає у досягненні оптимальної ефективності охолоджувальної системи. Перший крок у вирішенні цієї задачі — розробка математичної моделі процесу охолодження, що включатиме створення передатної функції для каналу керування. На основі цієї моделі можна налаштувати параметри регуляторів для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи.

Таблиця 5.1 – Основні параметри для складання математичної моделі

Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Витрата дихлоретану	$G_d$	кг/с	1,356
Температура дихлоретану на вході	$T_{d\text{ вх}}$	К	333
Питома теплоємність дихлоретану	$c_d$	кДж/(кг · К)	1,289
Температура дихлоретану на виході	$T_{d\text{ вих}}$	К	
Температура води на вході	$T_{в\text{ вх}}$	К	283
Температура води на виході	$T_{в\text{ вих}}$	К	333
Питома теплоємність води	$c_в$	кДж/(кг · К)	4,183

Для моделювання статичного режиму в системі автоматичного керування, де фокус зосереджений на охолодженні дихлоретану за допомогою регулювання витрати холодної води, можна використати підхід, який заснований на теплообміні між двома ємностями — водою та дихлоретаном.

Оскільки основним процесом є теплообмін, а змінюється лише одна змінна (витрата води), систему можна представити у вигляді аперіодичної ланки першого порядку. Така модель описується рівнянням першого порядку, де вихідний сигнал (температура охолодженого дихлоретану) відгукується на зміну вхідного сигналу (витрата холодної води) з певною часовою затримкою, яка визначає динаміку системи.

Математичне вираження для такої системи може бути представлене диференціальним рівнянням:

$$\tau \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = K \cdot Q(t) \quad (5.1)$$

Де  $T(t)$  — температура охолодженого дихлоретану,

$Q(t)$  — витрата холодної води,

$\tau$  — часова константа системи, яка описує швидкість реакції на зміни витрати води,

$K$  — коефіцієнт передачі, що визначає, як зміна витрати води впливає на температуру дихлоретану.

Цей підхід дозволяє налаштувати параметри регулятора, щоб забезпечити ефективне керування температурою, мінімізуючи реакцію на зміни і потенційні перепади у процесі, що сприяє стабільній і безпечній експлуатації обладнання.

Враховуючи схему процесу складемо рівняння теплового балансу для холодильника

$$G_D \cdot c_D \cdot T_{D\text{вх}} + G_V \cdot c_V \cdot T_{V\text{вх}} = G_D \cdot c_D \cdot T_{D\text{вих}} + G_V \cdot c_V \cdot T_{V\text{вих}} \quad (5.2)$$

Визначимо рівняння статички контуру «вода-температура»

$$T_{D\text{вих}} = (G_D \cdot c_D \cdot T_{D\text{вх}} + G_V \cdot c_V \cdot T_{V\text{вх}} - G_V \cdot c_V \cdot T_{V\text{вих}}) / (G_D \cdot c_D) \quad (5.3)$$

Отримаємо залежність температури отриманої речовини від витрат води в холодильнику:

$$T_{D\text{вих}} = (1,356 \cdot 1,289 \cdot 333 + G_V \cdot 4,183 \cdot 283 - G_V \cdot 4,183 \cdot 303) / (1,356 \cdot 1,289) = 333 - G_V \cdot 47,86 \quad (1) \quad (5.4)$$

Статична характеристика (5.4)  $T_{D\text{вих}} = f(G_V)$  виглядатиме наступним чином:

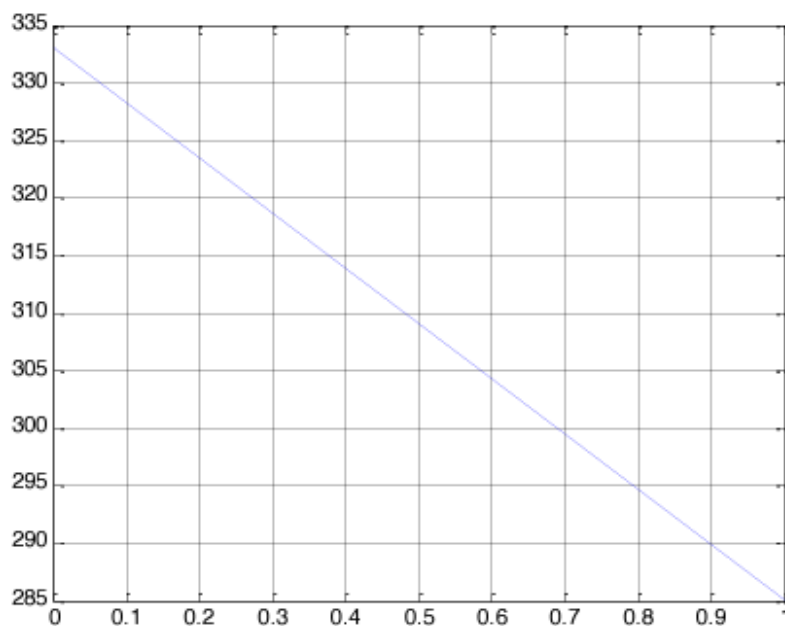


Рисунок 5.3 – Отримана статична характеристика



Змодельюємо динамічну характеристику:

$$G_d \cdot c_d \cdot T_{d \text{ вх}} + G_v \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вх}} - G_d \cdot c_d \cdot T_{d \text{ вих}} - G_v \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вих}} = \\ = c_d \cdot V \cdot \rho \cdot dT_{d \text{ вих}}/dt \quad (2) \quad (5.5)$$

де  $V$  – об'єм дихлоретану, що проходить через холодильник за визначений проміжок часу;

$\rho$  – густина дихлоретану.

$V = 0,38 \text{ м}^3$ ;

$\rho = 1253 \text{ кг/м}^3$ .

Пролінеаризуємо рівняння динаміки

Вхід –  $G_v$

Вихід –  $T_{d \text{ вих}}$

Прирошенне рівняння динамічних процесів в теплообміннику:

$$G_d \cdot c_d \cdot T_{d \text{ вх}} + \Delta G_v \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вх}} - G_d \cdot c_d \cdot \Delta T_{d \text{ вих}} - \Delta G_v \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вих}} = \\ = c_d \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{dT_{d \text{ вих}}}{dt} \quad (5.6)$$

Проведемо лінеаризацію та застосуємо рівняння Лапласа.

$$G_d \cdot c_d \cdot T_{d \text{ вих}}(p) + c_d \cdot V \cdot \rho \cdot p \cdot T_{d \text{ вих}}(p) = \\ = G_v(p) \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вх}} - G_v(p) \cdot c_v \cdot T_{v \text{ вих}} + G_d \cdot c_d \cdot T_{d \text{ вх}}/p$$

$$T_{d \text{ вих}}(p) \cdot (T \cdot p + 1) = G_v(p) \cdot k + a/p$$

$$T = \frac{V \cdot \rho}{G_d} = \frac{0,38 \cdot 1253}{1,356} = 351,14$$

$$k = \frac{c_v \cdot (T_{v \text{ вх}} - T_{v \text{ вих}})}{G_d \cdot c_d} = \frac{4,183 \cdot (283 - 303)}{1,356 \cdot 1,289} = -47,86$$

$$a = T_{d \text{ вх}} = 333 \text{ К}$$

Передаточна функція матиме вигляд:

$$W_{G_B-T_{двих}}(p) = k/(T \cdot p + 1)$$

або

$$W_{G_B-T_{двих}}(p) = -47,86/(351,14 \cdot p + 1)$$

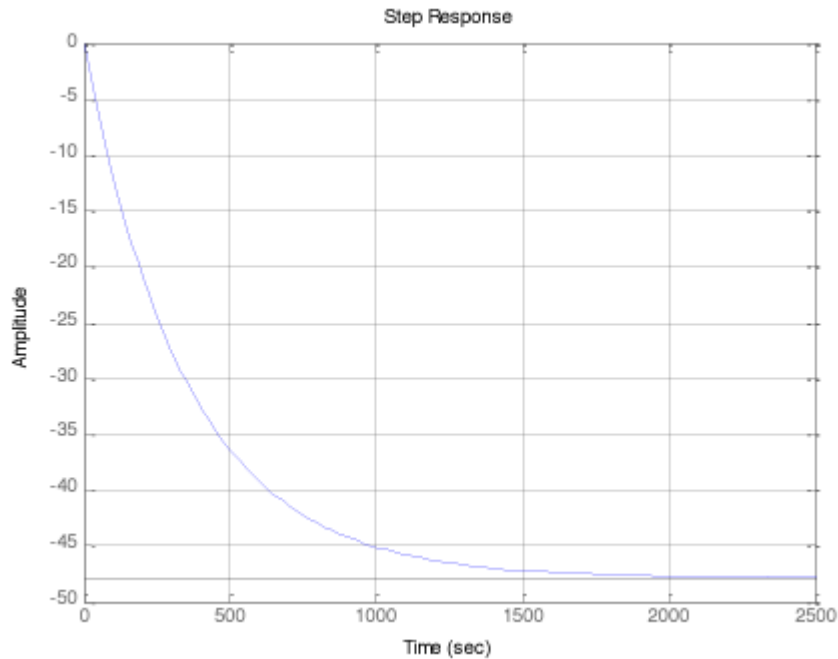


Рисунок 5.4 – Отримана динамічна характеристика контуру залежності температури дихоретану від витрати води.

### 5.3 Синтез системи управління

Структурна схема матиме вигляд (рис 5.5)

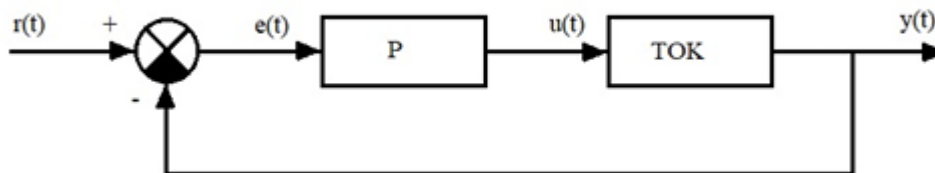


Рисунок 5.4 – Замкнена структурна схема для моделювання.

Проведемо моделювання в математичному пакеті Simulink і визначимо налаштування регуляторів.

Для налаштування ПІ-регулятора за допомогою методу М-кола ми використаємо спеціально розроблену програму в середовищі MATLAB, код якої зазначено в додатку А. Ця програма дозволяє побудувати амплітудно-фазову характеристику (АФХ) відкритої системи та М-коло. Коефіцієнти регулятора необхідно налаштувати вручну під час виконання програми.

```

function Wr=mkolo(Wo,Kr,Tin,M)
Xdk=-M*M/(M*M-1);
Rk=M/(M*M-1);
Xk=(Xdk-Rk):(Rk/32):(Xdk+Rk);
Yk=(Rk^2-(Xk-Xdk).^2).^0.5;

fn=300;
Wr=tf([Kr*Tin 1],[Tin 0]);
W=Wo*Wr;
f=logspace(-4,4,fn);
W=frd(W,f);
[af,]=frdata(W);
af=squeeze(af);
ii=0;
afv=0;
for i=1:fn
    if abs(imag(af(i)))<(1.3*Rk)
        ii=ii+1;
        afv(ii)=af(i);
    end
end
re=real(afv);

im=imag(afv);

plot(re,im,'k',Xk,Yk,'k',Xk,-Yk,'k'), grid on
end

```

Після запуску зазначеної програми в MATLAB буде сформована амплітудно-фазова характеристика (АФХ) відкритої системи та відповідне М-коло. Ми вручну підберемо

коефіцієнти для ПІ-регулятора так, щоб АФХ оптимально дотикалася М-кола. Враховуючи, що короточасні коливання мають обмежений вплив на кінцеву температуру дихлоретану через ефект перемішування, ми налаштуємо регулятори на рівень коливності  $M=1,4$ , що забезпечує стабільність без значних перепадів.

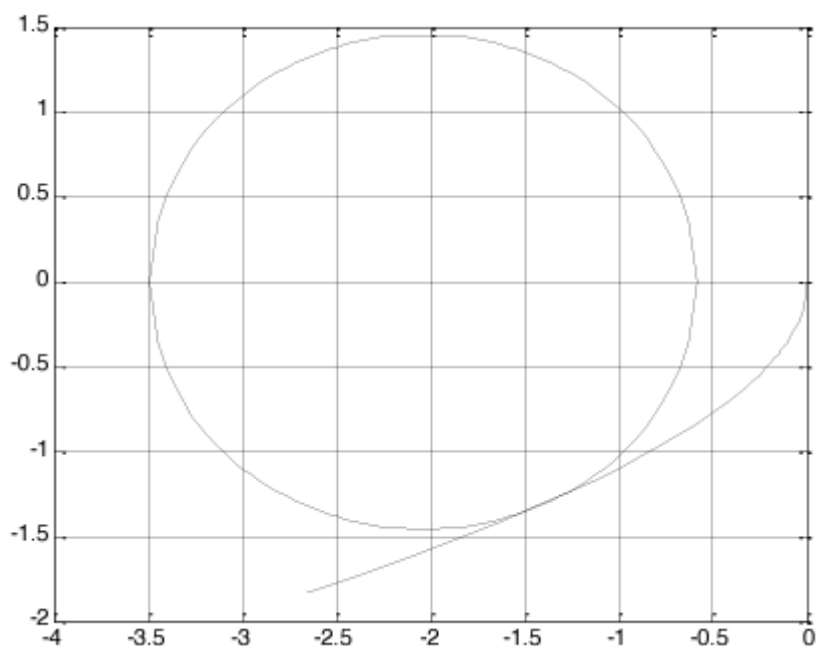


Рисунок 5.5 – Отримані за допомогою методу М-кола настроювальні параметри регулятора.

Проаналізувавши отримані результати можна визначити параметри налаштування ПІ регулятора:

Коефіцієнт підсилення: -1,25,

Час інтегрування: - 5,2.

Ступінь коливальності  $M=1,35$

Визначимо налаштування регулятора методом Зіглера-Нікольса:

$$K_p = 0.6 * K_u$$

$$K_i = 2 * \frac{K_p}{T_u}$$

$$K_d = K_p * \frac{T_u}{8}$$

Отримаємо перехідний процес синтезованої системи, (рис 5.6)

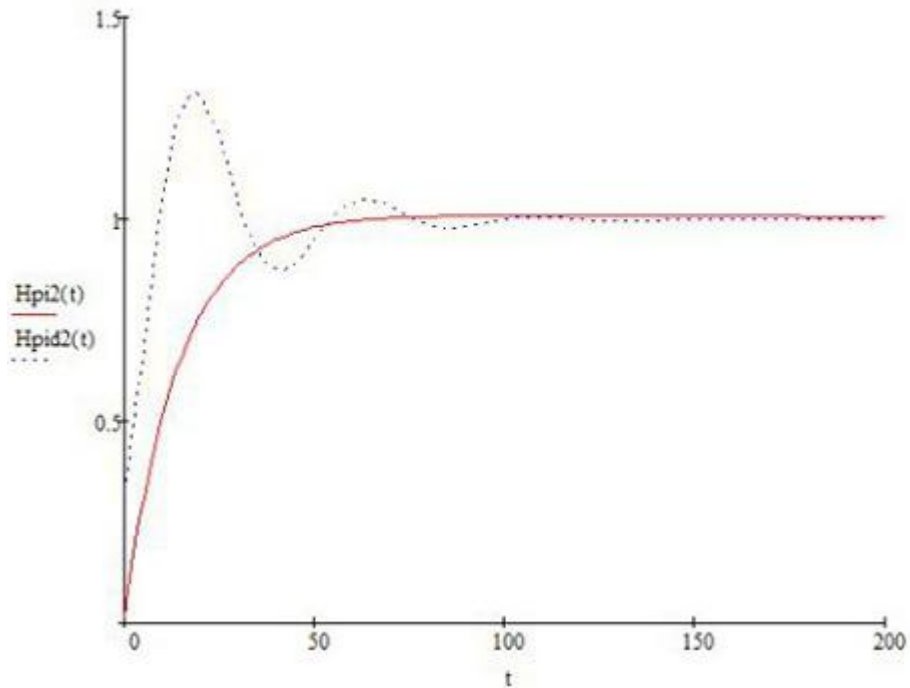


Рисунок 5.6 – Отримані графіки перехідних процесів.

Проаналізувавши отримані графіки, визначаємо, що ПІ-регулятор працює оптимально по швидкодії і не має коливальності.

#### 5.4 Визначення стійкості системи управління

При розробці моделі та налаштуванні регулювання ключовим аспектом є забезпечення стійкості системи. Система вважатиметься стійкою, якщо вона здатна повернутися до свого первісного стану після припинення зовнішнього впливу. Для аналізу стійкості використовують методику, що базується на аналізі розташування полюсів системи на комплексній площині. Важливо, щоб усі полюси неперервної системи мали від’ємні дійсні частини для гарантії її стійкості. Ось передатна функція системи, яку ми використаємо для перевірки:

$$W_c(p) = W_o(p) * \frac{W_r(p)}{(1 + W_o(p) * W_r(p))}$$

$$W_o(p) = -\frac{47,86}{351,14 \cdot p + 1}$$

$$W_r(p) = \frac{K_p * T_{in} * p + 1}{T_{in} * p} = \frac{-6,528 * p - 1}{5,1 * p}$$

отже

$$W_c(p) = \frac{0,17(p + 0,1532)}{p^2 + 0,18p + 0,027}$$

Знайшовши корені рівняння (полюси)

$$p1 = -0,089 + 0,14*i$$

$$p2 = -0,089 - 0,14*i$$

Маємо від'ємні дійсні частини, тому система стійка.

Наступним етапом у вивченні стійкості системи буде застосування критерію Гурвіца. Цей критерій аналізує стійкість системи керування через коефіцієнти характеристичного рівняння. Система вважається стійкою за критерієм Гурвіца, якщо всі  $n$  діагональні мінори матриці коефіцієнтів характеристичного рівняння додатні. Відповідна матриця має наступний вигляд: [5]

$$\begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} \quad (a_n > 0)$$

Діагональні визначники матриці будуть мати наступний вигляд:

$$\Delta_1 = a_{n-1} > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} \\ a_n & a_{n-2} \end{vmatrix} > 0; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} \end{vmatrix} > 0;$$

Для визначення стійкості за критерієм Гурвіца напишемо програму в середовищі матлаб і проведемо розрахунки:

```

Wo=tf([-47.86],[351.1 1]);
Wr=tf([-6.528 -1],[5.1 0]);
Wc=(Wr*Wo)/(1+Wr*Wo);
Wc=tf(Wc);
den=Wc.DEN{1};
for i1=1:(length(den)-1) %Формування матриці Гурвиця
    for i2=1:(length(den)-1)
        if((length(den)-(i2*2-i1))>=1)&&((length(den)-(i2*2-i1))<=length(den))
            gurv(i1,i2)=den(length(den)-(i2*2-i1));
        else gurv(i1,i2)=0;
        end
    end
end
i2=0;
for i1=1:(length(den)-1)
    mgurv=gurv;
    mgurv(i1,:)=[];
    mgurv(:,i1)=[]; %i1-ий діагональний мінор матриці Гурвиця
    if det(mgurv)>0
        i2=i2+1;
    end
end
if i2==(length(den)-1)
    disp('Система стійка.')
else
    disp('Система НЕ стійка.')
end
end

```

Отримано результати з додатніми мінорами, тому за критерієм Гурвиця дана система стійка.

### 5.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Розглянемо хлоратор, принципова схема якої представлена на рис.

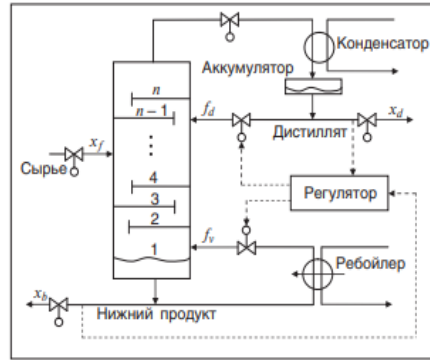


Рисунок 8 – Принципова схема хлоратору

Таким чином, для синтезу системи керування та моделювання її роботи з метою перевірки працездатності, перш за все необхідно мати модель самого об'єкта керування — хлоратору, який регулюється за температурою, в залежності від потужності ТЕН. При цьому всі інші вхідні та вихідні параметри об'єкта керування мають бути фіксованими та знаходитися у номінальному стані. Регулювання потужності ТЕН здійснюється за допомогою тиристорного промислового джерела живлення Autonics DPU 33C075R з аналоговим вхідним каналом 4...20 мА. Температура продукту вимірюється датчиками температури, встановлених угорі та внизу хлоратору. Виміряні значення за допомогою вбудованих перетворювачів трансформуються у стандартні аналогові сигнали 4...20 мА.



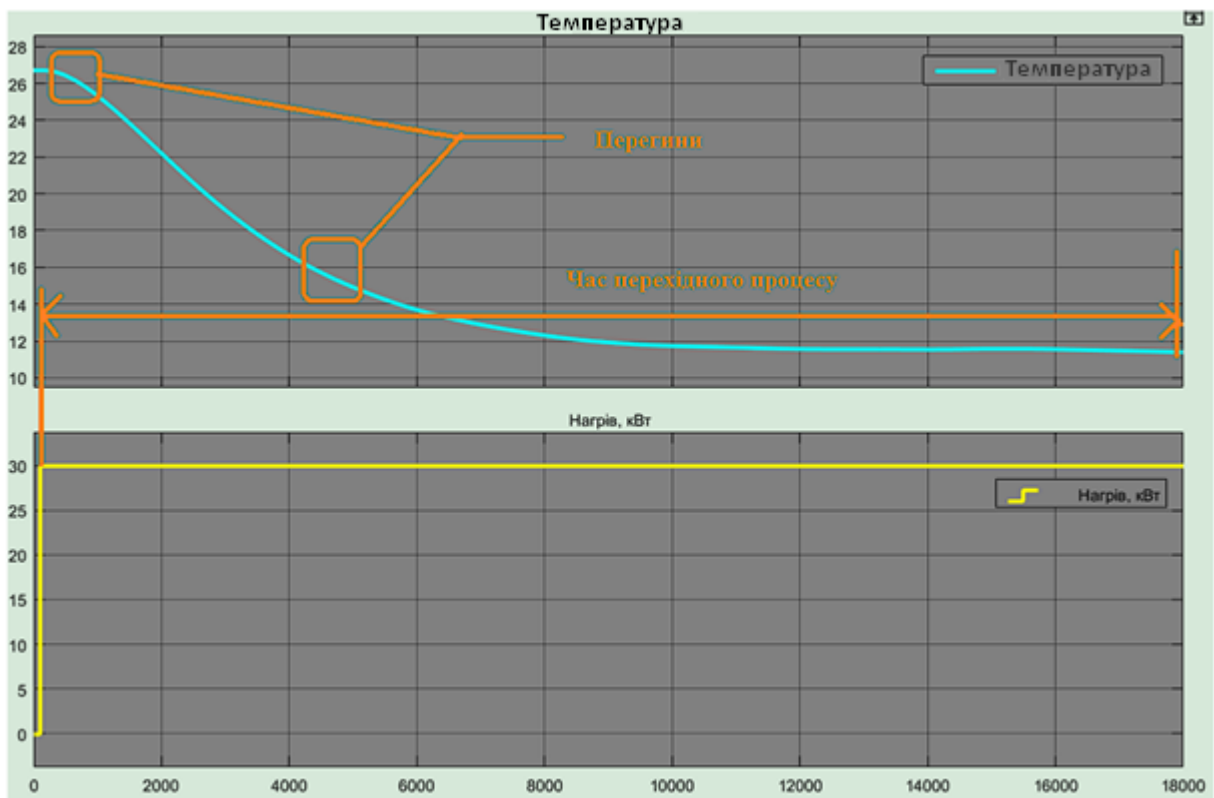
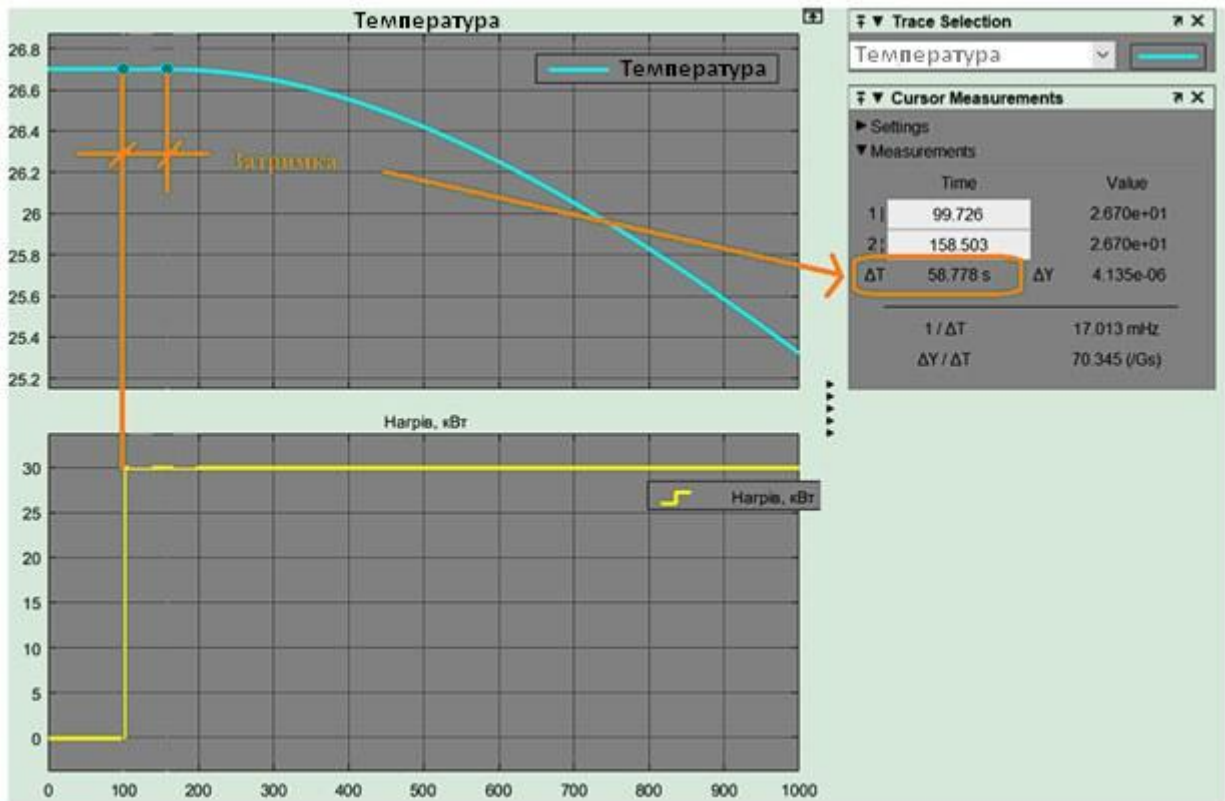


Рисунок 22 – Аналіз динамічної характеристики

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)},$$

де  $W(s)$  – передавальна функція моделі об'єкта керування;  $s$  – оператор диференціювання;  $k$  – коефіцієнт посилення;  $\tau$  – час запізнення, с;  $T_1, T_2$  – постійні часу, с.

Параметричне визначення характеристик проводилося за допомогою інструментарію System Identification Toolbox, який є частиною математичного комплексу MATLAB. Виконавши параметричну ідентифікацію ми отримали перевірочні дані які наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
k	-0,52139	-0,05695	-0,50753
$T_1, c$	3336,2	1733,6	0,0077722
$T_2, c$	-	1733,1	1744
$T_3, c$	-	-	1743,1
$\tau$	57,5	57,5	57,5
НСКП, %	89,43	98,84	98,84
ПОП	0,2272	0,002734	0,002743
СК/П	0,2271	0,002732	0,002741
НСКП, %	68,57	95,64	95,76

Дослідження різниці у динамічних характеристиках між різними моделями через порівняння їх оцінок виявило, що моделі P2D та P3D показують схожі результати з індексом нормалізованої середньоквадратичної помилки (НСКП) на рівні 98.84%. Також, прогнозна помилка для моделей P2D і P2D є майже ідентичною ( $0.002741/0.002734 \approx 1$ ). Визначальним критерієм у виборі між цими моделями стала різниця у відповідності по перевірочними даними. Знову ж таки, моделі P2D і P3D мають майже однакові показники НСКП, які складають 95.64% та 95.76% відповідно. З огляду на те, що один з показників часу для моделі P3D дорівнює нулю, рекомендується вибрати простішу модель P2D. З усіх даних випливає, що модель P2D задовольняє критерії точності за тестовими даними, значно перевищуючи мінімально допустимий поріг у 80%.

При параметричній оцінці вибраної моделі P2D варто відзначити кілька ключових параметрів, виявлених з динамічних характеристик (рис. 3.9): коефіцієнт посилення

становить  $-0,58$ , час реакції приблизно  $18\ 000$  секунд, постійна часу –  $3\ 600$  секунд, з затримкою близько  $60$  секунд. За даними другого порядку для моделі P2D, коефіцієнт посилення виявляється  $-0,50695$ , сумарна постійна часу складає  $3\ 466,7$  секунд ( $1733,6\text{ с} + 1733,1\text{ с}$ ), а затримка –  $57,5$  секунд. Ці результати додатково підкреслюють, що найкраще до об'єкту керування підходить модель P2D – аперіодичний елемент другого порядку із запізненням. Параметрична ідентифікація видала передавальну функцію моделі, яка точно відповідає критеріям управління з точністю  $95,6\%$  згідно тестових даних.

$$W(s) = \frac{-0,51 \cdot e^{-57,5s}}{(1734s + 1) \cdot (1733 + 1)}$$

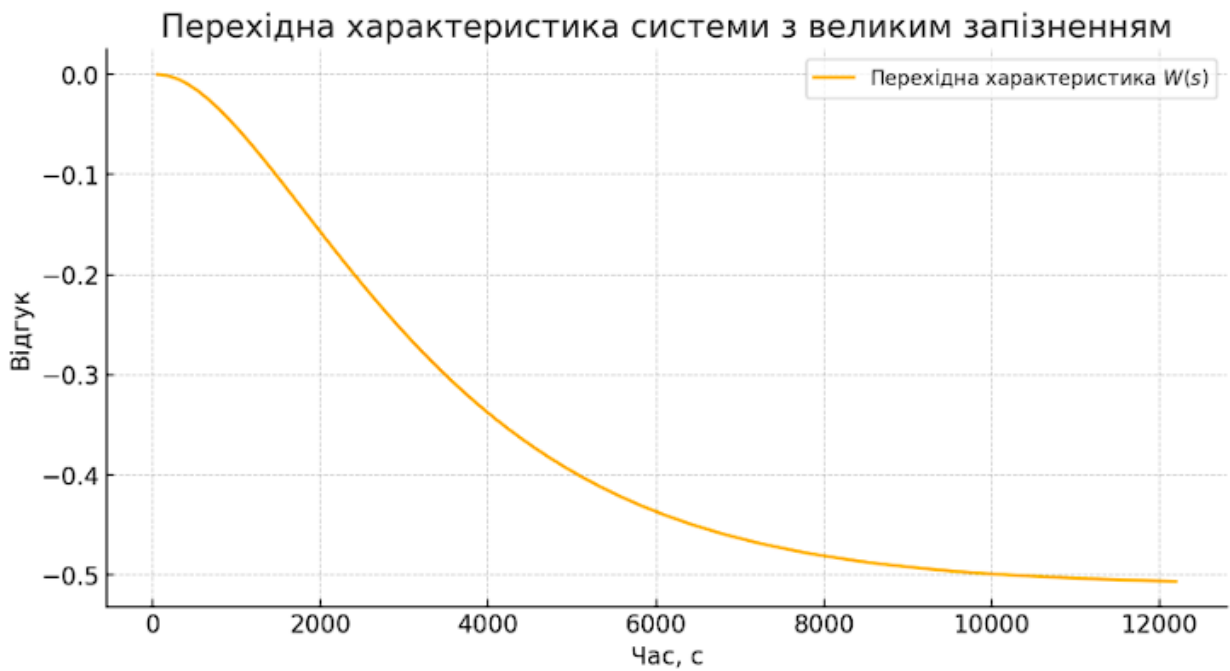


Рисунок. 23 - Перехідна характеристика об'єкта управління

На графіку зображена перехідна характеристика системи з великим запізненням та великими часовими константами. Як видно, система реагує на кроковий вхідний сигнал із значним затриманням в  $57.5$  секунд, після чого її відгук поступово спадає до негативного значення, що відповідає коефіцієнту посилення  $k=-0.51$ . Із збільшенням часу відгук стабілізується, наближаючись до значення, близького до  $-0.51$ . Це пов'язано з тим, що часові константи  $T_1$  та  $T_2$  є досить великими ( $1734\text{ с}$  і  $1733\text{ с}$  відповідно), що зумовлює повільне зменшення відгуку системи від початкового впливу крокової функції.

Цей аналіз може допомогти у визначенні характеристик системи, яка повільно реагує на зміни та має велике запізнення, що важливо для налаштування процесів керування та вирішення задач оптимізації системи.

## 5.2 Вибір і розрахунок параметрів регулятора

Для системи **управління процесом сушіння макаронів** оптимальним вибором буде пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор. ПІ регулятор забезпечує кращу точність порівняно з простим пропорційним регулятором, завдяки інтегральній складовій, яка допомагає усунути сталу помилку в регулюванні. Ця складова також покращує відповідь системи на змінні завади та умови, які часто трапляються під час сушіння, дозволяючи системі швидше адаптуватися і повертатися до заданої точки роботи після збурень.

Хоча ПІ регулятор і складніший для налаштування в порівнянні з пропорційним регулятором, він все ж таки простіший і легший у впровадженні в порівнянні з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором, який може бути надмірним для деяких процесів сушіння.

Для налаштування ПІ регулятора потрібно визначити два основні параметри: коефіцієнт пропорційності ( $K_p$ ) та коефіцієнт інтеграції ( $K_i$ ).  $K_p$  визначає реакцію регулятора на помилку, тоді як  $K_i$  регулює швидкість, з якою інтегральна складова накопичує помилку з часом, допомагаючи усунути сталу помилку. Вибір цих параметрів може вимагати експериментування та тестування для оптимального налаштування, залежно від специфіки вашого процесу сушіння макаронів.

## 5.3 Розрахунок налаштувань ПІ регулятора

Передавальна функція для ПІ регулятора  $C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$ . Коефіцієнт підсилення  $k_p$ , який є основним налаштувальним параметром регулятора.

Налаштування параметрів проведемо за методом Дудникова. Цей метод орієнтується на аналіз динамічних характеристик системи, зокрема на визначення оптимального коефіцієнта підсилення  $k_p$

Для системи управління процесом сушіння макаронів важливо забезпечити достатній запас стійкості, щоб система могла ефективно справлятися з коливаннями. Зазвичай вважають що САР стійка коли ступень коливання знаходиться в діапазоні  $m=0.221 \dots 0.476$ , а це відповідає ступеню загасання  $\psi = 0.95 \dots 0.75$ .

Згідно з тим, що описано вище, оберемо ступень коливання  $m=0.221$ .

Передавальна функція для об'єкта керування виглядає:

$$W(s) = \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022 \cdot s^2 + 3467 \cdot s + 1}$$

За допомогою математичного пакету зробимо розрахунки

### 5.3.1 Отримання параметричного рівняння ЛРЗ

Було отримано РЧХ об'єкта управління

$$W_o(m, \omega) = \frac{K e^{m\omega\tau}}{\sqrt{(1 - Tm\omega)^2 + (T\omega)^2}} e^{j(-\arctg \frac{T}{Tm\omega - 1} - \omega\tau)}$$

РЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування

$$W_{III}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u s} = k_1 + \frac{k_0}{s}$$

$$W_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m\omega k_1)^2 + (\omega k_1)^2}}{\omega \sqrt{m^2 + 1}} e^{j(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - \arctg m)}$$

Складемо рівняння балансу амплітуд та фаз

$$A_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{1}{A_o(m, \omega)}$$

$$\Psi_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \Psi_o(m, \omega)$$

Отримаємо параметричне завдання рівняння ЛРЗ як функції частоти

$$k_0(\omega) = \omega(m^2 + 1) \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega));$$

$$k_1(\omega) = m \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega)) - \operatorname{Re}(W_o^*(m, j\omega)).$$

### 5.3.2 Побудова лінії рівного згасання (ЛРЗ)

Для побудови лінії рівного згасання (ЛРЗ) використовуємо математичний пакет MathCAD

$$W(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-s\tau}}{3005022s^2 + 3467s + 1} \quad \text{Передатна функція об'єкта керування}$$

$$W(s, \tau) \text{ substitute } s = \omega \cdot (j - m) \rightarrow -0.51 \cdot \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$$

Отримання розширеної АФЧХ об'єкта управління з передавальної функції

$$W(m, \omega, \tau) := \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$$

$$RW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Re}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

Отримання речової та уявної частин інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління

$$IW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Im}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

$$K0(m, \omega, \tau) := (m^2 + 1) \cdot IW(m, \omega, \tau) \cdot \omega$$

$$K1(m, \omega, \tau) := m \cdot IW(m, \omega, \tau) - RW(m, \omega, \tau)$$

$$\omega := 0.03, 0.031.. 0.9$$

Вирази для розрахунку лінії рівного згасання отримані через речовинну та уявну частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління др. ПІ-регулятора

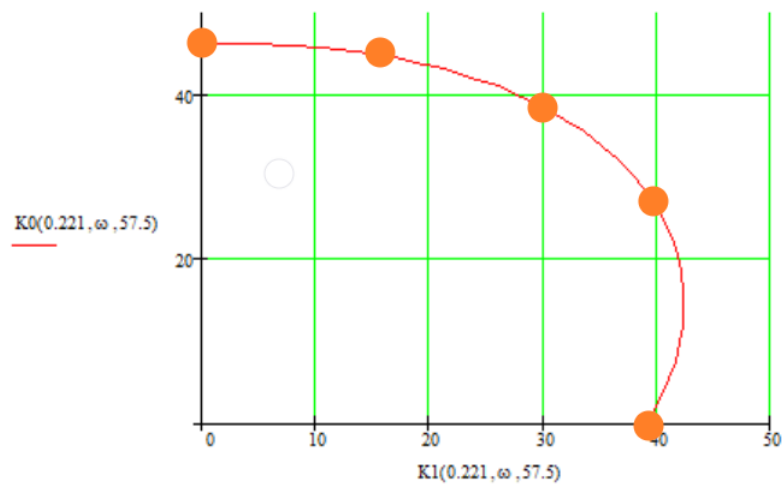


Рисунок 24 - Лінія рівного загасання та вибір налаштувань ПІ-регулятора у робочому діапазоні частот

### 5.3.3 Виконано моделювання для п'ять налаштувань з рівною амплітудною затухання ПІ-регулятора

Для цього використаємо математичний пакет MathCAD

$$Wob(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022s^2 + 3467s + 1} \quad \text{Передавальна функція об'єкта}$$

$$Wrg(k0, k1, s) := k1 + \frac{k0}{s} \quad \text{Передавальна функція ПІ-регулятора}$$

$$Wp(s, \tau, k0, k1) := Wrg(k0, k1, s) \cdot Wob(s, \tau) \quad \text{Передавальні функції прямого ланцюга системи}$$

$$Wz(s, \tau, k0, k1) := \frac{Wp(s, \tau, k0, k1)}{1 + Wp(s, \tau, k0, k1)} \quad \text{Передавальні функції замкнутої системи одиничним зворотним зв'язком}$$

$$h(t, \tau, k0, k1) := 0.637 \int_0^{0.8} \text{Re}(Wz(j \cdot \omega, \tau, k0, k1)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} d\omega \quad \text{Отримання перехідної характеристики за речовинною частотною характеристикою замкнутої системи}$$

$$t := 0, 10.. 1500$$

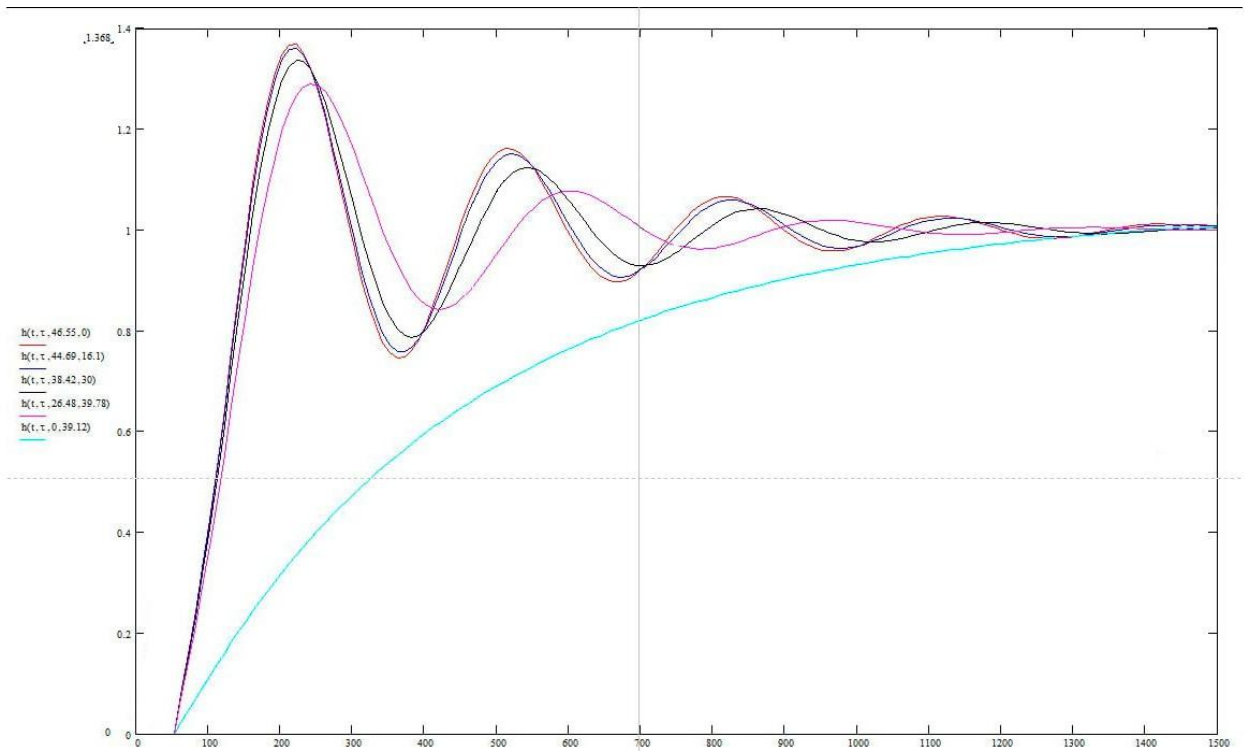


Рисунок 25 - Результати моделювання при налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих методом розширених АФЧХ

### 5.3.4 Отримання основних показників якості

За рис. 3 отримуємо основні показники якості для 5 перехідних процесів

Таблиця 4 - Основні показники якості

№	$k_0$	$k_1$	$t_p, c$	$\sigma, \%$
1	46.55	0	857	37
2	44.69	16.1	867	36
3	38.42	30	757	34
4	26.48	39.78	657	29
5	0	39.12	1087	0

За таблицею 1.1 можна побачити що найкращі показники якості забезпечує №3 перехідний процес. А №5 перехідний процес нам не підходить тому що має статичну похибку.

## 6. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Розробка алгоритму роботи мікропроцесорної системи управління включає кілька ключових етапів: вимірювання температури, обробка сигналу, розрахунок керуючого впливу, формування керуючого сигналу і керування виконавчим механізмом. Нижче наведено покроковий алгоритм.

### 1. Ініціалізація системи

#### 1.1. Ініціалізація мікропроцесора та підключених модулів:

- Встановлення параметрів АЦП (аналогово-цифрового перетворювача) для вимірювання температури.
- Ініціалізація цифрових входів/виходів для підключення виконавчих механізмів.
- Завантаження налаштувань ПІД-регулятора (коефіцієнти  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ).
- Встановлення частоти опитування датчиків.

#### 1.2. Перевірка працездатності датчиків та виконавчих механізмів:

- Перевірка наявності зв'язку з датчиками температури.
- Перевірка працездатності виконавчих механізмів (наприклад, клапанів охолодження).

### 2. Основний цикл роботи

#### 2.1. Вимірювання температури:

- Зчитування даних з датчика температури за допомогою АЦП.
- Перевірка правильності зчитаних даних (проведення фільтрації для усунення шумів).

#### 2.2. Обробка сигналу:

- Розрахунок поточної температури на основі зчитаних даних.
- Збереження історії вимірювань для подальшого аналізу (при необхідності).

#### 2.3. Розрахунок керуючого впливу (ПІД-регулятор):

- Обчислення похибки регулювання:

$$e(t) = T_{\text{зад}} - T(t)$$

де  $T_{\text{зад}}$  — задана температура,  $T(t)$  — поточна температура.

- Розрахунок пропорційної, інтегральної та диференціальної складових регулятора:

$$P(t) = K_p \cdot e(t) \quad I(t) = I(t-1) + K_i \cdot e(t) \cdot \Delta t \quad D(t) = K_d \cdot \frac{e(t) - e(t-1)}{\Delta t}$$

- Розрахунок керуючого впливу:



$$u(t)=P(t)+I(t)+D(t)u(t) = P(t) + I(t) + D(t)u(t)=P(t)+I(t)+D(t)$$

#### **2.4. Формування керуючого сигналу:**

- Перетворення керуючого впливу  $u(t)$  у сигнал, зрозумілий виконавчим механізмам (наприклад, керування клапаном охолодження).

#### **2.5. Керування виконавчим механізмом:**

- Надсилання керуючого сигналу на виконавчий механізм (наприклад, регулювання положення клапана охолодження).

### **3. Моніторинг та діагностика**

#### **3.1. Постійний моніторинг стану системи:**

- Вимірювання температури з заданою частотою.
- Виявлення та обробка аварійних ситуацій (наприклад, перегрів, вихід датчика з ладу).

#### **3.2. Запис і збереження даних:**

- Зберігання історії вимірювань та дій регулятора.
- Аналіз даних для подальшого покращення алгоритмів управління.

#### **3.3. Оповіщення операторів:**

- Відправка повідомлень оператору при виникненні аварійних ситуацій.
- Надання звітів про роботу системи (періодично або за запитом).

### **4. Завершення роботи системи**

#### **4.1. Безпечне вимкнення:**

- Поступове зниження керуючого сигналу до нуля.
- Вимкнення виконавчих механізмів.
- Збереження останніх даних та стану системи.

#### **4.2. Перевірка стану системи:**

- Перевірка всіх підключень та вузлів системи.
- Очищення тимчасових даних (при необхідності).

### **Блок-схема алгоритму роботи**

#### **1. Ініціалізація системи**

- Ініціалізація мікропроцесора та модулів
- Перевірка датчиків та виконавчих механізмів

#### **2. Основний цикл**

- Вимірювання температури
- Обробка сигналу
- Розрахунок керуючого впливу (ПД-регулятор)

- Формування керуючого сигналу
  - Керування виконавчим механізмом
3. Моніторинг та діагностика
- Постійний моніторинг
  - Запис і збереження даних
  - Оповіщення операторів
4. Завершення роботи
- Безпечне вимкнення
  - Перевірка стану системи

Цей алгоритм забезпечує стабільну та ефективну роботу мікропроцесорної системи регулювання температури в хлораторі, що дозволяє підтримувати заданий режим роботи і гарантувати якість кінцевої продукції.



Рисунок 33 –Алгоритм роботи системи

Для регулювання температури в хлораторі необхідно використовувати систему автоматичного керування. Основний алгоритм регулювання температури в хлораторі буде наступним:

1. Встановити необхідну температуру в системі автоматичного керування.

2. Запустити процес виробництва хлору та контролювати температуру в хлораторі.
3. Якщо температура в хлораторі нижча за задану, необхідно увімкнути вентилятори охолодження для зниження температури. Вентилятори можуть управлятися системою автоматичного керування на основі вимірювань температури в хлораторі.
4. Якщо температура в хлораторі вища за задану, необхідно підвищити температуру шляхом подачі пари в хлоратор. Пара може подаватися відповідно до вимірювання температури в системі автоматичного керування.
5. Після увімкнення пари або вентиляторів охолодження необхідно дати системі час на реакцію і повторно виміряти температуру в хлораторі, щоб перевірити ефективність регулювання температури.
6. Продовжувати контролювати температуру в хлораторі та регулювати її за необхідності.

У деяких випадках може виникнути необхідність у використанні обох методів регулювання температури, тобто подачі пари та увімкнення вентиляторів охолодження одночасно. Це залежить від конкретних умов виробництва та характеристик хлоратора. У такому випадку система автоматичного керування повинна мати можливість встановлювати відповідні пропорції подачі пари та увімкнення вентиляторів охолодження, щоб досягти заданої температури в хлораторі.

При автоматизації виробництва хлоретану важливо дотримуватися детального алгоритму регулювання температури в хлораторі, оскільки це дозволить уникнути можливих помилок та забезпечити стабільну температуру в процесі виробництва. Крім того, регулювання температури дозволить зменшити ризик виникнення аварій та збільшити продуктивність виробництва.

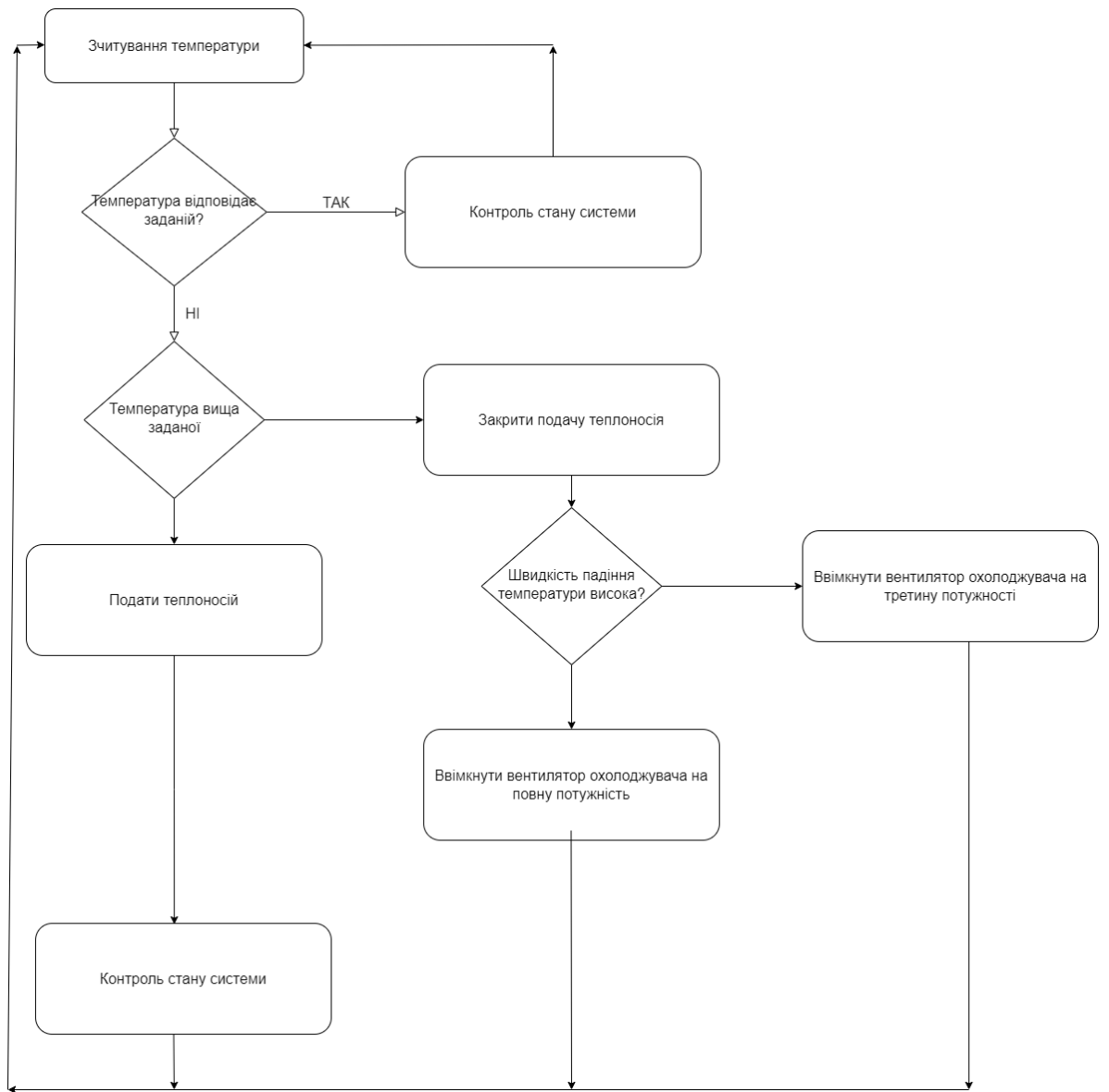


Рисунок 34 – Алгоритм стабілізації температури в хлораторі.

## 7. РОЗРОБКА АСУТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Забезпечення стабільної температури в хлораторі під час виробництва дихлоретану з хлору та етилену для забезпечення високої якості продукції та зниження ризику аварійних ситуацій.

### **Основні функції АСУТП:**

1. Збір і обробка даних з температурних датчиків.
2. Автоматичне регулювання температури за допомогою вентиляторів охолодження та подачі пари.
3. Моніторинг стану системи та діагностика.
4. Оповіщення операторів про нештатні ситуації.
5. Збереження даних про технологічний процес для аналізу та звітності.

### **Структурна схема АСУТП**

#### **1. Датчики температури:**

- Температурні датчики встановлені в різних точках хлораторів для моніторингу температури.
- Датчики підключені до системи збору даних.

#### **2. Модулі збору даних:**

- Збір даних з датчиків температури.
- Передача даних до контролера.

#### **3. Контролер (мікропроцесорна система):**

- Обробка даних з датчиків.
- Виконання алгоритму регулювання температури.
- Формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

#### **4. Виконавчі механізми:**

- Вентилятори охолодження.
- Системи подачі пари.

#### **5. Інтерфейс оператора:**

- Моніторинг параметрів процесу.
- Відображення стану системи.
- Оповіщення про нештатні ситуації.
- Введення параметрів та команд оператором.

#### **6. Система зберігання даних:**

- Збереження історичних даних про технологічний процес.
- Формування звітів та аналіз даних.

В якості SCADA системи було обрано CoDeSys, тому що вона безкоштовно постачається з контроллерами OВЕН.

**SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)** система CoDeSys є потужним інструментом для автоматизації виробничих процесів, зокрема в хімічній промисловості. У рамках проекту з регулювання температури в хлораторі, CoDeSys забезпечує надійний та ефективний контроль технологічного процесу.

### **Основні функції SCADA системи CoDeSys:**

#### **1. Моніторинг та контроль процесів:**

- Візуалізація параметрів процесу в реальному часі.
- Відображення стану обладнання та технологічних параметрів на графічних дисплеях.
- Контроль температури в хлораторі та інших ключових параметрів виробництва.

#### **2. Збір та зберігання даних:**

- Збір даних з датчиків та виконавчих механізмів.
- Зберігання історичних даних для подальшого аналізу та звітності.
- Архівування даних для забезпечення слідковості та аналізу процесу.

#### **3. Аналіз та діагностика:**

- Виявлення та діагностика несправностей у режимі реального часу.
- Автоматичне виявлення відхилень від заданих параметрів.
- Підтримка прийняття рішень на основі зібраних даних.

#### **4. Оповіщення та аварійні сигнали:**

- Генерація сигналів тривоги при виході параметрів за допустимі межі.
- Сповіщення операторів про нештатні ситуації через різні канали (звукові сигнали, повідомлення на дисплеї, електронні листи тощо).

#### **5. Інтерфейс оператора:**

- Зручний графічний інтерфейс для взаємодії з системою.
- Можливість налаштування параметрів та введення команд.
- Відображення трендів, графіків та інших візуалізацій процесу.

#### **6. Віддалений доступ:**

- Можливість віддаленого доступу до системи для моніторингу та керування.

- Підтримка мобільних пристроїв для зручного доступу в будь-який час.

#### **Переваги використання CoDeSys:**

- **Гнучкість та масштабованість:** CoDeSys підтримує широкий спектр апаратних платформ та інтегрується з різними пристроями автоматизації, що робить її універсальним рішенням для різних застосувань.
- **Легкість програмування:** Інтуїтивний інтерфейс та підтримка стандартів програмування IEC 61131-3 спрощують розробку та налагодження системи.
- **Надійність:** Високий рівень надійності та стійкості до відмов забезпечує безперебійну роботу системи в умовах хімічного виробництва.
- **Безпека:** Захист даних та доступу до системи забезпечується через багаторівневу систему безпеки, включаючи шифрування даних та контроль доступу.

#### **Впровадження CoDeSys у проекті:**

Для нашого проекту з регулювання температури в хлораторі CoDeSys була обрана з наступних причин:

1. **Точний контроль температури:** Забезпечує високу точність та стабільність регулювання температури, що є критично важливим для якості продукції.
2. **Інтеграція з наявним обладнанням:** Легка інтеграція з датчиками температури, вентиляторами охолодження та системою подачі пари.
3. **Візуалізація та моніторинг:** Забезпечує наочний контроль процесу, що дозволяє операторам швидко реагувати на зміни умов виробництва.
4. **Можливості аналізу:** Збір та зберігання даних дозволяє аналізувати ефективність процесу та приймати обґрунтовані рішення щодо його оптимізації.

Таким чином, використання SCADA системи CoDeSys в нашому проекті забезпечує ефективне та надійне керування технологічним процесом, підвищуючи продуктивність та якість виробництва дихлоретану.



## ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було детально розглянуто та реалізовано технологічний процес виробництва дихлоретану з хлору та етилену з використанням сучасних систем автоматизації. Було здійснено аналіз технологічного процесу виробництва дихлоретану, включаючи розгляд хлоратора як основного елемента системи. Визначено основні параметри, які необхідно контролювати для забезпечення стабільності та ефективності процесу. Вивчено основні технологічні параметри, які впливають на якість кінцевої продукції. Визначено критичні точки контролю та регулювання для підтримання оптимальних умов виробництва. Обрано ключові параметри для контролю, такі як температура в хлораторі. Розроблено структуру системи автоматизації для забезпечення ефективного контролю та регулювання цих параметрів. Обрано сучасні засоби автоматизації, включаючи датчики, виконавчі механізми та мікропроцесорну систему керування. Детально розглянуто та обрано SCADA систему CoDeSys для реалізації автоматизованого контролю та управління процесом. Проведено розрахунок передавальної функції для системи регулювання температури в хлораторі. Розроблено математичну модель процесу, що дозволяє здійснювати точне регулювання та контроль. Розроблено детальний алгоритм роботи мікропроцесорної системи управління для регулювання температури. Створено блок-схему алгоритму з відображенням умов та зв'язків між основними елементами системи. Розроблено структурну схему автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП). Створено мнемосхему оператора для зручного моніторингу та керування процесом.

### **Завдяки цьому було досягнуто:**

**Покращення якості продукції:** Завдяки впровадженню системи автоматизації забезпечено точний контроль температури, що призводить до підвищення якості кінцевої продукції.

**Підвищення продуктивності:** Автоматизація процесу дозволила збільшити продуктивність виробництва шляхом зменшення часу реакції системи на зміну параметрів та зниження простоїв.

**Зниження ризиків:** Система автоматичного контролю та управління дозволила знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищити безпеку виробництва.

**Ефективне використання ресурсів:** Оптимізація процесу регулювання температури сприяла зниженню витрат на енергоресурси та підвищенню ефективності використання обладнання.

Таким чином, розроблена система автоматизації процесу виробництва дихлоретану забезпечує стабільну та ефективну роботу виробничого процесу, покращуючи якість продукції та підвищуючи рівень безпеки. Це сприяє конкурентоспроможності підприємства та його успішному розвитку на ринку хімічної продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юкельсон І.І. Технологія основного органічного синтезу. М.: «Хімія», 2008, 846 с.
- 2 Колесников А.Л. Технический анализ продуктов органического синтеза. М.: Высшая школа, 1966, 232 с.
- 3 Основные процессы и аппараты химической технологии: Касаткин А.Г. - Москва, 1988. - 832с;
- 4 Жученко А. І. Математичні моделі цифрових систем керування [Текст]: Навч. посібник / А. І. Жученко ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - К. : [б.в.], 1997. - 238 с.
- 5 Інформаційний ресурс [ela.kpi.ua/handle/123456789/27717](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27717)
- 3 Гаврило Хомченко. Посібник з хімії для вступників до вузів Издание 2-е (исправленное) Издательство Арий Год издания 2008 480 стр. ISBN 978-966-8959-96-7
- 4 Пічне обладнання у хімічних та нафтопереробних процесах: навч. посіб. /А.Р. Степанюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 – 172 с.
- 5 Овен датчик температуры [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://owen.ua/ua/datchyky/dtsxx5miyermoperetvorjuvachi-oporu-z-vyhidnym-sygnalom4...20ma>.
- 6 Рівнемір [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://owen.ua/ua/datchyky/pdu-i-poplavkovi-datchyky-rivnja-z-analogovym-vhidnym-sygnalom-4-20-ma>
- 7 Датчик тиску [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://owen.ua/ua/datchyky/pd100-115-datchyky-tysku-v-poliovomu-korpusi>.
- 8 Siemens Review, Том 45, Siemens Aktiengesellschaft, Siemens-Schuckertwerke Издатель Siemens Aktiengesellschaft Корнельский Университет, 2011
- 9 Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969. – 564с
- 10 Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с

11 Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / Под ред. А. С. Ключева. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.