

**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 виробництвом оцтової кислоти

Здобувача (ки) групи \_\_\_\_\_ **Баранов Володимир Олександрович**  
(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)

**Володимир БАРАНОВ**  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник \_\_\_\_\_ викладач **В.М. Грек** \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант<sup>1)</sup> \_\_\_\_\_  
(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 Баранов Володимир Олександрович

1. Тема проекту Система управління виробництвом оцтової кислоти

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. Здача роботи керівнику.	12.05.2024 - 15.06.2024

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ викладач. \_\_\_\_\_ Грек В.М.  
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУз - 01ш \_\_\_\_\_ Баранов В.О.  
Підпис Прізвище І.П.

## РЕФЕРАТ

Баранов В.О. Система управління виробництвом оцтової кислоти. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Комплексний курсовий проект містить 40 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 15 рисунків, 26 таблиць; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення.

У роботі автоматизовано систему керування технологічним процесом отримання оцтової кислоти на основі мікропроцесорної техніки. Спроектовано інформаційне, технічне та алгоритмічне забезпечення системи автоматизації. Обрано параметри контролю та регулювання, які дозволяють підрахувати основні ТЕП і при порушенні яких в об'єкті керування можуть призвести до порушення нормального перебігу технологічного процесу, виникнення браку або передаварійної та аварійної ситуації.

Розроблено технічне завдання. Розроблено автоматизацію системи керування технологічним процесом отримання оцтової кислоти та алгоритм керування.

Ключові слова: технологічний процес, система керування, регулювальний мікропроцесорний контролер, алгоритм керування, регульований параметр.

## SUMMARY

Baranov V.O. System of management of octivorous acid production. Qualifikatsiynaya robota na zdobuttya osvitnogo step Bachelor. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2014.

Complex course project contains 40 sheets of explanatory note, taking into account 15 figures, 26 tables; design documentation, which contains 2 drawings.

In the work automated control system of the technological process of acetic acid production on the basis of microprocessor technology. Information, technical and algorithmic support of the automation system is designed. The parameters of control and regulation, which allow to calculate the main FEA and at violation of which in the control object can lead to violation of the normal course of the technological process, occurrence of defect or pre-emergency and emergency situation.

The technical task has been developed. Automation of control system of technological process of acetic acid production and control algorithm are developed.

Key words: technological process, control system, regulating microprocessor controller, control algorithm, regulated parameter.

<a href="#">СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ</a> .....	8
<a href="#">ВСТУП</a> .....	9
<a href="#">1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ</a> .....	10
<a href="#">1.1 Опис технологічного процесу</a> .....	10
<a href="#">2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ</a> .....	14
<a href="#">2.1 Параметри технологічного процесу для сигналізації, контролю та управління</a> .....	14
<a href="#">2.3 Локальні контури керування за вибраними параметрами</a> .....	17
<a href="#">2.4 Структурна схема автоматизації</a> .....	19
<a href="#">3 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ</a> .....	20
<a href="#">3.1 Нижній рівень автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСУ ТП)</a> .....	21
<a href="#">3.1.1 Контроль тиску ацетилену у гідраторі</a> .....	21
<a href="#">Для контролю тиску ацетилену в гідраторі можливе використання наступних датчиків:</a> .....	21
<a href="#">Порівнявши технічні характеристики перетворювачів DMP331i та LD 301, можна зробити висновок, що обидва датчики мають інтерфейс RS-485 для зв'язку з пристроєм керування, що забезпечує їх легку інтеграцію в інформаційні вимірювальні системи. Проте, перетворювач DMP331i вирізняється вищою точністю вимірювань і меншою вартістю. Крім того, DMP331i пропонує додаткові функції, такі як корекція температурної залежності та можливість виходу через інтерфейси RS232 або RS485, що забезпечує більшу гнучкість у використанні. Таким чином, для досягнення більш точних результатів вимірювань і оптимізації витрат доцільніше використовувати перетворювач тиску DMP331i.</a> .....	22
<a href="#">3.1.2 Контроль температури у гідраторі</a> .....	22
<a href="#">Для контролю температури в гідраторі можливе використання наступних датчиків:</a> .....	22
<a href="#">3.1.3 Контроль температури парогазової суміші в окислювальній колоні</a> .....	23
<a href="#">Для контролю температури парогазової суміші в окислювальній колоні можливе використання наступних датчиків:</a> .....	23
<a href="#">3.1.4 Контроль температури в окислювальній колоні</a> .....	25
<a href="#">Для контролю температури, при якій відбувається реакція окислення в окислювальній колоні, можливе використання наступних датчиків:</a> .....	25
<a href="#">3.1.5 Контроль тиску у реакційній колоні</a> .....	26
<a href="#">Для контролю тиску в окислювальній колоні можливе використання наступних датчиків:</a> .....	26
<a href="#">Порівнявши технічні характеристики перетворювачів СДВ-85 і ТРМ202, можна зробити висновок, що обидва перетворювачі мають вихідний інтерфейс RS-485 для зв'язку з пристроями керування. Однак, перетворювач СДВ-85 відрізняється більшою точністю вимірювань і меншою вартістю. Крім того, СДВ-85 має відмінні метрологічні характеристики, компактність, надійність та можливість віддаленого калібрування та реконфігурування. Завдяки цим перевагам, доцільніше використовувати перетворювач тиску СДВ-85.</a> .....	27
<a href="#">3.1.6 Контроль якості вихідного продукту у реакційній колоні</a> .....	28
<a href="#">Порівнявши технічні характеристики датчиків МАРК 902МП і 220.7МІ, можна зробити висновок, що обидва датчики мають цифровий вихідний сигнал для зв'язку з пристроями керування. Однак, датчик</a>	

<a href="#"><u>220.7MI</u></a> вирізняється більшою точністю вимірювань та меншою вартістю. Крім того, датчик 220.7MI оснащений функцією оперативної самодіагностики та сигналізації про вихід вимірюваної величини за межі встановлених допусків, що підвищує надійність і ефективність його використання. Зважаючи на ці переваги, доцільніше використовувати датчик рН-МЕТР 220.7MI. ....	29
<a href="#"><u>3.2 Вибір виконавчих механізмів та схем управління</u></a> .....	29
<a href="#"><u>3.2.1 Контур керування тиском ацетилену в гідраторі</u></a> .....	30
<a href="#"><u>3.2.2 Контур керування температурою у гідраторі</u></a> .....	33
<a href="#"><u>Зі сформульованої задачі управління випливає, що для вимірювання та регулювання температури в гідраторі необхідно контролювати швидкість подачі пари шляхом зміни положення засувки.</u></a> .....	33
<a href="#"><u>Відповідно до регламенту технологічного процесу, номінальна витрата пари на годину становить 1 м<sup>3</sup>/год. Зробимо розрахунок діаметра трубопроводу та діаметра засувки для управління подачею пари.</u></a> .....	33
<a href="#"><u>Для забезпечення регулювання подачі пари в межах 0 – 1,5 м<sup>3</sup>/год, необхідно розрахувати відповідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі пари.</u></a> .....	33
<a href="#"><u>Внутрішній діаметр трубопроводу d, м:</u></a> .....	33
<a href="#"><u>3.2.3 Контур керування температурою парогазової суміші в окислювальній колоні</u></a> .....	35
<a href="#"><u>3.2.4 Контур керування температурою в окислювальній колоні</u></a> .....	36
<a href="#"><u>3.2.5 Контур керування тиском в окислювальній колоні</u></a> .....	37
<a href="#"><u>3.2.6 Контур контролю якості вихідного продукту в окислювальній колоні</u></a> .....	38
<a href="#"><u>3.3 Середній рівень АСУ ТП</u></a> .....	39
<a href="#"><u>3.3.1 Вибір контролера</u></a> .....	40
<a href="#"><u>3.3.2 Вибір плати введення/виводу</u></a> .....	42
<a href="#"><u>3.4 Верхній рівень АСУТП (АРМ)</u></a> .....	44
<a href="#"><u>4 ОПИС ІНТЕРФЕЙСІВ І ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ</u></a> .....	45
<a href="#"><u>4.1 Лінії зв'язку</u></a> .....	45
<a href="#"><u>4.2 Структурна схема АСУТП</u></a> .....	47
<a href="#"><u>5 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ</u></a> .....	48
<a href="#"><u>РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</u></a> .....	52
<a href="#"><u>4.1 Ідентифікація об'єкта</u></a> .....	52
<a href="#"><u>4.2 Математична модель об'єкта</u></a> .....	53
<a href="#"><u>4.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання вологості</u></a> .....	54
<a href="#"><u>4.4. Модель первинного перетворювача</u></a> .....	55
<a href="#"><u>4.5 Математична модель регулятора</u></a> .....	56
<a href="#"><u>4.6 Математична модель виконавчого пристрою</u></a> .....	56
<a href="#"><u>4.7 Математична модель системи автоматичного регулювання вологості</u></a> .....	57
<a href="#"><u>4.8. Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB</u></a> .....	57
<a href="#"><u>4.9 Одержання передаточних функцій об'єкта</u></a> .....	62
<a href="#"><u>4.10 Параметрична оптимізація системи методом розширеної амплітуднофазової характеристики</u></a> .....	65

<a href="#">ВИСНОВКИ</a> .....	71
<a href="#">СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</a> .....	72

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

ВВ – виконавчий орган.

ОУ – об'єкт управління.

ОР – об'єктом регулювання.

ПЛК – програмований логічний контролер.

САПР – система автоматизованого проектування.

САР – система автоматичного регулювання.

ТП- технологічний процес.

УСО - пристрої зв'язку з об'єктом.

УУ - пристрій керування.

ЦУ- Мета управління.

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.



## ВСТУП

Виробництво оцтової кислоти займає важливе місце у хімічній промисловості, оскільки цей продукт має широкий спектр застосувань у різних галузях, таких як харчова промисловість, медицина, хімічне виробництво та інші. У зв'язку з цим, ефективне управління виробничим процесом є критично важливим для забезпечення високої якості продукції, безпеки виробництва та економічної ефективності.

Система управління виробництвом оцтової кислоти включає в себе низку технологічних процесів, контроль параметрів та автоматизацію управління для досягнення стабільного і безперервного виробництва. Автоматизація процесу дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити точність і швидкість реагування на зміни параметрів, а також забезпечити безпеку на виробництві.

Мета даної кваліфікаційної роботи – розробка ефективної системи управління виробництвом оцтової кислоти, яка включає вибір сучасних засобів автоматизації, розробку системи сигналізації та захисту, а також алгоритмів управління. У процесі виконання роботи будуть проведені конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління, вибір каналів управління, сигналізації та блокування, а також розрахунки, необхідні для обґрунтування ефективності запропонованих рішень.

Завданнями роботи є:

Проведення конструктивно-технологічного аналізу об'єкта управління з метою визначення ключових параметрів та особливостей виробництва оцтової кислоти.

Вибір каналів управління, сигналізації та блокування для забезпечення безпеки та ефективності виробничого процесу.

Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, а також алгоритмів управління для оптимізації процесу виробництва.

Виконання розрахунків для обґрунтування технічних рішень та їх економічної доцільності.

Очікувані результати роботи полягають у розробці інтегрованої системи управління, яка дозволить підвищити продуктивність та якість виробництва оцтової кислоти, знизити витрати на виробництво та забезпечити безпеку технологічного процесу.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

### 1.1 Опис об'єкта управління

Оцтова кислота ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) є важливим хімічним продуктом, що використовується у багатьох галузях промисловості. Основним методом промислового виробництва оцтової кислоти є карбонілювання метанолу, який включає взаємодію метанолу та монооксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ) у присутності каталізатора. Цей процес забезпечує високу ефективність та економічність виробництва.

### 1.2 Технологічний процес виробництва оцтової кислоти

Технологічний процес виробництва оцтової кислоти складається з кількох основних етапів:

1. Підготовка сировини:

Очищення та підготовка метанолу та монооксиду вуглецю.

Забезпечення необхідних умов для зберігання та подачі сировини у реактор.

2. Реакторна зона:

Процес карбонілювання метанолу у реакторі високого тиску у присутності родієвого або іридієвого каталізатора.

Контроль температури, тиску та концентрації реагентів для забезпечення оптимальних умов реакції.

3. Сепарація продуктів реакції:

Відокремлення оцтової кислоти від побічних продуктів та незреагованих компонентів.

Використання дистиляції або екстракції для очищення кінцевого продукту.

4. Очистка та ректифікація:

Остаточне очищення оцтової кислоти до необхідної концентрації та чистоти.

Використання багатоступінчастої ректифікації для досягнення високої якості продукту.

### 1.3 Ключові параметри технологічного процесу

Для ефективного управління процесом виробництва оцтової кислоти необхідно контролювати наступні параметри:

Температура реакції:

Оптимальний діапазон температури для карбонілювання метанолу знаходиться в межах  $150\text{-}200^\circ\text{C}$ . Перевищення цієї температури може призвести до зниження виходу продукції та збільшення утворення побічних продуктів.

Тиск реакції:

Тиск у реакторі повинен бути підтримуваний на рівні 30-60 бар для забезпечення ефективної реакції.

Концентрація каталізатора:

Концентрація каталізатора (родієвого або іридієвого) повинна бути оптимальною для забезпечення високої швидкості реакції та мінімізації витрат.

Концентрація реагентів:

Вміст метанолу та монооксиду вуглецю у реакційній суміші повинен бути строго контролюваний для забезпечення стабільного виробничого процесу.

#### 1.4 Аналіз можливих відхилень та їх наслідків

Можливі відхилення від оптимальних умов технологічного процесу можуть мати серйозні наслідки для якості продукції та безпеки виробництва. До основних ризиків належать:

Перевищення температури реакції може призвести до термічного розкладання каталізатора та утворення небажаних побічних продуктів.

Зниження тиску реакції зменшує швидкість реакції та вихід продукції, що призводить до економічних втрат.

Недостатня концентрація каталізатора знижує ефективність реакції та збільшує час перебування реагентів у реакторі.

Відхилення у складі реагентів може призвести до нестабільності процесу та утворення некондиційного продукту.

Для мінімізації ризиків та забезпечення стабільного виробництва необхідно використовувати сучасні системи автоматизації, які дозволяють контролювати та регулювати ключові параметри процесу в режимі реального часу.

У результаті конструктивно-технологічного аналізу можна зробити висновок, що ефективне управління виробництвом оцтової кислоти вимагає ретельного контролю основних параметрів процесу та застосування сучасних засобів автоматизації для забезпечення стабільності та безпеки виробничого процесу.

Відповідно до аналізу технологічного процесу [1] складемо схему руху матеріальних потоків.

На рисунку 1 представлено схему руху матеріальних потоків на стадіях виробництва оцтової кислоти.



Рисунок 1 – Схема руху матеріальних потоків

Виробництво оцтової кислоти у промислових масштабах базується на реакції Кучерова. Цей процес включає три основні стадії:

1. Отримання ацетальдегіду.
2. Окиснення ацетальдегіду.
3. Виділення оцтової кислоти з ацетальдегіду.

Технологічний процес проходить у такій послідовності: ретельно очищений ацетилен, змішаний з циркулюючим газом під тиском  $2,5 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, безперервно барботує в гідраторі. Цей газ проходить через контактну рідину, що містить розчин сульфату ртуті у сірчаній кислоті. Температура в гідраторі підтримується в межах 90-100 °С за допомогою гострої водяної пари. Гази, що виходять з верхньої частини гідратора і містять ацетальдегід, невідрегований ацетилен, водяні пари та інші домішки, надходять у холодильник. У холодильнику конденсуються водяні пари, що повертаються в гідратор, та ацетальдегід, який направляється до збірки. Невідрегований ацетилен повертається знову у процес.

Ацетальдегід потім піддається ректифікації. Каталізаторна рідина, що виходить з гідратора, направляється у відстійник і потім на регенерацію. У ході процесу утворюються побічні продукти, такі як оцтова кислота, кротоновий альдегід та паральдегід.

Накопичення оцтової кислоти в барботажній окислювальній колоні може викликати вибух через підвищення температури вище 95 °С. Щоб запобігти цьому, парогазову суміш розбавляють азотом і підтримують температуру в межах 60-75 °С. Солі марганцю, що використовуються як каталізатор, сприяють відновленню надуцтової кислоти в оцтову.

В окислювальну колону вводиться розчин ацетальдегіду та каталізатор (розчин ацетату марганцю). Реакційна суміш заповнює всю колону, за винятком верхньої частини, в яку

подається рідкий азот, щоб уникнути вибуху парів. Кисень вводиться у різних місцях колони по її висоті. Окислення ведеться при температурі 60-70 °C та тиску  $2 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

Оцтова кислота, що утворюється, з кислотністю 7-9%, подається в збірку готового продукту для подальшого фасування в тару.

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ

### 2.1 Параметри технологічного процесу для сигналізації, контролю та управління

Основними параметрами технологічного процесу, які впливають на якість кінцевого продукту, є: температура та тиск в окислювальній колоні, температура газової суміші в окислювальній колоні, температура та тиск ацетилену в барботажному гідраторі, вологість газової суміші в окислювальній колоні, а також рівень рН оцтової кислоти. На основі схеми руху матеріальних потоків визначимо параметри для контролю, управління та сигналізації [2], і зведемо їх у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Перелік параметрів сигналізації, контролю та управління

Параметр	діапазон вимірів	Похибка вимірювання:	Функція	Спосіб регулювання
Температура у гідраторі	90-100 ° C	не більше 1%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Температура у верхній частині колони	60-75 ° C	не більше 1%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Температура у нижній частині колони	60-70 ° C	не більше 1%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Тиск у гідраторі	2*10 <sup>5</sup> -2,5*10 <sup>5</sup> Н/м <sup>2</sup>	не більше 2%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Тиск у колоні	1,5*10 <sup>5</sup> -2*10 <sup>5</sup> Н/м <sup>2</sup>	не більше 1%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Рівень рНв оцтовій кислоті	7-9%	не більше 0,2%	Контроль, керування	Регулюючий клапан
Вологість газової суміші	62-68%	не більше 0,2%	Контроль, керування	Регулюючий клапан



### 2.2 Аналіз технологічного процесу та вибір каналів впливу

Відповідно до переліку параметрів для сигналізації, контролю та управління, виконаємо аналіз технологічного процесу та вибір каналів впливу.

#### 2.2.1 Температура у барботажному гідраторі

Завдання управління температурою в барботажному гідраторі полягає у підтриманні її в діапазоні 90-100 °C, що є критично важливим для забезпечення ефективного процесу барботування. Підтримання необхідної температури здійснюється шляхом регулювання подачі водяної пари. Для цього в гідраторі встановлено датчик температури, який безперервно

моніторить поточний стан, а на трубопроводі подачі пари встановлено регулюючий клапан, що забезпечує точне дозування необхідної кількості пари. Таким чином, система автоматично коригує подачу пари для підтримання стабільної температури, що забезпечує оптимальні умови для хімічних реакцій та підвищує ефективність виробничого процесу.

#### 2.2.2 Температура у верхній частині окислювальної колони

Завдання управління температурою у верхній частині окислювальної колони полягає в запобіганні аварійним ситуаціям і підтриманні температури парогазової суміші в діапазоні 60-75 °С за допомогою рідкого азоту. Для цього в колоні встановлено датчик температури, який безперервно контролює температуру парогазової суміші. На трубопроводі подачі рідкого азоту встановлено регулюючий клапан, що забезпечує точне дозування азоту, необхідного для підтримання заданої температури. Така система дозволяє не лише запобігати можливим аварійним ситуаціям, зокрема вибухам, але й забезпечувати оптимальні умови для протікання технологічного процесу.

#### 2.2.3 Температура у нижній частині окислювальної колони

Завдання управління температурою у нижній частині окислювальної колони полягає в забезпеченні нормального протікання реакції та максимізації обсягу вихідного продукту. Необхідно підтримувати температуру реакції окислення в межах 60-70 °С, що сприяє утворенню більшої кількості надощтової кислоти. Для досягнення цього в колоні встановлено датчик температури, який постійно контролює температуру. На трубопроводі подачі гарячої води встановлено регулюючий клапан, що дозволяє точно регулювати подачу гарячої води для підтримання оптимальної температури. Таким чином, система забезпечує стабільні умови для хімічної реакції, що підвищує ефективність виробництва та обсяг вихідного продукту.

#### 2.2.4 Тиск у барботажному гідраторі

Завдання управління тиском у барботажному гідраторі полягає в підтриманні тиску ацетилену для барботування в межах  $1,5 \times 10^3$  -  $2,2 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Контроль і регулювання здійснюються за допомогою датчика тиску, який безперервно моніторить поточний тиск у системі. На трубопроводі подачі ацетилену встановлено регулюючий клапан, що дозволяє точно керувати подачею ацетилену для підтримання необхідного тиску. Ця система забезпечує стабільні умови для процесу барботування, що є важливим для ефективного та безпечного протікання хімічної реакції.

#### 2.2.5 Тиск реакції окиснення в окислювальній колоні

Завдання управління полягає в забезпеченні нормального протікання реакції та максимізації обсягу вихідного продукту. Необхідно підтримувати тиск в окислювальній колоні в межах  $1,5 \times 10^5$  -  $2 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Для цього в колоні встановлено датчик тиску, а на трубопроводі відведення газів з барботажної колони встановлений регулюючий клапан.

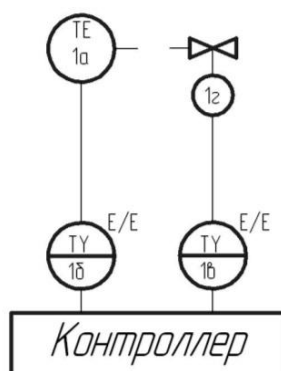
### 2.2.6 Управління якістю готового продукту в окислювальній колоні

Завдання управління полягає в контролі якості готового продукту. Оскільки якість вихідного продукту визначається рівнем кислотності, управління зводиться до підтримки кислотності в межах 7-9%. Це дозволить покращити технічні характеристики готового продукту, підвищуючи його конкурентоспроможність на ринку. Контроль здійснюється за допомогою рН-метра. Для регулювання якості оцтової кислоти в колоні встановлено регулюючий клапан подачі ацетату марганцю.



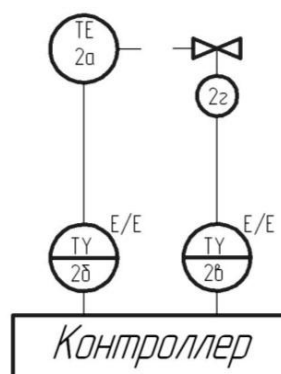
## 2.3 Локальні контури керування за вибраними параметрами

### 2.3.1 Локальний контур керування температурою у барботажному гідраторі



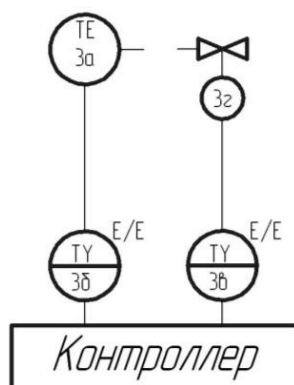
Малюнок 2 – Локальний контур управління

### 2.3.2 Локальний контур керування температурою у верхній частині окисної колони



Малюнок 3 – Локальний контур управління

### 2.3.3 Локальний контур керування температурою в нижній частині окисної колони



Малюнок 4 – Локальний контур управління

### 2.3.4 Локальний контур керування тиском у барботажному гідраторі

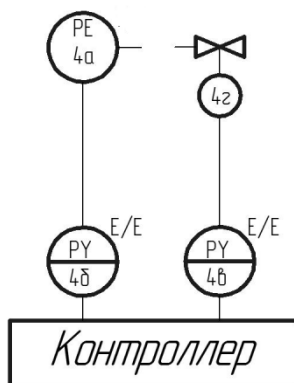


Рисунок 5 – Локальний контур управління

### 2.3.5 Локальний контур керування тиском в окислювальній колоні.

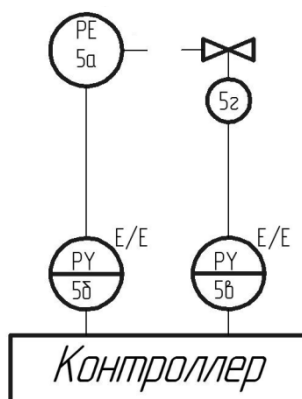


Рисунок 6 – Локальний контур управління

### 2.3.6 Локальний контур керування якістю готового продукту в окислювальній колоні.

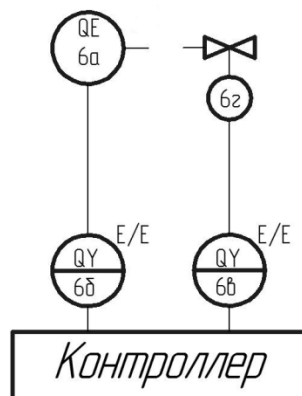
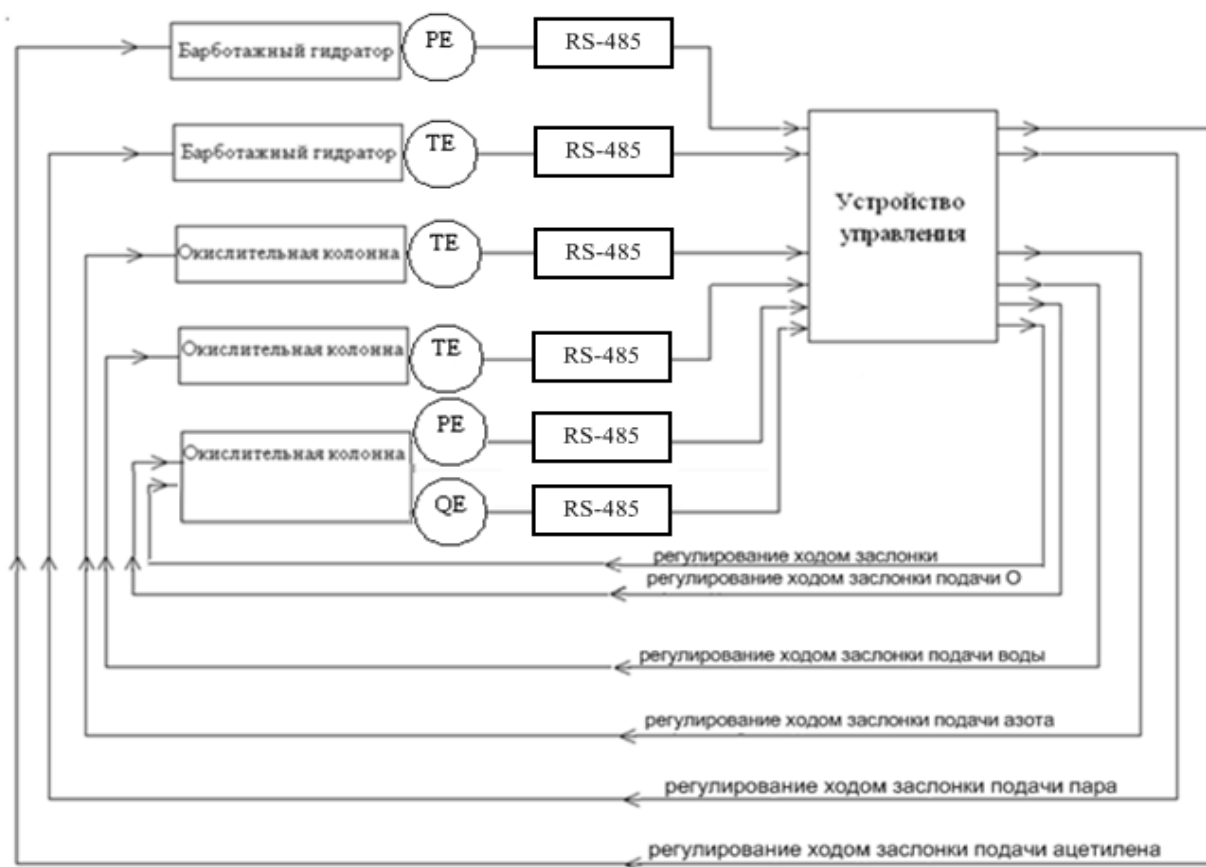


Рисунок 7 – Локальний контур управління

## 2.4 Структурна схема автоматизації

З обраних параметрів управління, розробимо структурну схему автоматизації [2] рис. 8.



Малюнок 8 – Структурна схема автоматизації

Згідно з аналізом представленої структурної схеми автоматизації об'єкта, можна виділити такі джерела та приймачі інформації:

- Два канали виміру параметрів барботажного гідратора:
  - Тиск ацетилену ( $\text{Н/м}^2$ )
  - Температура в гідраторі ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Три канали вимірювання параметрів окисної реакційної колони:
  - Температура парогазової суміші ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - Температура в колоні ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - Тиск в колоні ( $\text{Н/м}^2$ ), необхідний для реакції окислення
  - Вологість газової суміші.
- Канал контролю якості вихідного продукту:
  - Кислотність (%)

Ці параметри є ключовими для забезпечення стабільності процесу та якості кінцевого продукту.

### **3 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ**

Беручи до уваги організацію виробництва оцтової кислоти, топологію об'єкта, вимоги щодо організації автоматизованого робочого місця (АРМ) та розподіл функціональних елементів технологічного процесу на підприємстві, вибираємо трирівневу систему керування.

#### **Перший рівень: Польові пристрої**

На першому рівні системи керування знаходяться польові пристрої, які здійснюють безпосереднє вимірювання та регулювання параметрів процесу. Сюди входять:

- Датчики температури та тиску в барботажному гідраторі.
- Датчики температури та тиску в окислювальній колоні.
- Датчики рН для контролю кислотності готового продукту.
- Регулюючі клапани для підтримки необхідних параметрів процесу.

#### **Другий рівень: Контролери та виконавчі механізми**

Другий рівень включає програмовані логічні контролери (PLC), які збирають дані з датчиків та керують виконавчими механізмами:

- PLC для управління температурою, тиском та іншими параметрами в барботажному гідраторі та окислювальній колоні.
- Виконавчі механізми, такі як регулюючі клапани, які виконують команди від контролерів для підтримки необхідних параметрів процесу.

#### **Третій рівень: Системи управління та моніторингу**

На третьому рівні знаходяться системи управління та моніторингу, які забезпечують централізоване управління та нагляд за всім процесом:

- Система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) для моніторингу та контролю всіх параметрів процесу в режимі реального часу.
- Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, де відображаються всі дані з SCADA-системи, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в процесі та приймати рішення.
- Інтерфейси для налаштування параметрів процесу, генерації звітів та аналізу даних.

#### **Вибір та організація системи керування**

Вибір трирівневої системи керування обумовлений необхідністю забезпечення високого рівня автоматизації та надійності технологічного процесу. Така система дозволяє:

- Ефективно контролювати і регулювати всі ключові параметри виробництва оцтової кислоти.
- Забезпечити оперативне виявлення та усунення відхилень від заданих параметрів.

- Оптимізувати роботу підприємства шляхом збору і аналізу даних для подальшого вдосконалення технологічного процесу.

Цей підхід забезпечує гнучкість і масштабованість системи керування, дозволяючи легко інтегрувати нові елементи та оновлювати існуючі компоненти в міру розвитку виробництва.

### 3.1 Нижній рівень автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСУ ТП)

На цьому рівні знаходяться датчики та виконавчі пристрої.

Зробимо вибір датчиків [3]:

#### 3.1.1 Контроль тиску ацетилену у гідраторі

Для контролю тиску ацетилену в гідраторі можливе використання наступних датчиків:

##### а) Перетворювач тиску BD Sensors DMP331i

Технічний опис.

Основним компонентом датчика DMP 331i є сенсор тиску DSP 401. Під впливом тиску напівпровідниковий сенсор DSP 401 генерує вихідний сигнал, що становить 100 мВ при живленні постійним струмом. Цей сигнал обробляється аналогово-цифровим перетворювачем, який перетворює його на стандартний вихідний сигнал. Процес обробки забезпечує високу точність корекції температурної залежності сенсора та електроніки.

Важливою перевагою датчика є наявність не лише аналогового вихідного сигналу, а й можливість виходу через інтерфейси RS232 або RS485. Ці виходи дозволяють користувачеві, наприклад, здійснювати обнулення зсуву сигналу, що забезпечує додаткову гнучкість та точність в експлуатації.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики DMP331i

Діапазон тисків:	1,2*10 <sup>5</sup> -4*10 <sup>5</sup> Н/м <sup>2</sup>
Повна наведена похибка, не більше:	0,5%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 4..20 mA
Напруга живлення:	9-36 В
Вартість з урахуванням доставки	1860,30 грн

Вихідний сигнал датчика може бути налаштований під протокол будь-якої системи телемеханіки, що має інтерфейс RS-485 або струмовий сигнал 4:20 мА.

##### б) Перетворювач тиску LD 301

Перетворювачі LD 301 є інтелектуальними датчиками з програмним керуванням для вимірювання тиску в діапазоні 1×10<sup>5</sup> - 3×10<sup>5</sup> Н/м<sup>2</sup>. Вихідний сигнал датчика представлений у

нормованому цифровому форматі інтерфейсу RS-485. Цей сигнал може бути налаштований під протокол будь-якої системи телемеханіки, що використовує інтерфейс RS-485, що дозволяє легко інтегрувати його в інформаційні вимірювальні системи.

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики датчику LD 301

Діапазон тисків:	1*10 <sup>5</sup> -3*10 <sup>5</sup> Н/м <sup>2</sup>
Повна наведена похибка, не більше:	1%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 4..20 mA
Напруга живлення:	9-36 В
Вартість з урахуванням доставки	2410,90 грн

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів DMP331i та LD 301, можна зробити висновок, що обидва датчики мають інтерфейс RS-485 для зв'язку з пристроєм керування, що забезпечує їх легку інтеграцію в інформаційні вимірювальні системи. Проте, перетворювач DMP331i вирізняється вищою точністю вимірювань і меншою вартістю. Крім того, DMP331i пропонує додаткові функції, такі як корекція температурної залежності та можливість виходу через інтерфейси RS232 або RS485, що забезпечує більшу гнучкість у використанні. Таким чином, для досягнення більш точних результатів вимірювань і оптимізації витрат доцільніше використовувати перетворювач тиску DMP331i.

### 3.1.2 Контроль температури у гідраторі

Для контролю температури в гідраторі можливе використання наступних датчиків:

#### а) Вимірник температури DS1820

Перетворювач температури DS1820 призначений для вимірювання температури та передачі виміряного значення по мережі RS-485. Вимірювач температури реалізований на основі напівпровідникового приладу DS1820, який використовує інтерфейс 1-WIRE для комунікації.

Таблиця 3.3 - Основні технічні характеристики DS1820

Діапазон вимірюваних температур:	0 до +140°C
Повна наведена похибка, не більше:	1%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 0..5 mA
Швидкість передачі:	9600 бод/сек
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	не більше 1 кг

Вартість:	1950 грн
-----------	----------

### **б) Вимірювач температури IP 57**

Вимірювач температури IP 57 призначений для вимірювання температури та передачі виміряного значення по мережі RS-485.

Основні функції та відмінні особливості:

1. Можливість вимірювання постійного струму або напруги:
  - Вхідний сигнал струму: (0-20) мА, (4-20) мА.
  - Вхідний сигнал напруги: (0-10) В.
2. Перерахування значення фізичної величини:
  - Виміряні значення перераховуються у відповідні фізичні величини, що відповідають уніфікованим сигналам.
3. Різні варіанти виконань:
  - Вимірювач може бути налаштований для роботи з декількома варіантами сигналів, що забезпечує гнучкість і універсальність у використанні.

Ці особливості роблять вимірювач IP 57 ефективним інструментом для точного вимірювання температури та інтеграції з іншими системами за допомогою інтерфейсу RS-485.

Таблиця 3.4 - Основні технічні характеристики IP 57

Діапазон тисків:	0 до +160°C°C
Повна наведена похибка, не більше:	0,25%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 0..5 мА
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	1,25 кг
Вартість:	1550 грн

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів DS1820 та IP 57, можна зробити висновок, що обидва перетворювачі мають інтерфейс RS-485 для зв'язку з пристроєм керування. Але перетворювач IP 57 має більшу точність вимірювань та меншу вартість – тому слід використовувати перетворювач температури IP 57.

### **3.1.3 Контроль температури парогазової суміші в окислювальній колоні**

Для контролю температури парогазової суміші в окислювальній колоні можливе використання наступних датчиків:

#### **а) Перетворювач температури ТМ-5100**

TM5100 є багатофункціональним інтелектуальним приладом, який може працювати як в автономному режимі, так і під керуванням комп'ютерної програми через інтерфейси RS-232 або RS-485. Прилад TM5100 також виконує функцію сигналізації контрольованих параметрів.

Основні функції та можливості:

1. Автономна та комп'ютерна робота:
  - Можливість функціонування в автономному режимі.
  - Управління через комп'ютерну програму за допомогою інтерфейсів RS-232 або RS-485.
2. Функція сигналізації:
  - Сигналізація контрольованих параметрів для забезпечення безпеки та точності процесів.
3. Індивідуальна переконфігурація:
  - Можливість індивідуальної налаштування типу вхідного сигналу.
  - Налаштування діапазонів вимірюваних величин.
  - Завдання конфігурації приладу відбувається виключно з комп'ютера, що забезпечує гнучкість та точність налаштувань.

TM5100 є універсальним інструментом для різноманітних вимірювальних та контрольних задач, забезпечуючи надійність і зручність у використанні.

Таблиця 3.5 - Основні технічні характеристики TM-5100

Діапазон вимірюваних температур:	0 до +150°C
Повна наведена похибка, не більше:	1%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 0.5 mA
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	1 кг
Вартість:	1780 грн

### **б) Вимірювач температури IP 67**

Вимірювач температури IP 67 призначений для вимірювання температури та передачі вимірюваного значення по мережі RS-485.

Основні функції та відмінні особливості:

1. Можливість вимірювання постійного струму:
  - Вхідний сигнал струму: (0-20) mA, (4-20) mA.
  - Вхідний сигнал напруги: (0-10) В.
2. Перерахування у значення фізичної величини:



- Виміряні значення перетворюються у відповідні фізичні величини, що відповідають уніфікованим сигналам.

### 3. Різні варіанти виконань:

- Прилад може бути налаштований для роботи з декількома варіантами сигналів, що забезпечує гнучкість і універсальність у використанні.

Ці особливості роблять вимірювач IP 67 ефективним інструментом для точного вимірювання температури та інтеграції з іншими системами за допомогою інтерфейсу RS-485.

Таблиця 3.6 - Основні технічні характеристики IP 67

Діапазон вимірюваних температур:	0 до +180°C
Повна наведена похибка, не більше:	0,25%
Вихідний сигнал:	RS 232/485, 0..5 mA
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	1,25 кг
Вартість:	1344 грн

Порівнявши технічні характеристики вимірювачів TM5100 та IP 67, можна зробити висновок, що обидва пристрої використовують інтерфейс RS-485 для зв'язку з системою керування. Однак, вимірювач IP 67 відрізняється більшою точністю вимірювань та меншою вартістю. Крім того, IP 67 пропонує можливість вимірювання постійного струму та напруги з перерахуванням у значення фізичної величини, що відповідає уніфікованим сигналам. Завдяки цим перевагам, вимірювач температури IP 67 є більш вигідним вибором для забезпечення точності та економічності у вимірювальних системах.

#### 3.1.4 Контроль температури в окислювальній колоні

Для контролю температури, при якій відбувається реакція окислення в окислювальній колоні, можливе використання наступних датчиків:

##### а) Перетворювач температури РТМ-56

Перетворювач температури РТМ-56 призначений для вимірювання температури та передачі вимірюваного значення по мережі RS-485.

Таблиця 3.7 - Основні технічні характеристики РТМ-56

Діапазон вимірюваних температур:	0 до +170°C
----------------------------------	-------------

Повна наведена похибка, не більше:	0,5%
Вихідний сигнал:	RS 485, 0..5 mA
Швидкість передачі:	9600 бод/сек
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	не більше 1 кг
Вартість:	1550 грн

### б) Перетворювач температури ТСМ-0499

Діапазон виміру: 0...+100°C

Ресурс, годинника (при  $t$  змін. =  $t$  ном.), не менше 8000 год.

Таблиця 3.8 - Основні технічні характеристики ТСМ-0499

Діапазон вимірюваних температур:	0 до +100°C
Повна наведена похибка, не більше:	1%
Вихідний сигнал:	0..5 mA
Маса:	4,05 кг
Вартість:	2300 грн

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів РТМ-56 та ТСМ-0499, можна зробити висновок, що перетворювач РТМ-56 має вищу точність вимірювань і також оснащений вихідним інтерфейсом RS-485, що виключає необхідність додаткового перетворення сигналу. Отже, для забезпечення максимальної точності та ефективності системи вимірювання, доцільніше використовувати перетворювач температури РТМ-56.

### 3.1.5 Контроль тиску у реакційній колоні

Для контролю тиску в окислювальній колоні можливе використання наступних датчиків:

#### а) Перетворювач тиску СДВ-85

1) Перетворювачі тиску СДВ-85 з аналого-цифровою обробкою сигналу призначені для перетворення тиску в цифровий вихідний сигнал, що відповідає стандартному протоколу обміну. Наявність цифрового протоколу зв'язку дозволяє легко інтегрувати СДВ-85 в сучасні

автоматизовані системи управління (АСУ), забезпечуючи взаємодію з промисловими контролерами та комп'ютерами.

- 2) Відмінні особливості перетворювача тиску СДВ-85:
- 3) Високі метрологічні характеристики: забезпечують точність і стабільність вимірювань.
- 4) Компактність: зручний розмір для легкого монтажу в різних умовах.
- 5) Надійність: висока стійкість до впливів навколишнього середовища та довговічність.
- 6) Можливість віддаленого калібрування та реконфігурування: дозволяє здійснювати налаштування та обслуговування без фізичного доступу до приладу, що підвищує зручність експлуатації.
- 7) Ці характеристики роблять СДВ-85 ефективним і універсальним рішенням для точного вимірювання тиску в промислових додатках.

Таблиця 3.9 - Основні технічні характеристики СДВ-85

Робочий діапазон:	0 - 10*105 Н/м2
Основна похибка, не більше:	0,5%
Вихідний сигнал:	RS 485
Напруга живлення:	9-36 В
Маса:	1,25 кг
Вартість:	1100 грн

#### **б) Перетворювач тиску ОВЕН ТРМ202**

Призначений для перетворення тиску в цифровий сигнал та передачі його за інтерфейсом RS-485.

Застосовується у системах централізованого контролю та управління технологічними процесами на об'єктах електро-, тепло-, водо-, нафто- та газорозподільних мереж, а також у локальних системах автоматизації гідропроектів, випробувального обладнання.

Таблиця 3.10 - Основні технічні характеристики ТРМ202

Робочий діапазон:	0 – 25*105 Н/м2
Основна похибка, не більше:	1%
Вихідний сигнал:	RS 485
Напруга живлення:	9-36 В
Вартість:	1670 грн

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів СДВ-85 і ТРМ202, можна зробити висновок, що обидва перетворювачі мають вихідний інтерфейс RS-485 для зв'язку з пристроями

керування. Однак, перетворювач СДВ-85 відрізняється більшою точністю вимірювань і меншою вартістю. Крім того, СДВ-85 має відмінні метрологічні характеристики, компактність, надійність та можливість віддаленого калібрування та реконфігурування. Завдяки цим перевагам, доцільніше використовувати перетворювач тиску СДВ-85.

### 3.1.6 Контроль якості вихідного продукту у реакційній колоні

Розглядаючи перелік функцій контролю об'єкта (розділ 2) та сформульовані вимоги до меж вимірювання та точності, можна виділити такі вимірювачі рН, що задовольняють заданим вимогам:

#### а) рН-МЕТР 220.7МІ

У рН-метрі 220.7 МІ передбачена оперативна самодіагностика, що включає контроль параметрів електродної системи та справність перетворювача. Також реалізована функція сигналізації при виході вимірюваної величини за межі встановлених допусків.

Гідроблок:

Гідроблок являє собою вузол, що включає:

1. Проточну комірку: для вимірювання параметрів.
2. Пристосування для стабілізації швидкості закінчення: забезпечує стабільний потік.
3. Пристрій для підлужування проби та проведення налаштування.
4. Роз'єми для підключення перетворювача та інші допоміжні елементи.

Витрата дорогої проби при вимірюванні не перевищує 5 л/год, що робить процес економічно вигідним. Конструкція вимірювального осередку в гідроблоці забезпечує виключення впливу закінчення розчину оцтової кислоти з електролітичного ключа на результати вимірювання, що підвищує точність та надійність отриманих даних.

Таблиця 3.11 – Основні технічні характеристики рН-220.7МІ

Вибір діапазону	автоматичний
рН	-1,00...14,00
Вихідні сигнали	0:5 mA ( $R_H < 2 \text{ кОм}$ ); 4:20 mA ( $R_H < 500 \text{ Ом}$ )
	0:100 mV ( $R_H > 40 \text{ кОм}$ )
цифровий	RS-485
Похибка перетворень	$\pm 0,02$
Термокомпенсація:	ручна та автоматична -20: 150°C
Живлення:	220 В, частотою 50 Гц
Споживання	не більше 7 В·А
Габаритні розміри перетворювача	250 x 230 x 130 мм
Габаритні розміри гідроблоку	220 x 240 x 75 мм
Маса перетворювача	1,3 кг
Маса гідроблоку	5 кг
Ціна (з урахуванням доставки)	4060 грн

### **б) рН-метр МАРК 902МП**

Призначений для безперервного вимірювання активності іонів водню (рН), і передачі результатів вимірювань уніфікованим струмовим виходом або портами RS-232, RS-485

Таблиця 3.12 – Основні технічні характеристики МАРК 902МП

Діапазон рН	0 ... 12,00
Вихідні сигнали	0:5 mA; 4:20 mA
цифровий	RS-232, RS-485
Похибка перетворень	±0,15
Термокомпенсація:	автоматична -10 ... 140 ° C
Живлення:	220 В, частотою 50 Гц
Споживання	не більше 10 В·А
Ціна (з урахуванням доставки)	6630 грн
Маса перетворювача	3,2 кг
Маса гідроблоку	3,1 кг

Порівнявши технічні характеристики датчиків МАРК 902МП і 220.7МІ, можна зробити висновок, що обидва датчики мають цифровий вихідний сигнал для зв'язку з пристроями керування. Однак, датчик 220.7МІ вирізняється більшою точністю вимірювань та меншою вартістю. Крім того, датчик 220.7МІ оснащений функцією оперативної самодіагностики та сигналізації про вихід вимірюваної величини за межі встановлених допусків, що підвищує надійність і ефективність його використання. Зважаючи на ці переваги, доцільніше використовувати датчик рН-МЕТР 220.7МІ.

### **3.2 Вибір виконавчих механізмів та схем управління**

Основні функції управління, викладені раніше (розділ 2.2), реалізуються з урахуванням підбору необхідних технічних засобів. Головним завданням при виборі технічних засобів є забезпечення сумісності каналів керування контролера з приводами, які керують регулюючими клапанами та засувками.

Серед різних методів керування приводами на сьогодні використовуються частотне та широтно-імпульсне (ШИМ) керування. Велика перевага ШИМ полягає у високій заводостійкості та простоті організації на мікропроцесорному контролері.

Додатково, враховуючи вимоги до надійності та точності системи управління, при виборі технічних засобів необхідно також перевірити їх сумісність з існуючими інфраструктурами і можливість інтеграції у загальну систему автоматизації. Це включає перевірку можливості віддаленого калібрування та моніторингу стану обладнання, що сприяє підвищенню ефективності управління та зниженню експлуатаційних витрат.



Рисунок 9 – Функціональна схема керування двигуном.

Додатковою перевагою використання широтно-імпульсного (ШИМ) керування є можливість типізації алгоритму управління, що дозволяє створювати стандартизовані рішення для різних застосувань.

Для керування перетворювачем частоти використовується сигнал 4-20 мА. Перетворювач, отримуючи ці керуючі сигнали, регулює роботу двигуна за допомогою ШИМ. Такий підхід забезпечує точне керування швидкістю та потужністю двигуна, підвищуючи ефективність та стабільність роботи системи.

Крім того, застосування сигналу 4-20 мА забезпечує високу завадостійкість і надійність передачі сигналів на великі відстані, що є критично важливим у промислових умовах. Це дозволяє інтегрувати перетворювач частоти з іншими компонентами системи автоматизації, забезпечуючи гнучкість і адаптивність системи управління.

### 3.2.1 Контур керування тиском ацетилену в гідраторі

Зі сформульованої задачі управління випливає, що для вимірювання та регулювання тиску в гідраторі необхідно контролювати витрату ацетилену шляхом зміни положення засувки.

Для досягнення цього потрібно використовувати датчики тиску, які будуть безперервно моніторити поточний тиск в системі, і регулюючий клапан, керований контролером. Контролер отримує дані від датчиків тиску та, відповідно до запрограмованих алгоритмів управління, змінює положення засувки, регулюючи таким чином потік ацетилену. Це дозволяє підтримувати тиск на необхідному рівні, забезпечуючи стабільність та ефективність процесу в гідраторі.

Відповідно до параметрів технологічного процесу номінальним витрата ацетилену на годину становить 0,6 м<sup>3</sup>/годину. Для забезпечення регулювання подачі ацетилену в межах 0 – 1 м<sup>3</sup>/годину розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі ацетилену:

внутрішній діаметр трубопроводу  $d$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 * v}}$$

де  $Q$ -витрата, м<sup>3</sup>/годину,  $v$  - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 1 \text{ м}^3/\text{год} = 2.83 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{2.83 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.1}} = 0.06 \text{ м}$$



	min	max	об/хв	(град.)	на 90°	на 225°			
QT100-0.5	100	300	1,5	0,25 (90о) або 0,63 (225о)	10	25	250	24	15

Кліматичне виконання: УЗ.1 за ГОСТ 15150.

Ступінь захисту: IP 67 за ГОСТ 14254.

Електричне живлення: однофазне, напругою 220 або 24 В, частота 50 Гц.

Управління приводом: можливе як безконтактне, за допомогою безконтактного реверсивного пускача, так і контактне – за допомогою електромагнітного пускача.

Перетворювач: Овен ПЧВ101-К37-А.

Функція реверсу.

2-провідне керування.

Цифровий вихід для діагностики приводу.

Постійний або змінний крутний момент з характеристиками U/f.

Максимальна частота – 100 Гц.

Джерело живлення +15 В для зовнішніх приладів.

Зовнішні входи для керування та скидання помилок.

Електронний захист двигуна від перевантажень.

Ці технічні характеристики забезпечують надійність і ефективність роботи приводу в різних

Таблиця 3.15 -Основні технічні характеристики Овен ПЧВ101-К37-А

Характеристики	Модель Овен ПЧВ101-К37-А
Напруга мережі живлення	220-240 В
Частота мережі, Гц	45-60 Hz
Вихідна потужність, Вт	400
Номинальний вихідний струм, А	2,4
Максимально допустимий струм, А (150% Іном протягом 60 с)	3,6
Несуча частота ШІМ, кГц	16
Режими управління	2-х провідне
Режими гальмування	Плавна зупинка, інерційна зупинка або гальмування постійним струмом
Навантаження	З постійним моментом або з вентиляторною характеристикою
Ступінь захисту	IP00
Робоча температура	Від 0 до +50°C
Температура зберігання	Від - 40 до + 65 ° С
Вартість, грн.	1389
Інші умови	Відсутність горючих газів, частинок пилу,



корозійних газів, мастила та агресивних речовин.

До переваг цього перетворювача варто віднести низьку вартість, простоту експлуатації та компактні габарити. Зважаючи на високі технічні характеристики та конкурентну ціну частотних перетворювачів фірми Овен, для зниження вартості автоматизації та уніфікації використовуваного обладнання доцільно використовувати частотний перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А як стандартне рішення для всіх контурів управління. Це рішення дозволить забезпечити надійність, ефективність та економічність у процесах автоматизації..

### 3.2.2 Контур керування температурою у гідраторі

Зі сформульованої задачі управління випливає, що для вимірювання та регулювання температури в гідраторі необхідно контролювати швидкість подачі пари шляхом зміни положення засувки.

Відповідно до регламенту технологічного процесу, номінальна витрата пари на годину становить 1 м<sup>3</sup>/год. Зробимо розрахунок діаметра трубопроводу та діаметра засувки для управління подачею пари.

Для забезпечення регулювання подачі пари в межах 0 – 1,5 м<sup>3</sup>/год, необхідно розрахувати відповідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі пари.

Внутрішній діаметр трубопроводу  $d$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 * v}}$$

де  $Q$ -витрата, м<sup>3</sup>/годину,  $v$  - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{год} = 4,17 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{4.17 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.1}} = 0.08 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,1 м.

Таблиця 3.16 – Основні технічні характеристики засувки 33a921p DN100

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	100
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	6
Робоче середовище:	Розчини кислот та лугів, двоокис титану, агресивні абразивні пульпи
Температура робочого середовища, °	до +110
Тип приєднання:	фланцеве

Тип приводу:	електропривід
--------------	---------------

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 67%

### Привід електричний багатооборотний ПЕО-А-180

Привід призначений для керування заслінками, кульовими та корковими кранами, затворами та іншою запірною арматурою, яка потребує повороту робочого органу на кут від 0 до 225°.

Він встановлюється безпосередньо на трубопровідну арматуру та з'єднується зі штоком регулюючого органу за допомогою втулки. Привід може працювати у будь-якому робочому положенні.

Таблиця 3.17 -Основні технічні характеристики ПЕО-А-180

Виконання приводу	Крутний момент на вихідному валу, Н.м		Частота обертання вихідного валу, об/хв	Повний хід вихідного валу, про. (град.)	Номінальний час повороту вихідного валу, з		Споживана потужність, не більше, Вт	Вид і розмір вихідного валу, мм	маса, кг
	min	max			на 90°	на 225°			
ПЕО-А	60	140	0,6	0,25 (90о) або 0,63 (225о)	25	63	180	24	14

#### Технічні характеристики

#### Привід електричний багатооборотний ПЕО-А-180

- Кліматичне виконання: У2 за ГОСТ 15150.
- Ступінь захисту: IP55 за ГОСТ 14254.
- Електричне живлення: однофазне, напругою 220 або 24 В, частота 50 Гц.

#### Перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А

- Функція реверсу
- 2-провідне керування
- Цифровий вихід для діагностики приводу
- Постійний або змінний крутний момент з характеристиками U/f
- Максимальна частота: 100 Гц
- Джерело живлення: +15 В для зовнішніх приладів
- Зовнішні входи для керування та скидання помилок
- Електронний захист двигуна від перевантажень

Ці характеристики забезпечують надійну та ефективну роботу приводу та перетворювача в різних умовах експлуатації.

Таблиця 3.18 -Основні технічні характеристики Овен ПЧВ101-К37-А

Характеристики	Модель Овен ПЧВ101-К37-А
Напруга мережі живлення	220-240 В
Частота мережі, Гц	45-60 Hz
Вихідна потужність, Вт	400
Номінальний вихідний струм, А	2,4
Максимально допустимий струм, А (150% Іном протягом 60 с)	3,6
Несуча частота ШІМ, кГц	16
Режими управління	2-х провідне
Ступінь захисту	IP00
Робоча температура	Від 0 до +50°C
Температура зберігання	Від - 40 до + 65 ° С
Вартість, грн.	1389
Інші умови	Відсутність горючих газів, частинок пилу, корозійних газів, мастила та агресивних речовин.

До переваг цього перетворювача належать низька вартість, простота експлуатації та компактні габарити. Завдяки високим технічним характеристикам і економічній ефективності, перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А є оптимальним вибором для наших потреб. Його використання дозволяє знизити витрати на автоматизацію та забезпечує надійність і стабільність роботи системи.

### **3.2.3 Контур керування температурою парогазової суміші в окислювальній колоні**

Контур управління реалізується на основі вимірювання температури парогазової суміші та управління витратою азоту шляхом зміни положення засувки.

Вибираємо привід ПЕО-А-100 та перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А.

Відповідно до регламенту технологічного процесу номінальною витрата азоту на годину становить 1 м<sup>3</sup>/годину.

Зробимо розрахунок діаметра трубопроводу та діаметра засувки для управління подачею азоту.

Відповідно до параметрів технологічного процесу номінальним витрата азоту на годину становить 1 м<sup>3</sup>/годину. Для забезпечення регулювання подачі азоту в межах 0 – 1,5 м<sup>3</sup>/годину розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі азоту:

внутрішній діаметр трубопроводу  $d$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 * v}},$$

де Q-витрата, м3/годину, v - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 1,5 \text{ м3/год} = 4,17 \times 10^{-4} \text{ м3/с}$$

$$v = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{4.17 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.1}} = 0.08 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,1 м.

Таблиця 3.19 – Основні технічні характеристики засувки 33a921p DN100

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	100
Умовний тиск Ру, кгс/см2	6
Робоче середовище:	Розчини кислот та лугів, двоокис титану, агресивні абразивні пульпи
Температура робочого середовища, °	до +110
Тип приєднання:	фланцеве
Тип приводу:	електропривід

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 67%

### 3.2.4 Контур керування температурою в окислювальній колоні

Контур управління реалізується на основі вимірювання температури в окислювальній колоні та управління витратою гарячої води шляхом зміни положення засувки.

Відповідно до регламенту технологічного процесу номінальною витратою гарячої води на годину становить 1,8 м3/годину.

Зробимо розрахунок діаметра трубопроводу та діаметра засувки для керування подачею гарячої води.

Відповідно до параметрів технологічного процесу номінальним витратою гарячої води на годину становить 1,8 м3/годину. Для забезпечення регулювання подачі кисню в межах 0 – 2 м3/год. розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі гарячої води:

внутрішній діаметр трубопроводу d, м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 * v}},$$

де Q-витрата, м3/годину, v - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 2 \text{ м3/год} = 5,5 \times 10^{-4} \text{ м3/с}$$

$$v = 0,05 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{5.5 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.05}} = 0.12 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,15 м.

Таблиця 3.20 - Основні технічні характеристики засувки 33a921p DN150

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	150
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	6
Робоче середовище:	Вода, пара нафтопродукти та інші рідкі та газоподібні середовища
Температура робочого середовища, °	до +110
Тип приєднання:	фланцеве
Тип приводу:	електропривід

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 67%

Вибираємо привід ПЕО-А-160 та перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А.

### 3.2.5 Контур керування тиском в окислювальній колоні

Контур управління реалізується на основі вимірювання тиску в окислювальній колоні та регулювання швидкості подачі кисню шляхом зміни положення засувки.

Відповідно до регламенту технологічного процесу, номінальна витрата кисню становить 1 м<sup>3</sup>/год. Для забезпечення регулювання подачі кисню в межах 0 – 2 м<sup>3</sup>/год, необхідно розрахувати діаметр трубопроводу та діаметр засувки.

Згідно з параметрами технологічного процесу, номінальна витрата кисню становить 1 м<sup>3</sup>/год, що дорівнює  $2.83 \times 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с.

Для забезпечення потрібного діапазону витрати, обчислимо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі газу. Припустимо, що швидкість подачі газу (v) становить 0,1 м/с..

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{2.83 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.1}} = 0.06 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,1 м.

Таблиця 3.21 - Основні технічні характеристики засувки 33a921p DN100

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	100
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	6
Робоче середовище:	Розчини кислот та лугів, двоокис титану, агресивні абразивні пульпи

Температура робочого середовища, °	до +110
Тип приєднання:	фланцеве
Тип приводу:	електропривід

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 87%

Вибираємо привід ПЕО-А-200 та перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А.

### 3.2.6 Контур контролю якості вихідного продукту в окислювальній колоні

Контур управління реалізується на основі контролю кислотності вихідного продукту в окислювальній колоні та регулювання швидкості подачі кислоти шляхом зміни положення засувки.

Відповідно до регламенту технологічного процесу, номінальна витрата кислоти становить 0,6 м<sup>3</sup>/год. Для забезпечення регулювання подачі кислоти в межах 0 – 1 м<sup>3</sup>/год, необхідно розрахувати діаметр трубопроводу та діаметр засувки.

Згідно з параметрами технологічного процесу, номінальна витрата кислоти становить 0,6 м<sup>3</sup>/год. Для забезпечення регулювання подачі кислоти в межах 0 – 1 м<sup>3</sup>/год, розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі кислоти:

:

внутрішній діаметр трубопроводу  $d$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 * v}}$$

де  $Q$ -витрата, м<sup>3</sup>/годину,  $v$  - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 1 \text{ м}^3/\text{год} = 2.83 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{2.83 \times 10^{-4}}{0.785 * 0.1}} = 0.06 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,1 м.

Таблиця 3.22 – Основні технічні характеристики засувки 33a921p DN100

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	100
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	6
Робоче середовище:	Розчини кислот та лугів, двоокис титану, агресивні абразивні пульпи
Температура робочого середовища, °	до +110
Тип приєднання:	фланцеве

Тип приводу:	електропривід
--------------	---------------

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи, становить 87%.

Для забезпечення ефективного управління обираємо привід ПЕО-А-100 та перетворювач Овен ПЧВ101-К37-А. Це обладнання дозволить досягти необхідної точності та надійності у процесі регулювання, забезпечуючи стабільність роботи системи..

### **3.3 Середній рівень АСУ ТП**

На цьому рівні знаходиться контролер, який необхідний для забезпечення зв'язку між окремими ділянками виробництва, що віддалені один від одного, та для забезпечення необхідної швидкодії системи. Контролер також відповідає за зв'язок між середнім та верхнім рівнями АСУТП.

Структурна схема АСУТП

(Далі слідує структурна схема АСУТП, яка включає всі необхідні компоненти та їх взаємодію)

1. Верхній рівень:
  - Інтерфейс користувача (HMI)
  - Система управління підприємством (ERP)
2. Середній рівень:
  - Контролер (PLC) для зв'язку між окремими ділянками
  - Мережеве обладнання для зв'язку з верхнім рівнем
3. Нижній рівень:
  - Датчики та виконавчі механізми
  - Локальні контролери та перетворювачі

Контролер на середньому рівні забезпечує координацію дій між різними ділянками виробництва, передає дані на верхній рівень для аналізу та прийняття рішень, а також отримує команди з верхнього рівня для виконання на місцях. Це дозволяє досягти інтеграції всіх компонентів системи автоматизації та забезпечити ефективну роботу виробництва.



Рисунок 10 – Структура автоматичної системи управління.

### 3.3.1 Вибір контролера

### Тенденції у розвитку PC-based автоматички та Industrial Ethernet у 2024 році

На конференції Adastra у 2013 році було відзначено зростання популярності PC-based автоматички, а також тенденцію до витіснення класичних закритих PLC і пов'язаних з ними технологій з ринку АСУ ТП контролерами з архітектурою персонального комп'ютера. Дані поточного року підтверджують продовження цієї тенденції.

У 2014 році спостерігалось випереджаюче зростання PC-based автоматички, що продовжилось і надалі. Нове дослідження агентства VDC показало, що PC-based автоматика залишається найбільш швидко зростаючим сегментом ринку.

Також триває випереджальне зростання відкритих технологій передачі даних (насамперед Ethernet) порівняно з польовими шинами та мережами із закритими протоколами. ARC Advisory Group передбачала 84% річне зростання Industrial Ethernet у наступні 5 років, що підтверджується поточними даними. Журнал Control називав перемогу Ethernet над такими шинами як Foundation Fieldbus, Profibus та Modbus однією з головних тенденцій 2014 року. Сьогодні майже всі виробники польових шин випустили версії, що працюють під Ethernet.

У 2024 році ми спостерігаємо, що PC-based автоматика продовжує домінувати на ринку, надаючи високий рівень гнучкості, потужності та інтеграції з іншими системами. Industrial Ethernet став стандартом у промислових мережах завдяки своїй швидкості, надійності та сумісності з різними пристроями.



Оскільки PC-based контролери та комп'ютери (які знаходяться на верхньому рівні АСУ ТП) оснащені Ethernet адаптерами, доцільно використовувати саме цю мережу для обміну даними між PC-based контролерами та автоматизованими робочими місцями (АРМ). Це забезпечує швидкий, надійний і безпечний обмін інформацією, підвищуючи ефективність і продуктивність систем автоматизації.

Таблиця 3.23 – Десять основних причин використання ПК замість PLC

1	Мережа передачі даних на верхній рівень АСУ
2	Просунуті алгоритми управління
3	Розширені можливості управління базою параметрів
4	Можливість підключення зовнішніх засобів відображення інформації
5	Можливість вбудовування алгоритмів користувача
6	Комплексне моделювання процесу
7	Дуже висока продуктивність процесора
8	Пам'ять ширша, ніж у PLC
9	Декілька протоколів зв'язку
10	Бездротовий доступ

Для контролера обираємо промисловий PC-сумісний комп'ютер із встановленою платою вводу/виводу, що працює під управлінням сучасної операційної системи, такої як Windows 10 IoT Enterprise або спеціалізованої версії Linux, яка забезпечує високий рівень надійності та безпеки. Оскільки в виробничому процесі використовуються небезпечні хімічні речовини, необхідно передбачити резервування пристрою та встановити дублюючий промисловий комп'ютер.

Переваги використання сучасних промислових PC-сумісних комп'ютерів:

- Висока продуктивність: Забезпечують обробку великих обсягів даних у реальному часі.
- Надійність: Промислові комп'ютери мають міцний корпус та витримують екстремальні умови експлуатації, такі як високі температури, вібрації та пил.
- Гнучкість: Легко інтегруються з іншими системами автоматизації та можуть бути налаштовані для різних виробничих процесів.
- Сумісність: Підтримують різноманітні інтерфейси та протоколи зв'язку, включаючи Ethernet, Modbus, Profibus та інші.
- Операційна система: Використання сучасних ОС забезпечує підвищену безпеку та підтримку новітніх технологій.

Резервування системи:

Оскільки виробничий процес пов'язаний з небезпечними хімічними речовинами, необхідно встановити дублюючий промисловий комп'ютер, який буде працювати у режимі резервування. Це дозволить забезпечити безперебійність роботи та мінімізувати ризики аварійних ситуацій.

Основні функції дублюючого комп'ютера:

- Безперебійна робота: Автоматичне переключення на дублюючий комп'ютер у разі збою основного контролера.
- Синхронізація даних: Постійний обмін даними між основним і дублюючим комп'ютерами для актуалізації інформації.
- Моніторинг стану: Постійний контроль за станом обох комп'ютерів для своєчасного виявлення і усунення несправностей.

Використання сучасних промислових PC-сумісних комп'ютерів з резервуванням забезпечить високу надійність та безпеку виробничого процесу, відповідно до вимог 2024 року.

### **3.3.2 Вибір плати введення/виводу**

Оскільки управління технологічним процесом буде здійснюватися з використанням SCADA-системи, для зменшення матеріальних витрат на додаткові перетворювачі та спрощення розробки й налагодження програмного забезпечення, слід використовувати плату вводу/виводу, сумісну зі SCADA-системами.

Прикладом такої плати є плата вводу/виводу А-8111. З огляду на її низьку вартість порівняно з аналогами та великий набір функціональних можливостей, для зв'язку з нижнім рівнем АСУТП вибираємо саме цю плату.

Основні характеристики плати введення/виведення А-8111

- Тип: Багатофункціональний адаптер ISA
- Аналогові входи: 8 каналів із загальним проводом, АЦП 12 біт, 30 кГц
- Аналогові виходи: 1 канал ЦАП
- Дискретні входи: 16 каналів
- Дискретні виходи: 16 каналів



Малюнок 11 - Плата введення/виведення А-8111

Завдяки таким характеристикам, плата А-8111 забезпечує надійний та ефективний зв'язок з нижнім рівнем АСУТП, що є важливим для успішного впровадження та експлуатації SCADA-системи.

Багатофункціональний адаптер ISA має: 8 аналогових входів із загальним проводом, АЦП 12 біт, 30 кГц, 1 канал ЦАП, 16 дискретних входів, 16 дискретних виходів

число каналів аналогового введення (Всього): 8

число каналів аналогового виводу: 1

число каналів дискретного введення (Всього): 16

число каналів дискретного виводу (Всього): 16

Таблиця 3.21 - Основні технічні характеристики плати введення/виводу А-8111

Конструкція:	Адаптер ISA
Інтерфейс:	ISA
Аналогове введення	
Перевантаження по входу:	35 В
АЦП: Тип: Розрядність: Режими запуску:	ADS774 12 біт Програмний
Підсилювач: Коефіцієнти посилення: Встановлення коефіцієнта посилення:	1, 2, 4, 8, 16 Програмна для всіх каналів
Режими передачі:	Програмний, За перериванням, По каналу ПДП
Похибка:	0.02%
Каналів аналогового висновку:	1
ЦАП: Кількість: Розрядність: Тип: Час встановлення:	1 12 біт AD7948 30 мкс
Вихід: здатність навантаження:	5 мА
Тактова частота:	2 МГц
Програмне забезпечення:	DOS утиліта для перевірки та калібрування, бібліотеки та драйвери під MS DOS, Widows 95/98/NT, Trace Mode
Ціна	888.93

### 3.4 Верхній рівень АСУТП (АРМ)

Автоматизоване робоче місце (АРМ) включає сучасний комп'ютер IBM PC з операційною системою Windows 11, процесором Intel Core i7, 16 GB оперативної пам'яті та програмним комплексом TRACE MODE 7.

TRACE MODE 7 – це новітній програмний комплекс, призначений для розробки та запуску в реальному часі розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) і вирішення різноманітних завдань управління підприємством (АСУП). Основні переваги TRACE MODE 7 включають:

- Підтримка сучасних протоколів зв'язку: Забезпечує інтеграцію з різноманітними пристроями та системами через Ethernet, Modbus, OPC UA та інші протоколи.

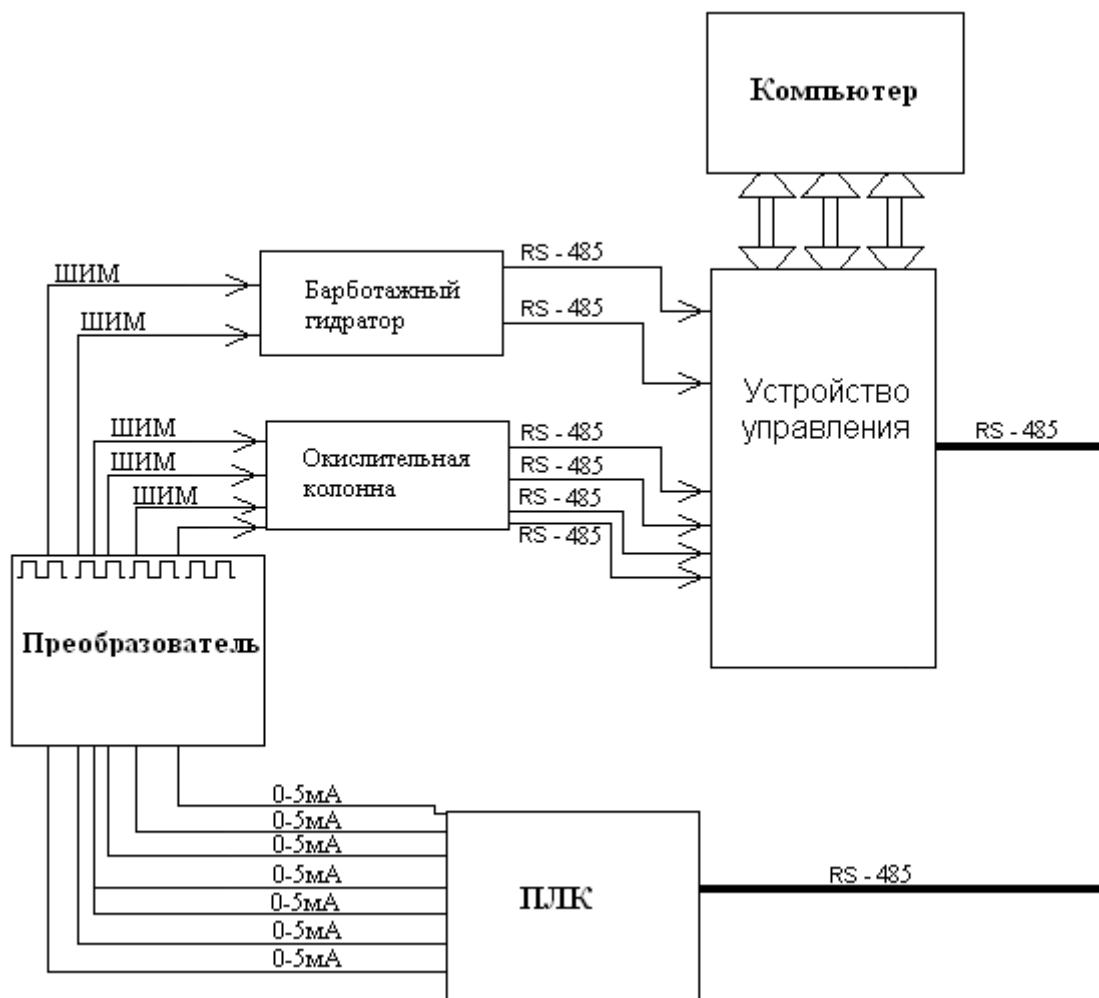
- Розширені можливості візуалізації: Нові інструменти для створення інтерактивних інтерфейсів користувача.
- Покращена безпека: Підтримка сучасних методів захисту даних та аутентифікації користувачів.
- Можливості хмарних обчислень: Підтримка хмарних сервісів для зберігання та обробки даних, що дозволяє підвищити гнучкість і масштабованість системи.

Завдяки цим характеристикам, АРМ на базі IBM PC та TRACE MODE 7 забезпечує високу продуктивність, надійність і гнучкість в управлінні технологічними процесами і підприємством у 2024 році.

## 4 ОПИС ІНТЕРФЕЙСІВ І ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

### 4.1 Лінії зв'язку

Відповідно до схеми автоматизації та обраних засобів автоматизації скомпонуємо лінії зв'язку між контролером, датчиками та виконавчими механізмами.



Малюнок 12 - Схема ліній зв'язку

Функціонування ліній зв'язку полягає в наступному: вихідний сигнал із пристрою управління (УУ) видається через інтерфейс RS - 485 в частотний перетворювач, який формує змодульований ШІМ сигнал, що надходить на виконавчі органи (ІВ). Оскільки всі перетворювачі використовуються в ІО розраховані на 2-х провідний режим управління слід виділити кожному ІО окрему лінію зв'язку.

Опишемо лінії зв'язку між барботажним гідратором, окислювальною колоною та пристроєм управління: вихідні сигнали від датчиків однотипні і передаються за допомогою інтерфейсу RS – 485. Ці лінії підключаються до відповідного інтерфейсу на мікроконтролері.

Оскільки всі обрані датчики мають вихідний інтерфейс RS 485, Як керуючий пристрій можна використовувати мікропроцесорний контролер без додаткових перетворювачів інтерфейсів.

Схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до ліній зв'язку зображена на малюнку 13.

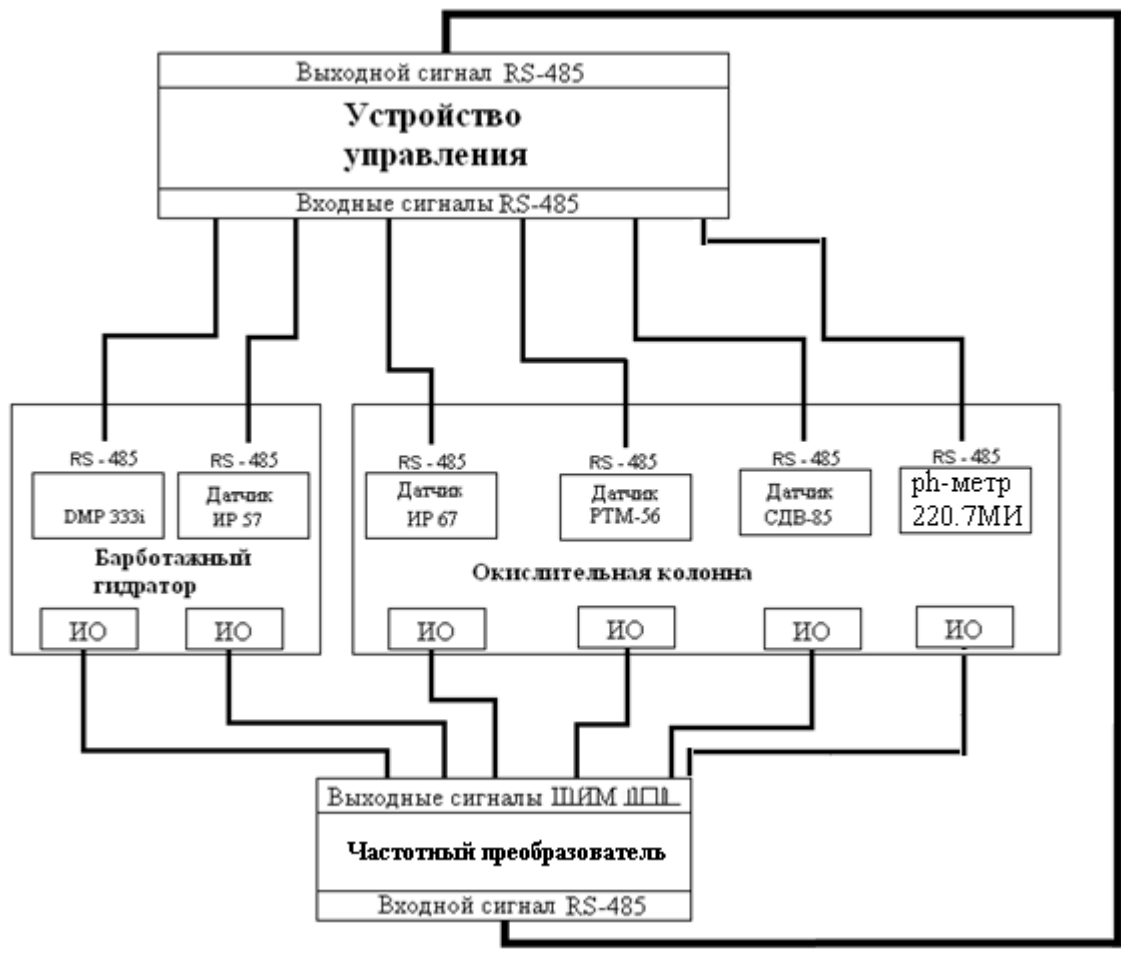
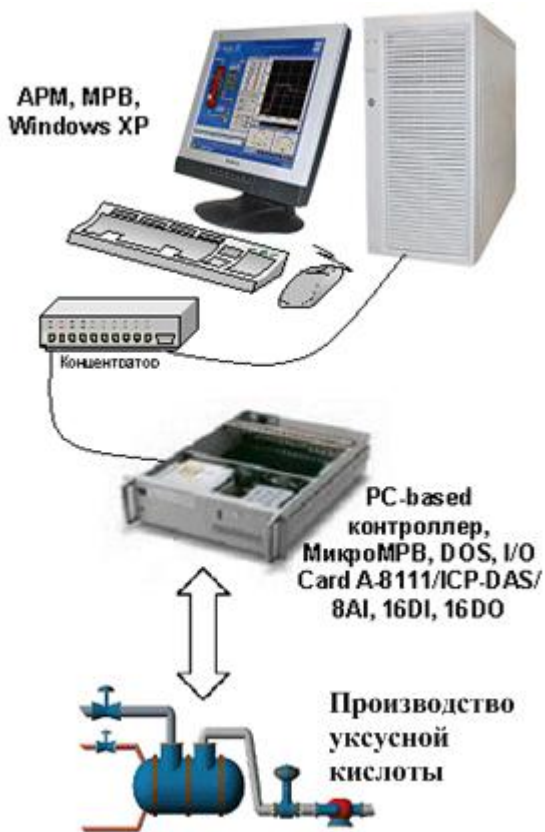


Рисунок 13 – Схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до ліній зв'язку

## 4.2 Структурна схема АСУТП.

Складемо структурну схему 3-х рівневої АСУТП виробництва оцтової кислоти.



Малюнок 14 - структурна схема АСУТП

## 5 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Система управління працює наступним чином:

1. Встановлення параметрів регулювання:
  - Перед запуском система здійснює встановлення необхідних параметрів регулювання для кожного компонента технологічного процесу.
2. Запуск циклу контролю параметрів:
  - Система розпочинає цикл контролю параметрів технологічного процесу.
3. Моніторинг параметрів:
  - Постійно моніторяться всі критичні параметри технологічного процесу, такі як температура, тиск, рівень та інші.
4. Перевірка параметрів:
  - Якщо будь-який параметр виходить за задані межі, система виявляє це відхилення.
5. Корекція параметрів:
  - Система видає керуючий вплив для повернення параметра технологічного процесу в задані межі. Це може включати:
    - Регулювання температури шляхом зміни потужності нагрівачів або охолоджувачів.
    - Регулювання тиску шляхом відкриття або закриття клапанів.
    - Зміна рівня рідини за допомогою насосів або клапанів.
6. Аварійна ситуація:
  - У разі виявлення аварійної ситуації, наприклад, перевищення критичних меж або несправності обладнання, система негайно:
    - Припиняє подачу хімічних речовин.
    - Зупиняє технологічний процес для запобігання небезпеці.
    - Генерує аварійне повідомлення для операторів.
7. Повідомлення оператора:
  - Система надсилає сповіщення операторам про стан процесу, включаючи звичайні регулювання та аварійні ситуації.
8. Повернення до нормального режиму:
  - Після усунення причин відхилень або аварії система може автоматично або вручну повернутися до нормального режиму роботи, продовжуючи контроль і регулювання параметрів.

Додаткові кроки для повного алгоритму

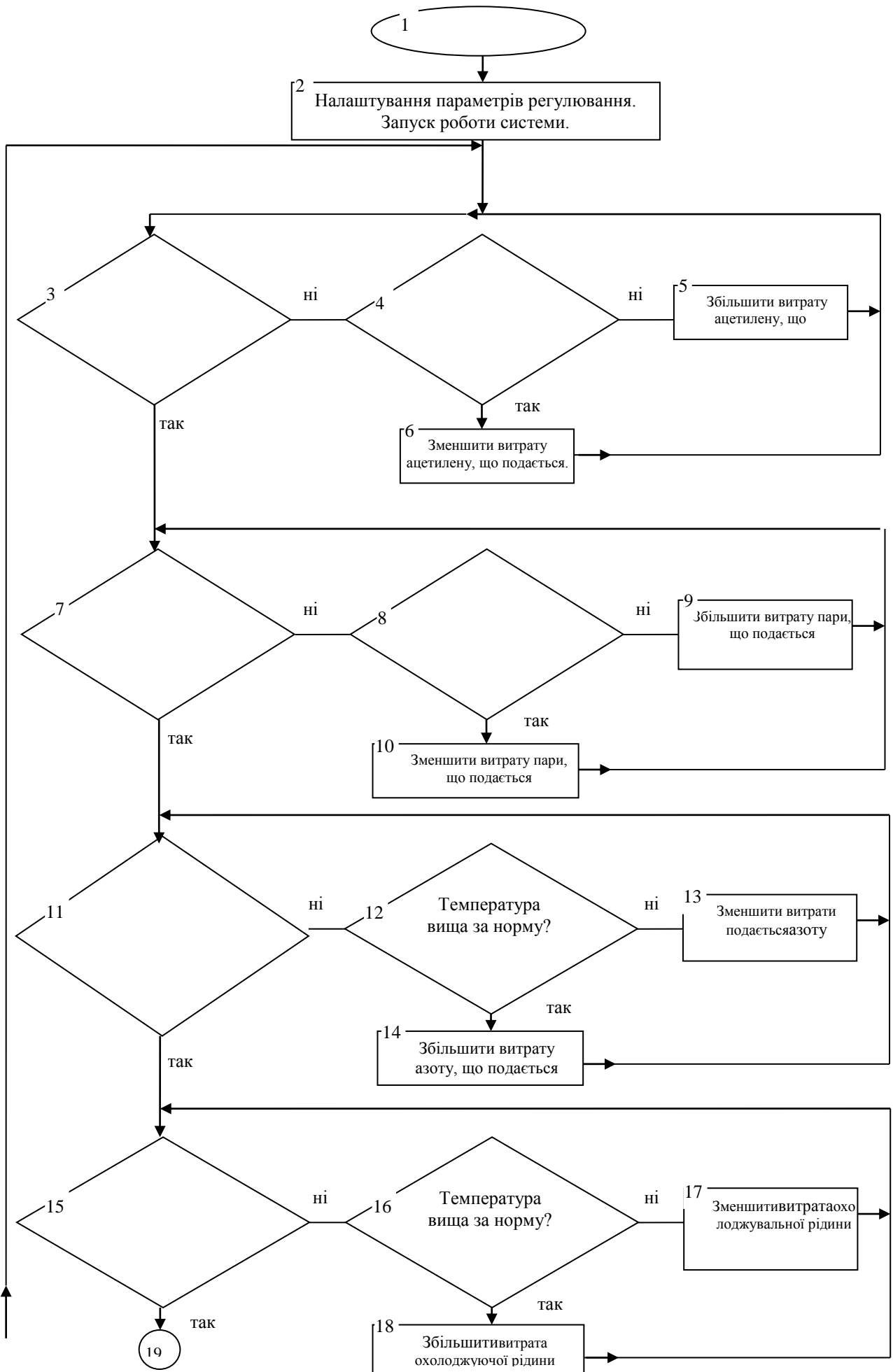


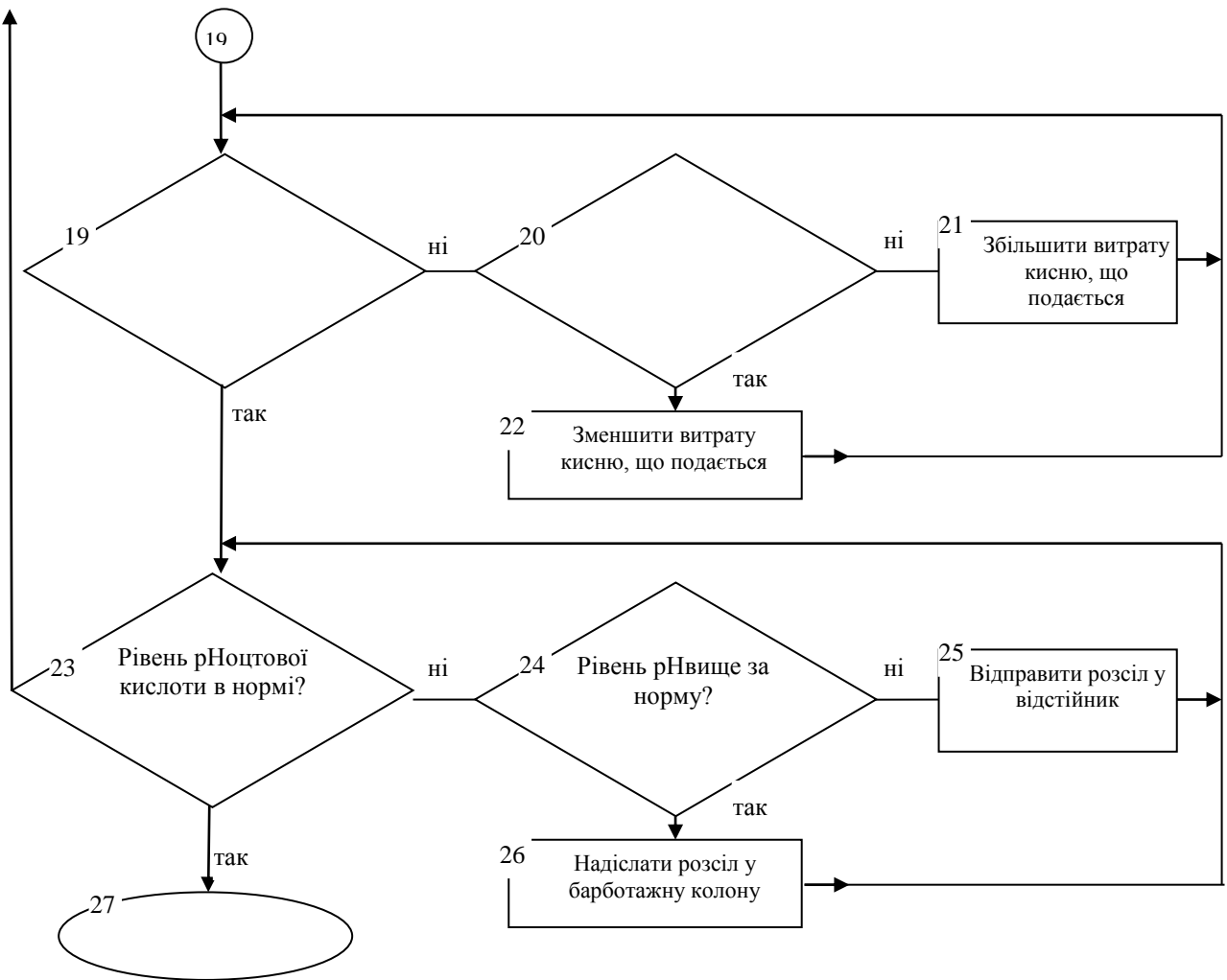
1. Ініціалізація системи:
  - Проведення самоперевірки системи та підтвердження готовності до роботи.
2. Логування даних:
  - Постійний запис параметрів процесу в базу даних для подальшого аналізу та оптимізації.
3. Перевірка з'єднань:
  - Перевірка всіх з'єднань та комунікацій між компонентами системи для забезпечення надійного обміну даними.

Переваги даного алгоритму

- **Безпека:** Швидке реагування на аварійні ситуації забезпечує безпеку технологічного процесу.
- **Ефективність:** Постійний контроль і корекція параметрів забезпечують оптимальне функціонування системи.
- **Надійність:** Використання резервних компонентів і перевірка з'єднань знижує ймовірність збоїв.

Цей алгоритм забезпечує надійну та ефективну роботу системи управління технологічним процесом, забезпечуючи високу точність і безпеку, зображення алгоритму на рисунку 15.





Малюнок 15 – Алгоритм роботи системи

## РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Ідентифікація об'єкта

Основною метою ідентифікації є отримання математичної моделі об'єкта. Це можна здійснити за допомогою аналітичних або експериментальних методів. Аналітичний метод включає аналіз і застосування фізичних законів для дослідження процесів, що відбуваються в об'єкті. Експериментальний метод передбачає збір необхідних даних безпосередньо з об'єкта, наприклад, кривої розгону. Цей метод також використовується для перевірки адекватності моделі, отриманої аналітичним шляхом [15].

#### 4.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Регулювання вологості газової суміші на вході окислювальної колони є важливим аспектом виробництва оцтової кислоти з кількох причин:

Оптимізація реакційних умов. Правильний рівень вологості забезпечує оптимальні умови для проведення реакції окислення, що сприяє підвищенню ефективності процесу та збільшенню виходу оцтової кислоти.

Захист каталізаторів. Волога може негативно впливати на каталізатори, використані у процесі. Надмірна вологість може призвести до зниження активності каталізаторів або їх деградації, що зменшує продуктивність і збільшує витрати на заміну каталізаторів.

Запобігання корозії. Надмірна вологість в газовій суміші може викликати корозію обладнання, особливо металевих частин. Це призводить до підвищення експлуатаційних витрат на обслуговування та ремонт.

Контроль побічних продуктів. Вологість газової суміші може впливати на утворення побічних продуктів. Оптиміальне регулювання вологості допомагає мінімізувати утворення небажаних речовин, що покращує якість кінцевого продукту.

Енергетична ефективність. Контроль вологості сприяє зниженню енергетичних витрат на процес сушіння та подальшої обробки продукту. Це допомагає знизити загальні витрати на виробництво.

Безпека процесу. Надмірна вологість може створювати небезпечні умови, такі як можливість конденсації і утворення вибухонебезпечних сумішей. Регулювання вологості сприяє підвищенню безпеки технологічного процесу.

В якості відповідального контуру регулювання візьмемо контур регулювання вологості газової суміші на вході окислювальної колони, так як цей параметр багато в чому буде визначати якість продукції, що виготовляється.

Структурна схема об'єкта буде мати наступний вигляд (рис. 4.1):

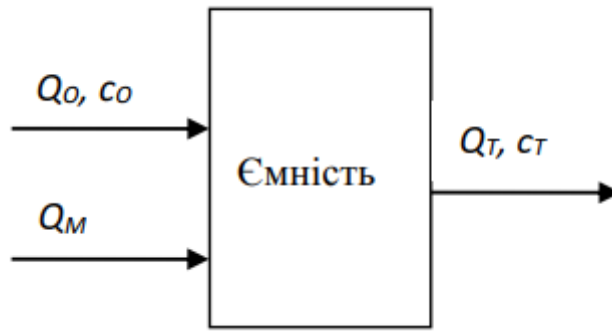


Рис. 4.1 - Структурна схема об'єкта моделювання

де  $q_o$  - об'ємна витрата азоту,  $m^3/c$ ;

$c_o$  - вологість кислороду, %;

$Q_m$  - об'ємна витрата суміші,  $m^3/c$ ;

$Q_T$  - об'ємна витрата оцтової кислоти на виході,  $m^3/c$ ;

$c_T$  - вологість оцтової кислоти на виході, %;

У ємності відбувається конвективний перенос тепла від входу до виходу.

Балансове співвідношення в загальному виді виглядає наступним чином:

$$\Sigma n - \Sigma y = \frac{dr}{dt} \quad (4.1)$$

$\Sigma n$  – потік речовини або енергії, що приходить в об'єкт;

$\Sigma y$  – потік речовини або енергії, що виходить з об'єкта;

$\frac{dr}{dt}$  похідна за часом від кількості речовини або енергії, що перебуває в об'єкті.

#### 4.2 Математична модель об'єкта

Рівняння матеріального балансу може бути замінене балансом обсягів:

$$Q_o + Q_m + Q_T = \frac{dV}{dt} \quad (4.2)$$

де  $V$  - об'єм тіста в ємності.

$$V = S \cdot H \quad (4.3)$$

де,  $S$  – площа поперечного перерізу окислювальної колони, приймаємо  $S=3,5 m^2$ ;

$H$  – рівень рідини, м.

В якості даного обсягу приймемо обсяг камери окислювальної колони, так як практично весь об'єм камери інтенсивної обробки зайнятий валами.

Об'ємні витрати оцтової кислоти на виході розраховуються за формулою:

$$Q_T = S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4.4)$$

де  $S_o$  – площа отвору в окислювальній колоні,  $m^2$ , ( $S_o=0,1 m^2$ );

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$  ( $g=9,8 m/c^2$ );

$H$  – рівень рідини, м (початкове значення приймаємо  $H=1,5m$ ).

Початкова умова, тобто значення  $Q_o$  в момент часу, рівна нулю знаходиться з моделі статичної об'єкта.

Матеріальний баланс по одному компоненту – газової суміші - виглядає наступним чином:

$$Q_o \cdot c_o - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt}, \quad (4.5)$$

де  $c_o$  – вологість газової суміші, % ( $c_o = 66\%$ );

$c_T$  – результуюча вологість оцтової кислоти, % (також знаходимо з рівнянь моделі статичної).

З врахуванням рівнянь (4.2), (4.3), (4.4), (4.5) і початкових умов, одержуємо математичну модель динаміки об'єкта:

$$\begin{cases} Q_M + Q_o - Q_T = \frac{dV}{dt} \\ Q_T = S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\ V = S \cdot H \\ Q_o \cdot c_o - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt} \\ c|_{t=0} = c_0 \end{cases} \quad (4.6)$$

У синтезованій системі автоматичного регулювання (САР) задане значення підтримується зміною витрати газової суміші, яка подається в колону.

### 4.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання вологості

Крім об'єкта регулювання САР вологості містить первинний перетворювач, ПІ-регулятор і виконавчий пристрій у вигляді клапана (рис. 4.2).

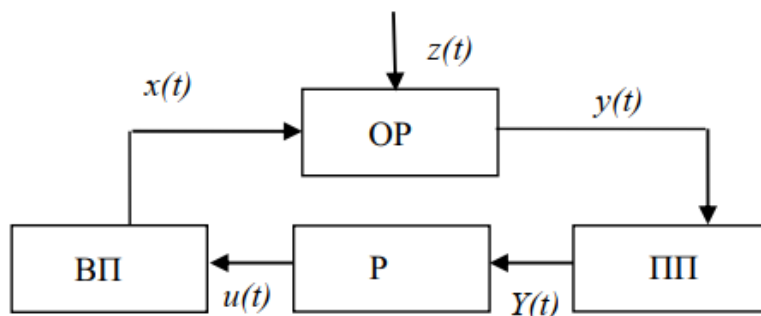


Рис. 4.2 – Структурна схема САР

ОР – об’єкт регулювання (окислювальна колона);

ПП – первинний перетворювач;

Р – регулятор (ПІ-регулятор);

ВП – виконавчий пристрій (клапан);

$x(t)$  – витрати газової суміші на вході в колону;

$y(t)$  – вологість оцту (регульований параметр);

$Y(t)$  – приведена вологість оцту (безрозмірна величина 0...1)

$u(t)$  – керуючий вплив (0...1);

$z(t)$  – зміна вологості газової суміші на вході в об’єкт (збурюючий вплив).

#### 4.4. Модель первинного перетворювача

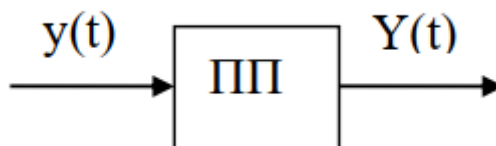


Рис. 4.3 – Структурна схема первинного перетворювача

де  $y(t)$  – вологість оцту (регульований параметр);

$Y(t)$  – вихідний сигнал з первинного перетворювача (0...1).

Інерційність первинного перетворювача (ПП) нескінченно мала в порівнянні з інерційністю об’єкту. На виході первинного перетворювача є електричний сигнал. Електричний сигнал може бути за струмом, за напругою, з різними діапазонами, цифровий і т.д., але в будь-якому випадку мінімальному значенню вимірюваної величини відповідає мінімальне значення вихідного сигналу, а максимальному - максимальне значення вихідного сигналу. Для однаковості моделі вихідний сигнал в моделі представляється безрозмірною змінною, що змінюється в межах від 0 до 1. Опис статичної характеристики:

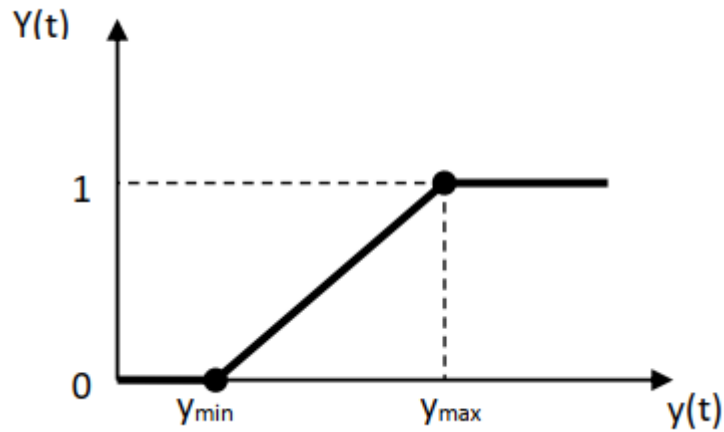


Рис. 4.4 – Статична характеристика первинного перетворювача де утах, у<sub>min</sub> – межі вимірювання конкретного перетворювача.

Таким чином, математичний опис моделі первинного перетворювача буде мати наступний вид:

$$Y(t) = \frac{c_T}{c_{max} - c_{max}} \quad (4.7)$$

#### 4.5 Математична модель регулятора

Залежність, за якою вихідний сигнал первинного перетворювача  $Y(t)$  перетворюється в регулюючий вплив  $U$ , називається законом регулювання. Керуючий вплив регулятора визначається законом регулювання. Для ПІ-закону регулювання:

$$U = K_y \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int \varepsilon dt \quad (4.8)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт підсилення регулятора;

$T_I$  – час інтегрування;

$\varepsilon$  – похибка регулювання.

Приймаємо, що в початковий момент часу регулюючий вплив дорівнює нулю.

$$U|_{t=0} = 0 \quad (4.9)$$

Похибка регулювання чи неузгодженість  $\varepsilon$  знаходиться за наступною формулою:

$$\varepsilon = \frac{c_T - c_3}{c_{max} - c_{min}} = Y(t) - \frac{c_3}{c_{max} - c_{min}} \quad (4.10)$$

#### 4.6 Математична модель виконавчого пристрою

Нехтуємо інерційністю виконавчого пристрою. Ступінь відкриття клапана вважаємо:



$$A = A_0 + U \quad (4.11)$$

де  $U$  – регулюючий вплив;

$A_0$  – початкова степінь відкриття клапана. Приймаємо  $A_0 = 0,5$ .

Розгінну характеристику в нашому випадку будемо вважати лінійною.

$$Q_O = k_p \cdot A \quad (4.12)$$

де  $A$  – степінь відкриття клапана;

$k_p$  – коефіцієнт передачі клапана. Знаходимо з початкових умов:

$$k_p = Q_O^0 / A_0$$

#### 4.7 Математична модель системи автоматичного регулювання вологості

Враховуючи рівняння (4.5), (4.7), (4.10), (4.11), (4.12), (5.13) одержимо модель динаміки САР вологості:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_M + Q_O - Q_T = \frac{dV}{dt} \\ Q_T = S_O \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\ V = S \cdot H \\ Q_O \cdot c_O - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt} \\ c|_{t=0} = c_0 \\ H|_{t=0} = H_0 \\ Y(t) = \frac{c_T}{(c_{\max} - c_{\min})} \\ \varepsilon = \frac{c_T - c_3}{(c_{\max} - c_{\min})} = Y(t) - \frac{c_3}{(c_{\max} - c_{\min})} \\ U = K_y \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int \varepsilon dt \\ A = A_0 + U \\ k_p = Q_O^0 / A_0 \end{array} \right. \quad (4.14)$$

#### 4.8. Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB

Ефективне використання можливостей комп'ютерного моделювання для реалізації динамічних моделей у значній мірі залежить від програмного забезпечення, яке повністю автоматизує процес формулювання та розв'язання задачі. Останнім часом для чисельного дослідження прикладних задач, окрім спеціалізованих програмних засобів, широко

застосовують універсальні математичні системи. Серед таких систем найбільш поширеними та популярними є MATLAB.

MATLAB – це середовище і мова технічних розрахунків, призначений для вирішення широкого спектра інженерних і наукових завдань будь-якої складності в будь-яких галузях.

Для побудови математичної моделі за допомогою математичного пакета MATLAB за рівняннями математичної моделі необхідно в Simulink скласти блок-схему моделі.

Для побудови схеми модельованого об'єкта в додатку Simulink (додаток, орієнтований на моделювання динамічних систем з використанням функціональних блоків) скористаємося наступними блоками



**Constant** - константа;



**Gain** - множення на константу чи змінну;



**Sum** - сумування;



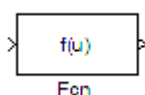
**Integrator** - інтегрування сигналу;



**Scope** - перегляд результату (візуалізація графіків);



**Product** – множення сигналів;



**Fcn** - перетворення вхідного сигналу в вихідний у відповідності із закладеною в блоці функцією

Для визначення усіх констант створюємо M-файл.

У цьому файлі описуємо всі задані константи, а також початкові значення, знайдені з статичних моделей.

Далі у вікні MATLAB натискаємо лівою кнопкою миші посилання Simulink, після чого відкривається вікно Simulink Library Browser, де в меню File вибираємо рядок New/Model. У діалоговому вікні в меню File вибираємо рядок Model Properties, після чого з'являється наступне вікно, в якому вибираємо вкладку Callbacks і в рядку ініціалізації Model Initialization Function записуємо ім'я нашого M-file без розширення і натискаємо кнопку ОК. Для побудови блок-схеми в Simulink (рис. 4.5) необхідно скопіювати блоки з бібліотеки Simulink Library Browser в робоче вікно.

Збурюючим впливом в нашій системі є зміна вологості, що надходить в ємність газової суміші.

Спочатку будуємо блок-схему для моделі об'єкта.

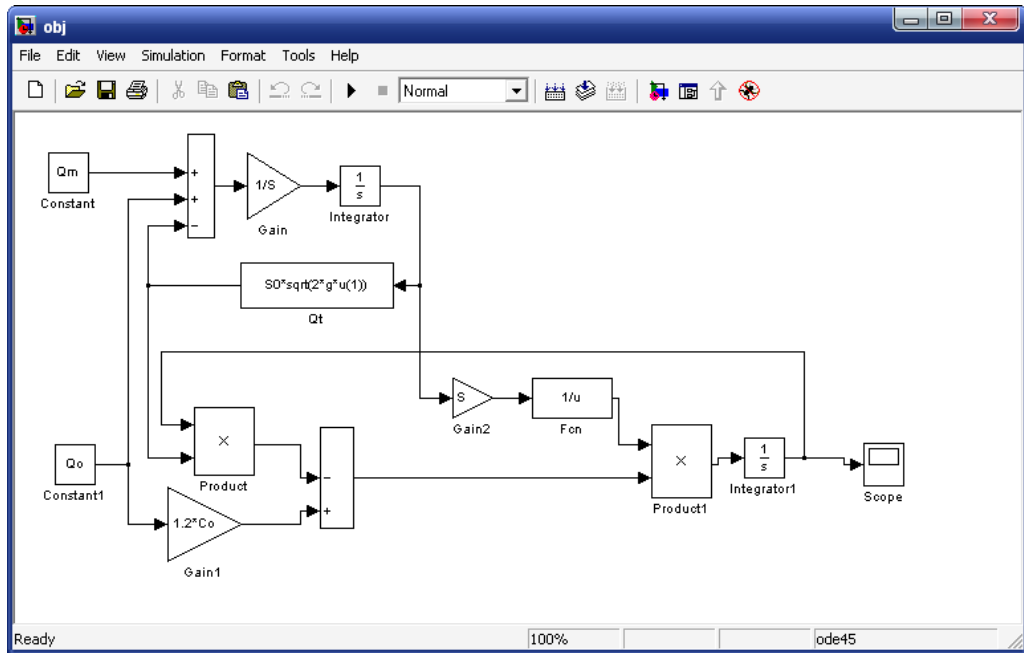


Рис. 4.5 – Імітаційна модель об'єкта в MATLAB

Перехідна характеристика об'єкта при ступінчастій зміні вологості газової суміші на 20% буде виглядати наступним чином:

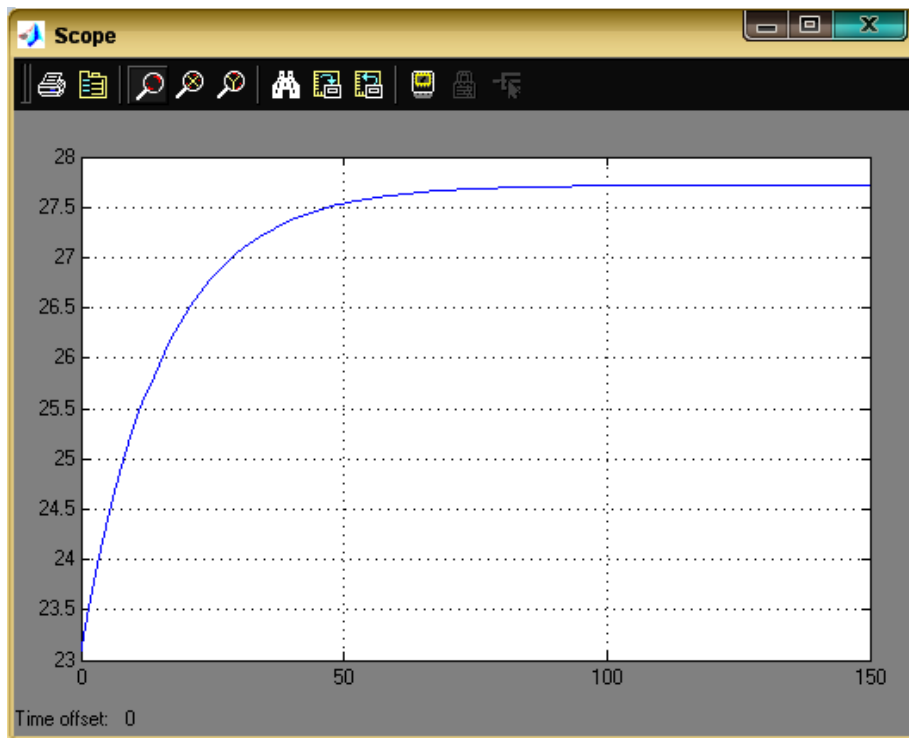


Рис. 4.6 – Перехідна характеристика об'єкта при ступінчастій зміні вологості газової суміші  
Створений нами об'єкт заносимо в підсистему (рис. 4.7):

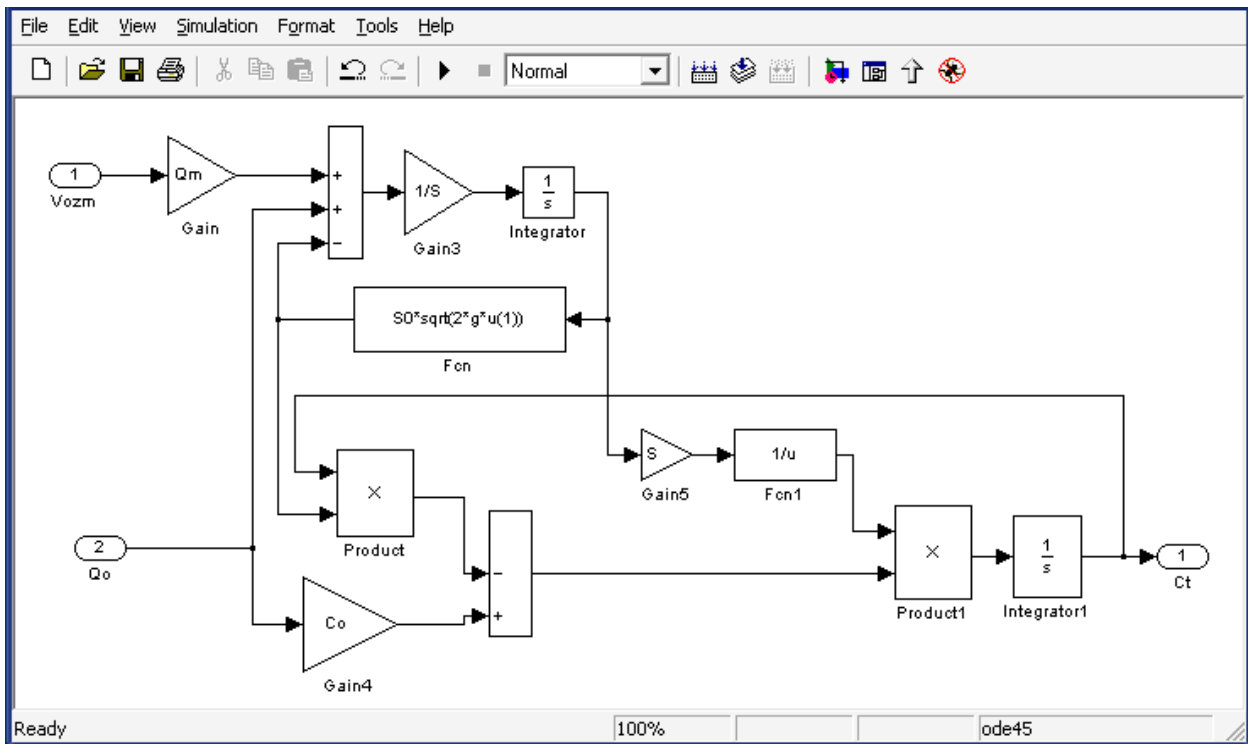


Рис. 4.7 – Підсистема «Об'єкт»

Вхід «Vozm» необхідний для подачі збурення.

На вхід «Qo» надходить сигнал від виконавчого пристрою, змінюючий витрати опари.

Вихід «Ct» служить для передачі сигналу, вихідного параметра, вологості в контур регулювання.

Аналогічно створюємо модель ПІ-регулятора у вигляді підсистеми «ПІ-регулятор» (рис. 4.8):

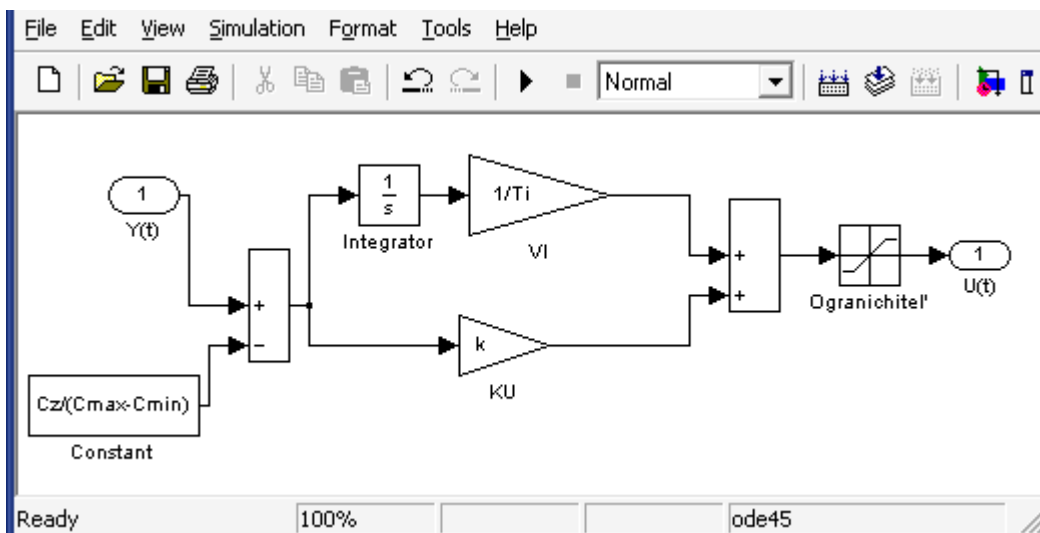


Рис. 4.8 – Підсистема «ПІ-регулятор»

де блоки: «KU» – для множення похибки регулювання на коефіцієнт підсилення;

«VI» – для врахування часу інтегрування;

«Ogranichitel» – необхідний для запобігання виходу значення величини керуючого впливу за допустимі межі (0...1);

«Integrator» – у властивостях задаємо початкове регулюючий вплив рівний нулю.

Модель виконавчого пристрою створюємо по аналогії (рис. 3.9).

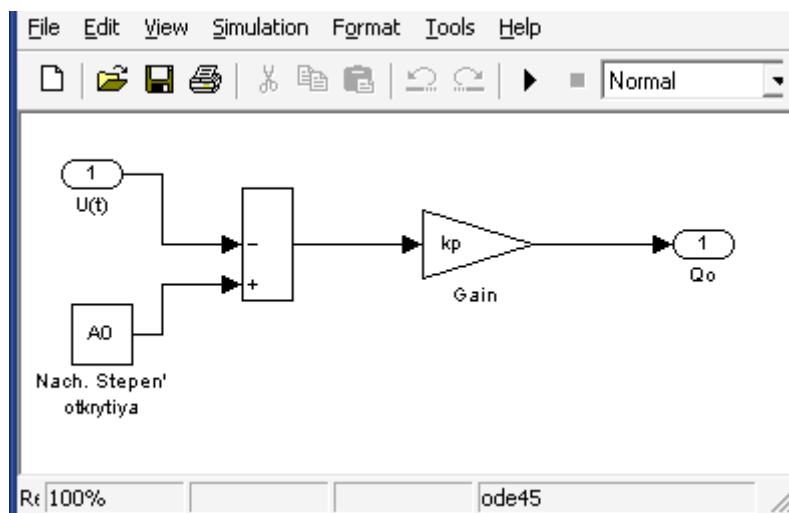


Рис. 4.9 – Імітаційна модель виконавчого пристрою

Вихідний сигнал виконавчого пристрою - нові витрата опари  $Q_0$  при уточненій (новій) ступені відкриття регулюючого органу  $A$ .

За допомогою функцій блоку «Fsp» створюємо модель первинного перетворювача.

Після об'єднання всіх створених нами підсистем, об'єднуємо їх у відповідності зі структурною схемою САР вологості (рис. 4.10).

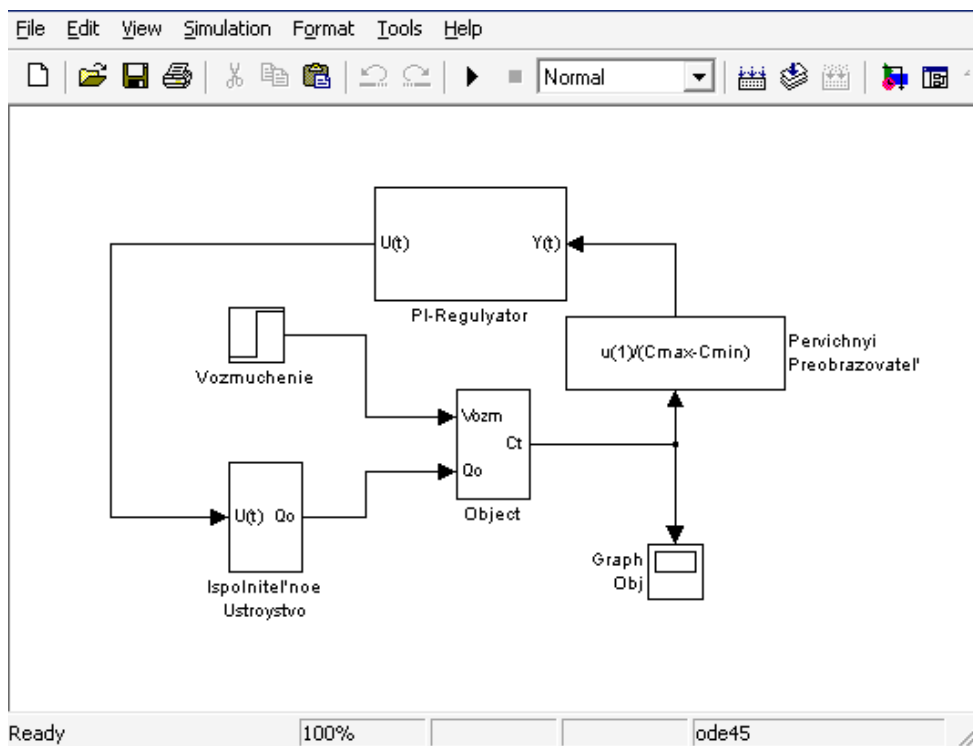


Рис. 4.10 – Імітаційна модель САР вологості

Процес моделювання проводимо в інтервалі часу від 0 до 300 с. В результаті одержуємо наступні графіки перехідного процесу при налаштуваннях регулятора  $K_u=1$  і  $T_I=2$  (рис. 4.11):

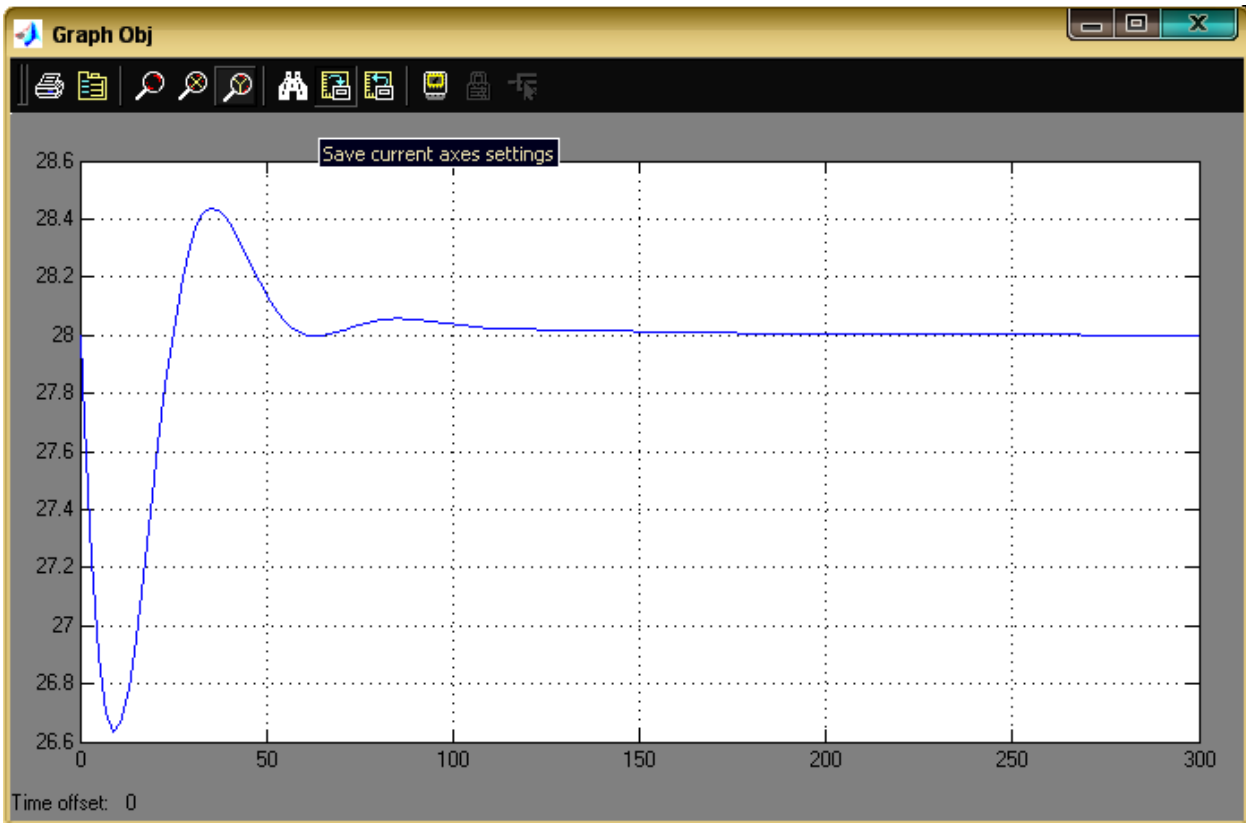


Рис. 4.11 – Перехідний процес в САР вологості

В даному розділі ми успішно використали MATLAB для побудови імітаційної моделі об'єкта системи керування. Використовуючи різні функціональні блоки Simulink, ми змогли побудувати реалістичну модель, що дозволила аналізувати та тестувати систему керування без прямого впливу на реальну систему. В ньому ми показали як працює система автоматичного регулювання (САР), визначили налаштування регулятора.

#### 4.9 Одержання передаточних функцій об'єкта

Для роботи зі схемою необхідно знати передаточну функцію об'єкта. Знаходимо передаточну функцію для окислювальної колони за відомою кривою розгону.

Знаходимо експериментальну криву розгону до одиничного ступінчастого впливу за формулою:

$$h(t) = \frac{y(t) - y(t_0)}{(c_{\max} - c_{\min}) \cdot A} \quad (4.15)$$

де  $y(t)$  – експериментальні значення вологості тіста, %;  $y(t_0)$  – експериментальні значення вологості в початковий момент часу, %;

$c_{\max} = 100\%$  – максимально можливе значення вологості тіста на виході зі змішувача, %;

$c_{\min} = 0\%$  – мінімальне значення вологості тіста на виході із змішувача, %

$A = 0,2$  – амплітуда вхідного ступінчастого сигналу, виражена у відсотках. Тоді крива розгону, приведена до одиничного ступінчастого впливу матиме вид:

$$h(t) = \frac{y(t)-27,7}{(100-0) \cdot 0,2} = \frac{y(t)-27,7}{20} \quad (4.16)$$

Будемо апроксимувати тістомісильну машину як об'єкт з самовирівнювальною характеристикою, що представляє собою дві аперіодичні ланки першого порядку без запізнювання. Тоді передаточна функція має наступний загальний вигляд:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)} \quad (4.17)$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення об'єкта;

$T_1, T_2$  – постійні часу аперіодичної ланки.

Для визначення параметрів необхідно скористатися номограмою, визначивши попередньо коефіцієнт  $b$ :

$$b = \frac{h_{tp}}{h_0(20)} = 0.263 \quad (4.18)$$

У вашому випадку значення  $T_1=14.94$  та  $T_2=0.49$  були отримані шляхом апроксимації, через аналіз даних про реакцію системи на вхідний ступінчатий сигнал. Ці значення відображають характерні часові константи системи, що впливають на її динаміку.

Визначаємо коефіцієнт підсилення об'єкта:

$$k = h_{nidc} = 0,923 \quad (4.19)$$

Перехідна характеристика визначається формулою:

$$ha(t) = k - \frac{k}{T_1 - T_2} \cdot (T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (4.20)$$

Площа  $Sa$  під цією кривою визначається за формулою:

$$Sa = \int_0^{100} ha(t) dt \quad (4.21)$$

Площа  $S$  під експериментальною кривою визначається за формулою:

$$S = \sum_{i=0}^{20} \frac{h_i(t) + h_{i+1}(t)}{2} \cdot (t_{i+1} - t_i) \quad (4.22)$$

Похибка апроксимації  $\varepsilon$  повинна відповідати умові:

$$\varepsilon = \left| \frac{S - Sa}{S} \right| \cdot 100\% < 1\% \quad (4.23)$$

Проводимо перевірку умови і одержуємо  $\varepsilon=0.147\%$ , що задовольняє (4.23). В результаті одержуємо передаточну функцію об'єкта у виді:

$$W(s) = \frac{0.923}{(14.94 \cdot s + 1)(0.49 \cdot s + 1)} \quad (4.24)$$

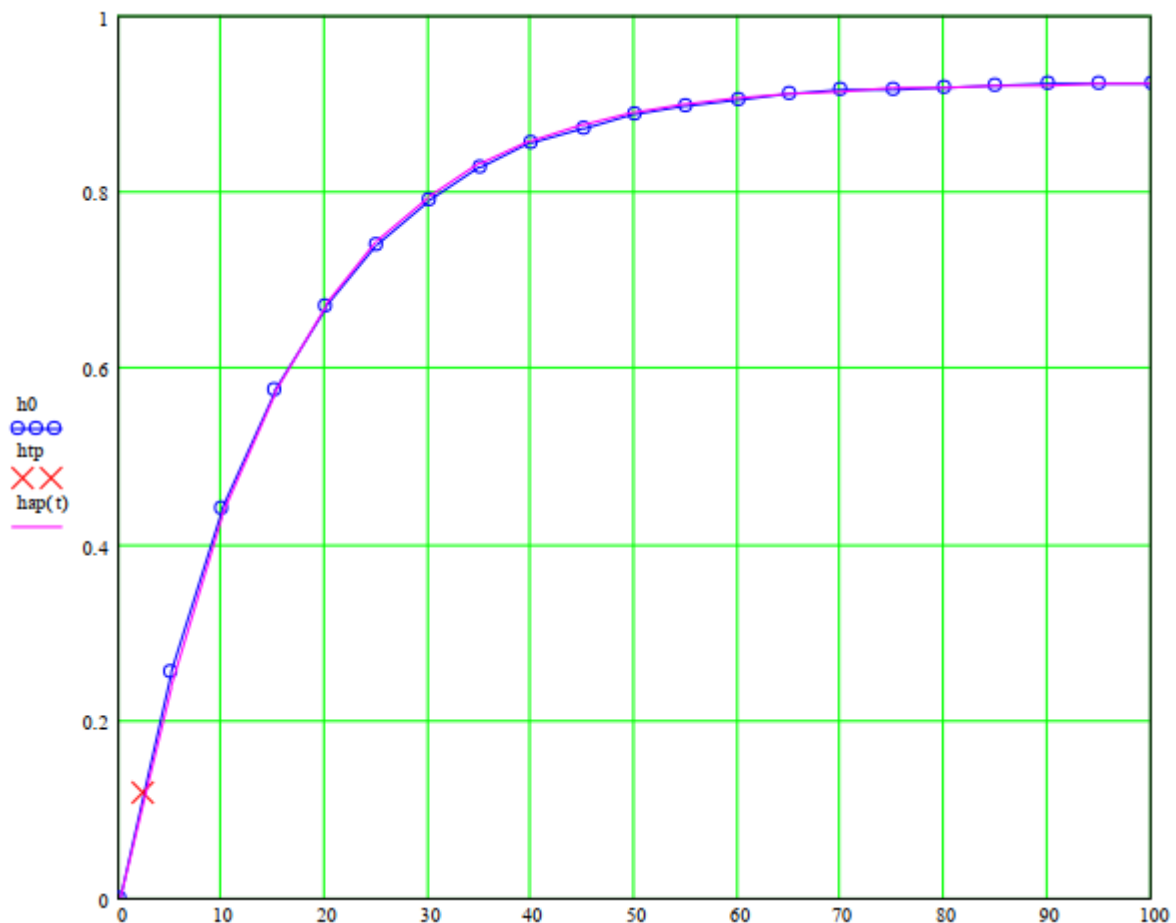


Рис.

#### 4.12 – Апроксимуюча і експериментальна перехідні характеристики

Отримання передаточних функцій об'єкта є необхідною для налаштування регулятора та для проведення аналізу системи. Передаточна функція ОУ дозволяє отримати математичну модель системи, що дозволяє провести аналіз та синтез керуючих систем.

У даному розділі ми звернулися до експериментальних методів для визначення передаточної функції об'єкта системи керування. Використовуючи аналітичні та експериментальні дані, ми змогли встановити параметри об'єкта та отримати математичну модель, яка є основою для подальшого аналізу та налаштування системи керування.

Наш підхід відповідає стандартній процедурі для визначення передаточної функції об'єкта управління на основі експериментальних даних.

Узгоджуючись зі стандартною методологією, що є коректними для вирішення поставленої задачі. Ви успішно виконали всі необхідні кроки для отримання передаточної функції об'єкта, що є важливим для подальшого проектування системи автоматичного регулювання вологості [21].

Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB та одержання передаточних функцій об'єкта дозволили нам успішно розглянути та оптимізувати роботу системи керування, що є ключовим завданням у розробці ефективних технологічних процесів [24].



#### 4.10 Параметрична оптимізація системи методом розширеної амплітуднофазової характеристики

Розширена амплітудно-фазова характеристика (РАФХ), позначається як  $W(m, i\omega)$ , одержується з передаточної функції  $W(S)$  при заміні;

$$S = -m \cdot \omega + i \cdot \omega \quad (4.25)$$

де  $m$  – степінь коливальності;  $\omega$  – частота.

РАФХ є відображенням прямої на площину АФХ (рис. 3.25).

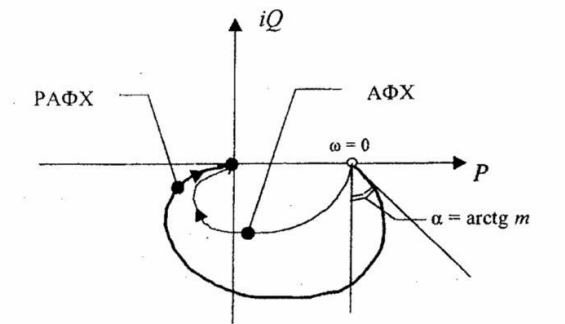


Рис. 4.13 – Зображення АФХ і РАФХ.

РАФХ охоплює АФХ. Дотична в точці  $\omega=0$  завжди вертикальна, а кут  $\alpha$  між АФХ і РАФХ в цій точці рівний  $\arctg(m)$ .

Якщо розімкнута система має степінь коливальності не нижче заданого  $m^*$ , то замкнута система буде мати  $m^*$ , якщо РАФХ розімкнутої системи  $W_{роз}(m^*, i\omega)$  проходить через критичну точку  $(-1; i0)$ . Якщо РАФХ розімкнутої системи не охоплює критичну точку, то степінь коливальності замкнутої системи вищий, ніж  $m^*$ .

Таким чином, щоб замкнута система мала задану степінь коливальності, при  $m=m^*$  повинна виконуватись умова:

$$W_{роз}(m, i\omega) = -1. \quad (4.26)$$

Рівняння (5.26) рівносильне системі рівнянь:

$$\begin{cases} M_{роз}(m, \omega) = 1 \\ f_{роз}(m, \omega) = -\pi \end{cases} \quad (4.27)$$

де  $M_{роз}$  – розширена амплітудно-частотна характеристика (РАЧХ);

$f_{роз}$  – розширена фазочастотна характеристика (РФЧХ).

В одноконтурній системі об'єкт-регулятор РАФХ розімкнутої системи  $W_{роз}(m, i\omega)$  визначається як:

$$W_{роз}(m, i\omega) = W_{об}(m, i\omega) \cdot W_{рег}(m, i\omega) \quad (4.28)$$

Тоді система (3.28) переписується у виді:

$$\begin{cases} M_{об}(m, \omega) \cdot M_{рег}(m, \omega) = 1 \\ f_{об}(m, \omega) \cdot f_{рег}(m, \omega) = -\pi \end{cases} \quad (4.29)$$

При відомих характеристиках об'єкта ( $M_{об}(m, \omega)$ ,  $f_{об}(m, \omega)$ ) з системи (3.29) можна розрахувати оптимальні налаштування промислового регулятора.

РАФХ пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора визначається за формулою:

$$W_{рег}(m, i\omega) = -(C_1 + C_0 / (-m\omega + i\omega)), \quad (4.30)$$

де  $C_1$  – коефіцієнт підсилення регулятора;

$C_0$  – передаточний коефіцієнт інтегральної складової. Розрахункові формули для налаштувань ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{1}{M_{об}(m, \omega_p)} \cdot [m \cdot \sin(-f_0(m, \omega_p)) \cos(-f_0(m, \omega_p))] \\ C_0 = \frac{1}{M_{об}(m, \omega_p)} \cdot m(m^2 + 1) \cdot \omega_p \cdot \sin(-f_0(m, \omega_p)) \end{cases} \quad (4.31)$$

де  $\omega_p$  – робоча частота.

Отже маємо систему рівнянь (5.31) з трьома невідомими:  $C_1$ ,  $C_0$ ,  $\omega_p$ . Це означає, що існує багато пар ( $C_1$ ,  $C_0$ ), які забезпечують необхідне значення степені коливальності в даній системі. При цьому кожна пара значень ( $C_1$ ,  $C_0$ ) відповідає робочій частоті  $\omega_p$ .

Для знаходження оптимальних налаштувань необхідно вибрати робочу частоту, а потім за формулою (4.31) розрахувати оптимальні  $C_1$ ,  $C_0$ . З цією метою будують криві рівної коливальності в осях  $C_1$ ,  $C_0$  (рис. 4.14).

У відповідності з рис. 4.14 крива рівної коливальності при  $m=0$  розбиває площину налаштувань на область стійкої (під кривою) і нестійкої (над кривою) роботи системи. При русі по кривій рівної коливальності зліва направо, тобто від точки  $\omega=0$ , значення робочої частоти зростають від  $\omega=0$  до  $\omega=\omega_n$  (частота  $\omega_n$  відповідає ПІ-регулятору, так як  $C_0=0$ ).

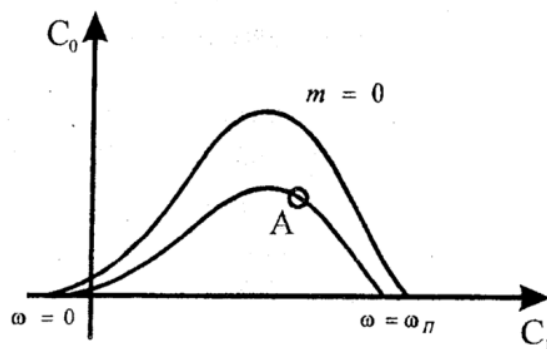


Рис. 4.14 – Криві рівної коливальності

Мінімуму інтегрального квадратичного критерію відповідає точка на кривій рівної коливальності поблизу її вершини по правій гілці (рис. 4.14, точка А). Рекомендується вибирати робочу частоту із співвідношення (4.32), де  $\omega_0$  відповідає вершині кривої  $m=const$ :

$$\omega_p = 1.22 \cdot \omega_0 \quad (4.32)$$

В промислових ПІ-регуляторах в якості налаштувань використовується коефіцієнт підсилення регулятора ( $K_P$ ) і час інтегрування ( $T_I$ ) чи час ізодрому ( $T_{IЗ}$ ), пов'язані з величинами  $C_1$ ,  $C_0$  наступними формулами:

$$K_p = C_1 \quad (4.33)$$

$$T_1 = \frac{1}{c_0} \quad (4.34)$$

$$T_{IЗ} = \frac{c_1}{c_0} \quad (4.35)$$

з діапазону степенів коливальності  $m[0,221; 0,366]$  вибираємо значення 0,36. При вибраному значенні  $m$  будемо криву рівної коливальності.



Рис. 5.14 – Крива рівної коливальності

За формулою (4.32) знаходимо робочу частоту:

$$\omega_p = 1.22 \cdot \omega^0 = 1.22 \cdot 1.95 = 2.379$$

Визначаємо значення  $\omega$ , при якому  $C0$  кривої досягає максимуму, у відповідності з рис. 5.14 і знаходимо за формулою (4.31) необхідні коефіцієнти. Підставляємо відомі значення  $C0$  і  $C1$  в (4.33), (4.34) і (4.35), одержуємо шукані значення  $K_P = 55,022$  і  $T_I = 0,05$ ,  $T_{IЗ} = 2,751$ . Одержані значення  $K_P$  і  $T_I$  підставляємо у формулу передаточної функції ПІ-регулятора  $W_P(S)$ :

$$W_p(S) = K_p + \frac{1}{T_1 \cdot s} \quad (4.36)$$

і отримуємо передаточну функцію регулятора:

$$W_p(S) = 55.022 + \frac{1}{0.05 \cdot s} \quad (4.37)$$

Знаходимо частоти, що лежать по обидві сторони від знайденої раніше робочої частоти. Знаходимо коефіцієнт підсилення регулятора і час інтегрування для кожної з частот:

$$\omega p1 = 2.26 \quad Kp1 = 50.879 \quad Tl1 = 0.045$$

$$\omega p2 = 2.498 \quad Kp2 = 59.305 \quad Tl2 = 0.058$$

Будуємо перехідні характеристики замкнутої системи в безрозмірній величині  $h(t)$  і в процентах  $H(t)$  для трьох варіантів налаштувань (рис. 4.15), тобто реакцію системи на одиничний вплив.  $h(t)$  знаходимо з допомогою зворотного перетворення Лапласа, перевід в проценти здійснюємо за формулою:

$$y(t) = h(t) \cdot (C_{max} - C_{min}) \cdot A + T3 \quad (4.38)$$

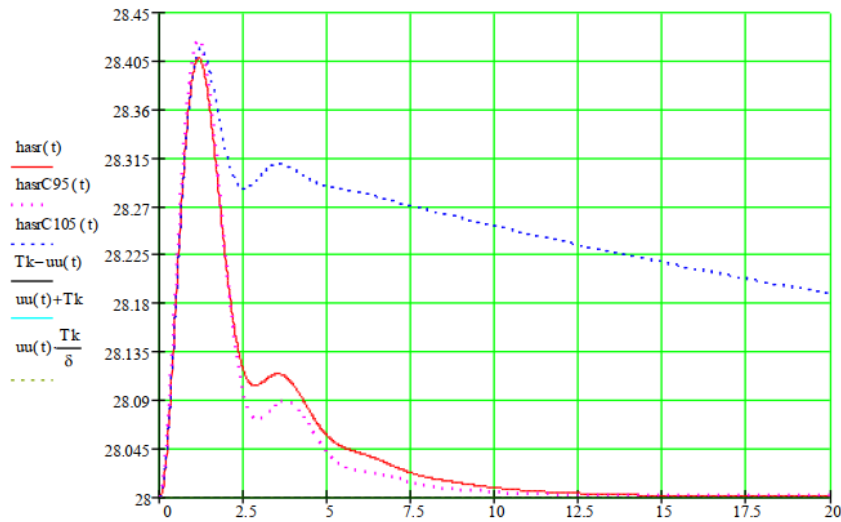


Рис. 4.16 – Перехідні характеристики (у відсотках)

Визначаємо критерії якості процесів регулювання для трьох робочих частот. Інтегральний квадратичний критерій рівний:

$$Ikv = \int_0^{tp} H(t)^2 dt \quad (4.39)$$

$$Ikv = 5.398 \cdot 10^{-4} \quad (4.39)$$

Прямі (часові) критерії якості:

$Yc$  – статистична похибка

$$Yc = Yu - Yz \quad Ydin = 0,02 \quad (4.40)$$

де  $Yu = 28\%$  – усталене значення,

$Yz = 28\%$  – задане значення.

Отже,  $Yc=0$  (наявність інтегральної складової гарантує відсутність статичної помилки). - динамічна похибка – максимальне відхилення від усталеного значення:

$Ydin$  – динамічна похибка максимальне відхилення від усталеного значення:

$$Ydin = 0,02$$

Степінь затухання – різниця сусідніх амплітуд одного знаку, віднесена допершої амплітуди:

$$\psi = \frac{Y1-Y3}{Y1} \quad (4.41)$$

де  $Y1 = Ydin = 0,02$

$$Y_3 = 0,0056$$

Звідси  $\psi = 0,726$ . Тоді степінь коливальності рівна:

$$m = \frac{\ln(1-\psi)}{-2\pi} \quad (4.42)$$

$$m = 0.206$$

Ці ж критерії застосовуємо для двох інших частот. В результаті одержимо налаштування регулятора, які відображені у виді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Налаштування регулятора

$\omega_p$	$I_{kv}$	$Y_{din}$	$\psi$	$m$	$K_p$	$T_i$
2.26	0.000542	0.021	0.792	0.25	50.879	0.045
2.379	0.00054	0.02	0.726	0.206	55.022	0.05
2.498	0.0049	0.021	0.258	0.047	59.305	0.58

При  $\omega_p = 2.379$  досягається мінімум інтегрального квадратичного критерію  $I_{kv} = 0.00054$ , а степінь коливальності не нижче заданої. Тому приймаємо за оптимальні саме ці налаштування (другий рядок таблиці 4.1).

У даній частині роботи ми досліджували метод розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ) для оптимізації параметрів системи керування. Значення РАФХ отримуються з передаточної функції об'єкта системи за допомогою певної заміни. Метод РАФХ дозволяє оцінити степінь коливальності системи та визначити параметри регулятора для досягнення заданих характеристик роботи системи.

Цей метод дозволяє оцінити степінь коливальності системи та визначити параметри регулятора для досягнення заданих характеристик роботи системи.

#### Основні етапи дослідження:

##### 1. Отримання експериментальних даних:

- Експериментальна крива розгону до одиничного ступінчастого впливу була записана та перетворена для подальшого аналізу.

##### 2. Аналіз експериментальних даних:

- Дані були перетворені в стандартну форму для порівняння з моделями аперіодичних ланок.

##### 3. Апроксимація об'єкта двома аперіодичними ланками першого порядку:

- Було визначено коефіцієнт підсилення  $k$  та постійні часу  $T_1$  і  $T_2$  для моделювання об'єкта.
- Перевірка адекватності моделі шляхом обчислення площ під експериментальною кривою та аналітичною кривою перехідної характеристики.

#### 4. Оптимізація параметрів системи керування:

- Використання методу РАФХ для визначення оптимальних параметрів пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора.
- Розрахунки за формулами методу РАФХ дозволили отримати оптимальні налаштування промислового регулятора для забезпечення стабільності та точності роботи системи керування.

#### 5. Перевірка налаштувань регулятора:

- Аналіз перехідних характеристик системи підтвердив ефективність запропонованого методу оптимізації параметрів системи керування.
- При  $\omega_p=2.379$  досягається мінімум інтегрального квадратичного критерію  $I_{kv}=0.00054$ , а степінь коливальності не нижче заданої, що свідчить про оптимальність налаштувань.

Одним з ключових результатів є визначення оптимальних параметрів пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора за допомогою методу РАФХ. Отримані значення коефіцієнта підсилення регулятора та часу інтегрування дозволяють досягти бажаної якості регулювання системи при різних умовах роботи.

Налаштування регулятора були перевірені за допомогою аналізу перехідних характеристик системи. Отримані результати підтвердили ефективність запропонованого методу оптимізації параметрів системи керування.

Таким чином, метод розширеної амплітудно-фазової характеристики є потужним інструментом для оптимізації параметрів систем керування, що дозволяє досягти бажаних характеристик роботи системи з високою точністю і ефективністю.

## ВИСНОВКИ

На підставі завдання розроблено інформаційне, технічне забезпечення та алгоритм роботи системи автоматизації.

Система є 3-х рівневою АСУ ТП.

До складу якої входять:

- датчики, встановлені безпосередньо на технологічному устаткуванні;
- виконавчі органи, які відпрацьовують отриманий від PC-based контролера вплив;
- PC-based контролера, який виконує первинну обробку даних отриманих від датчиків, видає керуючий вплив для регулюючих органів, а також виступає сполучною ланкою між об'єктом управління та АРМ;
- автоматизоване робоче місце (АРМ) до складу якого входить IBM PC комп'ютер із встановленою операційною системою Windows 11, процесором Intel Core I9, ОЗП 40098MB та встановленим програмним комплексом TRACE MODE 7.

Використання сучасних методів управління технологічним процесом, а також новітніх технічних засобів автоматизації дало можливість реалізувати якісно нову технологію управління та підвищило ефективність виробництва, що призвело до:

- Підвищення якості продукції, що випускається;
- зниження витрат сировинних та енергетичних ресурсів за деякими статтями витрат на ТП;
- Підвищення обсягу продукції, що випускається;
- Скорочення простоїв через неполадки;
- Збільшення міжремонтних термінів роботи обладнання;
- Використовувати мінімальну кількість працівників, необхідних для підтримки ТП у робочому стані та ліквідації аварійних ситуацій.

У процесі досліджень були використані математичні моделі та експериментальні дані для визначення передаточних функцій та характеристик об'єкта системи. За допомогою розрахунків за формулами методу РАФХ були отримані оптимальні налаштування промислового регулятора для забезпечення стабільності та точності роботи системи керування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Загальна хімічна технологія, І. П. Мухльонова.:Вища школа., 1984. – 285 с.
2. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Справ сел. / А.С. Клюєв, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровський, С.А. Клюєв. -М.: Вища школа, 1990.- 464 с.
3. Сайт компанії «Енергосила»:www.energosila.ru.
4. Методичні вказівки щодо оформлення курсових та дипломних проектів. Інструктивні матеріали Для студентів спеціальності 7.091401 "Комп'ютеризовані системи управління та автоматики". – Суми.: СумДУ, 1998. – 77 с.
5. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Виконання функціональних та електричних схем за ЕСКД: Довідник. -М.: Вид-во стандартів, 1989. – 325 с.
6. Автоматика та автоматизація технологічних процесів: Підручник / Т.Б. Головкин, К.Г. Рого, Ю.О. Скрипник. – К.: Лібідь, 1997. – 232 с.
7. Сайт компанії «Адастра»:www.adastra.ru.
8. <http://www.maik.ru>. Теоретичні засади хімічної технології.
9. Теорія автоматичного керування. Попович М.Г., Ковальчук О.Б. Підручник для вузів. - К.: Лібідь, 1997. - 542 с.
10. Довідник із проектування електричного освітлення. С.А.Клюєв- М.: Вища школа, 1982. - 239с.
11. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів та засоби їх гасіння: Справ. видавництво: у 2 книгах. А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук та ін. – М.: Хімія, 1990р.
12. В.Маршалл. Основні ризики хімічних виробництв. М., Світ, 1989.
13. Правила влаштування електротехнічних установок (ПУЕ-76).: Атоміздат, 1980;
14. ПУЕ. -Головдерженергонагляд М. 1998. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (код IP), ГОСТ 14254-96