

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-55.00.00.000 ПЗ

група АКП -23-2К

**Віталій Обідняк**

2025

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Обідняк Віталій Антонович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація процесу синтезу етанолу гідратацією етилену

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

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

### Нормоконтроль

доцент

О. В. Кучмистенко

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-2К

В.О. Обідняк

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

В. С. Борин

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

асистент

Г.Г. Зварич

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідуючий кафедри

доцент

А. І. Лагойда

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

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

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

А.І. Лагойда.

«   »                      20   року

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

Обідняку Віталію Антоновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація процесу синтезу етанолу гідратацією етилену

керівник роботи Зварич Галина Григорівна, асистент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: Технологічна схема, технологічні параметри, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу. 2. Математичне представлення моделі трубчастого теплообмінника. 3. Синтез системи керування. холодильником. 4.Розробка ФСА. Висновки. Список використаної літератури.

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

Лист 1 - Технологічна схема - БР.АКП-55.00.00.001

Лист 2 - Структурно параметрична схема - БР.АКП-55.00.00.002

Лист 3 – Моделювання одноконтурної АСК- БР.АКП-55.00.00.003

Лист 4 – Дослідження стійкості - БР.АКП-55.00.00.004

Лист 5 – Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-55.00.00.005

Лист 6 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-55.00.00.006



## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 59 сторінки, 32 рисунків, 5 таблиця, 7 джерел.

Тема: «Автоматизація процесу синтезу етанолу гідратацією етилену».

Об'єкт дослідження: процес синтезу етанолу гідратацією етилену.

Метою роботи є удосконалення системи автоматизації процесу синтезу етанолу гідратацією етилену.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, математичного моделювання та теорії автоматичного керування. Для дослідження динаміки автоматичних систем регулювання застосовано критерій стійкості Найквіста.

Результати бакалаврської роботи.

Розглянуто технологічний процес синтезу етанолу шляхом гідратації етилену. Проведено аналіз основних технологічних особливостей процесу, описано його фізико-хімічні основи та характеристики отриманого продукту. Окрему увагу приділено розрахунку теплового балансу установки, що дозволяє оцінити енергетичну ефективність виробництва.

У межах дослідження побудовано математичну модель процесу гідратації для холодильника, який виконує важливу роль у стабілізації температурного режиму. Досліджено поведінку системи під дією різних типів регуляторів: Для оцінки стійкості системи застосовано критерій Найквіста.

Також спроектовано функціональну схему автоматизації процесу, описано принцип дії технологічного обладнання, підібрано відповідні технічні засоби керування. Розроблено схему сигналізації та щит автоматики для ефективної взаємодії оператора з системою.

**Ключові слова:** автоматична система регулювання, стійкість, технічні засоби автоматизації, синтезу етанолу, моделювання.

## ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 5 pages, 32 figures, 5 table, and 7 references.

Title: Automation of the Ethanol Synthesis Process by Ethylene Hydration

Object of Study: The process of ethanol synthesis through ethylene hydration.

Aim of the Work: Improvement of the automation system for the ethanol synthesis process via ethylene hydration.

Research Methods: The study employs methods of systems analysis, mathematical modeling, and automatic control theory. To analyze the dynamics of the automatic control systems, the Nyquist stability criterion was applied.

Results of the Bachelor's Thesis: The thesis investigates the technological process of ethanol synthesis via ethylene hydration. The main technological features of the process are analyzed, along with a description of its physicochemical principles and the characteristics of the final product. Special attention is given to the calculation of the heat balance of the unit, which allows for an assessment of the energy efficiency of production.

A mathematical model of the hydration process for the cooler, which plays a key role in stabilizing the temperature regime, has been developed. The system's behavior under the influence of various types of controllers was studied. The Nyquist criterion was used to assess system stability.

Furthermore, a functional automation scheme of the process was designed, the operation principles of the technological equipment were described, and appropriate technical automation tools were selected. An alarm system and control panel were also developed to ensure effective interaction between the operator and the system.

Keywords: automatic control system, stability, automation equipment, ethanol synthesis, modeling

## ЗМІСТ

Ст.

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ МЕТОДОМ ГІДРАТАЦІЇ ЕТИЛЕНУ</b> .....	10
1.1 Характеристика продукту.....	10
1.2 Фізико-хімічні основи процесу .....	12
1.3 Опис технологічного процесу .....	15
1.4 Тепловий баланс .....	17
<b>Висновки до розділу</b> .....	17
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МОДЕЛІ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМІННИКУ</b> .....	18
2.1 Постановка задачі для моделювання трубчатого теплообміннику .....	18
2.2 Структурно-параметрична схема моделі холодильника (трубчастий теплообмінник).....	19
2.3 Статична і динамічна характеристики холодильника.....	20
<b>Висновки до розділу</b> .....	20
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКОМ</b> .....	23
3.1 Підготовка до синтезу системи керування холодильник (трубчастого теплообмінника).....	23
3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів для одноконтурної АСК.....	24
3.3 Перевірка на стійкість одноконтурної АСК.....	33
<b>Висновки до розділу</b> .....	35

					БР.АКП-55.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація процесу синтезу етанолу гідратацією етилену			Літ.	Арк.	Акрушів		
								6	57			
Розробив		Обідняк В.А.						ІФНТУНГ, АКП-23-2К				
Перевірив		Зварич Г.Г.										
Рецензент		Борин В.С.										
Н.Контроль		Кучмистенко О.В										
Затвердив		Лагойда А.І.										

## **РОЗДІЛ 4**

<b>РОЗРОЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ</b> .....	37
4.1. Технічна характеристика технологічного обладнання.....	37
4.2. Вибір параметрів індикації, реєстрації, контролю, регулювання, сигналізації .....	38
4.3. Опис функціональної схеми автоматизації .....	38
4.4. Опис технічних засобів автоматизації .....	39
4.5. Опис принципової електричної схеми сигналізації.....	52
4.6. Проектування щита.....	54
<b>Висновок до розділу</b> .....	56
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА</b> .....	59

					БР.АКП-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Етиловий спирт є одним із найважливіших багатотоннажних продуктів, що знаходить широке застосування в нафтохімічній та харчовій промисловості. Його активно використовують як сировину в основному органічному синтезі для одержання численних хімічних сполук. Крім того, етиловий спирт відіграє значну роль у народному господарстві як ефективний розчинник, як компонент паливної суміші для рідинних ракетних двигунів, а також як антифриз та проміжна сполука у виробництві дивінілу. Значне поширення він має в харчовій, медичній та фармацевтичній промисловості, а також у виробництві вибухових речовин і засобів побутової хімії.

Етиловий спирт широко використовується як напівпродукт у синтезі складних ефірів, оцтової кислоти, ацетальдегіду, хлоралу, хлороформу, діетилового ефіру та інших органічних сполук. У зв'язку з таким багатофункціональним застосуванням важливого значення набуває вибір оптимального з економічної точки зору способу виробництва синтетичного етанолу з урахуванням екологічних обмежень. Синтетичний етиловий спирт має менші трудозатрати у виробництві порівняно з біоетанолом, що виготовляється з харчової сировини, та за своїми фізико-хімічними властивостями не поступається йому, що робить його придатним для широкого промислового застосування.

Етанол, як органічний розчинник, належить до вогненебезпечних речовин, однак завдяки своїй універсальності активно використовується у фармацевтичній промисловості та медицині як антисептик і носій для лікарських препаратів. Він також слугує важливою сировиною в органічному синтезі для одержання таких продуктів, як діетиловий ефір, хлороформ, ацетальдегід та оцтова кислота.

В Україні етиловий спирт промислово виробляється переважно за допомогою двох технологічних процесів: сірчаноокисотної та прямої гідратації. Обидва методи забезпечують високий рівень якості кінцевого продукту та дозволяють ефективно перетворювати вихідну сировину на етанол.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Разом із цим, процес виробництва етанолу супроводжується утворенням летких шкідливих речовин, які можуть негативно впливати на стан атмосферного повітря. Серед них діетилсульфат, етилсульфат, діетиловий ефір, фосфорні ефіри та інші токсичні сполуки. З метою зменшення негативного впливу на довкілля впроваджуються сучасні заходи екологізації виробництва, зокрема очищення газових викидів від шкідливих домішок, оптимізація технологічних процесів та контрольоване розсіювання викидів у атмосфері.

До основних методів очищення забруднених викидів належать каталітичне перетворення, яке ґрунтується на поглинанні токсичних компонентів за участі каталізаторів; абсорбційне очищення шляхом промивання газів спеціальними рідинами, що розчиняють шкідливі речовини; а також адсорбційний метод, де використовуються тверді пористі матеріали для зв'язування летких сполук. Усі ці підходи спрямовані на зниження екологічного навантаження та забезпечення технологічної безпеки хімічного виробництва.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ МЕТОДОМ ГІДРАТАЦІЇ ЕТИЛЕНУ

## 1.1 Характеристика продукту

Етиловий спирт (етанол) є безбарвною прозорою рідиною з характерним запахом, що відзначається високою плинністю. Ця сполука належить до класу одноатомних спиртів і має широкий спектр фізико-хімічних характеристик, які зумовлюють її активне застосування в різних галузях промисловості.

До основних фізико-хімічних констант хімічно чистого (абсолютного) етанолу належать: молекулярна маса — 46,06 г/моль, густина — 798 кг/м<sup>3</sup>, температура кипіння — 78,39 °С, температура плавлення — -114,15 °С, критична температура — 241 °С, критичний тиск — 6,3 МПа. Етанол є повністю змішуваним із водою за нормальних умов, без обмеження розчинності. Гранично допустима концентрація пари етанолу в повітрі робочої зони становить 100 мг/м<sup>3</sup>.

З термодинамічних характеристик етанолу слід відзначити теплоємність за нормальних умов (при -193 °С), яка дорівнює 2,42 Дж/(кг·К), а також теплоту згоряння, що становить 26 645 кДж/кг. Зміни фізичних параметрів етанолу в характерному для промислового застосування температурному діапазоні наведено в таблиці 1.

Етиловий спирт добре змішується з водою, утворюючи гомогенні розчини. Під час горіння він дає блакитне світне полум'я. Завдяки гігроскопічним властивостям етанол активно поглинає вологу з навколишнього середовища та утримує її. При змішуванні з водою відбувається тепловий ефект (екзотермічна реакція), супроводжуваний зменшенням загального об'єму суміші — явище, відоме як контракція.

Максимальна контракція спостерігається при змішуванні 52 об'ємних частин етилового спирту з 48 об'ємними частинами води: за температури 20 °С із 100 умовних об'ємів суміші утворюється лише 96,3 об'єму розчину.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Таблиця 1.1 – Дані щодо зміни показників у діапазоні температур.

Температура °С	Тиск пари мм рт.ст.	Теплоємність		В'язкість рідини сП
		Рідина	Пара	
0	12,24	0,541	0,320	1,776
40	133,42	0,615	-	0,824
80	811,8	0,723	-	-
100	1692,3	0,789	0,403	0,326

Щільність водно-спиртових сумішей змінюється залежно від концентрації спирту та температури, що зумовлює необхідність використання спеціальних таблиць для визначення вмісту етанолу в суміші шляхом вимірювання густини. Температурний діапазон кипіння водно-спиртових сумішей при атмосферному тиску становить від 78,3 °С до 100 °С.

Особливий інтерес становить азеотропна суміш, яка містить 95,57 % (об.) етанолу та має температуру кипіння 78,15 °С. Така суміш характеризується тим, що склад пари і рідини однаковий, що унеможливує подальше підвищення концентрації етанолу звичайними методами перегонки чи ректифікації. Для отримання абсолютного (безводного) спирту застосовують обробку водопоглинаючими речовинами, такими як негашене вапно чи безводна сірчанокисла мідь, або використовують азеотропну ректифікацію з додаванням бензолу.

З точки зору кислотно-основних властивостей, етанол є хімічно нейтральною речовиною — він не змінює забарвлення лакмусового паперу чи фенолфталеїну. Основні хімічні перетворення етанолу охоплюють кілька типових реакцій.

До реакцій, що відбуваються за участі гідроксильної групи, належить етерифікація — взаємодія спирту з органічними кислотами з утворенням складних ефірів. Зворотна реакція, гідроліз ефірів, відбувається під дією води, що виділяється в ході етерифікації, з утворенням вихідної кислоти та спирту.

За участі всього гідроксилу можливі реакції дегідратації та дегідрогенізації. У першому випадку при нагріванні спирту з надлишком сірчаної кислоти або при пропусканні його парів через оксид алюмінію за температури 350–500 °С

утворюється етилен. У другому випадку, при нагріванні спирту до 200–300 °С у присутності каталізаторів (заліза, цинку, міді), етанол розкладається з утворенням альдегіду (ацетальдегіду) та водню.

Окислювальні реакції етанолу передбачають участь як гідроксильної групи, так і водневих атомів етильного радикалу, в результаті чого утворюються оцтовий альдегід та оцтова кислота. Ці реакції мають практичне значення в хімічній та біотехнологічній промисловості.

## 1.2 Фізико-хімічні основи процесу

Вибір оптимальних умов ведення процесу гідратації етилену є складним завданням через взаємозалежність фізико-хімічних параметрів системи. Реакція утворення етилового спирту супроводжується зменшенням загальної кількості молей у системі та є екзотермічною. Відповідно до принципу Ле Шательє, підвищення тиску та зниження температури сприяє зсуву хімічної рівноваги в бік утворення продукту — етанолу.

Однак, при низьких температурах активність каталітичної системи є недостатньою для забезпечення прийнятної швидкості реакції. З цієї причини процес зазвичай здійснюють при підвищених температурах, попри те, що в таких умовах хімічна рівновага зсувається вліво, що зменшує ступінь перетворення етилену до 3,5–5 %. Повну конверсію реагенту забезпечують шляхом рециркуляції непрореагованого етилену. Підвищення температури та тиску обмежується також вимогами до селективності процесу, оскільки в жорстких умовах істотно зростає ймовірність утворення побічних продуктів.

На процес значно впливають об'ємна швидкість подачі сировинної суміші та співвідношення між етиленом і водою в реакторі. Реакція прямої гідратації етилену здійснюється в присутності каталізатора, активність якого є визначальним чинником ефективності всього виробництва. Відомо, що під впливом експлуатаційних фізико-хімічних умов активність каталізатора поступово знижується і вже через 400–600 годин безперервної роботи становить лише 60–70 % від початкового значення.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Подальше використання каталізатора за таких умов є економічно необґрунтованим, тому здійснюється його регенерація або повна заміна.

Однією з головних причин зниження активності каталітичної системи є поступова втрата фосфорної кислоти, яка виступає діючим компонентом. Її винесення з реактора парогазовою сумішшю залежить переважно від температури та мольної швидкості потоку в зоні каталізу, особливо впродовж інтервалу від 70 до 500 годин експлуатації. При цьому характер втрати фосфорної кислоти є майже рівномірним. Незначне зниження інтенсивності винесення спостерігається у перші 50–70 годин (через насичення фосфорною кислотою носія в нижній частині реактора), а також у фінальній стадії експлуатації (50–100 годин), коли вміст залишкової кислоти в реакторі суттєво знижується.

Винесення кислоти при середньому тиску в нижній частині реактора ( $P_{\text{ср}} = 66$  кгс/см<sup>2</sup>) розраховано за рівнянням:

$$G = 7,8 + 3,3(n - 2,02) + 0,091(t - 296), \quad (1.1)$$

щоб розрахувати винесення кислоти з реактора з урахуванням тиску, необхідно вводити поправку, де  $G$  – винесення кислоти, кг/год;  $n$  – мольна швидкість подачі реагентів у реактор, моль/год;  $t$  – температура в нижній частині реактора, °С.

Щоб розрахувати винесення кислоти з реактора з урахуванням тиску, необхідно вводити поправку:

$$G_p = G \left( \frac{66}{P} \right), \quad (1.2)$$

де  $P$  – тиск у кубі реактора, кгс/см<sup>2</sup>. Нижче наводяться дані дослідів та розрахунків.

У процесі гідратації етилену визначальним параметром є наявність так званого ефективного об'єму фосфорної кислоти в реакторі. Під ефективним об'ємом розуміють такий мінімальний вміст кислотного компонента, за якого швидкість утворення етилового спирту (або, іншими словами, вилучення продукту з реактора) не залежить від ступеня винесення кислоти з поверхні каталізатора. Цей об'єм відповідає мінімальній товщині рідкої кислотної плівки на поверхні пор носія, при якій весь об'єм кислоти залучений до процесу каталізу.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Подальше зменшення товщини цієї плівки призводить до часткової втрати каталізаторної активності, що негативно впливає на загальну швидкість реакції. Експериментальні дані свідчать, що лише за умови підтримання достатнього об'єму кислоти у каталізаторному шарі досягається максимальний ступінь перетворення етилену на етанол. На рисунку 1.1 представлено графік, що ілюструє залежність ступеня конверсії етилену від масової кількості кислоти в реакторі за фіксованих технологічних параметрів процесу.

Таблиця 1.2 – Параметри технологічного режиму у реакторі.

Температура в реакторі, °C	290
Циркуляція етилену, т/год.	30,6
Тиск у реакторі, кгс/см <sup>2</sup>	70
Мольне співвідношення пар: етилен	0,67:1
Концентрація етилену в циркулюючому газі, %	92,7

Як видно з рис. 1.1, зниження вмісту кислоти від максимального до 1530 кг не впливає на ступінь конверсії етилену; подальше ж зменшення вмісту кислоти супроводжується пропорційним зниженням ступеня конверсії. Іншими словами, ефективна кількість кислоти в реакторі дорівнює 1530 кг.

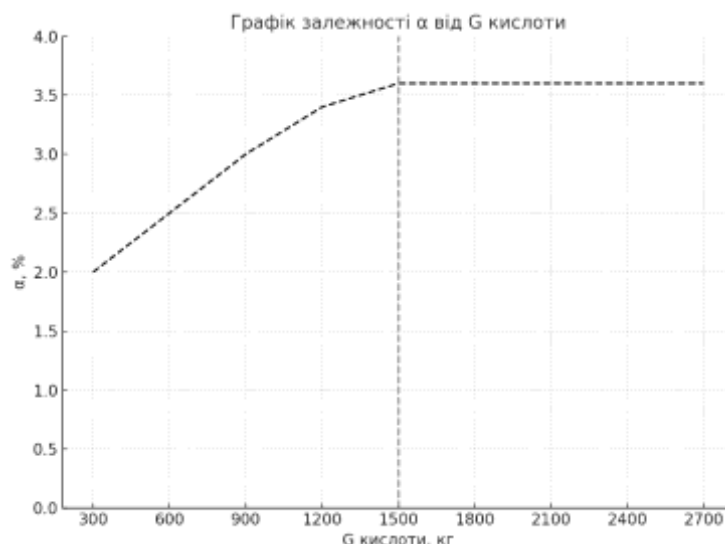


Рисунок 1.1 – Залежність ступеня перетворення етилену на спирт від кількості кислоти в реакторі

Залежність показує:

- зростання  $\alpha$  від 2% до 3,6% у діапазоні  $G = 300-1500$  кг;
- подальшу стабілізацію  $\alpha$  на рівні 3,6% при  $G > 1500$  кг;
- вертикальну пунктирну лінію на  $G = 1500$  кг, що позначає поріг насичення.

Зниження активності каталізатора, пов'язане з такими чинниками, як науглецювання, зменшення механічної міцності та зниження концентрації фосфорної кислоти в порах, за умови дотримання всіх технологічних вимог, чинить відносно незначний вплив на процес винесення кислоти. Подібні явища, як правило, спостерігаються лише за суттєвих порушень технологічного режиму. Зокрема, науглецювання каталізатора може відбуватися внаслідок підвищення температури в реакторі та зменшення подачі пари, що особливо характерно для пускових режимів. Зменшення механічної міцності каталізатора зазвичай пов'язане з недотриманням встановленого регламенту експлуатації в межах каталізаторного відділення. У свою чергу, зниження концентрації кислоти в порах каталізатора може бути зумовлене підвищенням мольного співвідношення пари до циркулюючого газу. Ефективність функціонування установки гідратації етилену значною мірою визначається такими керованими параметрами, як температура і тиск у реакторі, інтенсивність циркуляції етилену, мольне співвідношення води до циркулюючого газу, а також тривалість пробігу реактора.

### 1.3 Опис технологічного процесу

Під час виробництва етанолу з етилену відбувається оборотна реакція, перебіг якої гальмується зі зменшенням об'єму системи та виділенням тепла. Для зміщення хімічної рівноваги в напрямі утворення спирту доцільно підвищувати тиск. Реакція гідратації етилену проводиться за умов високого тиску (6–8 МПа) та температури (150–200 °С), з використанням фосфорної кислоти ( $H_3PO_4$ ), іммобілізованої на алюмосилікатному носії, як каталізатора.

Технологічна схема процесу передбачає багаторазову циркуляцію газової суміші з метою підвищення виходу етанолу. Початково суміш етилену, води та циркуляційного газу стискається до заданого тиску (6–8 МПа) та проходить через

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



## 1.4 Тепловий баланс

Реагентна суміш подається до реактора за температури, що відповідає умовам проведення синтезу. Температура сировини на вході становить 280 °С (553 К). Реакція відбувається в умовах, наближених до адіабатичного режиму, тобто без суттєвого теплообміну із зовнішнім середовищем. При цьому втрати теплоти приймаються незначними — на рівні 1% від загального теплового потоку, що надходить із сировиною. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільність температурного профілю реактора та максимально наблизити умови до ідеального адіабатичного процесу.

У таблиці 1.3 представлений тепловий баланс стадії гідратації етилену

Таблиця 1.3 – Тепловий баланс стадії гідратації етилену

Прихід			Розхід		
Тепловий потік	Вт	%, мас	Тепловий потік	Вт	%, мас
$Q_{\text{поч}}$	20423768	94,9	$Q_{\text{кінцеве}}$	20463905,8	95,00
$Q$	1099200	5,1	$Q_{\text{нагріте}}$	0,00	0,00
$Q$	0,00	0,00	$Q_{\text{витрати}}$	215229,68	1,00
			$\Delta Q$	843832.52	4,00
Всього	21522968	100	Всього	21522968	100

## Висновок до розділу

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу одержання етанолу шляхом гідратації етилену. Розглянуто фізико-хімічні основи зазначеного процесу, охарактеризовано властивості кінцевого продукту, а також здійснено розрахунок теплового балансу системи, що дозволяє оцінити енергетичну ефективність виробництва.

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МОДЕЛІ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМІННИКУ

### 2.1 Постановка задачі для моделювання трубчатого теплообміннику

У процесі виробництва етилового спирту ключове значення має контроль температури суміші, що утворюється на виході реакційної колони внаслідок гідратації етилену сірчаною кислотою. До складу цієї суміші входять етилсірчана кислота, діетилсульфат, сірчана кислота, полімери, вода та інші компоненти. Після виходу з реакційної колони при температурі близько 80 °С суміш підлягає охолодженню до температури, що не перевищує 50 °С, що необхідно для забезпечення ефективного гідролізу за допомогою холодної води. Охолодження здійснюється впродовж технологічного циклу за допомогою води з температурою 10 °С.

Охолодження реагентної маси відбувається в трубчастому теплообміннику, конструкція якого включає металевий прямокутний зварний резервуар, заповнений проточною водою, та трубчасту охолоджувальну поверхню. У пристрій подається реагентна суміш (60–80 % етилсульфату, 10–30 % сірчаної кислоти, 2–8 % діетилсульфату, 1–7 % полімерів, близько 2 % води та домішок) та охолоджувальна вода. Після теплообміну охолоджена реагентна маса надходить у гідролізер, де відбувається реакція при температурі 92–96 °С та тиску 4,5–5 кгс/см<sup>2</sup>.

Для забезпечення стабільної та керованої роботи теплообмінного обладнання необхідно здійснити аналіз теплового балансу системи. Цей аналіз передбачає врахування тепла, що виділяється під час реакції гідратації етилену, а також теплових втрат, пов'язаних з охолодженням суміші та роботою теплообмінника. Визначення перехідної характеристики для каналу «витрата охолоджувальної води — вихідна температура реагентної маси» дозволяє встановити кількісну залежність між цими параметрами та забезпечити оптимальне регулювання подачі охолоджувального середовища.

На основі розрахунків теплового балансу та перехідної характеристики визначаються оптимальні режими подачі реагентів і охолоджувальної води, що є

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

запорукою стабільного функціонування процесу гідролізу та підвищення ефективності виробництва етилового спирту.

## 2.2 Структурно-параметрична схема моделі холодильника (трубчастий теплообмінник)

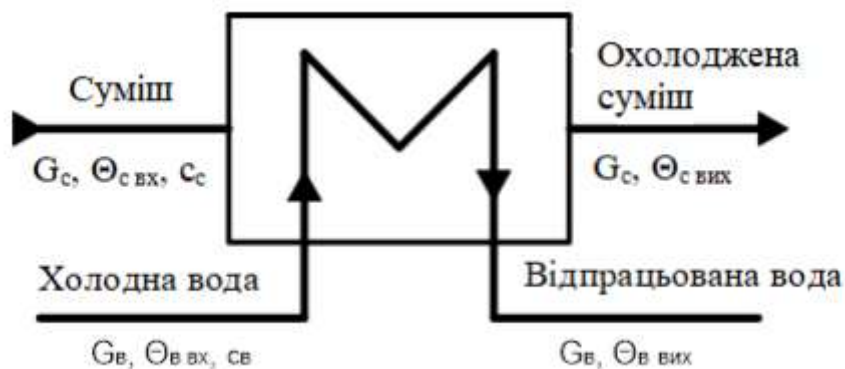


Рисунок 2.1 – Структурно параметрична схема холодильника

Вхідними параметрами холодильника є:

питома теплоємність суміші, Дж/(кг · К); температура холодної води, К;

- витрата холодної води, кг/с;

- температура суміші, К;

- витрата суміші, кг/с;

- температура холодної води, К;

Вихідними параметрами є:

- температура охолодженої суміші, К;

- витрата охолодженої суміші, кг/с;

- температура відпрацьованої води, К;

- витрата відпрацьованої води, кг/с.

$G_c$  – витрата суміші;

$\Theta_{c \text{ вх}}$  – температура суміші;

$c_c$  – питома теплоємність суміші;

$G_v$  – витрата води;

$\Theta_{v \text{ вх}}$  – температура відпрацьованої води;

$c_v$  – питома теплоємність води;

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$\Theta_{в \text{ вих}}$  – температура відпрацьованої води;

$\Theta_{с \text{ вих}}$  – температура охолодженої суміші.

Структурно-параметрична модель системи показує, що лише температурні характеристики змінюються внаслідок теплообміну, оскільки масові витрати залишаються незмінними. Витрати реагентної маси й води, разом із їх початковими температурами, визначають ефективність охолодження. Підтримка температури охолодженої суміші в межах, заданих технологічним регламентом, є критично важливою для якісного перебігу гідролізу. Недотримання цього режиму може призвести до погіршення якості продукту або до виділення шкідливих речовин у робочу зону.

Оптимізація керування процесом охолодження полягає в забезпеченні стабільної температури охолодженої суміші при мінімально можливій витраті холодної води. Це дозволяє не лише дотримуватись технологічних вимог, а й досягти енергозбереження та ефективного використання ресурсів. Аналіз теплового балансу системи та побудова перехідної характеристики між витратою охолоджувальної води й температурою реагентної маси на виході дають змогу налаштувати процес у динамічному режимі та гарантувати стабільність технологічного циклу.

### 2.3. Статична і динамічна характеристики холодильника

Теплообмінники, так само як і багато інших пристроїв, можуть бути описані аперіодичними ланками. Чим більше шляхів передачі тепла між резервуарами, тим вищий порядок має ланка. У даному випадку, оскільки ми не беремо до уваги стінки пристрою, у нас є лише два резервуари - вода і суміш. Тому у нас є лише один шлях передачі тепла, і в результаті ми отримуємо аперіодичну ланку першу, яка описує цей теплообмінник за каналом "витрата холодної води - температура охолодженої суміші".

Залежність вихідної температури охолодженої суміші від витрат холодної води

$$\Theta_{с \text{ вих}} = \frac{0,452 \cdot 3,577 + 353 + G_B \cdot 4,183 \cdot 283 - G_B \cdot 4,183 \cdot 323}{0,452 \cdot 3,577} = 103,49 G_B + 353 \quad (2.1)$$

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Побудуємо відповідну статичну характеристику для (1):  $\Theta_{с\text{ вих}} = f(G_{в})$

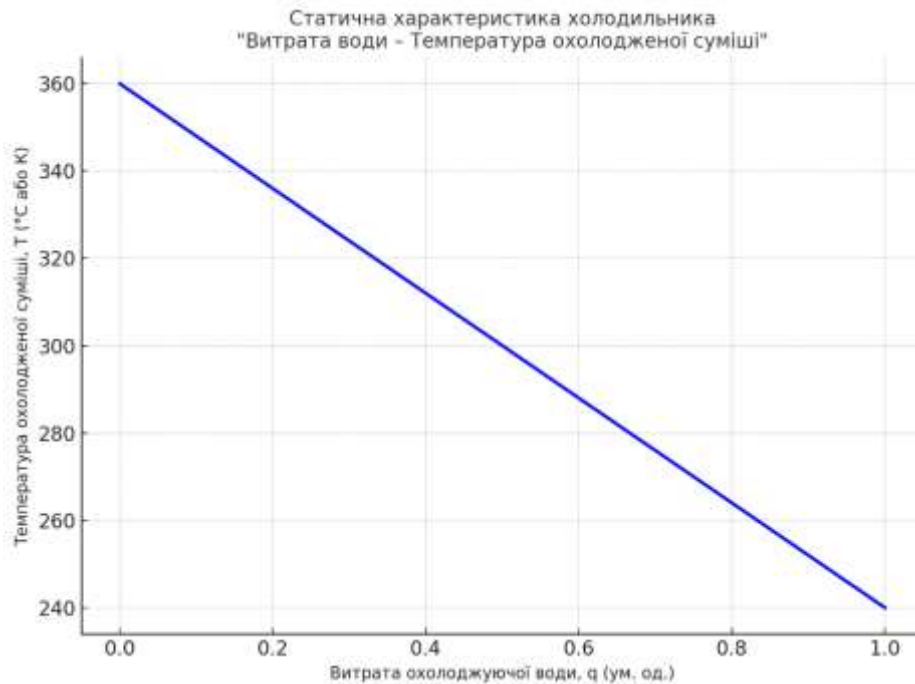


Рисунок 2.2 Статична характеристика холодильника за каналом «витрата води – температура охолодженої суміші»

Варто зазначити, що температура на виході з теплообмінника вимірюється в кельвінах. Крім того, якщо витрати зменшуються при зафіксованих витратах суміші, то це закінчується підвищенням температури на виході. Це пояснюється тим, що в такому випадку вода недостатня для повного охолодження суміші.

Передатна функція за каналом «завдання - вихід» (витрата гарячої води – температура підігрітої сировини) має вигляд :

$$W_{G_{в}-\Theta_{вих}(p)} = k / (T \cdot p + 1) \tag{2.2}$$

або

$$W_{G_{в}-\Theta_{вих}(p)} = -103,49 / (183,47 \cdot p + 1)$$

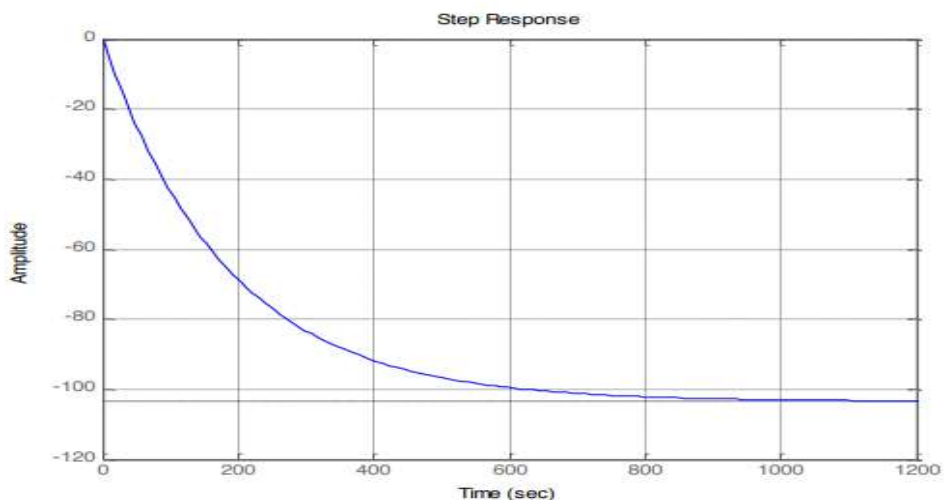


Рисунок 2.3 Динамічна характеристика холодильника за каналом «витрата води – температура охолодженої нітрози»

### Висновок до розділу

Отримано математичну модель технологічного процесу етанолу методом гідратації етанолу для холодильника. Отримано передавальну статичну і динамічну модель холодильника.

## 3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКОМ

### 3.1 Підготовка до синтезу системи керування холодильником (трубчастого теплообмінника)

Для синтезу моделі необхідно насамперед усвідомити суть самого поняття синтезу — це процес створення нової системи з оптимальними характеристиками на основі аналізу існуючих об'єктів або розробки апаратів для нових умов експлуатації. Синтез спрямований на вдосконалення функціонування об'єкта, підвищення його ефективності, адаптацію до нових технологічних вимог. У нашому випадку предметом синтезу виступає холодильник, зокрема трубчастий теплообмінник, який розглядається як керований об'єкт у контурі автоматизації.

Метою синтезу є модернізація теплообмінника, розробка ефективної системи регулювання та досягнення підвищеного коефіцієнта корисної дії. Для цього необхідним є розроблення функціональної схеми автоматизації, яка дозволяє забезпечити підтримання заданої температури охолодженої суміші з урахуванням динамічних змін параметрів.

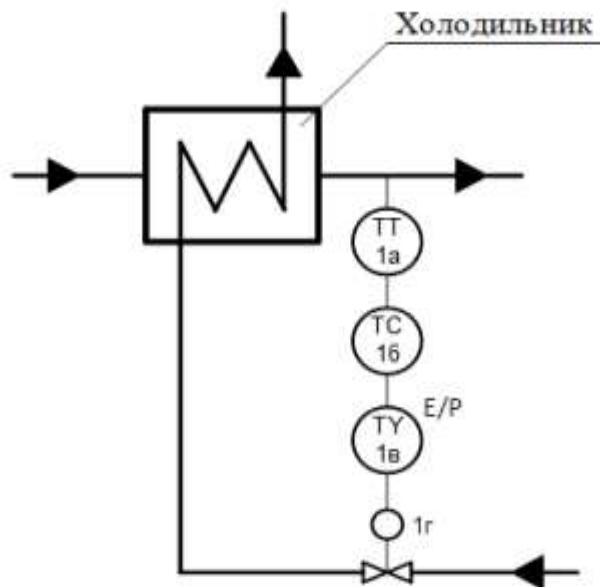


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Серед технологічних параметрів, що впливають на роботу системи, виокремлюються витрата реагентної суміші та її температура. Оскільки витрата суміші регулюється попереднім апаратом і не є предметом керування в межах даної підсистеми, основною керованою змінною залишається температура охолодженої суміші. На цю величину впливають два фактори — витрата холодної води та її температура. Зміна температури води вимагає застосування додаткового теплообмінника, що ускладнює систему і знижує її загальну ефективність. Тому як вхідний вплив обирається лише витрата води, яка й виступає головною регулювальною дією в контурі автоматичного керування.

У рамках синтезу ставиться завдання підвищити ефективність роботи теплообмінника. Для цього необхідно оновити або уточнити його математичну модель, яка вже була розроблена раніше. Наступним етапом є побудова та налаштування регулятора, який забезпечуватиме необхідний температурний режим. Також передбачено підготовку допоміжних програмних модулів або додатків, що використовуються для параметричного налаштування та аналізу якості регулювання в умовах реального виробничого процесу.

Таким чином, синтез моделі холодильника передбачає комплексний підхід, що включає оновлення моделі об'єкта, розроблення ефективного контуру автоматичного керування, та впровадження засобів для точного налаштування параметрів у процесі експлуатації.

### **3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів для одноконтурної АСК**

Для розв'язання задачі синтезу системи керування трубчастим холодильником було проведено серію експериментів із використанням різних типів регуляторів: пропорційного (P), інтегрального (I), пропорційно-інтегрального (PI), пропорційно-диференціального (PD) та пропорційно-інтегрально-диференціального (PID). Метою дослідження було забезпечення оптимального значення температури охолодженої суміші при мінімальній витраті охолоджувальної води та стабільному динамічному режимі.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

На основі отриманих результатів було зібрано повноцінну систему автоматичного регулювання в середовищі *Matlab Simulink* із реалізацією PID-регулятора. Створена модель дозволяє досліджувати поведінку системи в реальному часі, моделювати вплив збурень, змін навантаження та аналізувати ефективність роботи різних структур керування. Налаштування PID-регулятора здійснювалося з урахуванням параметрів теплообмінного процесу та динаміки об'єкта керування, що дозволило досягти мінімального перерегулювання, швидкого виходу на встановлений режим і високої точності підтримання температури на заданому рівні.

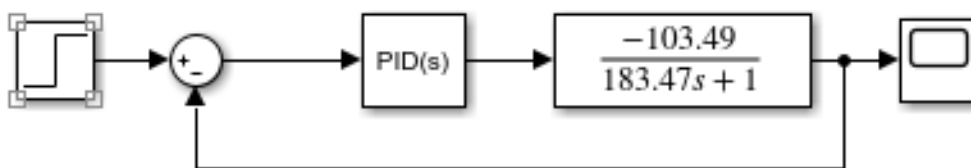


Рисунок 3.2 – Система керування для PID-регулятора

Відкривши блок PID реалізуємо налаштування за допомогою інструменту Tune.

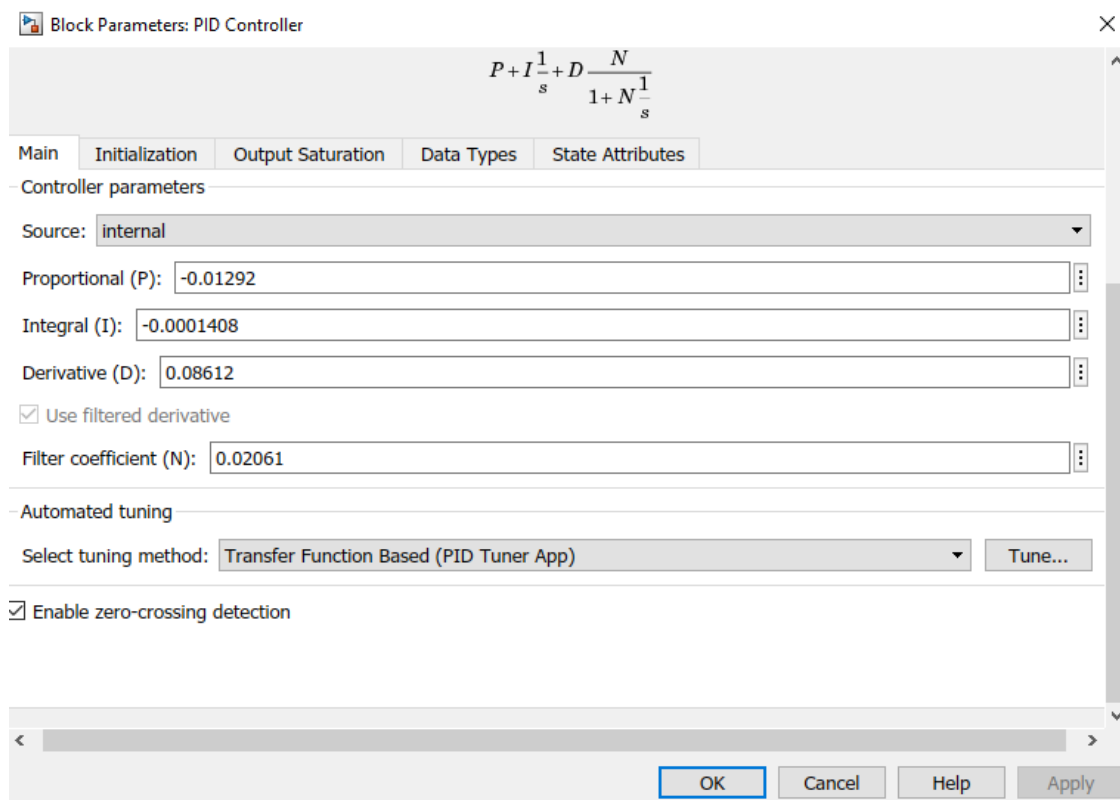


Рисунок 3.3 – Налаштування PID-регулятора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата







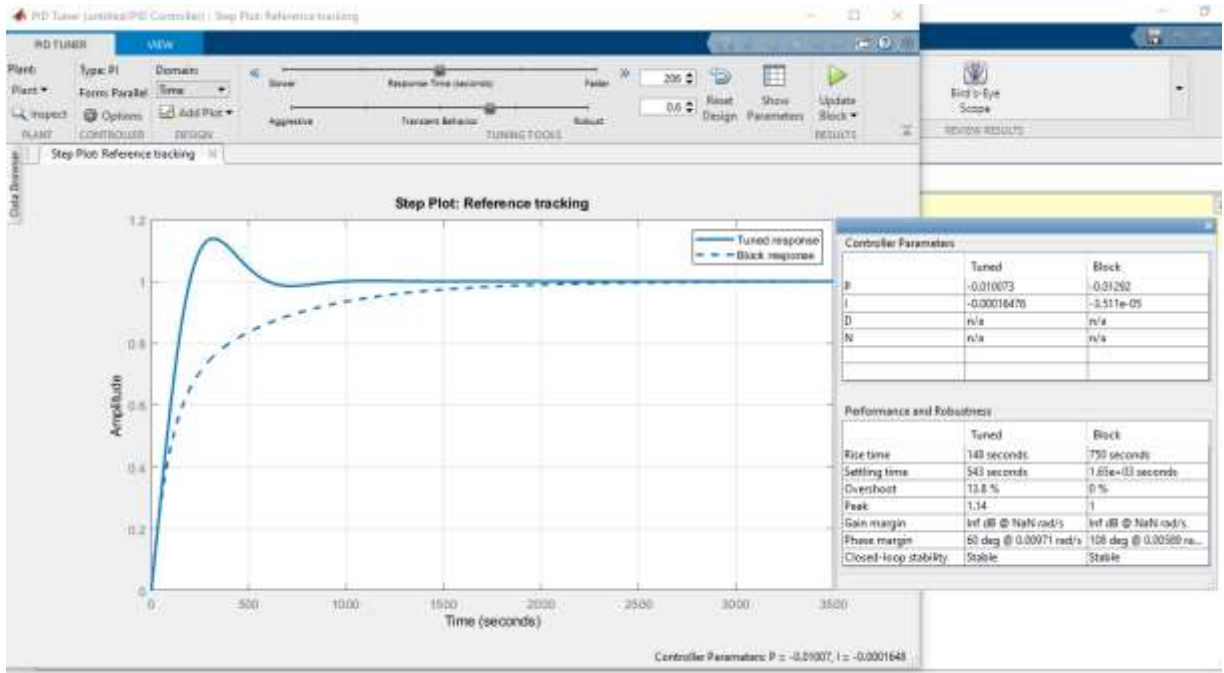


Рисунок 3.10 – Перехідна характеристика

Зібрано систему автоматичного регулювання у програмному продукті Matlab Simulink для PD-регулятора

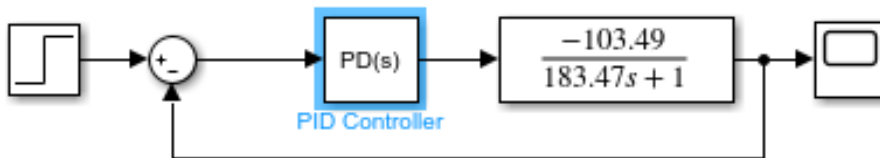


Рисунок 3.11 – Система керування для PI-регулятора

Відкривши блок PD реалізуємо налаштування за допомогою інструменту Tune







### 3.3 Перевірка на стійкість одноконтурної АСК

Закінчивши справу з побудовою одно контурної АСК у Simulink можна приступити до написання короткого коду у Matlab, який автоматично порахує передавальну функцію одноконтурної АСК.

```
Command Window
>> W1=tf([-103.49],[183.47 1])
W2=tf([-6.851])
Wp=(W1*W2)/(1+W1*W2)
bode (Wp)

W1 =

    -103.5
    -----
    183.5 s + 1

Continuous-time transfer function.

W2 =

    -6.851

Static gain.

Wp =

    1.301e05 s + 709
    -----
    3.366e04 s^2 + 1.304e05 s + 710

fx Continuous-time transfer function.
```

Рисунок 3.17 – Розрахунок еквівалентної передавальної функції

Отримавши передавальну функцію  $W_p$  потрібно дослідити її на стійкість. Для цього логічно буде скористатися вбудованими інструментами Matlab. Дослідимо наступні графіки та діаграми:

Критерій Найквіста є графоаналітичним методом оцінювання усталеності замкнених систем автоматичного керування на основі частотної характеристики розімкненої системи. Він ґрунтується на побудові локусу Найквіста — кривої, яка відображає залежність комплексної передавальної функції  $W(j\omega)$  від частоти у комплексній площині. Аналіз цієї кривої здійснюється відносно критичної точки  $-1+j0$ , яка є ключовим орієнтиром для визначення стійкості замкненої системи.



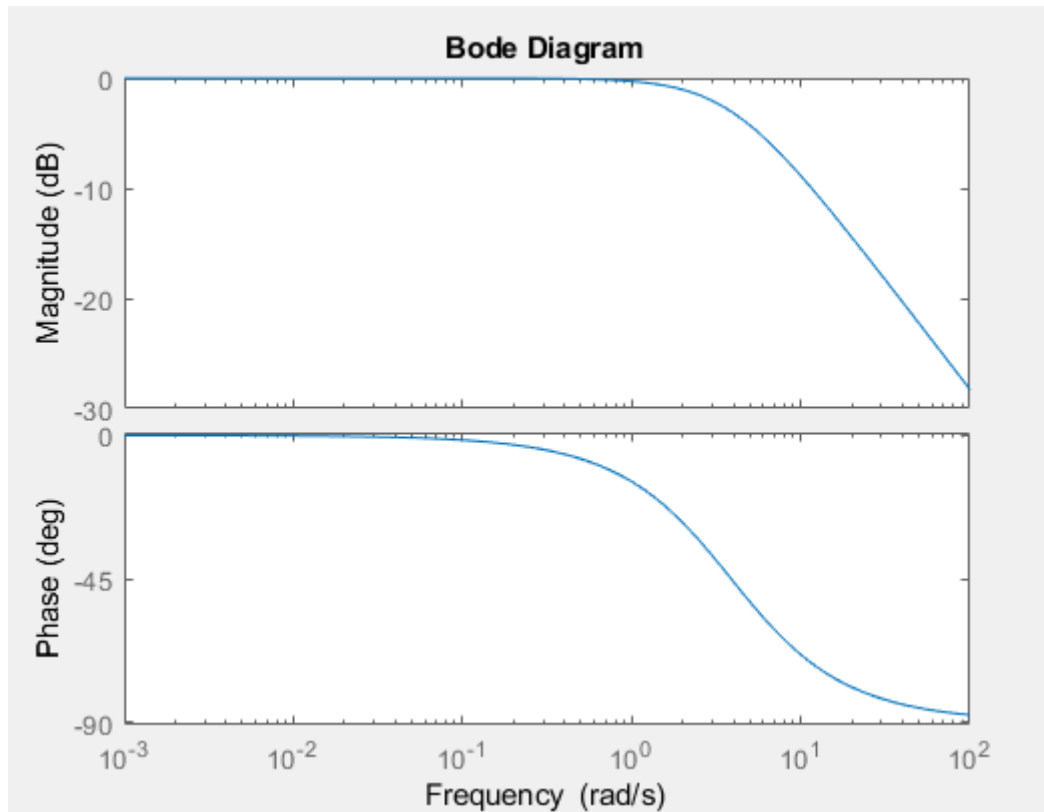


Рисунок 3.19 – АЧХ та ФЧХ одноконтурної АСК

### Висновок до розділу

У рамках дослідження ефективності системи автоматичного керування трубчастим холодильником було проведено серію експериментів із застосуванням регуляторів різних типів — P, I, PI, PD та PID. Метою дослідів було досягнення оптимального значення температури охолодженої суміші шляхом регулювання витрати охолоджувальної води. Кожен тип регулятора протестовано з урахуванням динаміки об'єкта та вимог до стабільності, точності та швидкодії системи.

Для оцінки динамічних властивостей системи керування та перевірки її на стійкість використано класичний критерій Найквіста. На основі аналізу частотної характеристики відкритої системи побудовано найквістову діаграму, що дозволило визначити умови стійкості замкненого контуру регулювання.

Результати аналізу засвідчили, що PID-регулятор забезпечує найкращі показники за критеріями якості: мінімальне перерегулювання, відсутність стійких коливань та швидке досягнення встановленого значення температури. Система з PID-регулятором продемонструвала стійку поведінку згідно з критерієм Найквіста,

що підтверджує правильність вибору параметрів регулювання та обґрунтованість  
обраної структури керування.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## 4 РОЗРОЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

### 4.1 Технічна характеристика технологічного обладнання

Сепаратор використовується для розділення потоків на газову та рідку фазу. Вода, як менш леткий компонент, конденсується в ньому з більшою ефективністю, що дозволяє досягти кращого виділення рідкої фази з реакційної суміші.

У холодильнику відбувається конденсація продуктів реакції. Це забезпечує перехід парової фази в рідку за рахунок інтенсивного охолодження, що є необхідною умовою для подальшого технологічного розділення компонентів.

Теплообмінники виконують функцію попереднього нагрівання етанолу. Як теплоносії застосовується парова суміш. У результаті теплообміну температура етанолу підвищується приблизно до 90 °С, що сприяє поліпшенню ефективності наступних технологічних операцій.

Гідратор забезпечує процес прямої гідратації етилену, що дозволяє досягти високого виходу етанолу. Цей метод є екологічно безпечним, оскільки не передбачає утворення шкідливих побічних продуктів і не потребує застосування токсичних реагентів.

Трубчаста піч служить для нагрівання реагентної суміші до необхідної температури перед надходженням у гідратор. Її номінальна потужність становить 4,5 кВт, електроживлення здійснюється від мережі 220 В, 50 Гц. У робочому просторі можливе досягнення температури до 1250 °С, причому система автоматичного регулювання підтримує значення в діапазоні від 40 до 1250 °С з точністю не гірше  $\pm 2$  °С. Робоче середовище — повітря. Розміри робочої зони становлять 40×600 мм, загальні габарити печі — 500×900×600 мм, вага — близько 65 кг. Терморегулювання здійснюється за допомогою терморегулятора ТРП-08-ТП у поєднанні з термопарою типу ТПП-188.

Уся ця апаратура забезпечує стабільність хімічних процесів та оптимальні умови для ефективного і безпечного виробництва етанолу.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

## 4.2 Вибір параметрів індикації, реєстрації, контролю, регулювання, сигналізації

Таблиця 4.1 - Параметри

Позиція на ФСА	Параметр	Значення параметру	Діапазон зміни
1-а	Температура у печі	150°C	150-200 °C
2-а	Рівень у гідраторі	1,2м	1-1,5м
3-а	Тиск у гідраторі	6,5 МПА	6-8МПА
5-а	Температура етанолу після проходження теплообмінника	90°C	90-110°C
4-а	Тиск теплообміннику	3,5 МПА	3,5-4,5 МПА
6-а	Витрата кислоти на виході з теплообмінника	1,75%	1,5-2,0%

## 4.3 Опис функціональної схеми автоматизації

У системі автоматизації процесу гідратації етилену передбачено кілька контурів регулювання та індикації, які забезпечують підтримання стабільних технологічних параметрів. Основу системи керування складає програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200, до якого надходять уніфіковані сигнали 4–20 мА від вимірювальних засобів.

Контур регулювання температури в печі реалізується за допомогою температурного давача GENEBRE 8051, сигнал з якого надходить на перетворювач МІК-22. Далі уніфікований сигнал подається на ПЛК, де за допомогою відповідної програми здійснюється керування нагрівом для підтримання заданої температури.

Контур регулювання рівня в гідраторі побудований на основі радарного давача Rosemount™ 5408, який передає сигнал безпосередньо на ПЛК. Програмне

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

забезпечення контролера формує управляючі дії для підтримання стабільного рівня рідини у гідраторі.

Контур регулювання тиску в гідраторі передбачає використання датчика SITRANS LH300. Отриманий уніфікований сигнал надходить на ПЛК, де реалізується алгоритм регулювання тиску відповідно до заданих параметрів.

Контур регулювання температури після теплообмінника побудований за аналогічним принципом. Температурний сигнал від ТСПУ–0388 передається на перетворювач МІК-22, а звідти — на ПЛК. На основі отриманих даних контролер здійснює керування, забезпечуючи необхідне охолодження реагентної маси.

У контурі регулювання тиску в теплообміннику використовується давач SITRANS LH300. Його вихідний сигнал надходить на контролер, який формує управляючу дію відповідно до поточного тиску.

Контур реєстрації витрати на виході реалізовано з використанням масового витратоміра Coriolis. Сигнал передається на вимірювальний перетворювач SITRANS FS, з якого формується уніфікований сигнал, що надходить на ПЛК для подальшої обробки.

Система індикації забезпечує візуальний контроль параметрів у реальному часі. Температура в печі, рівень у гідраторі, тиск у гідраторі, температура після теплообмінника та тиск у теплообміннику відображаються на технологічних індикаторах ІТМ-4К7. Для цього сигнали від відповідних датчиків, після проходження через перетворювачі (якщо потрібно), подаються на індикатори. Це дозволяє оператору оперативно контролювати стан об'єкта та своєчасно реагувати на можливі відхилення від норми.

Загалом система автоматизації передбачає комплексне регулювання й моніторинг усіх критичних параметрів, що гарантує ефективність, безпеку та стабільність технологічного процесу.

#### 4.4 Опис технічних засобів автоматизації

##### 1. Rosemount™ 5408

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Безконтактний радарний рівнемір Rosemount™ 5408 належить до високоточних вимірювальних приладів, що застосовуються для моніторингу рівня рідких і сипких середовищ у промислових умовах. Його функціонування ґрунтується на технології частотно-модульованої безперервної хвилі (FMCW), що дає змогу генерувати стійкий і точний ехосигнал із максимально можливим коефіцієнтом підсилення. Такий підхід дозволяє досягати високої стабільності сигналу навіть у складних умовах експлуатації, зокрема за наявності пилу, пари або турбулентностей.

Пристрій характеризується двопровідною конфігурацією з живленням і передачею сигналу через один кабель, що зменшує складність монтажу та витрати на інсталяцію. Програмне забезпечення рівнеміра забезпечує інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для налаштування, діагностики, введення в експлуатацію та обслуговування приладу, що значно спрощує експлуатацію в польових умовах.

Основні технічні характеристики приладу включають діапазон вимірювання до 30 метрів для рідин і до 20 метрів для сипких матеріалів, частотний діапазон 26 ГГц або 80 ГГц залежно від модифікації, точність вимірювання до  $\pm 2$  мм, а також широкий спектр вихідних сигналів, зокрема 4–20 мА з HART, Foundation Fieldbus або Modbus. Конструкція рівнеміра передбачає високу стійкість до хімічної корозії та механічного впливу, завдяки наявності герметичних корпусів з нержавної сталі або пластику з підвищеною хімічною стійкістю. Працездатність пристрою зберігається в діапазоні температур від  $-40$  °C до  $+80$  °C і при тиску до 40 бар.

Rosemount 5408 також сертифікований для використання у вибухонебезпечних зонах відповідно до міжнародних стандартів ATEX, IECEx та інших.



Рисунок 4.1 - Безконтактний радарний рівнемір Rosemount™ 5408

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

## 2. Перетворювач температури вимірювальний GENE BRE 8051

Перетворювач температури GENE BRE 8051 є високоточним вимірювальним приладом, призначеним для експлуатації в промислових умовах. Його конструкція базується на платиновому термометрі опору типу RTD/PT100, який забезпечує високу стабільність вимірювань, чутливість та низький рівень похибок у широкому температурному діапазоні.

Основним елементом пристрою є платиновий резистивний термодатчик PT100, що має опір 100 Ом при температурі 0 °С. Зміна температури викликає пропорційну зміну опору, яка фіксується за стандартами DIN EN 60751. Пристрій функціонує в межах температур від -200 до +600 °С. Відповідність класу точності В гарантує максимально допустиму похибку  $\pm 0,3$  °С поблизу нуля, з поступовим зростанням похибки до  $\pm 3,3$  °С при досягненні граничної температури.

Корпус перетворювача виготовлений із нержавіючої сталі марки AISI 316, що забезпечує високу корозійну стійкість та здатність витримувати тиск до 16 бар. Головка виконана з алюмінієвого сплаву, має діаметр 80 мм і містить кабельний ввід з різьбленням G 1/2". У середині розташований монтажний термінал з керамічним ізолятором, який має діаметр 44 мм і міжцентрову відстань кріпильних отворів 33 мм.

Сенсорна частина пристрою реалізована у вигляді знімного зонда діаметром 4 мм. Така конструкція дозволяє проводити обслуговування або заміну елемента без необхідності демонтажу всього приладу. Стандартна довжина зонда складає 300 мм, що дозволяє здійснювати вимірювання в системах із глибоким зануренням або протяжними трубопроводами.

GENE BRE 8051 підтримує трипровідне підключення, що є ефективним способом компенсації падіння напруги в провідниках при значній довжині кабельної лінії. Така схема мінімізує вплив паразитного опору. Колірна маркування провідників: два червоні проводи виконують роль сигнальних, а білий — компенсуючого, відповідно до прийнятих стандартів.

Температурний діапазон експлуатації пристрою становить від -200 до +600 °С. Захисна оболонка виготовлена з нержавіючої сталі AISI 316. Робочий тиск не перевищує 16 бар. Під'єднання виконується за допомогою зовнішнього різьблення G

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

½". Діаметр захисного кожуха зонда складає 6 мм. Головка має алюмінієвий корпус з діаметром 80 мм. Клемний блок виконаний із кераміки, його внутрішній діаметр дорівнює 44 мм, монтажна відстань між отворами — 33 мм.

Завдяки матеріалам виготовлення та широкому температурному діапазону, пристрій ефективно функціонує в середовищах із водою, парою, повітрям, а також з рідинами малої та середньої агресивності, включаючи густі або в'язкі середовища. Конструктивне виконання з приєднанням типу DN 15, PN 16 забезпечує сумісність із більшістю промислових трубопровідних систем і фланцевих вузлів.

Модель GENE BRE 8051 зарекомендувала себе як компактний, зручний та надійний засіб температурного контролю. Використання сенсора PT100 класу точності В забезпечує високу достовірність даних, навіть при значних коливаннях температури. Платина як чутливий елемент гарантує лінійність температурної характеристики, а відповідність міжнародним стандартам дозволяє застосовувати пристрій у складних технологічних процесах. Трипровідна схема підключення забезпечує високу якість сигналу, особливо при значних відстанях між датчиком та системою збору даних. Нержавіючий корпус і герметичні з'єднання роблять прилад придатним для роботи в умовах високої вологості, тиску та температури.

GENE BRE 8051 є надійним та ефективним засобом для точного вимірювання температури у промислових системах. Його технічне виконання відповідає сучасним вимогам до точності, довговічності та зручності обслуговування. Завдяки використанню якісних матеріалів і перевірених технічних рішень, цей перетворювач здатен забезпечити стабільну роботу в широкому спектрі виробничих процесів.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рисунок 4.2 - Перетворювач температури вимірювальний GENE BRE 8051

### 3. SITRANS LH300

Перетворювач тиску SITRANS LH300 - датчик занурення для вимірювання гідростатичного рівня з захисними кришками з PPE, нержавіючої сталі і ETFE. Датчик перетворює гідростатичний тиск, пропорційний рівню, в стандартизований сигнал 4-20 мА. Датчик складається з корпусу з нержавіючої сталі (Ø 30 мм) зі ступенем захисту IP68 і п'єзорезистивного сенсора з керамічною мембраною, виготовленою з кераміки з чистотою 99,6%, що забезпечує універсальне використання, а також добре підходить для систем питної води. Датчик тиску вимірює рівень рідини в резервуарах, контейнерах, каналах і греблях. Датчики тиску SITRANS LH300 мають різні діапазони вимірювання і захист від вибуху.

#### Переваги:

- Простий монтаж і експлуатація завдяки компактній конструкції та стійким до корозії матеріалам
- Безпечне застосування завдяки наявності вентиляційної трубки в сполучному кабелі, що запобігає утворенню конденсату

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Тривалий термін служби завдяки захисту вимірювальної мембрани від зовнішніх впливів за допомогою захисного ковпачка
- Стандартний комплект для вимірювання: перетворювач, кабельний підвіс, клемна коробка

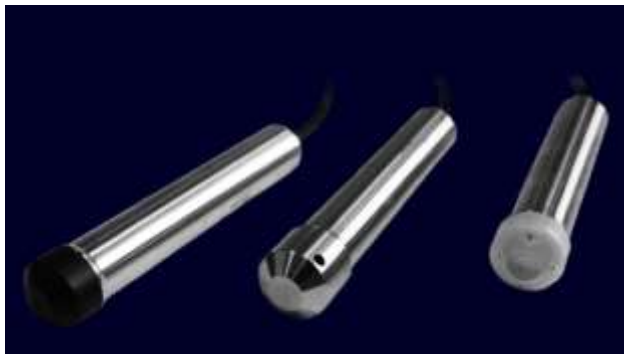


Рисунок 4.3 - Перетворювач тиску SITRANS LH300

#### 4.Витратомір CoriolisMaster FCH450

Широкий діапазон типорозмірів витратомірів Коріоліса забезпечує точне вимірювання маси, об'єму, щільності, температури та концентрації.

Серія CoriolisMaster від компанії АББ має історію успіху в різноманітних галузях промисловості та застосування. Завдяки постійним інноваціям вони заощаджують час та гроші під час встановлення, введення в експлуатацію та обслуговування. Компактні масові витратоміри Коріоліса серії CoriolisMaster FCB/FCH400 характеризуються мінімальним падінням тиску, високою продуктивністю, оснащені інтуїтивно зрозумілим і загальним для всієї продукції АББ дисплеєм, п'ятьма модульними входами та виходами, а також підтримують передачу даних по протоколу HART. Витратомір виготовлено із затверджених FDA матеріалів та сертифіковано відповідно до EHEDG та 3-A.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Рисунок 4.4 - Витратомір CoriolisMaster FCH450

### 5.МІК 22

Призначений для вимірювання контрольованого вхідного фізичного параметра температури, тиску, рівня та обробки перетворення та відображення його поточного значення на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі



Рисунок 4.5 - МІК 22

### 6.SITRANS FS230

Цифровий накладний ультразвуковий витратомір SITRANS FS230 є високотехнологічним рішенням для точного вимірювання витрати рідин у широкому спектрі промислових застосувань. Цей прилад розроблений із урахуванням вимог сучасного виробництва, де критично важливими є не лише точність вимірювання, а й економічна ефективність, гнучкість в інтеграції, простота встановлення та здатність працювати в екстремальних умовах.

Основу вимірювальної системи SITRANS FS230 становить комбінація передавача SITRANS FST030 і накладних ультразвукових датчиків серії SITRANS

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

FSS200. Передавач FST030 відповідає за обробку сигналів, комунікацію, аналіз потоку та вивід даних, тоді як датчики виконують перетворення ультразвукових імпульсів у вимірювані параметри. Датчики FSS200 доступні в кількох модифікаціях: високоточні WideBeam®, універсальні та високотемпературні, що дозволяє точно адаптувати систему під специфіку кожного об'єкта чи середовища.

Особливістю системи SITRANS FS230 є її здатність до вимірювання з високою точністю та стабільністю навіть у динамічних умовах. Система забезпечує вимірювання витрати з похибкою від 0,5 до 1% від фактичного значення, при цьому гарантуючи повторюваність на рівні 0,25% відповідно до міжнародного стандарту ISO 11631. Такий рівень точності дозволяє інтегрувати прилад у системи обліку енергоресурсів, технологічного контролю та регулювання процесів у таких галузях, як енергетика, нафтогазова промисловість, водопостачання, хімія, харчова промисловість і фармацевтика.

Однією з найсильніших сторін системи є висока частота оновлення даних — 100 Гц, що дозволяє в реальному часі фіксувати навіть короточасні або високочастотні зміни у витраті. Це є критично важливим у випадках контролю нестабільних або пульсуючих потоків. Висока швидкість аналізу даних підвищує динамічну чутливість системи та дозволяє швидко реагувати на зміну умов у трубопроводі.

Передача сигналів між датчиками та передавачем здійснюється за допомогою цифрового з'єднання DSL (Digital Sensor Link), яке забезпечує оцифрування сигналу на ранньому етапі вимірювання. Завдяки цьому досягається високе співвідношення сигнал/шум і мінімізуються втрати інформації, що особливо важливо при роботі в шумних середовищах або при низькій інтенсивності сигналу.

Процес встановлення SITRANS FS230 значно спрощено завдяки використанню інтуїтивно зрозумілих інструментів налаштування. Інтерактивні майстри допомагають крок за кроком пройти всі етапи введення в експлуатацію, від механічного кріплення до точного калібрування. Це мінімізує ризик помилок під час монтажу та скорочує час запуску системи.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Чіткий та функціональний людино-машинний інтерфейс забезпечує легкий доступ до даних і налаштувань. Графічний дисплей дозволяє одночасно виводити до шести параметрів, вибраних користувачем, а зручна навігація по меню робить керування інтуїтивним навіть для некваліфікованого персоналу.

Система також має відповідні сертифікати для використання у вибухонебезпечних зонах, що робить її придатною для застосування в умовах підвищеної небезпеки — наприклад, у нафтохімічних чи газопереробних підприємствах, де безпека відіграє ключову роль.

Таким чином, SITRANS FS230 є універсальним і технічно досконалим інструментом для безконтактного вимірювання витрати рідин у закритих трубопроводах. Завдяки своїм характеристикам — високій точності, швидкості реакції, цифровому обробленню сигналу, простоті інтеграції й експлуатації, а також можливості роботи у складних середовищах — цей витратомір можна вважати оптимальним вибором для підприємств, що прагнуть досягти високої ефективності та надійності виробничих процесів.



Рисунок 4.6 - Цифровий накладний ультразвуковий витратомір SITRANS FS230 7.ІТМ-4К7

Чотирьохканальний мікропроцесорний технологічний індикатор ІТМ-4К7 є сучасним багатофункціональним пристроєм для контролю, індикації та аналізу фізичних параметрів технологічних процесів. Це повністю модернізована версія індикатора ІТМ-4, що зберігає його функціональність, але відрізняється більш компактним виконанням: глибина корпусу становить лише 135 мм, що значно

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

розширює можливості встановлення пристрою в умовах обмеженого монтажного простору, зокрема в щитах з щільним компонуванням обладнання.

Основне призначення ІТМ-4К7 полягає у вимірюванні, обробці, перетворенні та виведенні на дисплей значень чотирьох незалежних аналогових сигналів, що відповідають різним фізичним величинам, таким як температура, тиск, витрата, рівень, напруга тощо. Кожен із чотирьох каналів працює паралельно й має можливість індивідуального налаштування на відповідний тип вхідного сигналу. Усі вимірювання відображаються на окремих цифрових індикаторах з чіткою індикацією у реальному часі. Завдяки універсальності вхідних інтерфейсів індикатор сумісний з широким спектром первинних вимірювальних перетворювачів.

Кожен з чотирьох аналогових входів підтримує стандартні типи сигналів, зокрема уніфіковані струмові та напругові сигнали, сигнали від термоперетворювачів опору (наприклад, Pt100) та термопар (типів К, J, S тощо). Це забезпечує гнучкість використання приладу в умовах різноманітних технологічних середовищ, незалежно від типу сенсорного обладнання.

Для інтеграції в автоматизовані системи керування та диспетчеризації передбачено підтримку цифрового інтерфейсу RS-485 з протоколом обміну даними ModBus RTU. Це дозволяє здійснювати централізоване збирання, моніторинг та архівацію даних, а також дистанційне налаштування параметрів пристрою.

У якості опції індикатор може бути оснащений одним аналоговим виходом, який формує сигнал струму 0–20 або 4–20 мА (при навантаженні до 500 Ом) або напруги 0–10 В (при навантаженні понад 2 кОм). Цей вихід дає змогу передавати оброблене значення одного з вимірюваних параметрів до систем регулювання, архівування чи додаткових індикаторних блоків.

Крім того, ІТМ-4К7 може комплектуватися чотирма дискретними виходами, які реалізовані в трьох варіантах. Перший варіант — транзисторні виходи з відкритим колектором, що витримують напругу до 40 В і струм до 100 мА, підходять для керування невеликими виконавчими пристроями. Другий варіант — релейні контакти з навантаженням до 220 В і струмом до 8 А, які забезпечують надійне комутаційне керування потужними технологічними елементами. Третій варіант — оптосимісторні

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

виходи з електричною розв'язкою, що витримують напругу до 300 В і струм до 0,7 А, придатні для керування змінними навантаженнями в умовах високого електричного шуму.

Завдяки гнучкій конфігурації входів і виходів, компактній конструкції та потужній обчислювальній базі ІТМ-4К7 може ефективно застосовуватися в системах автоматичного контролю, технологічного захисту, блокування, сигналізації, диспетчеризації та обліку у промисловості. Прилад ідеально підходить для підприємств енергетики, металургії, хімічної, харчової, нафтогазової та переробної галузей, а також у будь-яких технологічних процесах, де потрібна одночасна реєстрація й виведення декількох фізичних параметрів.

Завдяки мікропроцесорному керуванню, розширеним функціям обробки сигналу та простому інтерфейсу налаштування ІТМ-4К7 забезпечує високу точність вимірювань, стабільну роботу в умовах промислового середовища та довгий термін служби при мінімальних витратах на обслуговування.



Рисунок 4.7 - Чотирьохканальний мікропроцесорний технологічний індикатор ІТМ-4К7

## 8.SIMATIC S7-300

Мікропроцесорний засіб для реалізації автоматичного функціонування даних контурів – Simatic S7-300. Програмований логічний контролер SIMATIC S7-300 - призначений для побудови систем автоматизації низького та середнього ступеня складності. Модульна конструкція контролера S7-300, робота з природним охолодженням, можливість застосування структур локального та розподіленого вводу-виводу, широкі комунікаційні можливості, безліч функцій, що підтримуються на рівні операційної системи, висока зручність експлуатації та обслуговування

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

забезпечують можливість отримання оптимальних рішень для побудови систем автоматичного керування технологічними процесами у різних галузях промислового виробництва.

Програмовані контролери Siemens SIMATIC S7-300 мають модульну



Рисунок 4.8 - Програмований логічний контролер SIMATIC S7-300

Simatic S7-300 – це модульний програмований контролер, призначений для вирішення задач автоматичного управління низької і середньої складності. Контролери повністю відповідають вимогам концепції “Totally Integrated Automation”:

- конфігурація та програмування засобами STEP 7 Lite, STEP 7 та інструментальними засобами проектування ;
- можливість підключення до мереж MPI та SIMATIC NET, включаючи PROFINET ;
- висока потужність ;
- універсальність ;
- компоненти систем розподіленого вводу/виводу [6].

Розподілені структури дозволяють забезпечити високу гнучкість, простоту та зручність обслуговування систем автоматизації. Компоненти SIMATIC дозволяють створювати системи розподіленого вводу/виводу на основі промислових мереж PROFINET, PROFIBUS і AS-Interface [6].

Центральні процесори – модуль центрального процесора (CPU). Залежно від складності завдання у контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, які відрізняються продуктивністю, розміром пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів та спеціальних функцій, кількістю та типом вбудованих комунікаційних інтерфейсів тощо.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Блоки живлення - Блоки живлення (PS), забезпечують живлення контролера від мережі змінного струму напругою 120/230 або від джерела постійного струму напругою 24/48/60/110 В.

Сигнальні модулі SM - Сигнальні модулі (SM), призначені для введення та виведення дискретних або аналогових сигналів з різними електричними та часовими параметрами.

Комунікаційні модулі - Комунікаційні процесори (CP) забезпечують можливість підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або організації зв'язку з PtP (point to point) інтерфейсу.

Функціональні модулі - Функціональні модулі (FM) можуть самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів. Функціональні модулі мають вбудований мікропроцесор і виконують покладені на них функції навіть у разі відмови центрального процесора програмованого логічного контролера.

Центральні процесори Siemens S7-300C оснащені набором вбудованих входів та виходів, а також набором вбудованих функцій, що дозволяє застосовувати ці процесори як готові блоки управління.

#### 9. МЕО-1600

Мео 1600 63 0,63 – механізм електричний однобортний виконавчий, переміщує регулювальні органи як заслінок, шиберів, кранів, клапанів та інших в АСУ ТП відповідно до отриманого сигналу від управляючого чи регулювального механізму. Виконавчий механізм мео-1600 передає момент запірної арматурі, що крутить, забезпечуючи її поворот на кут від 0° до 360° (не більше одного обороту). Мео-1600/63, загальнопромислового виконання, широко застосовується у промисловості, під час транспортування нафтопродуктів і газу трубопроводами, в тепломережах.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



Рисунок 4.9 - МЕО-1600

#### 4.5 Опис принципової електричної схеми сигналізації

Принципові електричні схеми сигналізації проєктуються на основі загальної схеми автоматизації, враховуючи задані логіки функціонування систем контролю та сповіщення. Вони є невід’ємним елементом комплексної системи керування технологічними процесами, оскільки забезпечують оперативне виявлення відхилень критичних параметрів і своєчасне інформування обслуговуючого персоналу про виникнення потенційно небезпечних ситуацій.

Залежно від призначення, структури та середовища застосування, принципові схеми сигналізації можуть мати різні архітектури, включаючи централізовані, децентралізовані, модульні або інтегровані рішення. Основні відмінності між такими схемами полягають у принципі дії, кількості контрольованих каналів, типах елементної бази, рівні енергоспоживання та способах індикації інформації.

Незалежно від типу реалізації, кожна схема повинна відповідати ключовим вимогам експлуатаційної ефективності. Передусім вона повинна гарантувати високу надійність роботи в умовах промислових перешкод, електромагнітних впливів та змін параметрів живлення. Надійність полягає у забезпеченні безперервного контролю заданих параметрів і спрацьовуванні сповіщення з мінімальними затримками. Крім того, конструкція таких схем має бути простою в обслуговуванні та економічною в реалізації, з можливістю легкої адаптації до змін технологічних умов. Зручність експлуатації досягається шляхом логічної організації сигналів, зручної індикації (світлової або звукової), доступного тестування й наочності при роботі з персоналом.

Схема технологічної сигналізації, як правило, забезпечує кілька основних функцій. Першочергово це сповіщення про аварійну або позаштатну ситуацію за

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

допомогою звукового та світлового сигналу. Світлова сигналізація, як правило, виконується на основі світлодіодних або лампових індикаторів і залишається активною до усунення причини спрацювання. Звукова сигналізація часто реалізується через електромагнітні або електронні дзвінки, сирени, зумери, й передбачає можливість тимчасового зняття, що запобігає акустичному перевантаженню операторів. Крім того, функція випробування дозволяє перевірити працездатність усіх каналів сигналізації без потреби втручання в саму технологічну лінію. Це забезпечує регулярну діагностику системи сигналізації та її технічну готовність.

Принципова схема сигналізації реалізує спрацювання на основі сигналів, що надходять від вимірювальних перетворювачів або датчиків, налаштованих на контроль граничних значень технологічних параметрів. Зокрема, до переліку контрольованих величин належать температура, рівень, тиск, витрата та інші критично важливі для безпечного функціонування установки параметри.

У випадку розгляду конкретної реалізації, схема сигналізації може активуватись при перевищенні максимально допустимої температури в теплообміннику, що загрожує порушенням теплообміну та виходом обладнання з ладу. Також можливе спрацювання при досягненні максимального рівня в гідраторі, що може свідчити про загрозу переливу або порушення технологічного режиму.

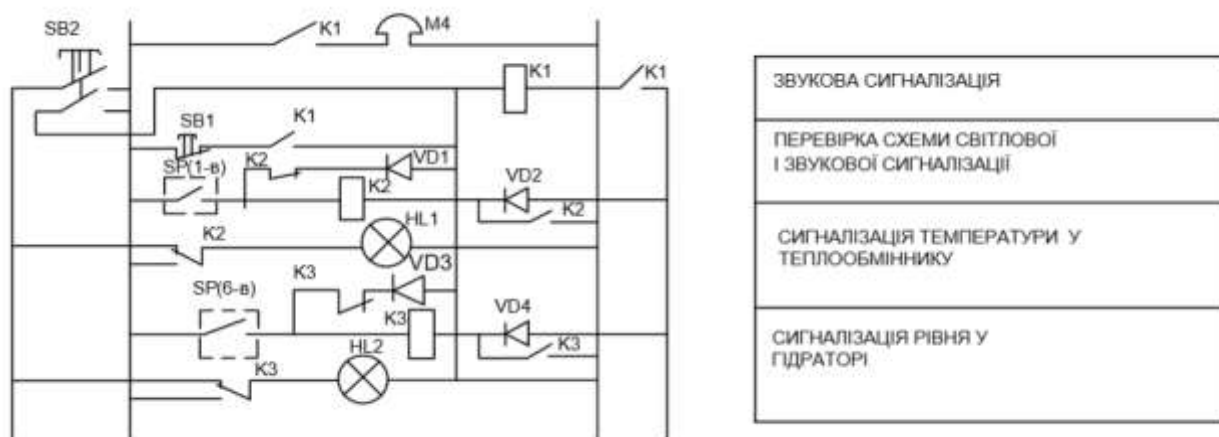


Рисунок 4.10 - Принципова електрична схема сигналізації

В кожному випадку схема включає логічні елементи (реле контролю, сигнальні реле, таймери), виконавчі пристрої (лампи, зумери), а також блок живлення та

елементи захисту. Її компоновання повинне забезпечувати чітке розділення по каналах, простоту виявлення несправностей і можливість ручного або автоматичного скидання сигналів після усунення причин їхнього виникнення.

#### 4.6 Проектування щита

За конструктивним виконанням щити поділяються на кілька основних типів, кожен з яких відповідає специфічним умовам експлуатації, просторовим обмеженням та вимогам щодо монтажу і обслуговування. Основною ознакою класифікації є форма, розміри, спосіб розміщення елементів керування, захисту, сигналізації та живлення.

Шафові щити можуть бути повногабаритними або малогабаритними. Повногабаритні варіанти застосовуються у випадках, коли необхідне встановлення великої кількості обладнання, включно з контролерами, автоматичними вимикачами, клемними блоками та іншими елементами електричних і автоматизованих систем. Малогабаритні шафи використовують у ситуаціях, коли кількість апаратури є обмеженою, а доступний простір — невеликим. Такі конструкції характерні для допоміжних або локальних систем керування.

Панельні щити поділяються на повногабаритні з каркасом, повногабаритні плоскі та малогабаритні. Повногабаритні панелі з каркасом мають жорстку просторову конструкцію та передбачають установку апаратури з обох боків. Плоскі панелі, навпаки, характеризуються меншою глибиною та зручною організацією пристроїв на лицьовій стороні. Малогабаритні панелі зазвичай виконують роль місцевих постів або додаткових точок сигналізації та контролю.

Пульти управління класифікуються на окремо стоячі, приставні та пульти з приладною приставкою. Окремо стоячі пульти встановлюються автономно на виробничих площах і часто виконують функцію центрального пункту керування. Приставні пульти можуть монтуватися безпосередньо до технологічного обладнання, машин або шаф управління. Пульти з приладною приставкою, яка може бути вертикальною або похилою, забезпечують зручність розташування засобів індикації,

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



## Висновок до розділу

У даному розділі виконано проектування функціональної схеми автоматизації, яка відображає основні взаємозв'язки між технологічним обладнанням та системою керування. Враховано алгоритм функціонування об'єкта автоматизації, а також передбачено реалізацію контролю ключових параметрів процесу.

Докладно описано технологічне обладнання, яке бере участь у виробничому процесі, включаючи його призначення, технічні характеристики та умови експлуатації. Для забезпечення надійного збору, обробки та передачі даних здійснено підбір відповідних технічних засобів автоматизації — датчиків, перетворювачів, виконавчих механізмів, а також пристроїв виводу та керування.

Розроблено схему сигналізації, що забезпечує своєчасне сповіщення оператора про відхилення технологічних параметрів від допустимих меж. Передбачено реалізацію світлової та звукової індикації, а також функції відключення звукової сигналізації й тестування працездатності системи сигналізації.

Спроектовано щит автоматики, що об'єднує всі основні елементи системи управління. Враховано конструктивні особливості розміщення апаратури, забезпечено зручність монтажу, технічного обслуговування та експлуатації. Щит передбачає розміщення пристроїв захисту, контролю, сигналізації, а також органів ручного керування процесом. Уся система відповідає вимогам технічних нормативів і стандартів промислової автоматизації.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі дослідження здійснено ґрунтовний аналіз технологічного процесу одержання етанолу шляхом гідратації етилену. Детально розглянуто фізико-хімічні основи цього процесу, зокрема механізм перебігу реакцій, термодинамічні умови, залежність швидкості реакції від температури, тиску та концентрацій реагентів. Проаналізовано властивості кінцевого продукту — етанолу, включаючи його хімічну чистоту, теплоту утворення, температурний діапазон кипіння, а також вимоги до якості в межах заданих технологічних норм.

Важливою частиною аналізу стало визначення теплового балансу системи, який дозволяє оцінити енергетичну ефективність виробництва. Розрахунок включав надходження й відведення теплоти в межах технологічного циклу, що дозволило визначити потенційні зони теплових втрат і розробити рекомендації щодо енергозбереження.

У рамках дослідження системи автоматичного регулювання трубчастим холодильником проведено серію експериментальних досліджень із використанням різних типів регуляторів. Застосовано P-, I-, PI-, PD- та PID-регулятори, щоб оцінити їхню ефективність у забезпеченні стабільного температурного режиму. Основною метою регулювання було підтримання заданого значення температури охолодженої суміші при змінних умовах, шляхом точного керування витратою охолоджувальної води.

У процесі моделювання динамічних властивостей системи регулювання особливу увагу приділено оцінці стійкості. Для цього використано класичний частотний метод — критерій Найквіста. Побудова найквістової діаграми на основі відкритої системи керування дала змогу визначити запас стійкості та чітко ідентифікувати межі безпечного регулювання. Результати аналізу підтвердили, що PID-регулятор має найбільш оптимальні динамічні характеристики, демонструючи високу точність, мінімальне перерегулювання та швидке досягнення заданого режиму без коливань.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

У ході дослідження отримано математичну модель холодильника як об'єкта регулювання. Побудовано як передавальну функцію, що описує динамічну поведінку системи, так і статичну модель, яка дозволяє оцінити вплив вхідних параметрів на вихідну температуру суміші. Модель забезпечує можливість попереднього аналізу реакції системи на збурення та зміни вхідного сигналу, що суттєво полегшує вибір структури й параметрів регулятора.

У наступній частині розділу представлено розробку функціональної схеми автоматизації. Схема враховує всі ключові взаємозв'язки між елементами технологічного обладнання, виконавчими пристроями та системами контролю. Особлива увага приділена забезпеченню надійного моніторингу параметрів процесу та своєчасного виявлення відхилень, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації та забезпечувати безперервність виробництва.

Вибрані технічні засоби автоматизації — датчики температури, тиску, витрати, рівня, аналого-цифрові перетворювачі, регулятори та виконавчі механізми — відповідають вимогам до точності, швидкодії та стійкості в умовах промислової експлуатації. Підбір обладнання здійснено з урахуванням стандартів промислової сумісності, а також зручності інтеграції в існуючі виробничі системи.

Розроблена схема сигналізації забезпечує візуальне та звукове інформування персоналу про вихід технологічних параметрів за допустимі межі. Передбачено режими тестування працездатності сигналізаційного устаткування, а також можливість ручного зняття звукової індикації при збереженні світлового попередження.

Спроектований щит автоматики є центральним елементом системи керування, у якому зосереджено всі ключові апаратні компоненти. Конструкція щита враховує ергономічні та монтажні вимоги, забезпечує легкий доступ до елементів для обслуговування, модернізації або заміни. Усі елементи щита мають чітку маркування, що полегшує роботу обслуговуючого персоналу.

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 2681–94. Метрологія. Терміни та визначення. – Чинний від 26.07.1994. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.
2. М. В. Лукінюк Автоматизація типових технологічних процесів: техно-логічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.- інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.
3. Методи добування спиртів та фенолів. Режим доступу: [https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/iebmd/ranskij\\_organ\\_himiya\\_ekolog/4.2.2.html](https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/iebmd/ranskij_organ_himiya_ekolog/4.2.2.html)
4. Boryn V. S., Feshanych L. I., Melnychuk V. V. Управління процесом прямої гідратації етилену// Innovations and prospects in modern science. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2023. Pp. 21-27.
5. Борин В.С., Фешанич Л. І., Мельничук В. В. Аналіз методів для отримання прямої гідратації етилену // European scientific congress. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2023. Pp. 21-27.
6. Борин В.С., Фешанич Л. І., Мельничук В. В. Математична модель процесу гідратації етилену з урахуванням його нестационарності // IX Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів АКІТ – 2023. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 19 квітня 2023 року.-С. 61-62
7. Борин В.С., Фешанич Л. І., Мельничук В. В. Аналіз технологічного процесу прямої гідратації етилену як об'єкта автоматизації // Science and innovation of modern world. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2023. Pp. 21-27. URL:

					БР.АКП – 55.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

