

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І. Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

з напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизація хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену

Виконав студент 4 курсу, групи ЛА-52

\_\_\_\_\_ Швидкий Євгеній Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ доцент, к. т. н. Яроцук Л.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант Охорона праці \_\_\_\_\_ доцент, к. т. н. Ковтун І.М.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І. Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Швидкому Євгенію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену,

керівник проекту Ярошук Людмила Дем'янівна, к. т. н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту Тиск в гідраторі 7 МПа, температура в гідраторі 290°C, температура суміші на виході з холодильника-конденсатора 70°C, тиск який нагнітає циркуляційний компресор 7 МПа, температура продукту на виході 20°C, концентрація етанолу на виході з дефлегматора 99%.

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену; розробка схеми автоматизації процесу; математичне моделювання холодильника-конденсатора; синтез систем керування теплообмінними установками; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену, принципова електрична схема дистанційного керування електричних двигунів, монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування та технологічних блокувань.

#### 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виділення ацетилену	1.04.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	08.04.2019	
3	Отримання математичної моделі холодильника газу	20.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	23.04.2019	
5	Синтез системи керування	06.05.2019	
6	Розробка креслень	25.05.2019	
7	Охорона праці	03.06.2019	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Швидкий Є.А.  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ярошук Л.Д.  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить пояснювальну записку об'ємом 95 сторінок, 44 рисунків, 3 таблиці, 3 креслення, 1 додаток й 15 літературних джерел.

Метою проекту є розроблення системи автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену, яка забезпечить зменшення втручання людини в роботу системи, збільшить ефективність використання енергетичних ресурсів та покращить якість продукції з метою підвищення економічної ефективності виробництва в цілому.

У дипломному проекті розроблені системи автоматизації, технологічної сигналізації, дистанційного керування, аварійного захисту та технологічних блокувань електродвигунів.

Одним з основних апаратів, що забезпечує якість вихідного продукту та впливає на економічні показники, є холодильник-конденсатор, для якого розроблена модель статичного та динамічного режимів роботи й побудовані відповідні статичні й динамічні характеристики за каналами керування та збурення.

Для технологічного об'єкта керування першого порядку із запізнюванням виконано синтез системи з регулятором методами М-кола в середовищі *MatLab*, а також за допомогою інтерактивного середовища *SISOTool* та PID Tuner, вбудованих у пакет прикладних програм *MatLab*, й обрано оптимальний регулятор методом, що забезпечив найменші показники якості регулювання.

Розроблено заходи з техніки безпеки із врахуванням шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

*Ключові слова:* етанол, етилен, гідратація, холодильник-конденсатор, об'єкт керування, схема автоматизації, математична модель, статична характеристика, передатна функція, перехідна характеристика, канал керування, канал збурення, SCADA-система.

## **ABSTRACT**

The diploma project contains an explanatory note with a volume of 95 pages, 44 drawings, 3 tables, 3 drawings, 1 supplement and 15 literary sources.

The goal of the project is to develop a system of automation of the chemical and technological system of production of ethanol from ethylene that will reduce human intervention in the system, increase the efficiency of the use of energy resources and improve the quality of products in order to increase the economic efficiency of production in general.

In the diploma project developed automation systems, technological signaling, remote control, emergency protection and technological blocking of electric motors.

One of the main devices providing the quality of the output product and affecting the economic performance is a refrigerator-capacitor, for which a model of static and dynamic operating modes has been developed, and the corresponding static and dynamic characteristics of the control and disturbance channels are constructed.

For the first-order technological object of control, the synthesis of the system with the M-circle controller in the MatLab environment, as well as using the interactive SISOTool and PID Tuner embedded in the MatLab application package was performed, and the optimal regulator was chosen by the method that provided the smallest quality control indicators.

Safety measures have been developed taking into account harmful and hazardous production factors.

Key words: ethanol, ethylene, hydration, refrigerator-capacitor, control object, automation scheme, mathematical model, static characteristic, transfer function, transient characteristic, control channel, perturbation channel, SCADA-system.

## Зміст

ВСТУП .....	6
1.АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ .....	7
1.1. Хімічні, фізичні властивості та особливості сировини та продукту .....	7
1.2. Технології виробництва етилового спирту та сировина для його виготовлення .....	10
1.3. Опис хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену .....	12
1.4. Аналіз існуючих систем автоматизації хіміко-технологічних систем виробництва етилового спирту з етилену .....	15
1.4.1. Аналіз систем автоматизації у ректифікаційної колони.....	15
1.4.2. Аналіз системи автоматизації у холодильника-конденсаторі ...	17
1.5. Властивості холодильника-конденсатора як об'єкта керування .....	19
1.6. Постановка задач автоматизації .....	21
2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ З ЕТИЛЕНУ .....	22
2.1. Аналіз основних параметрів контролю і керування.....	22
2.2. Розробка схеми автоматизації.....	23
2.3. Розробка схеми технологічної сигналізації та аварійного захисту двигунів.....	28
2.4. Розробка монтажно-комутаційної схеми.....	39
2.5. Розрахунок витратоміра змінного перепаду .....	30
Висновки до розділу 2 .....	38
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА .....	39
Висновки до розділу 3 .....	52
4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИМИ УСТАНОВКАМИ.....	53

					ДП ЛА52.13.00.000ПЗ								
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб		Швидкий Є.А.			Автоматизація хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену			Літ.		Арк.		Аркушів	
Перев		Ярошук Л.Д.											
								КПІ ім.Ігоря Сікорського					
Н.Контр.													
Затв.		Жученко А. І.			Пояснювальна записка								

4.1. Синтез системи керування холодильника-конденсатора.....	53
4.1.1. Налаштування системи керування методом М-кола.....	54
4.1.2. Синтез системи керування в програмному модулі <i>SISOTool</i> ....	56
4.1.3. Налаштування системи керування в програмному модулі <i>PID Tuner</i> .....	61
4.2. Статична оптимізація керування теплообмінника .....	64
4.3. Застосування SCADA-системи для дослідження процесу теплообміну .....	70
Висновки до розділу 4 .....	73
5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	74
5.1. Виробничий шум.....	76
5.2. Повітря робочої зони .....	77
5.3. Виробниче освітлення .....	80
5.4. Електробезпека .....	81
5.5. Пожежна безпека.....	82
5.6. Заходи щодо захисту працівників від травмування .....	83
ВИСНОВКИ.....	85
Список використаної літератури .....	86
Додаток. Специфікація устаткування, виробів та матеріалів.....	88

					ДП ЛА52.13.00.000ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Актуальність даної роботи полягає в дослідженні хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену та подальше очищення його від різноманітних домішок.

Етанол є результатом органічного синтезу, який широко застосовується в промисловості. Етиловий спирт є гарним розчинником, хоча і є вогнебезпечним, він широко застосовується в харчовій, хімічній, медичній та інших промисловостях. Служить антифризом, паливом у ракетних двигунах, а також використовується як компонент автомобільного палива і т. д. Етанол використовується, як компонент для органічного синтезу одержання складних ефірів: ацетальдегіду, оцтової кислоти, діетилового ефіру, хлороформу й хлораля.

На території України виробництво етилового спирту методом гідратації відбувається двома способами: сірчаноокисотною та прямою гідратацією.

Сірчаноокислотний метод впроваджений у промисловість з 1952 р., а метод прямої гідратації отримав поширення з початком 90-х. Оскільки від впровадження такого методу пройшло понад 20 років актуальним є питання модернізації та переведення існуючих систем на сучасні засоби автоматизації для оптимізації економічних показників виробництва та підвищення якісних показників продукції.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

## 1.1. Хімічні, фізичні властивості та особливості продукту.

Етиловий спирт (етанол, винний спирт) - це органічна сполука, одноатомний летючий спирт . В звичайних умовах має вигляд прозорої , безбарвної рідини з різким специфічним запахом та пекучим смаком.

Етиловий спирт легший за воду та необмежено розчиняється в ній в будь-яких пропорціях, а також з гліцерином, бензолом, метиловим спиртом, сірчастим ефіром, трихлорметаном, етановою кислотою та ацетоном. Також етанол являється відмінним розчинником інших органічних сполук.

Етанол вбирає вологу, як із повітря так із клітин рослинних та тваринних тканин, деструктуючи їх. У хімічно чистому вигляді етиловий спирт проявляє нейтральну реакцію, а для так званого харчового спирту характерна слабокисла реакція, що являється результатом наявності в його складі органічних кислот. Етиловий спирт і його насичені водні розчини легкозаймисті і являються вибухонебезпечними, пари його у великій кількості небезпечні для людей.

Фізичні властивості [1]:

- густина – 0,7893 г/см<sup>3</sup>;
- температура плавлення – -114,3 °С;
- температура кипіння – 78,4 °С;
- температура спалаху – 13 °С;
- температура самозаймання – 363 °С;
- температура замерзання – -117°С;
- молекулярна маса – 46,069 г/моль.

Хімічна формула етанолу –  $C_2H_5OH$ , а його молекулярна структура зображена на рис.1.1.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

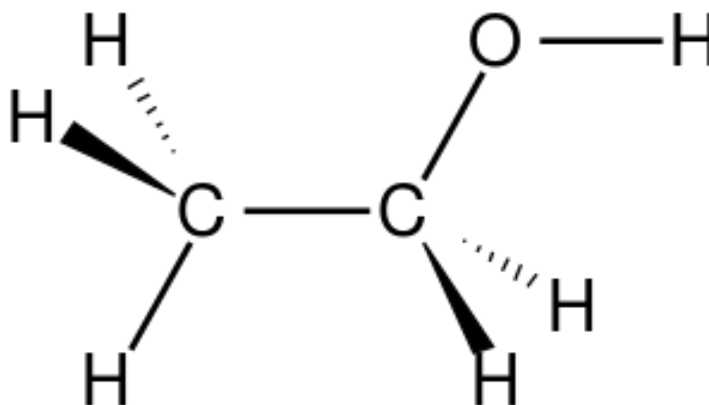


Рис.1.1 Молекулярна структура етилового спирту [1]

В харчовій промисловості етиловий спирт можливо задіяти як консервант хлібобулочних виробів та в кондитерській сфері для розчинення харчових ароматизаторів. В кодексі Європейського Союзу – *Codex Alimentarius* [2], який прийнято в 1963 р., в класифікації харчових добавок відомий під номером E1510.

Є й інші варіанти його застосування у вигляді пального та може використовуватися у чистій формі чи суміші у вигляді палива, наповнювача спиртових термометрів, дезинфікатора чи одного із складових засобів дезинфікації.

В хімічній промисловості етанол використовують для синтезу великої кількості субстанцій (сірчаного ефіру, оцтової кислоти, етану, етилового ефіру, етену, тетраєвінцю та багато інших). Він входить в склад автомобільних засобів для омивання скла та охолоджувальних, морозостійких рідин.

Етанол грає дуже важливу роль в лакофарбовій галузі, при виготовленні засобів побутової хімії (мийних засобів для скла, керамічно-глазурованих виробів, сантехнічних та інших).

Важливу роль етиловий спирт відіграє в медицині, оскільки часто застосовується як розчинник для медичних препаратів, але між тим він використовується як екстрагент для вилучення окремих компонентів з рідких су-

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

мішей (наприклад, водних розчинів) шляхом екстракції та як антисептик. Також в складі розчинів, настоянок та екстрактів етанол виступає в ролі консерванту.

Поміж тим етиловий спирт в медицині виступає в ролі:

- використовується, як фізичний охолоджувач при високій температурі тіла (для розтирання);
- являється одним із головних компонентів при виготовленні зігріваючих компресів;
- може використовуватися для загальної анестезії при відсутності інших ефективніших анестетиків;
- піногасником при подачі кисню, штучній вентиляції легенів;
- слугує протиотрутою від певних речовин (зокрема являється єдиним ефективним препаратом при отруєнні метанолом).

## **1.2. Технології виробництва етилового спирту та сировина для його виготовлення**

Для виробництва етилового спирту існує два основних способи:

- мікробіологічний (біохімічним, шляхом спиртового бродіння, зброджування цукрів чи крохмалю, який пройшов етап цукрування, дріжджами);
- хімічним (синтетичним, гідратацією етилену).

Сировиною в першому випадку виступають рослинні компоненти, які містять в собі велику кількість вуглеводнів( цукрів, крохмалю).

В загальному технологічний процес має наступну структуру:

- первинна обробка сировини ( подрібнення матеріалу);
- термічна обробка з додаванням води (зокрема розварювання для отримання водно-вуглеводного розчину) та подальше його оцукрення;
- розброджування дріждів для подальшого додавання до розчину;
- зброджування розчину;
- відокремлення спирту-сирцю з бражки;
- очищення спирту-сирцю.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Спиртове бродіння – найдавніший метод отримання етилового спирту у вигляді складної хімічної реакції. Його суть в тому що на вугеводовмісну сировину діють дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae* – так звані пивні дріжджі) та бактерійні ферменти. У субстанстанції, що отримується після взаємодії з дріжджами, входить до 15% етанолу, оскільки при більшій концентрації вони втрачають життєздатність. В подальшому отриманий етаноловмісний розчин очищують та концентрують за допомогою дистиляції, а в промислових масштабах подальшої ректифікації. В результаті виробничого циклу отримуємо не тільки спирт, а й низку відходів від бродильного процесу (сивушні масла, сивушний спирт, ефіри альдегіду та інші).

Під час ректифікації спирт містить етанол (до 95,6%), воду, а також сторонні домішки від вмісту яких і залежить товарна категорія готової продукції:

- Альфа;
- Люкс;
- Екстра;
- Базис;
- Вищого очищення;
- Першого гатунку.

Гідролізний спосіб – це спосіб одержання етанолу з деревини, яка являється відходами деревообробної промисловості. Оскільки деревина має в своєму складі клітковину (целюлозу), що в свою чергу побудована з залишків глюкози, яка і може бути використана для отримання спирту. Типову схему виробництва гідролізним способом зображено на рис.1.2.

Використовуючи сульфатну чи хлоридну кислоту клітковину гідролізують, в результаті чого утворюється глюкоза. В подальшому отримана глюкоза піддається спиртовому бродінню за допомогою дріжджів. З 1 тони дерев'яної стружки можна одержати 100 літрів спирту. Оскільки відходи деревообробної промисловості мають відносно не велику ціну, то вони дозволяють замінити більш дорогу

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

вуглеводовмісну сировину ( картоплю, буряк, зернові), що зменшує собівартість продукту.

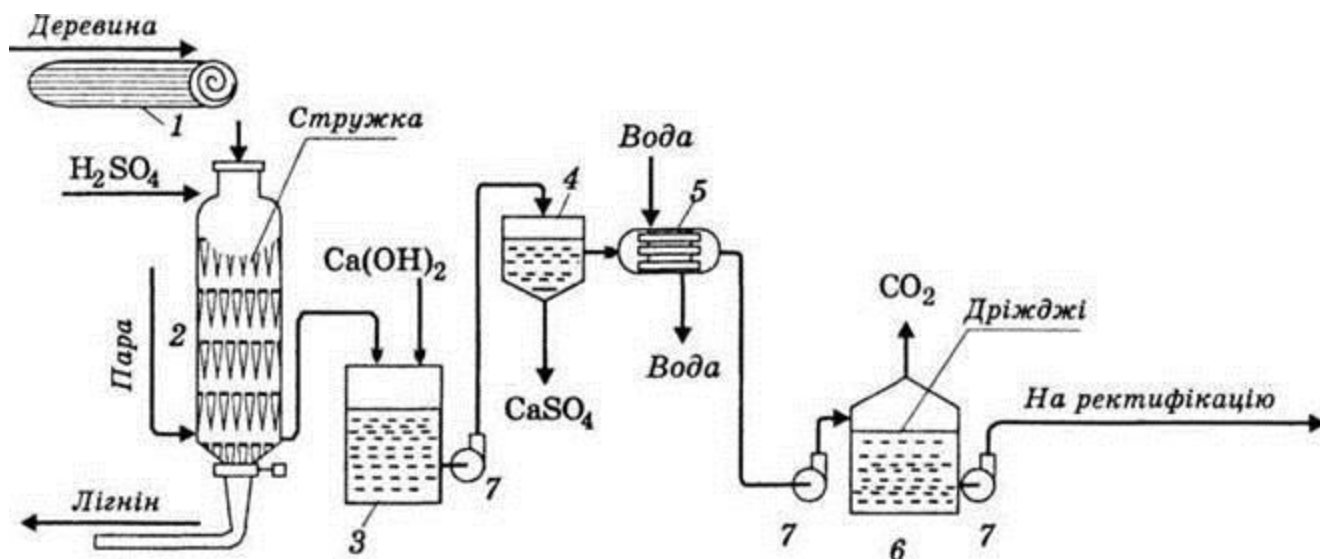


Рис.1.2. Схема виробництва етанолу гідратацією деревини:

1 – стрічковий транспортер; 2 – гідролізатор; 3 – нейтралізатор; 4 – відстійник; 5 – холодильник; 6 – бродильна ємкість; 7 – насоси

Але даний метод є менш екологічним, а також має низку якісних вад: велика кількість домішок; специфічний запах. Як результат отриманий спирт може бути застосований тільки в технічних цілях.

Метод гідратації в свою чергу може бути реалізований двома шляхами:

- Гідратація з проміжним етапом утворення ефіру, який в подальшому проходить процес гідролізу. Для останнього створюються спеціальні умови а саме: температура – 80..90 °С та тиск – 3,5 МПа;
- Пряма гідратація здійснюється під впливом на парогазову сировину каталізаторів у вигляді ортофосфорної кислоти, яку поміщають на активоване вугілля чи силікагель. Також даний метод вимагає досить високого тиску – 7 МПа та температури 300 °С.

Як вже стало ясно зі сказаного вище, який би спосіб не був застосований (бродиння або гідратація), в результаті виходить спирто-водна суміш з домішками, що потребує очищення. Для цього виконують фракційний відгін, що дає на виході приблизно 95,6 % чистого спирту від загальної маси. Вона позбавляє матеріал від легколетких і важких фракцій органічних речовин (кубовий залишок).

Для отримання абсолютного спирту, в якому вода майже відсутня, водний спирт, що містить бензол, відганяють або обробляють сполуками, які вступають у реакцію з водою або поглинають її. Це можуть бути негашене вапно або прожарений мідний купорос.

### 1.3. Опис хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену

На рис.1.3. зображено досліджувану схему хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену [3].

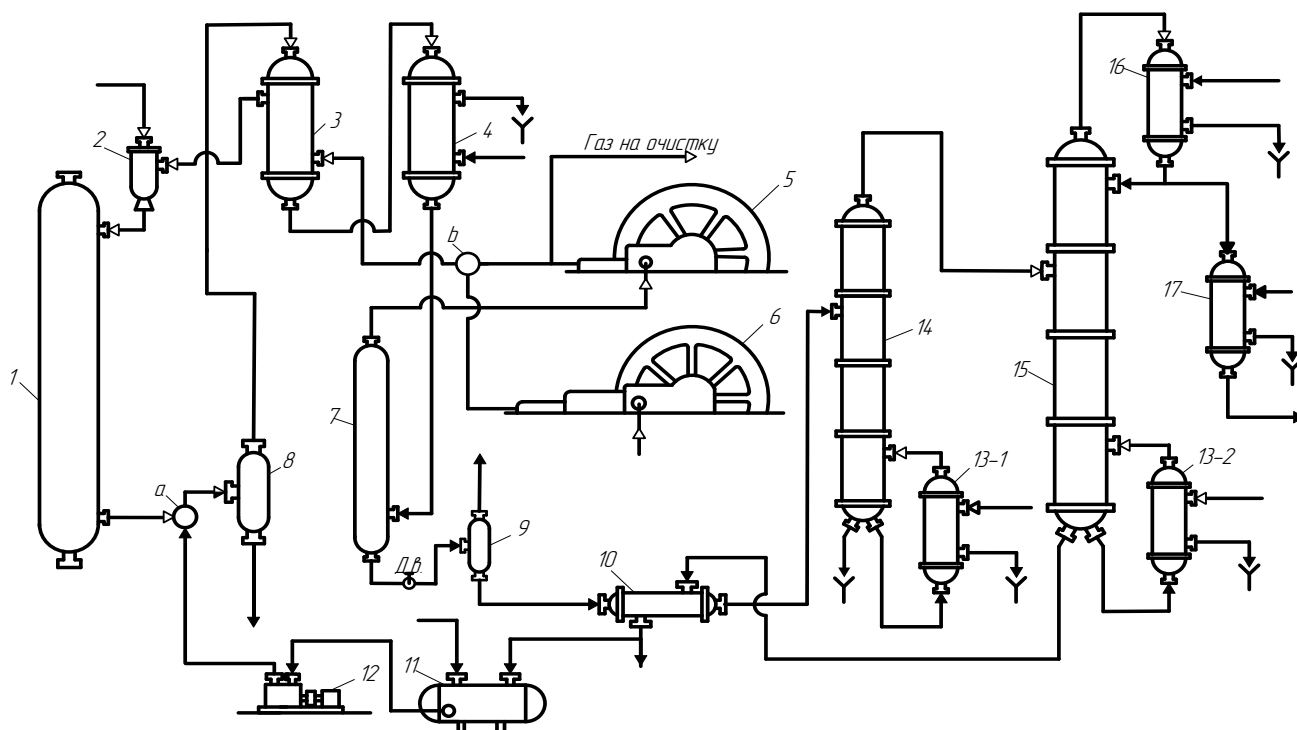


Рис. 1.3. Хіміко-технологічна система виробництва етилового спирту з етилену.  
1 – гідрататор; 2 – паровий ежектор; 3 – теплообмінник-рекуператор; 4,17 – холодильник-конденсатор; 5 – циркуляційний компресор; 6 – компресор; 7 – сепаратор високого тиску; 8 – соловіддільник; 9 – сепаратор низького тиску; 10 – теплообмінник; 11 – збіник розчину лугу; 12 – насос високого тиску; 13 – кип'ятильник; 14 – відпарна колона; 15 – ректифікаційна колона; 16 – дефлегматор; а,б – трійник; Д.в – дросельний вентиль

В контактний апарат 1 під тиском близько 80 ат подають суміш етилену і водяної пари. Оптимальне молярне співвідношення між витратою водяної пари й етилену змінюється в межах 0,6 – 0,75.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Свіжий етилен з цеху розділення вуглеводневих газів нагнітають в систему компресором 6, оборотний етилен – циркуляційним компресором 5. Обидва потоки етилену змішують в трійнику в; газова суміш підігрівається до 220°C - 230°C в теплообміннику 3 продуктами реакції, які виходять з контактного апарату 1. Далі газ змішують в ежекторі 2 з перегрітою водяною парою. Температуру процесу гідратації етилену підтримують в межах 280°C - 300°C; парогазова суміш входить в контактний апарат приблизно при тій же температурі.

Продукти синтезу виносять з контактного апарату невелику кількість фосфорної кислоти, яка в подальших стадіях процесу може діяти корозійно на апаратуру і трубопроводи. Щоб запобігти цьому, кислоту яка міститься в продуктах синтезу, нейтралізують лугом, який подається із збірника 11 насосом високого тиску 12 в трійник а, розташований на трубопроводі поблизу контактного апарата. Продукти синтезу, які пройшли солевіддільник 8, охолоджуються в теплообміннику-рекуператорі 3 і холодильнику-конденсаторі 4, де відбувається конденсація водяних парів і спирту.

Концентрацію етилену в циркулюючому газі підтримують не менше 80-85% об'єму. Щоб не відбувалося розведення оборотного етилену інертними газами, частину циркулюючого газу безперервно відбирають з нагнітального трубопроводу компресора 5 і спрямовують на очистку в цех розділення вуглеводневих газів. З нижньої частини сепаратора високого тиску 7 виходить розведений спирт, який через дросельний вентиль надходить в сепаратор низького тиску 9. Завдяки зниженню тиску з рідини в сепараторі виділяється розчинений етилен, який спрямовують у всмоктувачі лінії компресора 6 або в цех розділення вуглеводневих газів.

Водний розчин спирту надходить на концентрування. В теплообміннику 10, розчин підігрівають кубовою рідиною ректифікаційної колони 15 і спрямовують у відпарну колону 14. Кубова рідина цієї колони являє собою розчин фосфатів, які утворилися внаслідок нейтралізації фосфорної кислоти лугом. Пари з верхньої частини відпарної колони 14 надходять в ректифікаційну колону 15.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Дистилят ректифікаційної колони – концентрований етиловий спирт – є товарний продукт цього виробництва. Кубову рідину використовують в теплообміннику 10 для нагрівання розведеного спирту і розчинення лугу в збірнику 11.

#### **1.4. Аналіз існуючих систем автоматизації хіміко-технологічних систем виробництва етилового спирту з етилену**

Розглянемо детальніше два апарати, які підлягають автоматизації: ректифікаційну колону та холодильник-конденсатор.

Автоматизація ректифікаційної колони дуже важливий етап оскільки цей об'єкт на пряму впливає на якість кінцевого продукту – етилового спирту.

Автоматизація холодильника-конденсатора в свою чергу впливає на економічні показники виробництва, а також цей об'єкт являється типовим представником теплообмінних апаратів, які найчастіше зустрічаються в технологічній схемі.

##### **1.4.1. Аналіз систем автоматизації у ректифікаційної колони**

Розглянемо один із прикладів автоматизації ректифікаційної колони, що зображено на рис.1.4.

До складу даної системи автоматизації входять регулятори технологічних параметрів, що працюють за відхиленням:

- 1) регулятор тиску в колоні ректифікації зміною витрати холодоагенту, що подається в дефлегматор (поз. 1);
- 2) регулятор витрати дистиляту (поз. 2);
- 3) регулятор продуктивності кип'ятильника колони зміною тиску що гріє пара в сорочці кип'ятильника (поз. 3);
- 4) регулятор рівня кубової рідини зміною витрати її вивантаження (поз. 4);
- 5) нечіткий регулятор [7] складу дистиляту і кубової рідини зміною завдання регулятору витрати дистиляту (поз. 5).

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

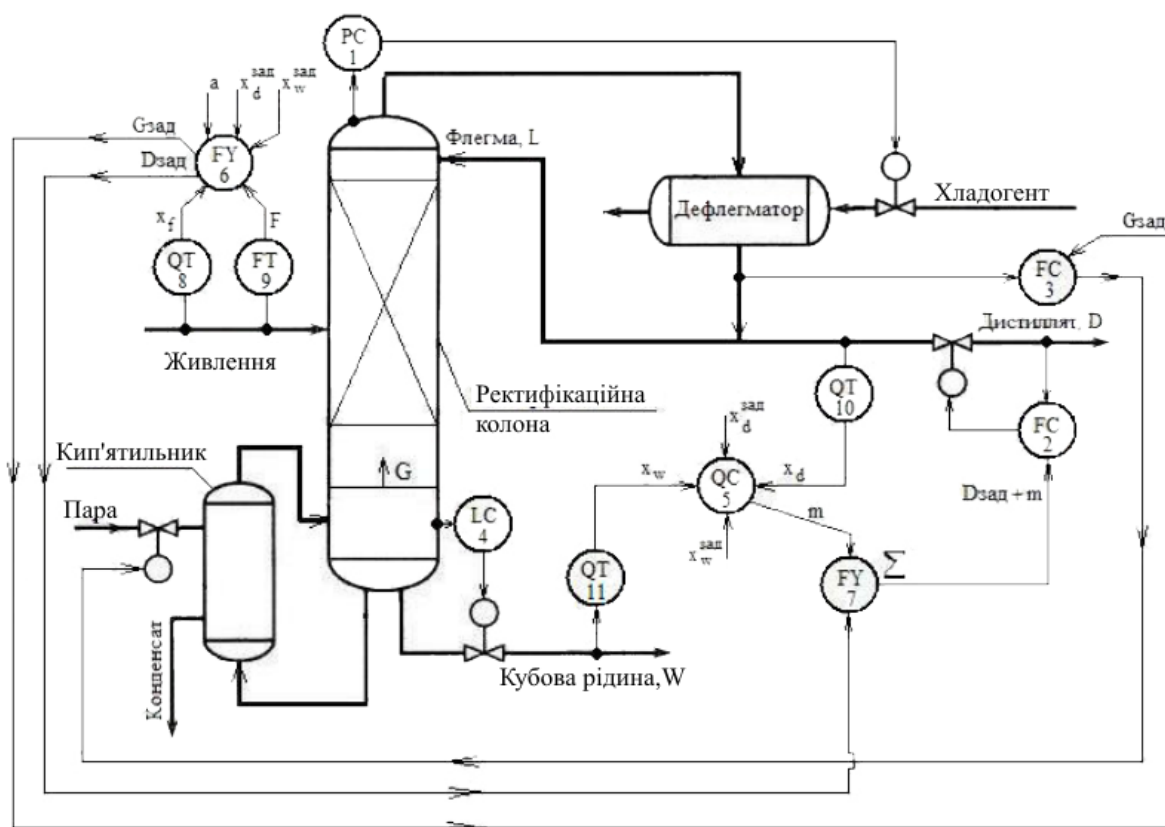


Рис. 1.4. Схема автоматизації процесу ректифікації суміші 1

Оптимальне налаштування нечіткого регулятора, що працює в складі каскадної схеми, виконана при мінімальному значенні суми інтегральних квадратичних критеріїв регулювання складу дистилляту  $X_d$  і кубової рідини  $X_w$  шляхом математичного моделювання перехідного процесу в системі управління.

До складу комбінованої системи управління процесом ректифікації крім цього входить ряд функціональних блоків:

1) компенсатор впливів, що обурюють (поз.6) зі зміни витрати і складу живить потоку, який розраховує необхідну витрату дистилляту  $D$  за рівнянням (3) і необхідну продуктивність кип'ятильника  $G$  за рівнянням (5), які видаються в як завдання регуляторам витрати дистилляту і продуктивності кип'ятильника;

2) акумулятор (поз. 7) завдання по витраті дистилляту  $D$  і його корекції  $m$ , що видається нечітким регулятором поз. 5.

На функціональній схемі автоматизації вказані наступні вимірювальні

перетворювачі:

- 1) аналізатор складу потоку харчування колони (поз. 8);
- 2) витратомір потоку харчування колони (Поз. 9);
- 3) аналізатор складу потоку дистиляту (Поз. 10);
- 4) аналізатор складу потоку кубової рідини (поз. 11).

Розглянемо варіант автоматизації запропонований Беспаловим А.В. та Харитоновим Н.І. [8], який зображено на рис.1.5.

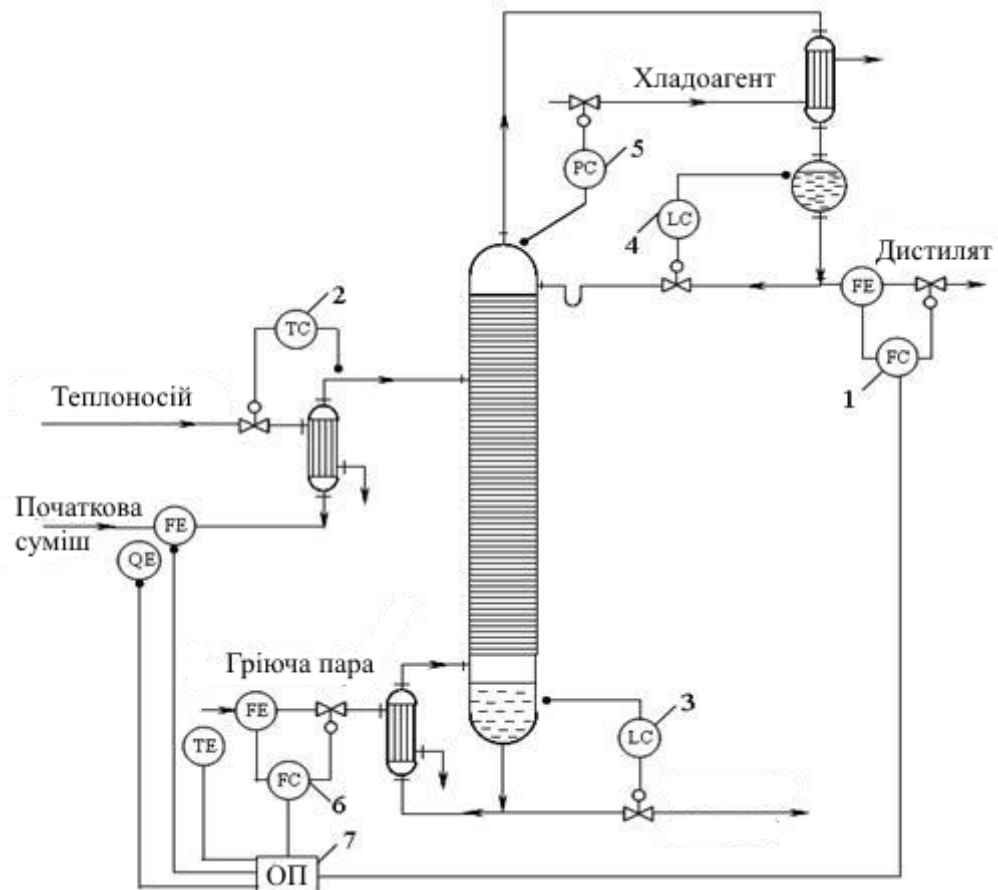


Рис. 1.5. Схема автоматизації процесу ректифікації суміші 2:

1,6 - регулятори витрати; 2 - регулятор температури; 3,4 - регулятори рівня; 5 - регулятор тиску;  
7 - обчислювальний пристрій.

Дана схема є прикладом системи автоматизації, яка може бути реалізована з застосуванням засобів обчислювальної техніки. Тут витрати дистиляту і пари, що гріє регулюються регуляторами 1 і 6, завдання яких коригує обчислювальний пристрій 7 в залежності від витрати і складу живлення і ентальпії пари, що гріє з

урахуванням динамічних характеристик колони. Ця АСР повинна забезпечити наближену інваріантність системи по відношенню до контрольованих збурень. Однак наявність неконтрольованих збурень (наприклад, переохолодження флегми) призведе до порушення режиму в колоні і відхилення складу продукту від заданого.

#### 1.4.2. Аналіз системи автоматизації у холодильнику-конденсаторі

Розглянемо схему автоматизації, яку зображено на рис.1.6.[8].

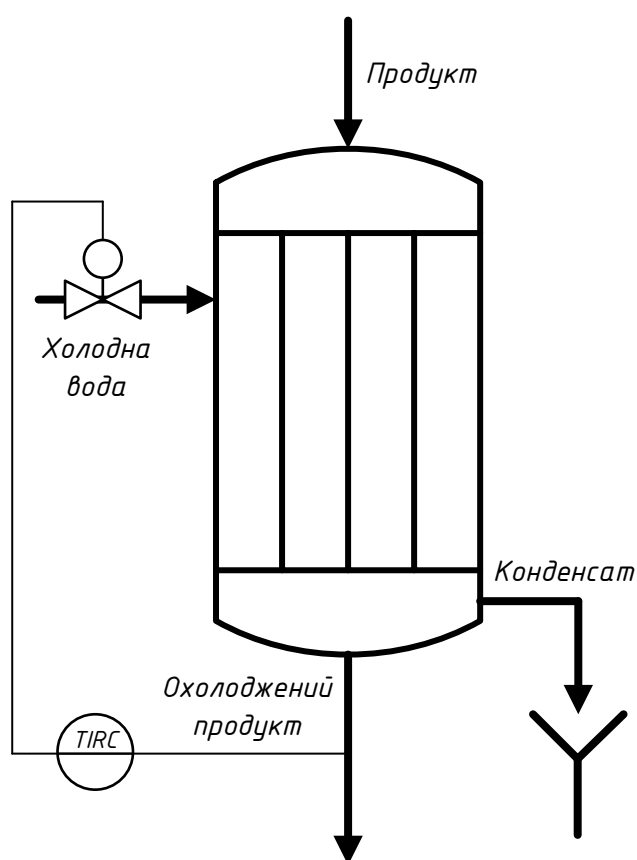


Рис. 1.6. Схема автоматизації процесу охолодження за відхиленням контрольованого параметру

В даній схемі керування регульованого параметра здійснюється за рахунок зміни витрати хладоагенту в залежності від заданого значення температури охолоджуваної речовини.

Плюсом цього способу керування є відносно прості технічні засоби її

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

реалізації, а саме термopapa, контролер та виконуючий механізм, але в той же час є недолік у вигляді обмеження керування тільки одним вхідним потоком.

В схемі, яку зображено на рис.1.7.керування регульованим параметром здійснюється змішуванням охолодженого продукту з продуктом, який тільки поступає на охолодження, за допомогою байпасу.

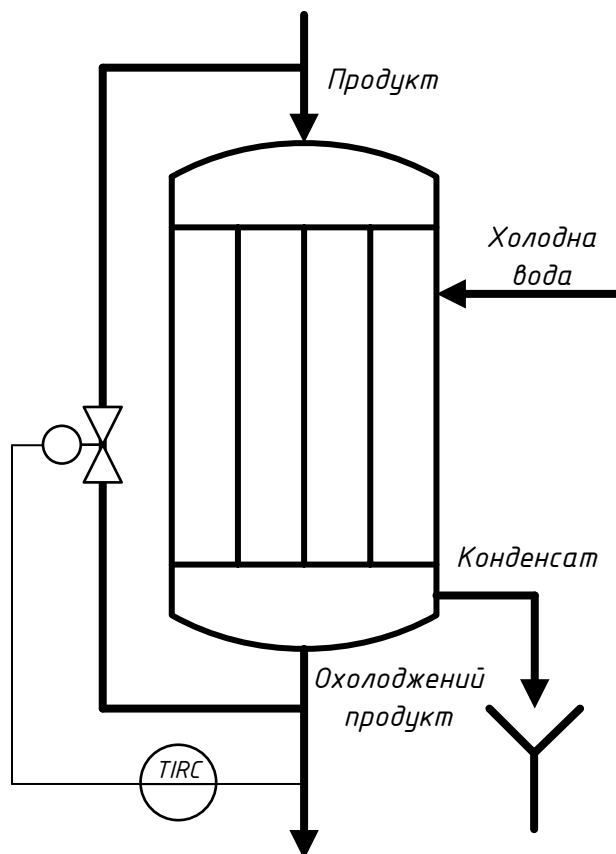


Рис. 1.7. Схема автоматизації процесу охолодження за допомогою байпасу

Даний метод не поширений оскільки керування регульованим параметром дуже обмежене певним діапазоном та його застосування потребує специфічних технологічних умов.

Одним з найуніверсальніших методів керування холодильником-конденсатором являється керування співвідношенням витрат при відхиленні температури регульованого параметру від завдання. На рис.1.8 зображено приклад даної схеми [8].

Цей метод має широкий діапазон керування і може регулювати температуру з високою точністю, але в той же час це впливає і на продуктивність апарату, що в свою чергу може впливати на продуктивність всього виробництва.

На базі проведеного аналізу буде обрано систему автоматизації для досліджуваного виробництва.

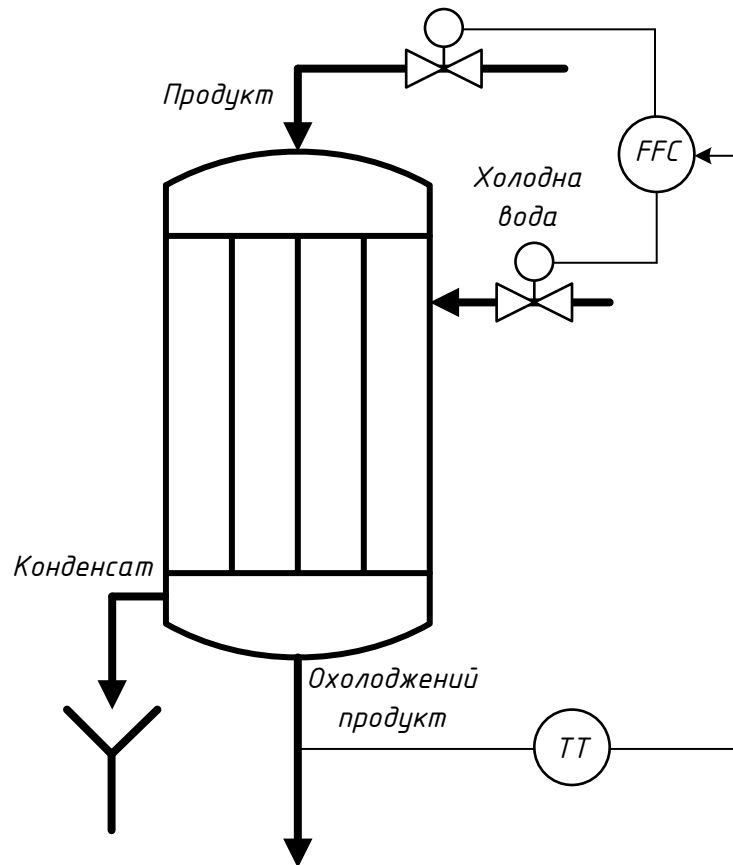


Рис. 1.8. Схема автоматизації процесу охолодження співвідношенням витрат

### 1.5. Властивості холодильника-конденсатора як об'єкта керування

Теплообмінні апарати є невід'ємною частиною майже будь-якого хімічного виробництва оскільки відіграють важливу роль в підготовці речовин до наступних хімічних чи фізичних перетворень, а також стабілізації проміжного чи готового продукту.

Холодильник-конденсатор є підвидом теплообмінних апаратів призначений для перетворення газоподібних речовин в конденсат за рахунок відбору теплоти холодоагентом. Зазвичай цей об'єкт має 2 вхідні потоки та 2 вихідні потоки.

Цей апарат найчастіше має кожухотрубну будову, що являє собою циліндр великого діаметру в який вмонтовано трубки маленького діаметру, які виконано з нержавійки, міді чи матеріалу який стійкий до середовищ, що надходять в апарат, з певною дистанцією одна від одної. Речовина яка підлягає охолодженню надходить до трубного простору і через стінку трубки взаємодіє з середовищем в апараті, яке заповнюється холодоагентом.

Холодильник-конденсатор є інерційним об'єктом, адже має відносно великі розміри, так як пропускає через себе велику кількість речовин, які повинні пройти простір апарату зверху донизу. Відповідно, для того, щоб змінити якийсь із параметрів знадобиться певний час.

Як технологічний об'єкт холодильник-конденсатор відноситься до групи апаратів неперервної дії, а стійкість такого об'єкта до будь-яких збурень являється одною з основних задач керування ним.

Цей об'єкт також відноситься до малотоннажних так, як через нього проходять відносно не великі обсяги речовин.

По степеню важливості холодильник-конденсатор відноситься до основних адже відіграє ключову в підготовці продукту до сепарації, а від цього він впливає і на якість продукту в подальшому.

За характером параметрів управління цей апарат відноситься до об'єктів з розподіленими параметрами так, як агрегатний стан та температура речовин в різних точках відрізняється.

На рис. 1.9 наведений холодильник-конденсатор.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

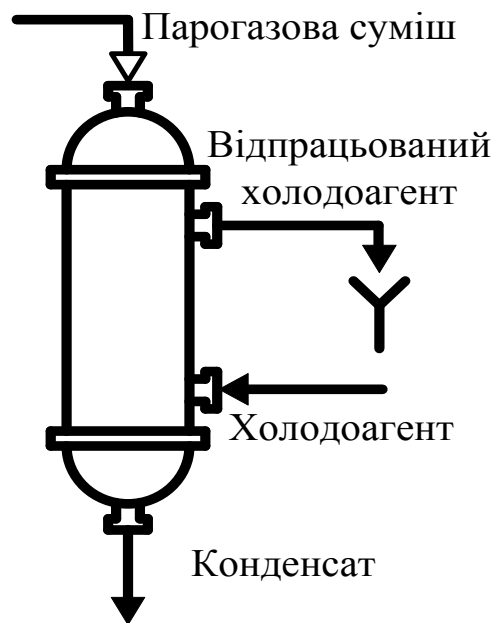


Рис. 1.9. Холодильник-конденсатор

## 1.6. Постановка задач автоматизації

Метою данного дипломного проекту є оптимізація економічних показників виробництва та підвищення якісних показників продукції за рахунок: створення схеми автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену; створення системи автоматичного керування холодильником-конденсатором; створення макету SCADA-системи елементів виробництва.

Розроблена система автоматизації має забезпечити:

- підтримування параметрів речовин на заданому рівні;
- сигналізацію відхилення параметрі від заданого діапазону;
- аварійний захист виробництва;
- мінімізація впливу людини на перебіг процесів виробництва;
- отримання високої якості продукції.

Система автоматичного керування холодильником-конденсатором має забезпечити:

- оптимальне керування ТОК;
- зменшення енергетичних затрат на виконання функцій апарату.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ З ЕТИЛЕНУ

### 2.1. Аналіз основних параметрів контролю і керування

У результаті аналізу хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену, яку зображено на рис. 1.3., було поставлено за мету забезпечити контроль та керування наступних параметрів у середовищах об'єктів керування, а також їх вхідних та вихідних матеріальних потоків:

- гідрататор (1) – забезпечити контроль та сигналізацію тиску в ОК в межах 6,5 – 8 МПа;
- паровий ежектор (2) – забезпечити керування температури парогазової суміші на виході в межах 280 – 300 °С ;
- теплообмінник-рекуператор (3) – підтримувати температуру етилену на виході з ОК в межах 220 – 230 °С;
- холодильник-конденсатор (4) – підтримувати температуру суміші етанолу, етилену та води на виході з ОК в межах 50 – 80 °С, забезпечити її сигналізацію;
- циркуляційний компресор (5) – забезпечити контроль та сигналізацію тиску рекупераційного етилену в ОК в межах 6,5 – 8 МПа;
- компресор (6) – забезпечити контроль та сигналізацію тиску етилену в ОК в межах 6,5 – 8 МПа;
- сепаратор високого тиску (7) – контролювати концентрацію етилену у газовому потоку на виході з ОК;
- соловіддільник (8) – контролювати кислотність солі фосфатів на виході з ОК;
- сепаратор низького тиску (9) – контролювати тиск суміші в ОК;
- теплообмінник (10) – керувати температурою розведеного спирту на виході з ОК в межах 70 – 80 °С;
- збірник розчину лугу (11) – керувати рівнем лугу в ОК;
- насос високого тиску (12) – забезпечити контроль та сигналізацію тиску лугу на виході ОК в межах 6,5 – 8 МПа;
- кип'ятильник (13-1) – керувати температурою кубової рідини на виході з ОК в межах 100 – 125 °С;

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- кип'ятильник (13-2) – керувати температурою кубової рідини на виході з ОК в межах 120 – 130 °С;
- відпарна колона (14) – керувати рівнем кубової рідини в ОК та контролювати концентрацію фосфатів в парах етанолу на виході з ОК;
- ректифікаційна колона (15) – керувати рівнем кубової рідини в ОК та контролювати витрату етанолу на виході з ОК; керувати витратою флегми на вході в ОК в залежності від концентрації етанолу на виході з дефлегматора;
- дефлегматор (16) – керувати температурою етанолу в межах 40 – 50 °С та контролювати його концентрацію на виході з ОК;
- холодильник-конденсатор (17) – підтримувати температуру продукту на виході в межах 20 – 25 °С.

## 2.2. Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизація хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації.

В контурі 1 забезпечується контроль тиску в контактному апараті 1 та включає: вимірювач тиску – вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (1А); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (1Б) з індикацією HL1 та HL2.

В контурі 2 відбувається керування температури суміші водяної пари та етилену на трубопроводі, який виходить з парового ежектора 2 , та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (2А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (2Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатфункціональний високопродуктивний (2В) з індикацією HL1 та HL2; регулюючий електронний клапан (2Г).

В контурі 4 відбувається керування температури свіжого та оборотного етилену на трубопроводі, який виходить з теплообмінника-рекуператора 3, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

(3А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (3Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (2В); регулюючий електронний клапан (3В).

В контурі 6 відбувається керування температури води та етанолу, який виходить з холодильника-конденсатора 4, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (4А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (4Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (2В) з індикацією HL3 та HL4; регулюючий електронний клапан (4В).

В контурі 8 забезпечується контроль тиску етилену в трубопроводі, який виходить з циркуляційного компресора 5, та включає: вимірювач тиску – вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (5А); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (5Б) з індикацією HL5 та HL6.

В контурі 9 забезпечується контроль тиску етилену в трубопроводі, який виходить з компресора 6, та включає: вимірювач тиску – вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (6А); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (6Б) з індикацією HL7 та HL8.

В контурі 10 відбувається контроль концентрації етилену в трубопроводі на виході з сепаратора високого тиску 7, та включає: газоаналізатор ДГС ЕРИС (7А); автоматичний 24 показувальний і реєструвальний (7Б).

В контурі 10 відбувається контроль концентрації етилену в трубопроводі на виході з сепаратора високого тиску 7, та включає: газоаналізатор ДГС ЕРИС (7А); автоматичний 24 показувальний і реєструвальний (7Б).

В контурі 11 відбувається контроль концентрації хлорної кислоти в трубопроводі на виході з соловіддільник 8, та включає: первинний перетворювач кондук-

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

тометричного аналізатора рідини АЖК-1 (8А); вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини кондуктометричного (8Б).

В контурі 12 забезпечується контроль тиску в сепараторі низького тиску 9, та включає: вимірювач тиску – вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (9А); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (9Б).

В контурі 13 відбувається керування температури водного розчину спирту в трубопроводі, який виходить з теплообмінник 10, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (10А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (10Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (10В); регулюючий електронний клапан (10Г).

В контурі 15 відбувається керування рівня лугу в збірнику 11 та включає: рівнемір буйковий (11Б); автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (11В); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (10В); регулюючий електронний клапан (11В).

В контурі 17 забезпечується контроль тиску лугу в трубопроводі, який виходить з насосу високого тиску 12, та включає: вимірювач тиску – вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску (12А); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (12Б) з індикацією HL9 та HL10.

В контурі 18 відбувається керування температури кубової рідини в трубопроводі, який виходить з кип'ятильника 13-1, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (13А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (13Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (10В); регулюючий електронний клапан (13В).

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

В контурі 20 відбувається керування температури кубової рідини в трубопроводі, який виходить з кип'ятильника 13-2, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (14А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (14Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (14В); регулюючий електронний клапан (14Г).

В контурі 22 відбувається керування рівня кубової рідини в відпарній колоні 14 та включає: байпасний індикатор рівня (15Б); автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (15В); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (14В); регулюючий електронний клапан (15В).

В контурі 24 відбувається контроль витрати водяної пари та етанолу в трубопроводі на виході з відпарної колони 14 та включає: вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків (16А) автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (16Б);

В контурі 25 відбувається керування рівня кубової рідини в відпарній колоні 14 та включає: байпасний індикатор рівня (17А); автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (17Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (14В); регулюючий електронний клапан (17В).

В контурі 27 відбувається контроль витрати етанолу в трубопроводі на виході з ректифікаційної колони 15 та включає: вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків (18А); автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (18Б);

В контурі 28 відбувається контроль витрати води в трубопроводі на вході в дефлегматор 16 та включає: діафрагма камерна (16А); тензоперетворювач різниці тиску (16Б); автоматичний показувальний і реєструвальний прилад (16В);

В контурі 29 відбувається керування температури флегми в трубопроводі, який виходить з дефлегматора 16, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (20А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм,

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

що має функцію сигналізації (20Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (20В); регулюючий електронний клапан (20Г).

В контурі 31 відбувається керування концентрації етанолу в трубопроводі на виході з дефлегматора 16, та включає: аналізатор складу (етиловий спирт, вода) (21А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (21Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (20В); регулюючий електронний клапан (21В), (21Г).

В контурі 34 відбувається керування температури етилового спирту в трубопроводі, який виходить з холодильника-конденсатора 17, та включає: термоперетворювач опору типу ТХАУ з уніфікованим вихідним сигналом (22А); автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з вмонтованим пристроєм, що має функцію сигналізації (22Б); контролер мікропроцесорний регулятор багатофункціональний високопродуктивний (20В); регулюючий електронний клапан (22В).

В контурі 36 здійснює дистанційне керування роботою електроприводів, що включає: пускач магнітний безконтактний нереверсивний (МП1), кнопку запобіжного вимикання (SA1), пост управління кнопковий (SB1, SB2), лампи сигнальні світлодіодні із червоним та зеленим індикаторами (HL11, HL12).

В контурі 37 здійснює дистанційне керування роботою електроприводів, що включає: пускач магнітний безконтактний нереверсивний (МП2), кнопку запобіжного вимикання (SA2), пост управління кнопковий (SB3, SB4), лампи сигнальні світлодіодні із червоним та зеленим індикаторами (HL13, HL14).

В контурі 38 здійснює дистанційне керування роботою електроприводів, що включає: пускач магнітний безконтактний нереверсивний (МП3), кнопку запобіжного вимикання (SA3), пост управління кнопковий (SB5, SB6), лампи сигнальні світлодіодні із червоним та зеленим індикаторами (HL15, HL16).

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### 2.3. Розробка схеми технологічної сигналізації та аварійного захисту двигунів

Розглянемо постановку задачі по сигналізації і аварійному захисту електродвигунів в схемі хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену. На рис.2.1. зображена принципова електрична схема дистанційного керування й аварійного захисту двигунів.

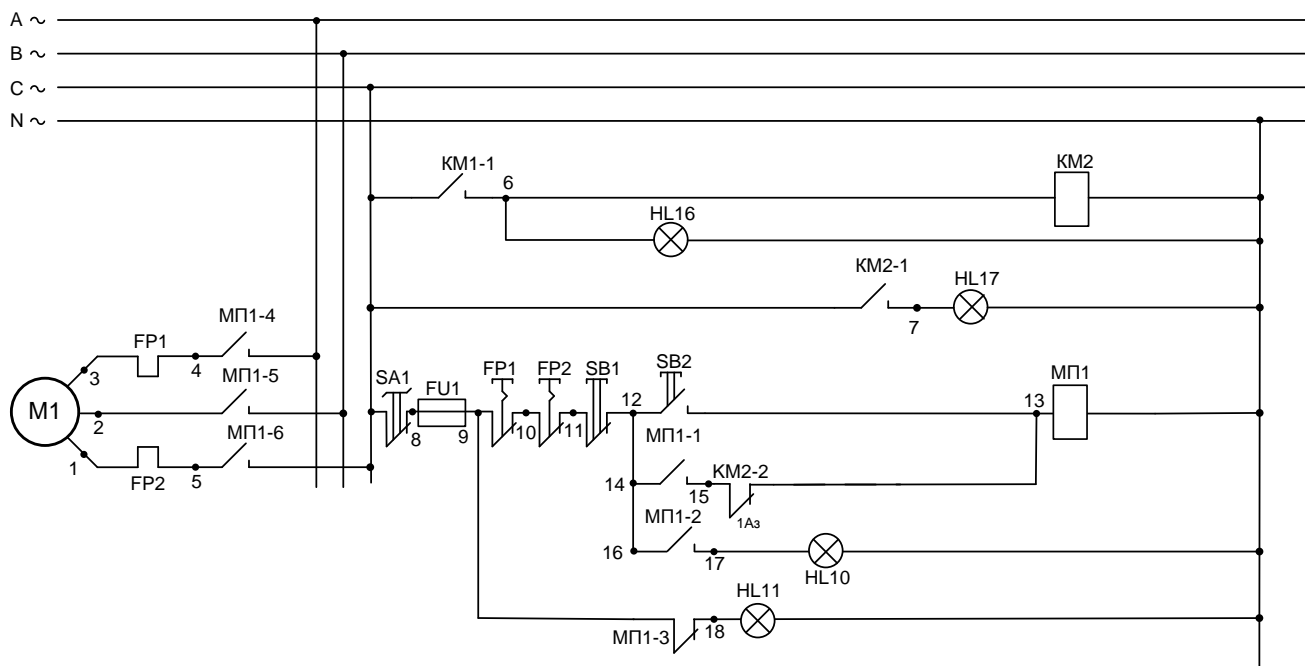


Рис. 2.1. Принципова електрична схема дистанційного керування й аварійного захисту двигунів

При натисканні кнопки включення електродвигуна повинен спрацювати магнітний пускач і замкнутися нормально розімкнутий контакт, який замикає ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації включення магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той же час, розмикається нормально розімкнутий контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контролюваного параметра. Замкнеться контакт в приладі КМ1-1 і

утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ2. Реле КМ2 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт нормально замкнений розмикається і гасне зелена лампочка, а контакт нормально розімкнутий замикається і загорається червона лампочка. Реле спрацьовує і контакти перемикаються назад.

На принциповій електричній схемі креслення *ЛА52.13.ДП.00.002.СхЕ* показана схема технологічної сигналізації .

На цій схемі показано, що для вмикання і вимикання живлення електродвигунів використовуються магнітні пускачі – МП1, МП2, МП3.

Для захисту живлення електродвигунів від перевантаження та короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі – FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6.

Для вимикання живлення встановлюються кнопки вимикання живлення електродвигунів – SB1, SB3, SB5.

Для вмикання живлення встановлюються кнопки вмикання живлення електродвигунів – SB2, SB4, SB6.

Для сигналізації увімкнутих електродвигунів встановлюються лампочки зеленого кольору – HL11, HL13, HL15.

Для сигналізації вимкнутих електродвигунів встановлюються лампочки червоного кольору – HL12, HL14, HL16.

## 2.4. Розробка монтажно-комутаційної схеми

На рис.2.2. зображено схема комутації електродвигуна. Для дистанційного запуску електродвигуна насоса 12 використовується магнітний пускач МП8, який керується з щита керування кнопками SB1 - для увімкнення та SB2 - для вимкнення. Сигнальні лампи HL11, HL12, - є індикаторами увімкнення або вимкнення двигуна. SA1 - кнопка запобіжного відключення, яка знаходиться на двигуні.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

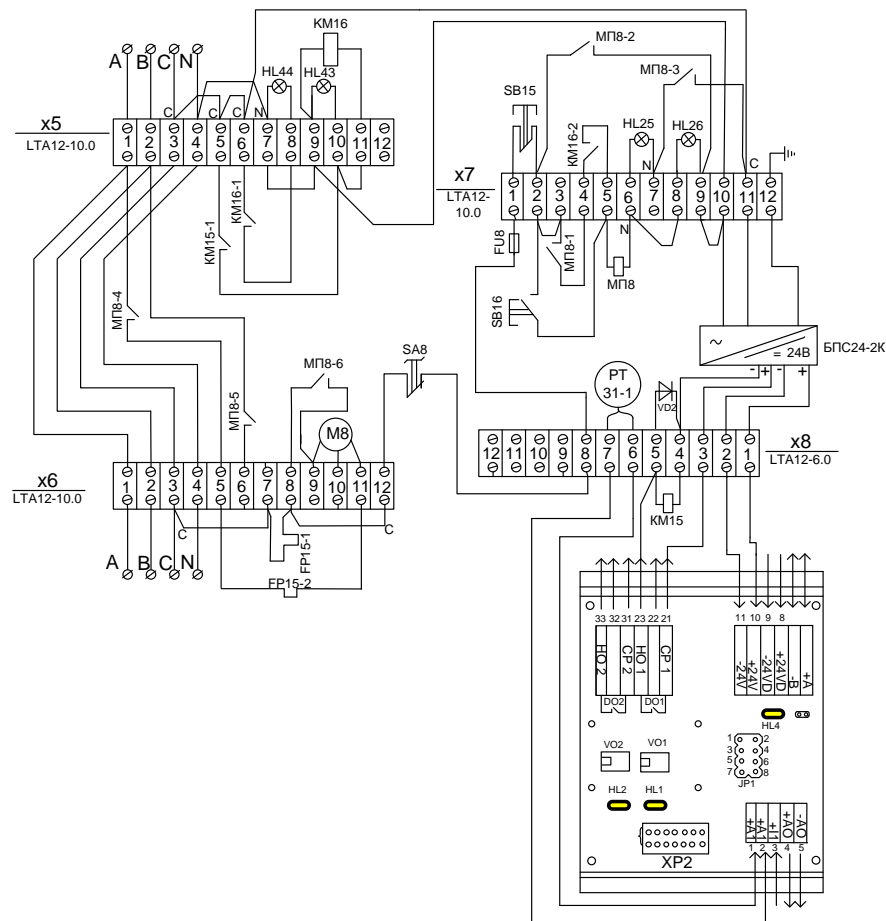


Рис. 2.2. Схема комутації електродвигуна

Дистанційному керуванню підлягають:

- електропривод насоса M1 (SB1, SB2, SA1 на щиті);
- електропривод компресора M2 (SB3, SB4, SA2 на щиті);
- електропривод циркуляційного компресора M3 (SB5, SB6, SA3 на щиті).

## 2.5. Розрахунок витратоміра змінного перепаду

Для забезпечення роботи 28 контуру стоїть задача підбору діаметру звужувального пристрою для реалізації виміру витрати води.

Стандартні (нормалізовані) пристрої звуження включають діафрагми, форсунки ISA1932, сопла Вентурі і труби Вентурі, які відповідають вимогам застосовних правил і використовуються для вимірювання потоку речовини без індивідуального калібрування. Діфікометри та прилади для вимірювання пара-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ

Арк.

30

метрів навколишнього середовища, які серійно випускаються у промисловому або експериментальному виробництві, відповідають вимогам діючих державних стандартів і підлягають державній сертифікації метрології.

Правила визначають вимоги до виконання вимірювальних приладів під час їх розробки, проектування, монтажу, експлуатації та перевірки.

Наступні положення застосовуються, якщо виконуються наступні умови вимірювання:

а) рух вимірюваного потоку на прямих ділянках трубопроводу має мати турбулентний характер до і після звужувального пристрою;

б) потік при проходженні через звужувальний пристрій не має змінювати свій фазовий стан;

в) на прямих ділянках трубопроводів у їх внутрішній порожнині до і після звужувального пристрою не збираються опади у вигляді пилу, піску, металевих предметів, інших забруднень;

г) на поверхнях звужувального пристрою не утворюються відкладення, що змінюють його конструктивні параметри і геометрію;

д) пара є перегрітою; при цьому для пари справедливі всі положення, що стосуються вимірювань витрати газу.

Допускається вимірювати витрату вологої пари діафрагмами при співвідношенні густин парової ( $\rho_{\text{п}}$ ) та рідкої ( $\rho_{\text{ж}}$ ) фаз  $\rho_{\text{п}} / \rho_{\text{ж}} \leq 0,002$  при масовій частці рідкого компонента в парорідинній суміші не більше 0,2 (у частках одиниці).

Показання дифманометра в цьому випадку відповідає витраті сухої частини вологої пари, у зв'язку з чим діафрагми варто розраховувати за витратою та густиною парової фази.

Припустимі діапазони значень діаметрів трубопроводів  $D$  і відносних площ звужувальних пристроїв  $m$  повинні перебувати в межах:

для діафрагм із кутовим способом відбору перепаду тиску

$$50 \text{ мм} < D < 1000 \text{ мм},$$

$$0,05 < m < 0,64;$$

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Примітка. Для трубопроводів діаметром  $D > 1000$  мм рекомендується приймати значення  $\alpha_v$  і розрахункові співвідношення, що відповідають діаметру  $D = 1000$  мм.

для діафрагм із фланцевим способом відбору перепаду тиску

$$50 \text{ мм} < D < 760 \text{ мм},$$

$$0,04 < m < 0,56;$$

діаметр отвору діафрагм незалежно від способу відбору перепаду тиску

$$d \geq 12,5 \text{ мм};$$

для сопел у випадку виміру витрати газу

$$50 \text{ мм} \leq D,$$

$$0,05 \leq m \leq 0,64;$$

для сопел у випадку виміру витрати рідини

$$30 \text{ мм} \leq d,$$

$$0,05 \leq m \leq 0,64$$

для сопел Вентурі

$$65 \text{ мм} \leq D \leq 500 \text{ мм},$$

$$0,05 \leq m \leq 0,60;$$

діаметр отвору сопел і сопел Вентурі  $d \geq 15$  мм;

діаметр для труб Вентурі

$$50 \text{ мм} \leq D \leq 500 \text{ мм},$$

$$0,10 \leq m \leq 0,60.$$

У випадку вимірювання витрати газу відношення абсолютних тисків на виході і вході звужувального пристрою повинні бути більшими або дорівнювати 0,75.

При вимірювання витрати газів і рідин допускається застосовувати як кутовий, так і фланцевий способи відбору перепаду тиску на діафрагмах і кутовий спосіб відбору на соплах, соплах Вентурі і трубах Вентурі.

Для вимірювання витрати пари було вибрано витратомір – діафрагма камерна типу ДКС.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вихідні дані до розрахунку витратоміра змінного перепаду тиску:

1. Вимірюване середовище – вода.
2. Температура вимірюваного середовища – 20 °С;
3. Тиск вимірюваного середовища – 0,3 МПа = 3,06 кгс/см<sup>2</sup>.
4. Барометричний тиск  $P_6 = 736$  мм.рт.ст.
4. Максимальна витрата ( $Q_{\max}$ ) –  $7,5 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с = 27 м<sup>3</sup>/год.
5. Середня витрата ( $Q_{\text{ср}}$ ) –  $6,7 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с = 24,12 м<sup>3</sup>/год.
6. Допустима втрата тиску на звужувальному пристрої ( $P'_{\text{вд}}$ ) – 0,0315 МПа = 0,321 кгс/см<sup>2</sup>.
7. Тип звужувального пристрою – діафрагма камерна ДКС.
8. Матеріал звужувального пристрою – Сталь Х17.
9. Внутрішній діаметр трубопроводу ( $D_{20}$ ) – 0,07 м.
10. Матеріал трубопроводу – Сталь 20.
11. Тип дифманометра – ДМ-П1.
12. Наявність місцевого опору – немає.
13. Абсолютна шорсткість трубопроводу  $k = 0,04$  мм.

Розрахунок:

1. Визначення даних, яких не вистачає для розрахунку:
  - 1.1. Барометричний тиск  $P_6 = 736 \cdot 13,595 \cdot 10^{-4} = 1$  кгс/см<sup>2</sup>.
  - 1.2. Абсолютний тиск води перед звужувальним пристроєм.

$$P = P_n + P_6 = 3,06 + 1 = 4,06 \text{ кг/см}^2$$

- 1.3. При температурі 20 °С поправковий множник –  $k'_t = 1$ .
- 1.4.  $D = D_{20} \cdot k'_t = 70 \cdot 1 = 70$  мм
- 1.5. За додатком 3 знаходимо густину води:

$$\text{при } t=20 \text{ °С і } P = 1 \text{ кгс/см}^2: \rho = 998,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{при } t=20 \text{ °С і } P = 20 \text{ кгс/см}^2: \rho = 999 \text{ кг/м}^3;$$

тоді шляхом інтерполяції знайдемо густину при  $t=20$  °С і  $P = 4,06$  кгс/см<sup>2</sup>

$$\rho = 998,2 + \frac{999 - 998,2}{20 - 1} \cdot (4,06 - 1) = 998,071 \text{ кг/см}^2$$

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

1.6. За додатком 10 знаходимо динамічну в'язкість води в робочих умовах за температури  $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$  :  $\mu=104\cdot 10^{-6}\text{ кгс/см}^2$ .

2. Вибір звужувального пристрою та дифманометру

2.1. Вибираємо діафрагму камерну ДКС.

2.2. Матеріал звужувального пристрою – сталь Х17.

2.3. Тип дифманометра – ДМ-П1.

2.4. Верхня межа вимірювання дифманометра-витратоміра:  $Q_{\text{ОВМ}} = 32\text{ м}^3/\text{год}$ .

3. Визначення номінального перепаду тиску дифманометра та приблизного значення відносної площі звужувального пристрою

3.1 Припустима втрата тиску  $P_{\text{ВД}}$  при витраті, рівній  $Q_{\text{ВМ}}$ , визначається за формулою:

$$P_{\text{ВД}} = P'_{\text{ВД}} \left( \frac{Q_{\text{ВМ}}}{Q_{\text{max}}} \right)^2 = 0,321 \cdot \left( \frac{32}{27} \right)^2 = 0,451\text{ кгс/см}^2;$$

3.2 Допоміжна величина  $C$ :

Визначаємо допоміжну величину:

$$C = \frac{Q_{\text{ОВМ}} \cdot \sqrt{\rho}}{0,01252 \cdot D^2} = \frac{32 \cdot \sqrt{998,071}}{0,01252 \cdot 70^2} = 16,479.$$

За номограмою (додаток 20) для  $C = 16,479$  і  $P_{\text{ВД}} = 0,451\text{ кгс/см}^2$  знаходимо граничний номінальний перепад тиску:  $\Delta P_{\text{н}} = 6300\text{ кгс/м}^2$ , приймаємо приблизне значення модуля  $m_1 = 0,3$ .

4. Визначення мінімального числа  $Re$ :

4.1. Визначаємо  $Re$  для мінімальної витрати:

$$Q_{0\text{min}} = 2 \cdot Q_{\text{сер}} - Q_{\text{max}} = 2 \cdot 24,12 - 27 = 21,24\text{ м}^3/\text{год}.$$

$$Re = 0,0361 \cdot \frac{Q_{0\text{min}} \cdot \rho}{D \cdot \mu} = 0,0361 \cdot \frac{21,24 \cdot 998,071}{70 \cdot 104 \cdot 10^{-6}} = 105121,55.$$

4.2. Мінімальне допустиме число Рейнольдса для діафрагм із кутовим способом відбору:  $Re_{\text{min}} = 10^4$ , при  $m_1 = 0,3$ .

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4.3. Оскільки  $Re > Re_{min}$ , то вимірювання при прийнятих вихідних даних можливе, а тому розрахунок продовжуємо.

#### 5. Визначення параметрів звужувального пристрою

$$5.1. \quad P = \Delta P_H = 6300 \text{ кгс/м}^2$$

$$5.2. \quad Re_{BM} = 0,0361 \cdot \frac{Q_{max} \cdot \rho}{D \cdot \mu} = 0,0361 \cdot \frac{27 \cdot 998,071}{70 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6}} = 133629,094$$

5.3. Допоміжна величина:

$$\frac{C}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{16,479}{\sqrt{6300}} = 0,202$$

5.4. Відносна шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу:

$$\frac{k}{D} \cdot 10^4 = \frac{0,04}{70} \cdot 10^4 = 5,714$$

5.5 Верхня межа відносної шорсткості для  $m > 0,13$ :

$$3,9 + 10^3 \cdot e^{(-14,2 \cdot \sqrt{m_1})} = 3,9 + 10^3 \cdot e^{(-14,2 \cdot \sqrt{0,3})} = 4,125.$$

Оскільки  $\frac{k}{D} \cdot 10^4 > 4,125$  вводять поправку на шорсткість. Якщо відносна шорсткість перевищує наведені значення, значення  $k_{ш}$  визначають за формулою

$$k_{ш} = a_{ш}m + b_{ш},$$

$$\text{де } a_{ш} = (\eta - 0,3)[-1,066\eta^2 + 0,36\eta - 0,13] \quad \text{при } \eta \leq 0,3,$$

$$b_{ш} = 1 + (\eta - 0,3) \cdot (-0,08\eta^2 + 0,024\eta - 0,0046) \quad \text{при } \eta \leq 0,3,$$

$$\eta = D/10^3 = 0,07$$

$$a_{ш} = 0,025$$

$$b_{ш} = 1$$

$$k_{ш} = a_{ш}m + b_{ш} = 0,025 \cdot 0,3 + 1 = 1,007$$

5.6 Діаметр отвору менший 125 мм, тому поправковий коефіцієнт  $k_{п}$  визначають за формулою:

$$k_{п} = a_{п} + b_{п}e^{[-n(m_1 - 0,05)]},$$

$$\text{де } a_{п} = 1 + 0,011 \cdot e^{[-55,2(0,07 - 0,05)^{1,3}]} = 1,008$$

$$b_{п} = 0,002 + 0,2558 \cdot 0,07 - 1,68 \cdot 0,07^2 + 2,867 \cdot 0,07^3 = 0,013$$

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$n = 4,25 + 142,94 \cdot (0,07 - 0,05)^{1,92} = 4,328$$

$$k_{\Pi} = 1,008 + 0,013 \cdot e^{[-4,328 \cdot (0,3 - 0,05)]} = 1,012$$

5.7 Коефіцієнт витрати  $\alpha_1$  визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{\sqrt{1 - m_1^2}} \cdot \left[ 0,5959 + 0,0312 \cdot m_1^{1,05} - 0,1840 \cdot m_1^4 \right. \\ &\quad \left. + 0,0029 \cdot m_1^{1,25} \left( \frac{10^6}{Re_{BM}} \right)^{0,75} \right] k_{ш} k_{\Pi} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - 0,3^2}} \cdot \left[ 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,3^{1,05} - 0,1840 \cdot 0,3^4 \right. \\ &\quad \left. + 0,0029 \cdot 0,3^{1,25} \cdot \left( \frac{10^6}{133629,094} \right)^{0,75} \right] \cdot 1,007 \cdot 1,012 = 0,647 \end{aligned}$$

5.8 Коефіцієнт розширення  $\varepsilon = 1$ .

5.9 Допоміжна величина:  $F_1 = m_1 \cdot \alpha_1 \cdot \varepsilon = 0,3 \cdot 0,647 = 0,194$

5.10 Відносне відхилення:

$$\delta_{F_1} = \left( \frac{F_1}{c/\sqrt{\Delta p}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \frac{0,194}{0,202} - 1 \right) \cdot 100\% = 3,91 \%$$

Оскільки  $|\delta_{F_1}| > 0,2 \%$ , процес пошуку значення  $m$  продовжуємо.

Оскільки  $F_1 < \frac{C}{\sqrt{\Delta p}}$ , то  $m_2 = \lambda m_1 = 1,05 \cdot 0,3 = 0,315$

5.11 Коефіцієнт витрати:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - m_1^2}} \cdot \left[ 0,5959 + 0,0312 \cdot m_1^{1,05} - 0,1840 \cdot m_1^4 + 0,0029 \cdot m_1^{1,25} \left( \frac{10^6}{Re_{BM}} \right)^{0,75} \right] k_{ш} k_{п} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - 0,315^2}} \cdot \left[ 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,315^{1,05} - 0,1840 \cdot 0,315^4 + 0,0029 \cdot 0,315^{1,25} \cdot \left( \frac{10^6}{133629,094} \right)^{0,75} \right] \cdot 1,007 \cdot 1,012 = 0,641$$

5.12 Допоміжна величина:

$$F_2 = m_2 \cdot \alpha_2 \cdot \varepsilon_2 = 0,315 \cdot 0,641 \cdot 1 = 0,2019.$$

5.13 Відносне відхилення:

$$\delta_{F_2} = \left( \frac{F_2}{c/\sqrt{\Delta p}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \frac{0,2019}{0,202} - 1 \right) \cdot 100\% = -0,04\%.$$

Оскільки  $|\delta_{F_2}| < 0,2$ , за остаточні значення приймаємо:  $m=0,315$ ,  $\alpha=0,641$ ,  $\varepsilon=1$ .

6. Перевіримо обмеження на число Re

Для  $m=0,315$ ,  $Re_{min}=1000$ . Для мініальної витрати число Re визначене у п.5 і дорівнює  $Re=105121,55$ . Оскільки умова  $Re > Re_{min}$  виконується, то можна продовжити розрахунок.

7. Перевірка довжини прямих ділянок:

З мал.2 (додаток 1) для  $m=0,315$  визначаємо:

$$\frac{L_2}{D} = 7,1, \text{ звідки } L_2 = 7,1 \cdot D = 7,1 \cdot 70 = 497 \text{ мм.}$$

Оскільки необхідна довжина прямої ділянки (до коліна) менша заданої (2000 мм), то продовжуємо.

8. Визначення діаметру отвору звужувального пристрою:

8.1. Із виразу (2.14) знаходимо  $k_t = \sqrt{k_t^2} = \sqrt{1} = 1$

8.2. Діаметр звужувального пристрою

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$d_{20} = \frac{D}{k_t} \cdot \sqrt{m} = \frac{70}{1} \cdot \sqrt{0,315} = 39,287 \text{ мм.}$$

9. Перевірка розрахунку:

9.1. Витрата, що відповідає граничному номінальному перепадові тиску:

$$Q_m = 0,01252 \cdot \alpha \cdot k_t^2 \cdot \varepsilon \cdot d_{20}^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_H}{\rho}} = 0,01252 \cdot 0,641 \cdot 1 \cdot 1^2 \cdot (39,287)^2 \times \\ \times \sqrt{\frac{6300}{998,071}} = 31,941 \text{ м}^3/\text{год.}$$

9.2. Відносне відхилення витрати від заданої верхньої межі:

$$\delta_Q = \left( \frac{31,941}{32} - 1 \right) \cdot 100\% = -0,18 \text{ \%}.$$

Оскільки  $|\delta_Q| < 0,2 \text{ \%}$  розрахунок виконано правильно.

9.3. За графіком для  $m = 0,315$  знаходимо  $\Delta P/P_B = 57 \text{ \%}$ . Дійсна втрата тиску  $P_B = 0,57 \cdot 6300 \cdot 10^{-4} = 0,309 \text{ кгс/см}^2$ .

Задана втрата тиску  $P'_{\text{вд}} = 0,32 \text{ кгс/см}^2$  Таким чином,  $P_B < P'_{\text{вд}}$ .

## Висновок до розділу 2

В цьому розділі було проведено аналіз технічних параметрів виробництва, розроблена функціональна схема автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену. Також для даного процесу була розроблена принципова електрична схема двигунів і монтажно-комутаційна схема. Було розраховано параметри витратоміра змінного перепаду тиску (діафрагму) для водного середовища.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Об'єктом дослідження було обрано холодильник-конденсатор, що займає позицію 4 на рис.1.3.

Холодильник-конденсатор це технологічний апарат, призначений для конденсації пари речовин. Найпоширеніша будова холодильника-конденсатора – це циліндр з великою кількістю труб, які виконані з міді чи нержавіючої сталі, по яким надходить пара речовин для подальшого конденсації за рахунок різниці температур у середині та за межами трубок.

Задачею керування ним є підтримування температури конденсату на виході з об'єкта керування на заданому рівні. Ця задача розв'язується шляхом зміни витрати холодоагенту (води), який надходить у міжтрубний простір апарату.

Розглянемо вхідні потоки досліджуваного холодильника-конденсатора, які зображено на рис.3.1. У вхідні трубопроводи надходить пара продуктів синтезу, яка заповнює трубний простір, та холодна вода для охолодження і конденсації, яка заповнює міжтрубний простір.

До вихідних потоків належать конденсат і використана холодна вода.

Пара продуктів синтезу ( $C_2H_4$  та  $H_2O$ ):  $F_p, \theta_p, r_{H_2O}, r_{C_2H_4}, c_{H_2O}, c_{C_2H_4}$

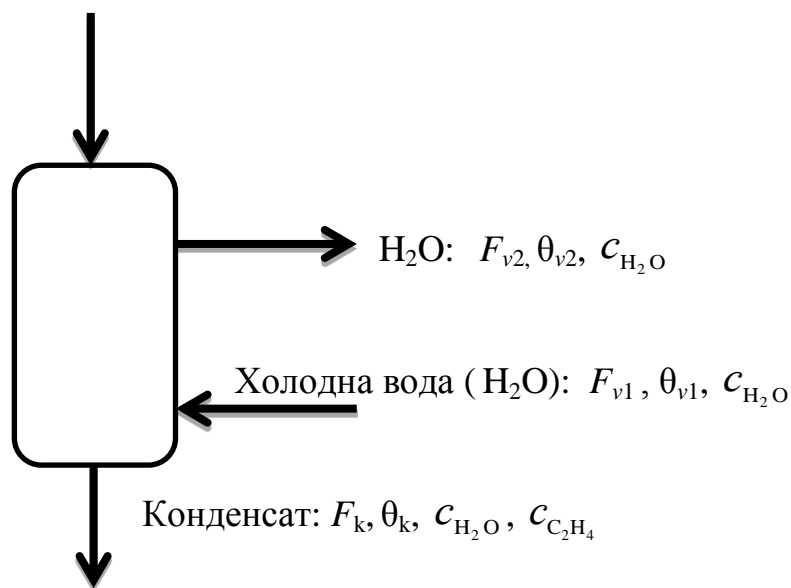


Рис.3.1. Розрахункова схема холодильника-конденсатора

На основі інформації про технологічні параметри складемо спрощену структурно-параметричну схему об'єкту керування, яку зображено на рис. 3.2.

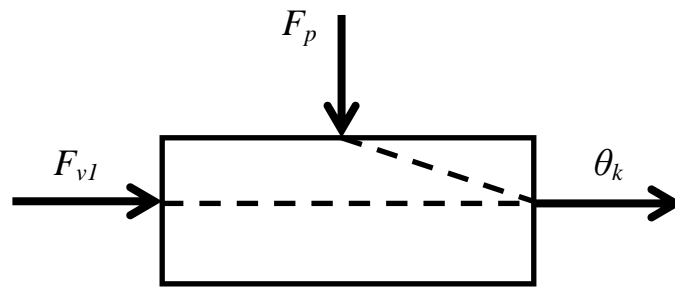


Рис. 3.2. Спрощена структурно-параметрична схема холодильника-конденсатора

Керуюча дія:  $F_{vl}$  – масова витрата холодної води.

Регульована величина:  $\theta_k$  – температура конденсату.

Збурення:  $F_p$  – масова витрата продуктів синтезу;  $\theta_p$ ,  $\theta_{vl}$  – температура продуктів синтезу, води.

Задачею моделювання буде знайти перехідні характеристики об'єкта за каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату» та збурення «Витрата продуктів синтезу → температура конденсату».

Для зручності дослідження запишемо технологічні параметри вхідних та вихідних потоків холодильника-конденсатора до табл. 3.1.

Основними акумулювальними ємностями є вода, пара, метал. Для акумулюючих ємностей холодильника-конденсатора складемо рівняння теплового балансу.

При складанні рівнянь матеріальних та теплових балансів будуть враховані наступні припущення:

- втрати теплоти у навколишнє середовище відсутні;
- молярне співвідношення в продуктах синтезу водяної пари й етилену 0,7;
- витрата холодної води на вході дорівнює витраті використаної води;
- пара продуктів синтезу ( $C_2H_4$  та  $H_2O$ ) повністю конденсується;
- трубами, як акумулювальною ємністю знехтуємо.

Таблиця 3.1. Технологічні параметри для вхідних та вихідних потоків

Назва потоку	Позначення (ідентифікатор)	Назва параметру
Продукти синтезу (пара) (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> та H <sub>2</sub> O)	F <sub>p</sub>	масова витрата продуктів синтезу
	θ <sub>p</sub>	температура продуктів синтезу
	c <sub>H2O</sub>	питома теплоємність водяної пари
	c <sub>C2H4</sub>	питома теплоємність парів етилену
	r <sub>H2O</sub>	питома теплота пароутворення водяної пари
	r <sub>C2H4</sub>	питома теплота пароутворення парів етилену
Холодна вода( H <sub>2</sub> O)	F <sub>v1</sub>	масова витрата холодної води
	θ <sub>v1</sub>	температура холодної води
	c <sub>v</sub>	питома теплоємність води
Використана вода( H <sub>2</sub> O)	F <sub>v2</sub>	масова витрата використаної води
	θ <sub>v2</sub>	температура використаної води
	c <sub>v</sub>	питома теплоємність води
Конденсат	F <sub>к</sub>	масова витрата конденсату
	θ <sub>к</sub>	температура конденсату
	c <sub>v</sub>	питома теплоємність води
	c <sub>ет</sub>	питома теплоємність рідкого етилену

Відповідно до припущення про молярне співвідношення водяної пари і етилену (0,7) визначимо масові частки компонентів у відсотках:

$$\frac{\nu(H_2O)}{\nu(C_2H_4)} = 0,7$$

$$\frac{\frac{m(H_2O)}{M(H_2O)}}{\frac{m(C_2H_4)}{M(C_2H_4)}} = 0,7$$

$$\frac{m(H_2O)}{m(C_2H_4)} \cdot \frac{28}{18} = 0,7$$

$$\frac{m(H_2O)}{m(C_2H_4)} = 0,452$$

де  $\nu$  - кількість речовини(моль);  $m$  - маса речовини;  $M$  – молярна маса.

Розв'яжемо рівняння:

$$X + 0,452X = 100\%,$$

де маса  $C_2H_4$  становить  $X$ , тоді маса  $H_2O$   $0,452X$ , а разом вони складають 100%. Отже відсотковий вміст  $C_2H_4$  31%, а відсотковий вміст  $H_2O$  69%.

Складемо тепловий баланс для продуктів синтезу:

$$Q_P - Q_I - Q_k = 0$$

Розпишемо  $Q_P$ ,  $Q_I$  та  $Q_k$ :

$Q_P = F_P(r_{H_2O} \cdot 0,31 + r_{C_2H_4} \cdot 0,69 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31))$  – тепло, що надійшло з продуктами синтезу;

$Q_I = k_I \cdot S_I((\theta_p + \theta_k)/2 - (\theta_{v1} + \theta_{v2})/2)$  – тепло, що відійшло від пари до води;

$Q_k = F_k \cdot (\theta_k + 5)(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31)$  – тепло, що відійшло з конденсатом (додаємо  $5^\circ C$ , тому що температура конденсату менше температури конденсації).

В розгорнутій формі тепловий баланс продуктів синтезу виглядає:

$$F_P(r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31)) - k_I \cdot S_I((\theta_p + \theta_k)/2 - (\theta_{v1} + \theta_{v2})/2) - F_k \cdot \theta_k(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) = 0 \quad (3.1)$$

Складемо тепловий баланс води:

$$Q_{v1} + Q_I - Q_{v2} = 0$$

Розпишемо  $Q_{v1}$  та  $Q_{v2}$ :

$Q_{v1} = F_{v1} \cdot \theta_{v1} \cdot c_v$  – тепло, що надійшло з холодною водою;

$Q_{v2} = F_{v2} \cdot \theta_{v2} \cdot c_v$  – тепло, що відійшло з використаною водою.

В розгорнутій формі тепловий баланс для води виглядає:

$$F_{v1} \cdot \theta_{v1} \cdot c_v + k_I \cdot S_I((\theta_p + \theta_k)/2 - (\theta_{v1} + \theta_{v2})/2) - F_{v2} \cdot \theta_{v2} \cdot c_v = 0 \quad (3.2)$$

Щоб побудувати статичну характеристику прирівняємо рівняння 3.1 та 3.2 одне до одного та виразимо з отриманого рівняння  $\theta_k$ .

На рис.3.3. побудована статична характеристика за каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату», а на рис.3.4. побудована статична характеристика за каналом збурення «Витрата продуктів синтезу → температура конденсату»

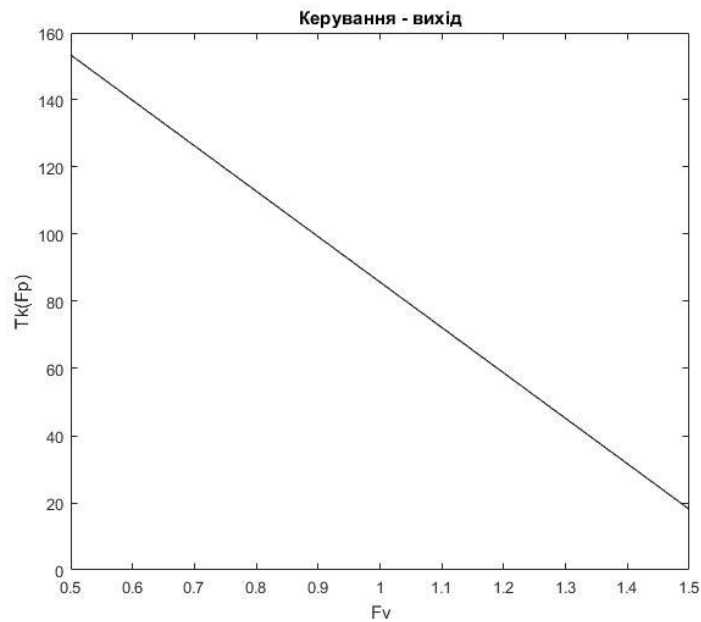


Рис. 3.3. Статична характеристика за каналом «Витрата холодної води → температура конденсату»

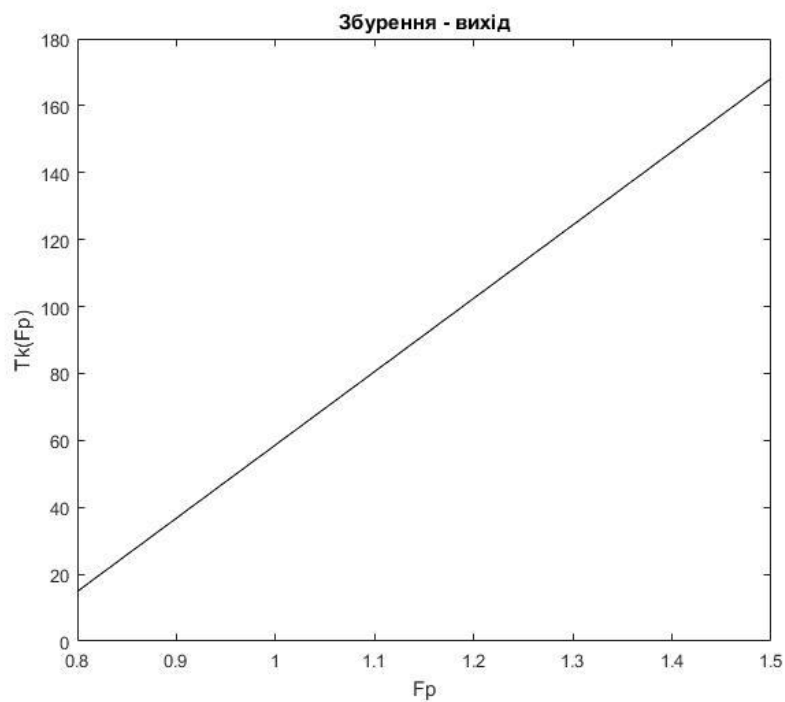


Рис. 3.4. Статична характеристика за каналом «Витрата продуктів синтезу → температура конденсату»

Провівши аналіз характеристик зображених на рис.3.3 та рис.3.4 можна зробити висновок, що дана модель за каналом керування та збурення є лінійною .

Розглянемо процес створення моделі динаміки каналу керування.

Запишемо рівняння балансу тепла у динамічному режимі для продуктів синтезу:

$$Q_P - Q_I - Q_K - Q_{nc} = Q_{AP},$$

де  $Q_{AP} = V \cdot \rho_K (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_K}{dt}$  – тепло, що акумулювалося в парі;

$Q_{nc} = k_T S_{an} (\theta_K - \theta_{nc})$  – тепло, що надійшло від апарату до навколишнього середовища; де  $k_T$  – коефіцієнт теплопередачі;  $S_{an}$  – площа всієї зовнішньої поверхні випарника;  $\theta_{nc}$  – температура навколишнього середовища.

У розгорнутій формі вираз для продуктів синтезу виглядає так:

$$F_P (r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P (c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31)) - k_I \cdot S_I ((\theta_P + \theta_K)/2 - (\theta_{v1} + \theta_{v2})/2) - F_K \cdot (\theta_K + 5) (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) - k_T S_{an} (\theta_K - \theta_{nc}) = V \cdot \rho_K (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_K}{dt}$$

Динамічний режим для води:

$$Q_{v1} + Q_I - Q_{v2} = Q_{AV},$$

де  $Q_{AV} = V_v \cdot c_v \frac{d(\frac{\theta_{v1} + \theta_{v2}}{2})}{dt}$  – тепло, що акумулювалося у воді.

В розгорнутій формі вираз для води виглядає:

$$F_{v1} \cdot \theta_{v1} \cdot c_v + k_I \cdot S_I ((\theta_P + \theta_K)/2 - (\theta_{v1} + \theta_{v2})/2) - F_{v2} \cdot \theta_{v2} \cdot c_v = V_v \cdot c_v \frac{d(\frac{\theta_{v1} + \theta_{v2}}{2})}{dt}$$

Запишемо в табл. 3.2 числові значення параметрів, використаних в теплових балансах.

Таблиця 3.2. Значення параметрів у статичному режимі.

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця ви- мірювання	Значення
1	2	3	4	5
1	масова витрата продуктів синтезу	$F_P$	кг/с	1,63
2	температура продуктів синтезу	$\theta_P$	°C	230

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
3	питома теплоємність водяної пари	$c_{H_2O}$	кДж/кг·°С	2130
4	питома теплоємність парів етилену	$c_{C_2H_4}$	кДж/кг·°С	1
5	питома теплота пароутворення водяної пари	$r_{H_2O}$	кДж/кг	2300
6	питома теплота пароутворення парів етилену	$r_{C_2H_4}$	кДж/кг	191
7	масова витрата холодної води	$F_{v1}$	кг/с	1,6
8	температура холодної води	$\theta_{v1}$	°С	15
9	питома теплоємність води	$c_v$	кДж/кг·°С	4200
11	температура використаної води	$\theta_{v2}$	°С	65
13	масова витрата конденсату	$F_k$	кг/с	1,2
14	температура конденсату	$\theta_k$	°С	70
16	питома теплоємність рідкого етилену	$c_{ет}$	кДж/кг·°С	2,4
17	температура навколишнього середовища	$\theta_{нс}$	°С	20
18	добуток коефіцієнта теплопередачі на поверхню теплопередачі	$K_m \cdot S_{an}$	Кдж/с·град С	40,75
19	об'єм конденсату у холодильнику	$V$	м <sup>3</sup>	0,42
20	об'єм води у холодильнику	$V$	м <sup>3</sup>	4,25
21	густина конденсату	$\rho_k$	кг/м <sup>3</sup>	950
22	добуток коефіцієнта теплопередачі на загальну поверхню холодильника-конденсатора	$k_T S_{an}$	Кдж/с·град С	770,4

Оберемо параметри, які підлягають лінеаризації:  $F_p, F_k, F_{v1}, \theta_k$ .

Лінеаризація рівняння балансів (динаміки) в точці статичного режиму:

$$F_p(t) = F_{p10} + \Delta F_p(t)$$

$$F_k(t) = F_{k10} + \Delta F_k(t)$$

$$\theta_k(t) = \theta_{k10} + \Delta \theta_k(t)$$

$$F_{v1}(t) = F_{v10} + \Delta F_{v1}(t)$$

Визначимо  $Q_I$  з рівняння (3.2) та підставимо у (3.1), отримаємо наступне рівняння:

$$Q_P - (-Q_{v1} + Q_{v2}) - Q_k = Q_{AP}$$

Запишемо вираз в розгорнутій формі:

$$F_P(r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31)) - (-F_{v1} \cdot \theta_{v1} \cdot c_v + \\ + F_{v2} \cdot \theta_{v2} \cdot c_v) - F_k \cdot (\theta_k + 5)(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) = V \cdot \rho_k (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_k}{dt}$$

Скорочуємо вираз згідно допущень:

$$F_P(r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31)) + F_{v1} \cdot (\theta_{v1} \cdot c_v - \\ - \theta_{v2} \cdot c_v) - F_k \cdot (\theta_k + 5)(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) = V \cdot \rho_k (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_k}{dt}$$

Рівняння після лінеаризації вказаних змінних має вигляд:

$$\Delta F_P(r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31)) + \Delta F_{v1} \cdot (\theta_{v1} \cdot c_v - \\ - \theta_{v2} \cdot c_v) - \Delta F_k \cdot (\theta_k + 5)(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) - \Delta \theta_k F_k \cdot (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) = \\ = V \cdot \rho_k (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_k}{dt}$$

Для зручності запису введемо коефіцієнти:

$$K1 = (r_{H_2O} \cdot 0,69 + r_{C_2H_4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H_2O} \cdot 0,69 + c_{C_2H_4} \cdot 0,31))$$

$$K2 = (\theta_{v1} \cdot c_v - \theta_{v2} \cdot c_v)$$

$$K3 = (\theta_k + 5)(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31)$$

$$K4 = F_k \cdot (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31)$$

$$K5 = V \cdot \rho_k (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31)$$

Отримаємо рівняння:

$$\Delta F_P \cdot K1 + \Delta F_{v1} \cdot K2 - \Delta F_k \cdot K3 - \Delta \theta_k \cdot K4 = K5 \frac{d\theta_k}{dt}$$

Запишемо лінеаризовані рівняння математичної моделі в просторі змінних стану:

$$\Delta F_k(t) \cdot K3 + \Delta \theta_k(t) \cdot K4 = -\Delta F_P(t) \cdot K1 - \Delta F_{v1}(t) \cdot K2 - K5 \frac{d\theta_K}{dt} \quad (3.3)$$

Рівняння після лінеаризації вказаних змінних:

$$\begin{aligned} & \Delta F_P(r_{H2O} \cdot 0,69 + r_{C2H4} \cdot 0,31 + \theta_P(c_{H2O} \cdot 0,69 + c_{C2H4} \cdot 0,31)) + (\Delta F_{v1} \cdot (\theta_{v1} \cdot c_v - \\ & - \theta_{v2} \cdot c_v)) - \Delta F_k \cdot \theta_k(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) - \Delta \theta_k(F_k \cdot (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) - k_T S_{an}) = \\ & = V \cdot \rho_K(c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) \frac{d\theta_K}{dt} \end{aligned}$$

Введемо коефіцієнт:

$$K6 = (F_k \cdot (c_v \cdot 0,69 + c_{et} \cdot 0,31) - k_T S_{an})$$

Отримаємо рівняння:

$$\Delta F_P \cdot K1 + \Delta F_{v1} \cdot K2 - \Delta F_k \cdot K3 - \Delta \theta_k \cdot K6 = K5 \frac{d\theta_K}{dt} \quad (3.4)$$

Перевіримо ТОК на керованість.

Маємо рівняння динаміки 3.3 в приростах:

$$\Delta F_k(t) \cdot K3 + \Delta \theta_k(t) \cdot K4 = -\Delta F_P(t) \cdot K1 - \Delta F_{v1}(t) \cdot K2 - K5 \frac{d\theta_K}{dt}$$

Теорема Калмана для лінійного стаціонарного процесу:

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t)$$

A – матриця системи

B – матриця входу

x(t) – параметри стану

u(t) – керовані величини

$$A = [K3 \quad K4] \quad B = [-K1]$$

За теоремою Калмана маємо:

$$K = [B \quad A \cdot B]$$

$$\text{Rank } K = 1$$

Отже, за теоремою Калмана ранг матриці K дорівнює 1, це означає що об'єкт, який описується рівнянням (3.3) є абсолютно керованим, оскільки ранг

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

матриці дорівнює кількості регульованих величин (в нашому випадку  $\Delta\theta_k$ - це регульована величина).

Розглянемо математичну модель в області зображень.

Після перетворення за Лапласом змінної часу  $t \rightarrow p$ :

$$\Delta F_p(t) \rightarrow F_p(p),$$

$$\Delta F_{vl}(t) \rightarrow F_{vl}(p),$$

$$\Delta F_k(t) \rightarrow F_k(p),$$

$$\Delta\theta_k(t) \rightarrow \theta_k(p).$$

1) Перетворимо за Лапласом лінеаризоване рівняння (3.3):

$$F_k(p) \cdot K3 + \theta_k(p) \cdot K4 + p \theta_k(p) \cdot K5 = -F_p(p) \cdot K1 - F_{vl}(p) \cdot K2$$

$$F_k(p) \cdot K3 + \theta_k(p)(K4 + p \cdot K5) = -F_p(p) \cdot K1 - F_{vl}(p) \cdot K2$$

2) Перетворимо за Лапласом лінеаризоване рівняння (3.4):

$$F_k(p) \cdot K3 + \theta_k(p) \cdot K6 + p \theta_k(p) \cdot K5 = -F_p(p) \cdot K1 - F_{vl}(p) \cdot K2$$

$$F_k(p) \cdot K3 + \theta_k(p)(K6 + p \cdot K5) = -F_p(p) \cdot K1 - F_{vl}(p) \cdot K2$$

Запишемо передавальні функції ТОК за каналами керування та збурення:

1) Передавальна функція за каналом керування «Масова витрата холодної води – Температура конденсату» має вигляд :

Передавальна функція за каналом керування  $F_{vl} \rightarrow \theta_k$ :

$$W_{кер}(p) = \theta_k(p) / F_{vl}(p)$$

$$W_{кер}(p) = \frac{-\frac{K1}{K6}}{\frac{K5}{K6}p + 1}$$

$$W_{кер}(p) = \frac{-97,48}{332,6p + 1} \quad (3.5)$$

2) Передавальна функція за каналом збурення «Масова витрата продуктів синтезу – Температура конденсату» має вигляд:

Передавальна функція за каналом збурення  $F_p \rightarrow \theta_k$ :

$$W_{зб2}(p) = F_p(p) / F_{vl}(p)$$

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$W_{зб2}(p) = \frac{-\frac{K2}{K6}}{\frac{K5}{K6}p + 1}$$

$$W_{зб2}(p) = \frac{60,25}{332,6p + 1} \quad (3.6)$$

За каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату» отримано перехідну характеристику, що зображена на рис.3.5:

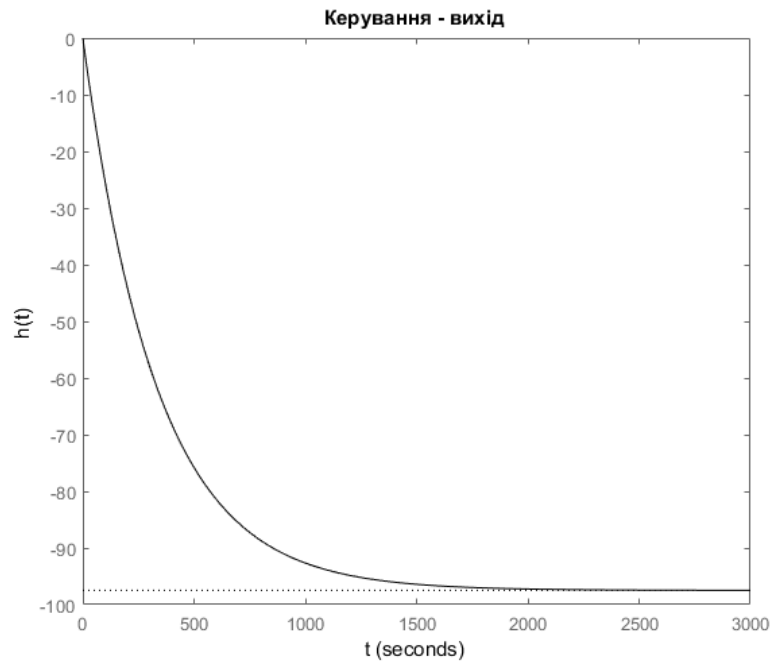


Рис.3.5. Перехідна характеристика ТОК за каналом «Витрата холодної води → температура конденсату»

За каналом збурення «Витрата продуктів синтезу → температура конденсату» отримано перехідну характеристику, що зображена на рис.3.6:

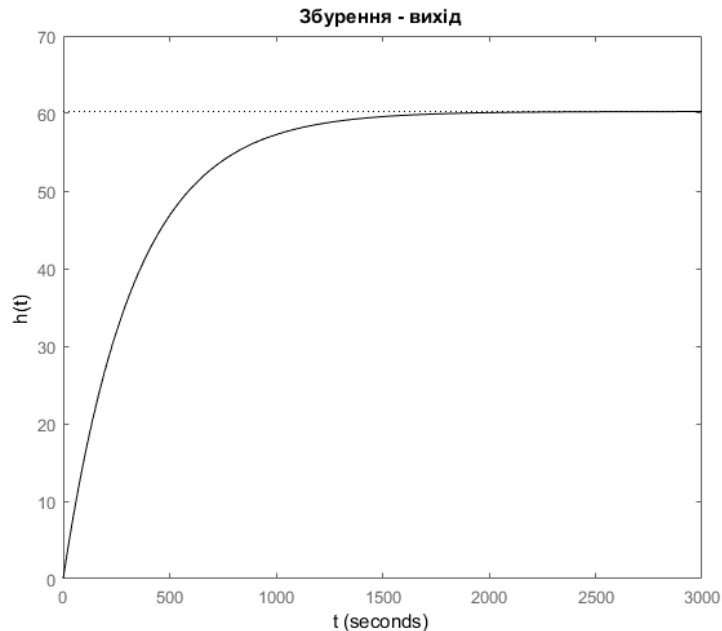


Рис.3.6. Перехідна характеристика ТОК за каналом «Витрата продуктів синтезу → температура конденсату»

Оскільки данна модель не розглядає довжину трубопроводів від виконуючого механізму каналу керування до ТОК, що вводить певне транспортне запізнення в систему, то його потрібно розрахувати:

$R = 80$  мм – радіус трубопровода;

$F_v = 1,6$  кг/с – масова витрата води;

$\rho = 997$  кг/м<sup>3</sup> – густина;

$L = 12,25$  м – довжина трубопроводу.

Об’ємна витрата:

$$F_o = F_v / \rho = 0,0016 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа перерізу трубопровода:

$$S = \pi R^2 = 0,0064 \text{ м}^2$$

Швидкість руху води по трубопроводу:

$$v = F_o / S = 0,25 \text{ м/с}$$

Транспортне запізнення:

$$\tau = L v = 49 \text{ с}$$

Для того щоб додати транспортне запізнення скористаємося програмним засобом *MatLab*:

```
s = tf('s');
Wo = -97.48 / (332.6*s + 1);
set(Wo, 'inputdelay', 49);
```

Та отримаємо нову передавальну функцію об'єкта за каналом керування:

$$W_o = \exp(-49*s) * \frac{-97.48}{332.6 s + 1} \quad (3.7)$$

На рис.3.7. зображено перехідну характеристику об'єкта за каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату» з отриманим транспортним запізненням.

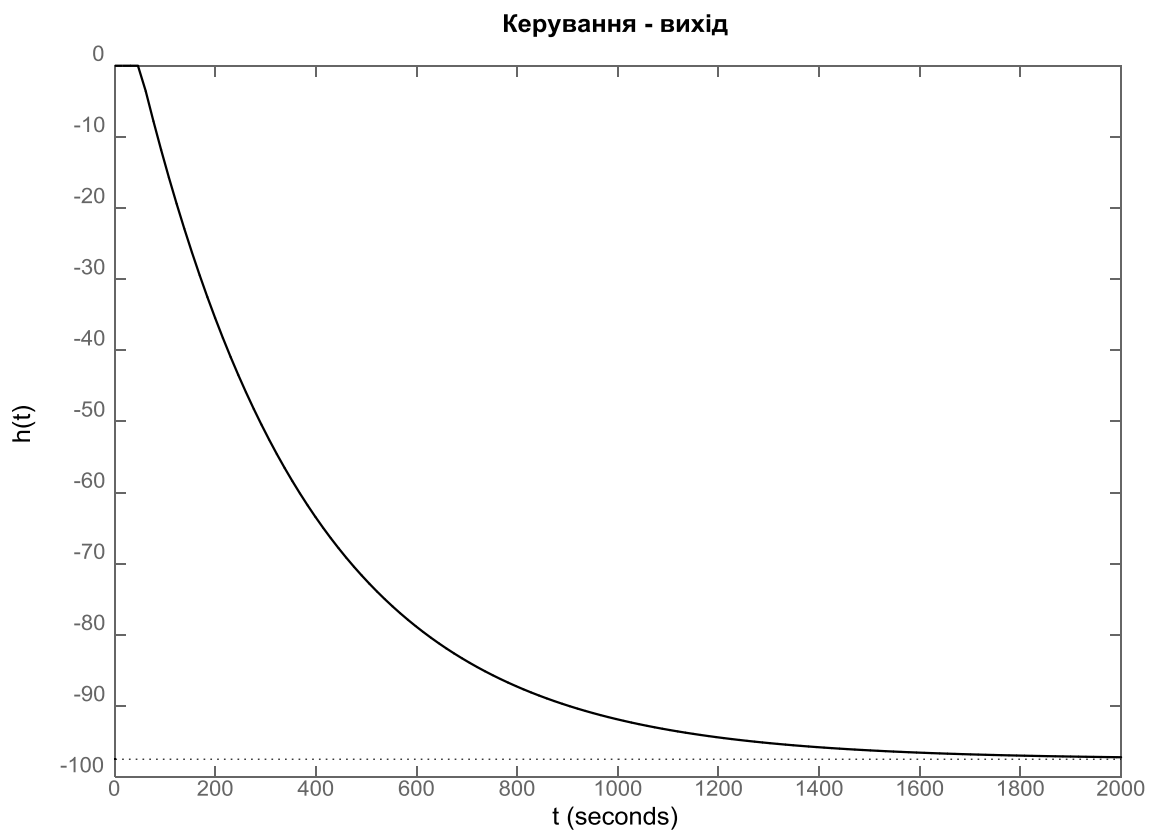


Рис.3.7. Перехідна характеристика ТОК за каналом «Витрата холодної води → температура конденсату» з транспортним запізненням

### Висновки до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто математичну модель технологічного об'єкта керування холодильника-конденсатора. Було досліджено статичні та динамічні режими роботи та виведено передавальні функції за каналом керування та збурення на основі яких побудовано перехідні характеристики. В подальшому отримані передатні функції буде використано для синтезу системи керування холодильником-конденсатором.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## 4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИМИ УСТАНОВКАМИ

Для синтезу системи керування теплообмінними апаратами було обрано об'єкти, які зображено на рис.1.3.: холодильник-конденсатор 4 та кип'ятильник 13-2.

Холодильник-конденсатор буде досліджено за допомогою програмного засобу *MatLab* та його підпрограм:

- *PID Tuner*;
- *SisoTool*;

Для кип'ятильника (надалі просто теплообмінника) буде виконано статичне оптимізування та розроблено SCADA шаблон в програмному забезпеченні *Lab-View*.

### 4.1. Синтез системи керування холодильника-конденсатора

В 3 розділі було розроблено модель холодильника-конденсатора та отримано його передавальну функцію 3.7.

На рис.4.1. зображено контур керування холодильника-конденсатора за каналом «Витрата холодної води → температура конденсату» з ПІД-регулятором для якого потрібно підібрати оптимальні налаштування.

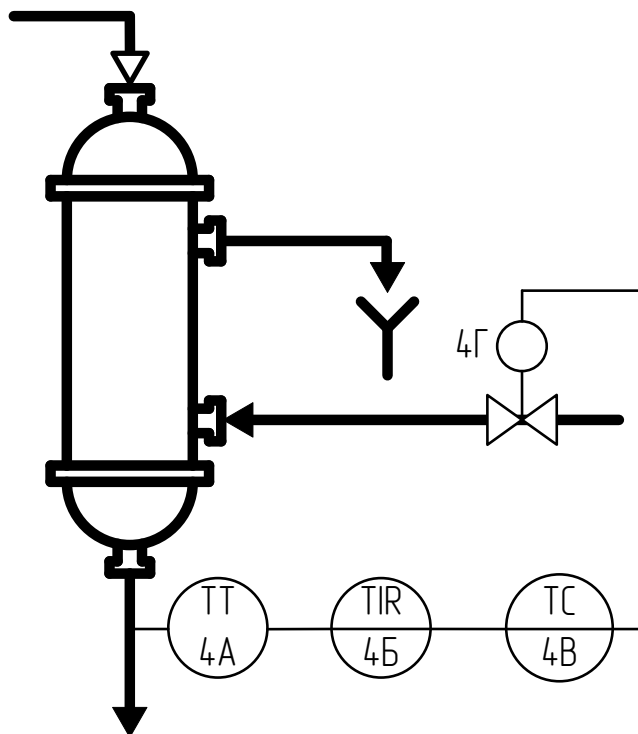


Рис.4.1. Схема автоматичного керування холодильника-конденсатора

#### 4.1.1. Налаштування системи керування методом М-кола

Метод М-кола це налаштування замкненої системи на певний показник коли-  
вності М в такому випадку система матиме певний запас по амплітуді та фазі.

Для того щоб система відповідала заданому показнику коливності потрібно  
щоб АФХ розімкненої системи дотикалася до М-кола .

Чим більше значення показника коливності М тим більш оперативнішою яв-  
ляється система, але й збільшується схильність системи до слабозгасаючих коли-  
вань. Зазвичай для хімічної промисловості рекомендується застосовувати показ-  
ник коливності в діапазоні  $1,1 \leq M \leq 1,4$ .

Для налаштування регулятора методом М-кола використаємо наступну  
функцію в якій відразу задаємо потрібний показник коливності  $M = 1,3$ :

```
function Wr=mkolo(Wo,Kr,Ti)
M = 1.3;
Xdk=-M*M/(M*M-1);
Rk=M/(M*M-1);
Xk=(Xdk-Rk):(Rk/32):(Xdk+Rk);
Yk=(Rk^2-(Xk-Xdk).^2).^0.5;
fn=300;
Wr=tf([Kr*Ti Kr*1],[Ti 0]);
W=Wo*Wr;
f=logspace(-4,4,fn);
W=frd(W,f);
[af,]=frdata(W);
af=squeeze(af);
ii=0;
afv=0;
for i=1:fn
    if abs(imag(af(i)))<(1.3*Rk)
        ii=ii+1;
        afv(ii)=af(i);
    end
end
re=real(afv);
im=imag(afv);
plot(re,im,'k',Xk,Yk,'k',Xk,-Yk,'k'), grid on
end
```

Оскільки при налаштування П-регулятора не вдалося знайти оптимальних  
значень, то переходимо до налаштування ПІ-регулятора.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Задаємо передавальну функцію ТОК за каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату» та параметри ПІ-регулятора:

```
s = tf('s');
Wo = -97.48 / (332.6*s + 1);
set(Wo, 'inputdelay', 49);
Ti = -114.5;
Kr = 0.00205;
figure (3), mkolo(Wo, Kr, Ti);
```

Аналізуючи отримані графічні данні знаходимо такі значення  $T_i$  та  $K_r$ , щоб АФХ дотикалася до побудованого М-кола. Як результат ми отримали наступні параметри  $T_i = -114,5$  та  $K_r = 0,00205$  виходячи з рис.4.2.

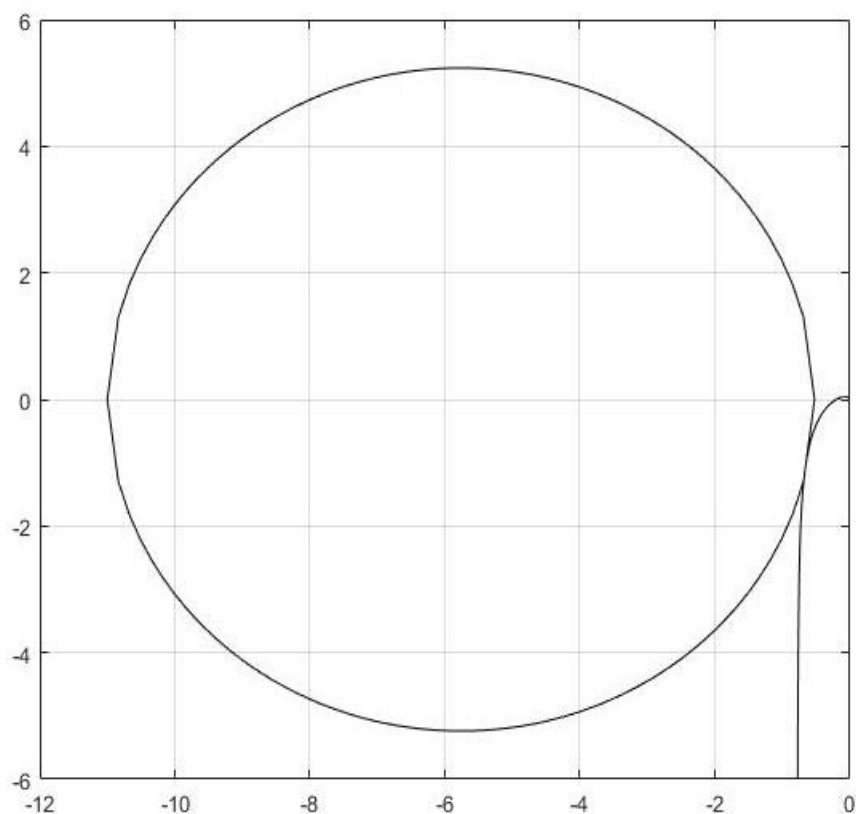


Рис.4.2. Налаштування ПІ-регулятора методом М-кола

На рис.4.3. ми отримали перехідну характеристику системи за каналом керування «Витрата холодної води → температура конденсату» з ПІ-регулятором, який ми налаштували методом М-кола.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що дане налаштування не являється оптимальним, адже не дає значних змін у виході на усталене значення і дає значне перерегулювання.

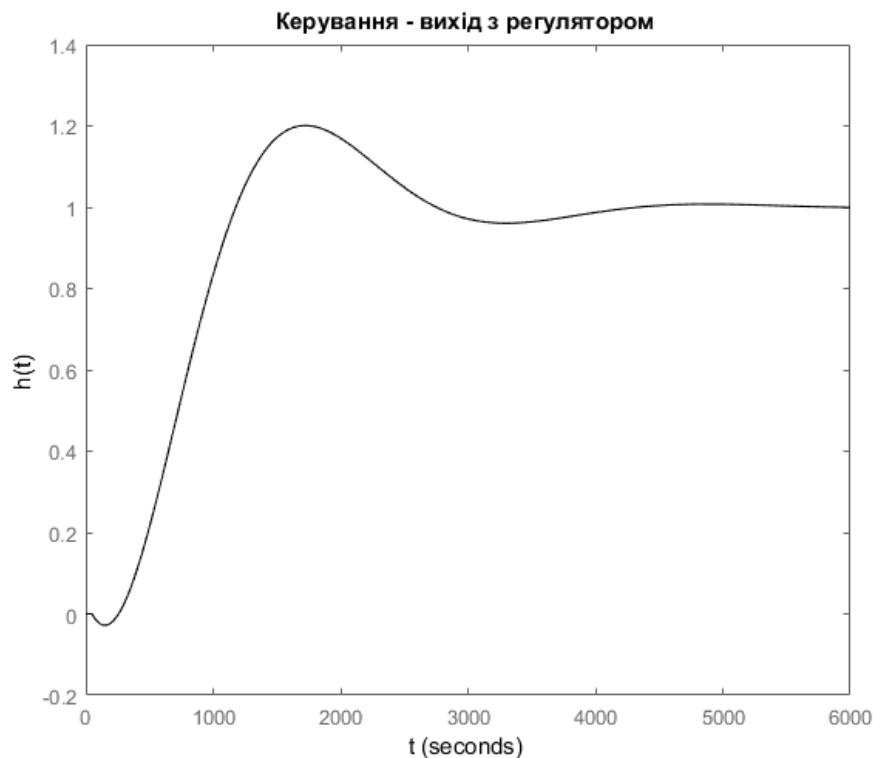


Рис.4.3. Перехідні характеристика з ПІ-регулятором налаштованим методом М-кола

#### 4.1.2. Синтез системи керування в програмному модулі *SISOTool*

Програмний модуль *SISOTool* використовується для вирішення завдання синтезу регулятора (корегуючого пристрою) і пристрою прямого зв'язку.

В *SISOTool* можливо обрати тип регулятора та спосіб налаштування його параметрів.

Задаємо передатну функцію об'єкта в наступному вигляді і викликаємо інтерактивне середовище налаштування регулятора «*SISOTool*»:

```
>> s = tf('s');
>> Wo = -97.48 / (332.6*s + 1);
>> set(Wo,'inputdelay',49);
>> Wo
Wo =
      - 97.48
exp(-49*s) * -----
      332.6 s + 1
Continuous-time transfer function
```

>> sisotool(Wo);

Перед нами відкриється вікно редактора рис.4.4., з архітектурою системи, із закладками, що відкривають різноманітні налаштування, де обираємо архітектуру системи, що зображено на рис.4.5.

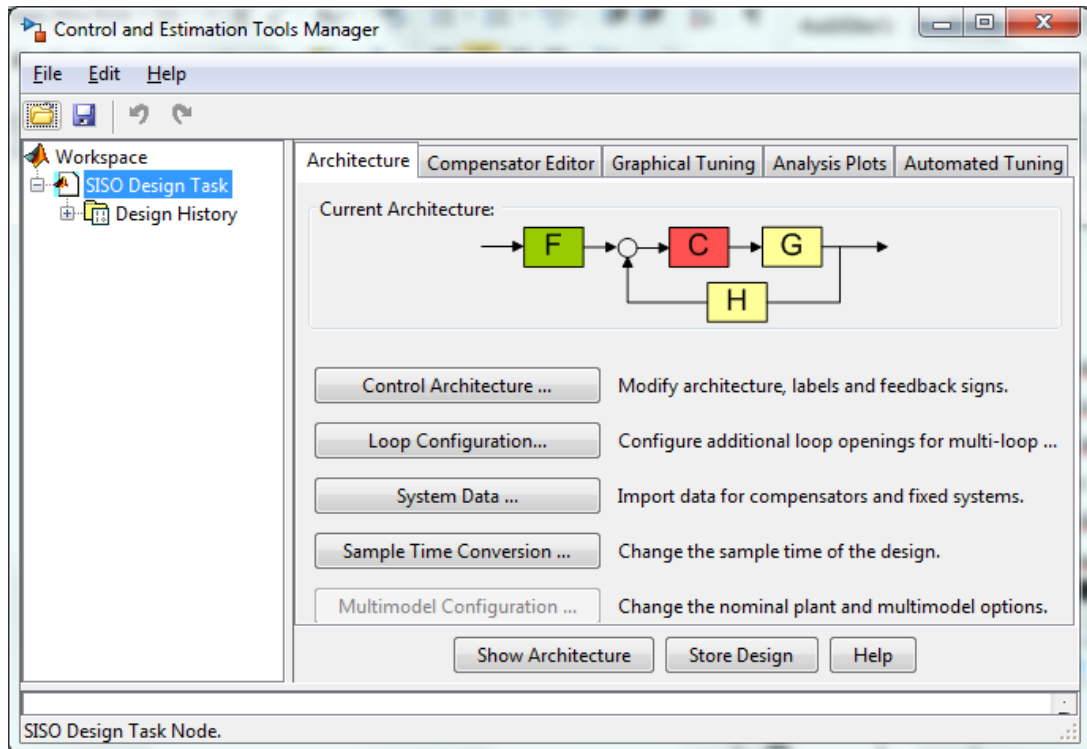


Рис. 4.4. Вікно редактора

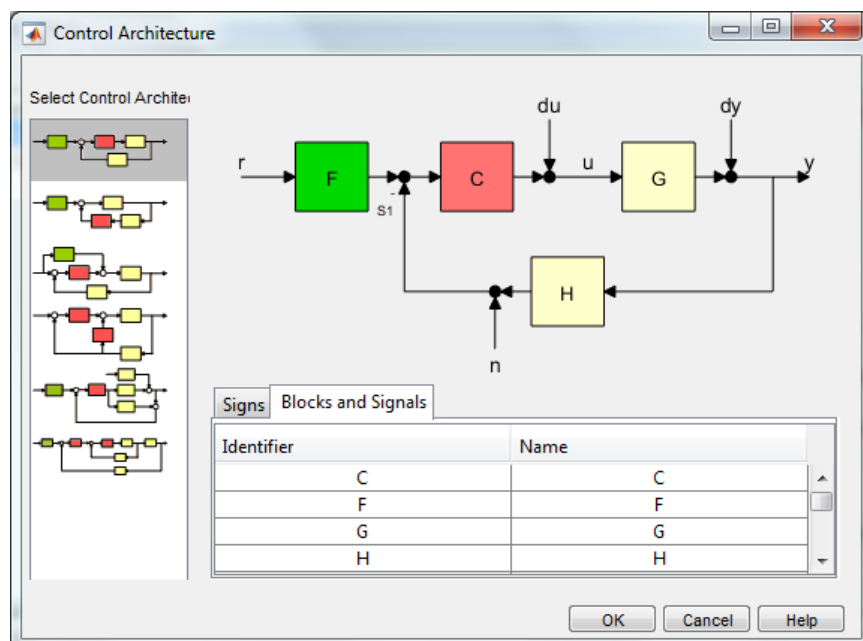


Рис. 4.5. Архітектура системи:

G – plant (математична модель об'єкта); H – sensordynamics (давач, що вимірює вихідну величину); F — prefilter (фільтр); C — compensator (регулятор)

Задаємо потрібні налаштування для підбору настройок регулятора, його тип, критерій налаштування у вікні зображеному на рис.4.6.

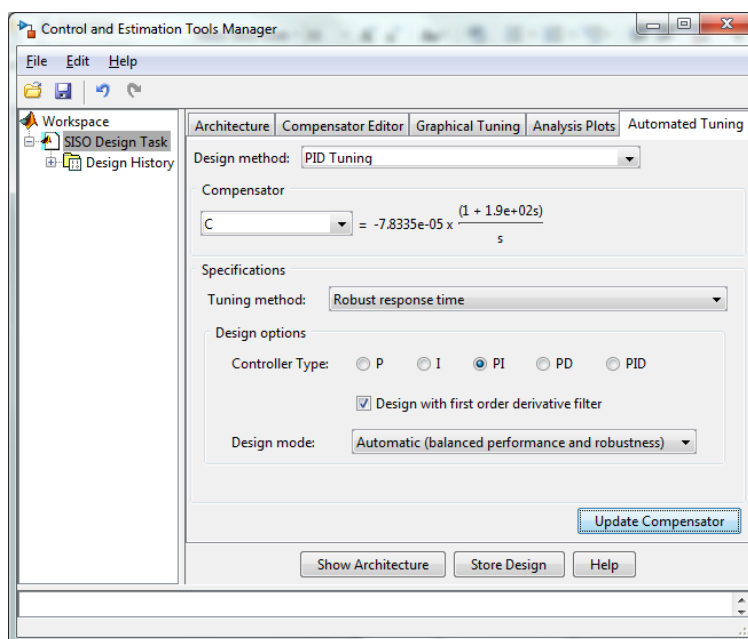


Рис. 4.6. Вікно налаштування регулятора

На рис.4.7. зображено перехідну характеристику системи з П-регулятором з якої можна зробити висновок що його застосування є не доцільним оскільки є недорегулювання на 18%.

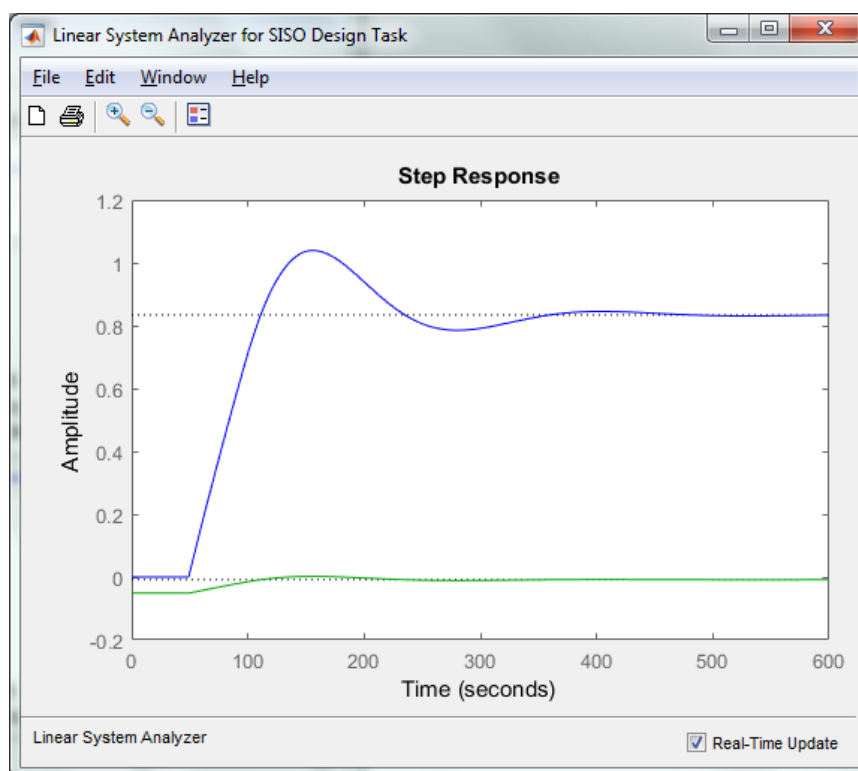


Рис. 4.7. Реакція налаштованої системи з П-регулятором на ступінчатий сигнал

На рис.4.8. зображено перехідну характеристику системи з ПІ-регулятором, а на рис.4.9. з ПІД.

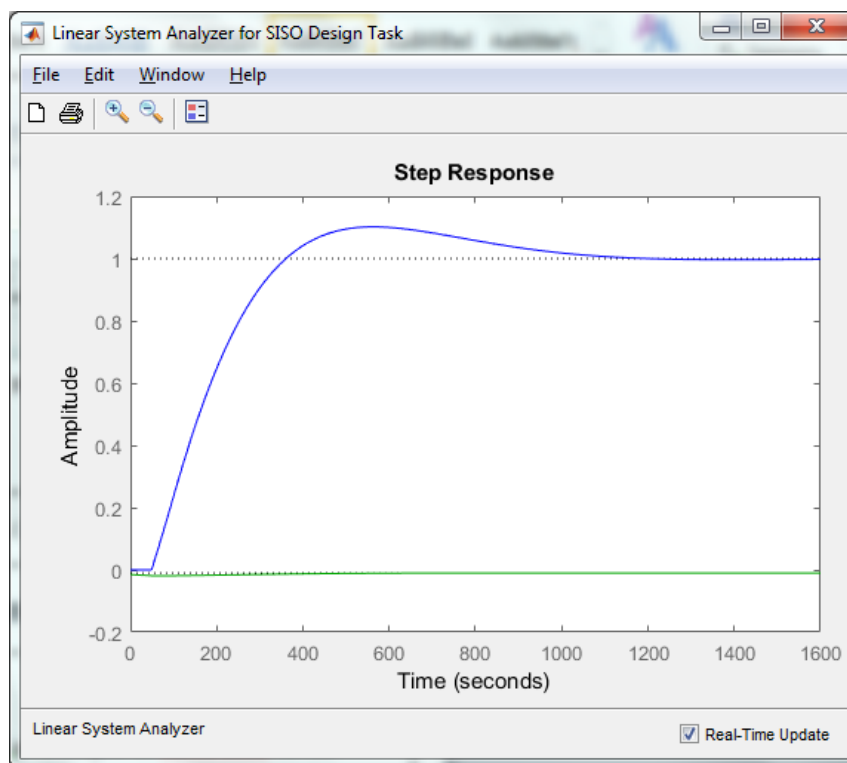


Рис. 4.9. Реакція налаштованої системи з ПІ-регулятором на ступінчатий сигнал

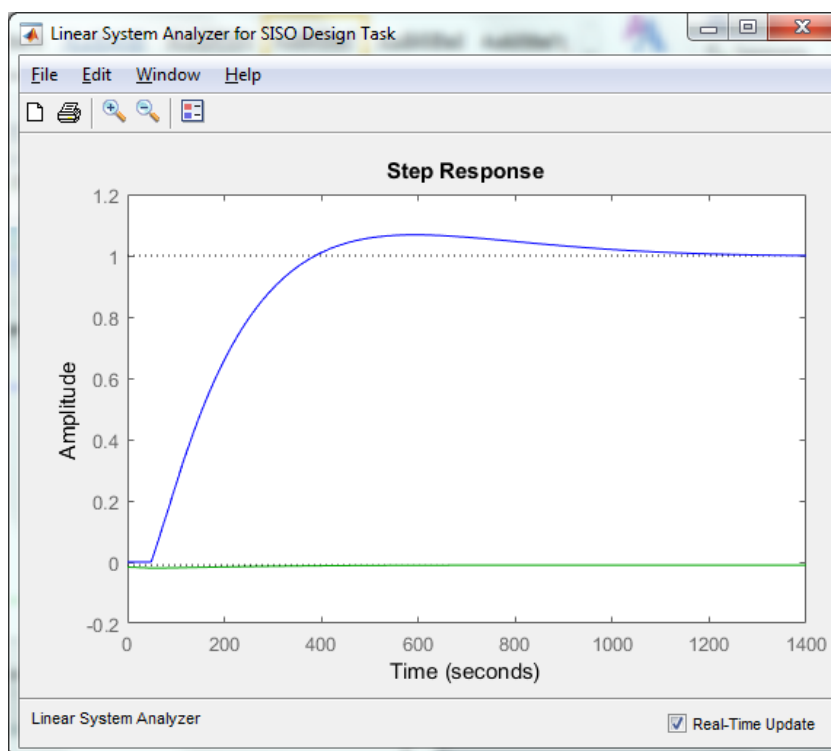


Рис. 4.10. Реакція налаштованої системи з ПІД-регулятором на ступінчатий сигнал

За допомогою функції *Export* виводимо значення ПІ- та ПІД- регуляторів оскільки їх налаштовані системи являються прийнятними для нашої системи в робочий простір *MatLab*:

```

Cpi =
-0.015002 (s+0.005222)
-----
s
Continuous-time zero/pole/gain model.

>> Cpid
Cpid =
-0.016358 (s+0.005355) (s+0.005304)
-----
s (s+0.006369)
Continuous-time zero/pole/gain model.

```

На рис.4.11. побудовано замкнуті системи ПІ- та ПІД-регуляторів. Порівнявши їх можна зробити висновок, що застосування ПІД-регулятора являється доцільнішим оскільки його перерегулювання менше.

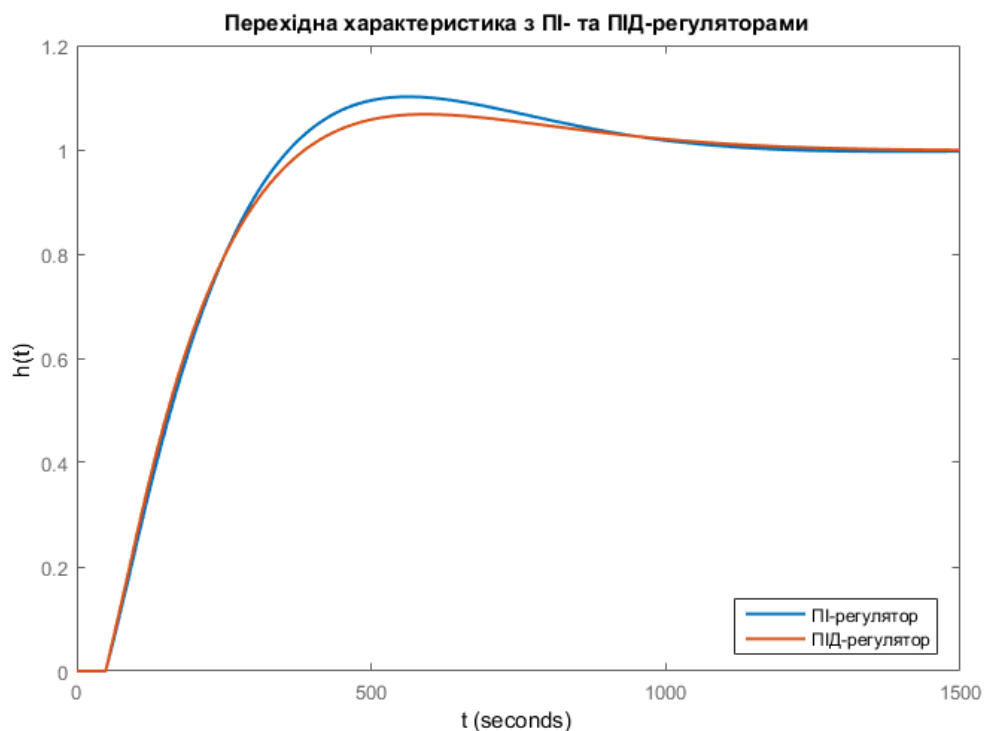


Рис. 4.11. Замкнена система з ПІ- та ПІД-регуляторами

### 4.1.3. Налаштування системи керування в програмному модулі *PID Tuner*

В командному вікні *MatLab* визиваємо програмний модуль PID Tuner за допомогою наступної команди:

pidTuner (Wo)

Перед нами відкривається вікно програми, яке зображено на рис.3.12. В ньому ми можемо обрати тип регулятора, а також бажану швидкість виходу на установлене значення із запропонованого діапазону.

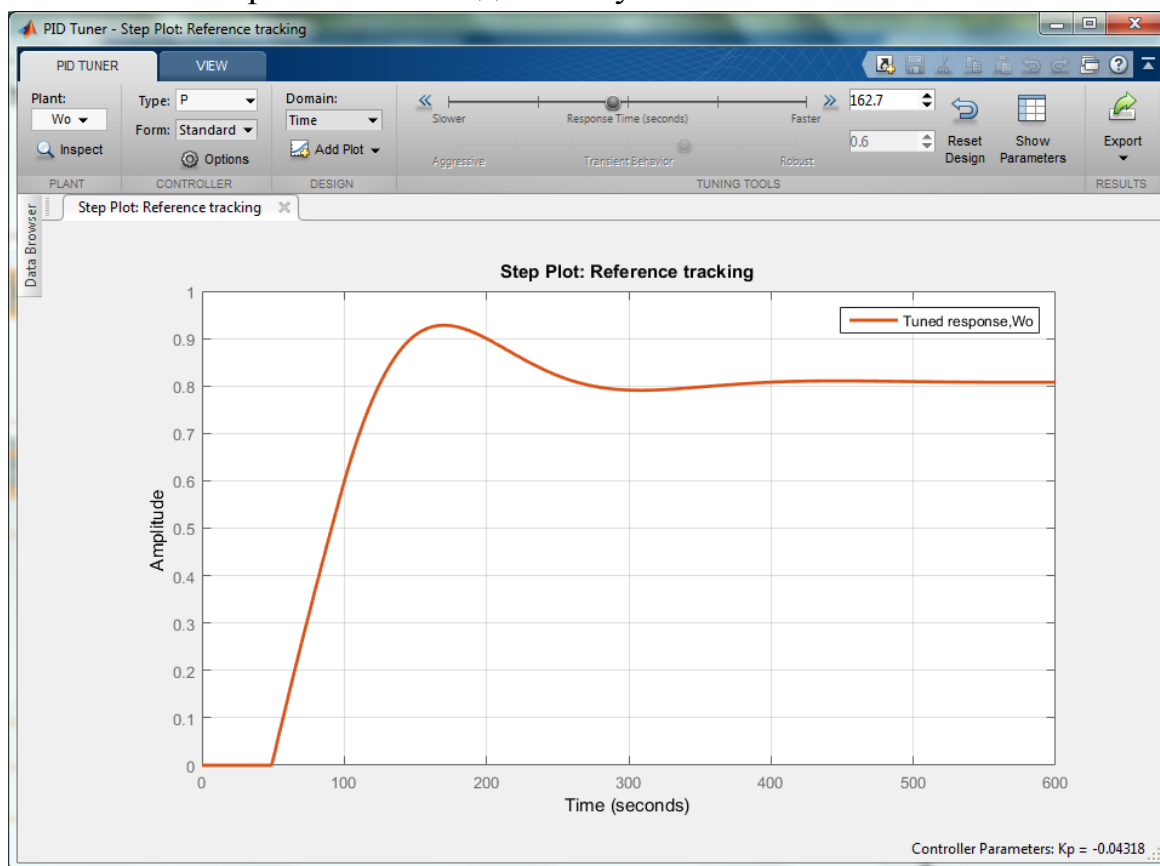


Рис. 4.12. Вікно редактора *PID Tuner* з налаштуванням П-регулятора

Задавши ці параметри програмний модуль підбирає параметри регулятора, які задовільняють задані умови. Отримані параметри відображаються в нижньому правому кутку програми, а також можуть бути експортовані в робочий простір *MatLab* за допомогою кнопки *Export*.

У вкладці *Show Parameters* яку зображено на рис.4.8. ми можемо побачити всі параметри контролера і показники продуктивності та надійності системи до яких входять:

- rise time – час зростання;
- setting time – час виходу на усталений режим;

- overshoot – перерегулювання;
- phase margin – фазовий запас;
- gain margin запас – амплітуди;
- closed-loop stability – стабільність замкненої системи.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	-0.043182
Ti	n/a
Td	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	58.5 seconds
Settling time	322 seconds
Overshoot	14.8 %
Peak	0.928
Gain margin	8.58 dB @ 0.0339 rad/s
Phase margin	69.2 deg @ 0.0123 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рис. 4.13. Вікно вкладки *Show Parameters* параметрами П-регулятора

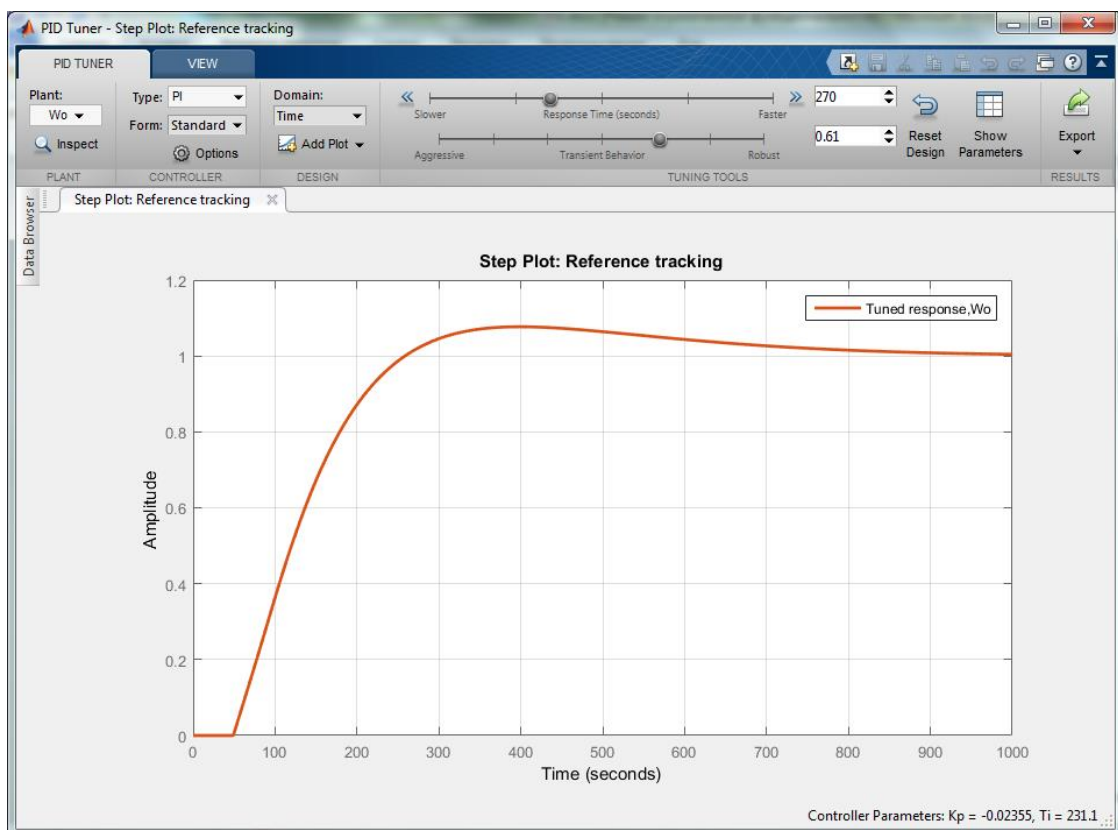


Рис. 4.14. Вікно редактора PID Tuner з налаштуванням ПІ-регулятора

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	-0.023552
Ti	231.0691
Td	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	146 seconds
Settling time	752 seconds
Overshoot	7.69 %
Peak	1.08
Gain margin	13.1 dB @ 0.0312 rad/s
Phase margin	61 deg @ 0.00741 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рис. 4.15. Вікно вкладки *Show Parameters* параметрами ПІ-регулятора

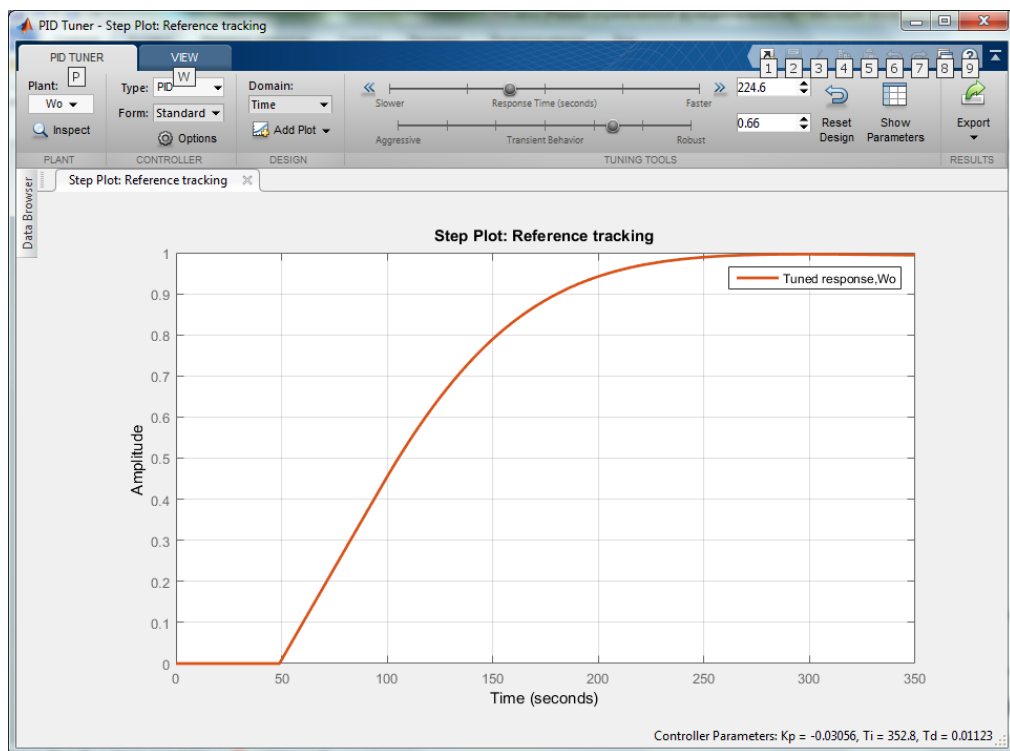


Рис. 4.16. Вікно редактора PID Tuner з налаштуванням ПІД-регулятора

Провівши аналіз інформації на рис.4.13., рис.4.15. та рис.4.17. можна зробити висновок, що використання ПІД регулятора з отриманими налаштуваннями є оптимальними оскільки час регулювання найменший і дорівнює 233 с, а перерегулювання 0%.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	-0.030562
Ti	352.7598
Td	0.011228
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	120 seconds
Settling time	233 seconds
Overshoot	0 %
Peak	0.996
Gain margin	11.1 dB @ 0.0322 rad/s
Phase margin	66 deg @ 0.00891 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рис. 4.17. Вікно вкладки *Show Parameters* параметрами ПД-регулятора

## 4.2. Статична оптимізація керування теплообмінника

На рис.4.18. зображено розрахункову схему теплообмінника, який підігріває етилен до заданої температури.

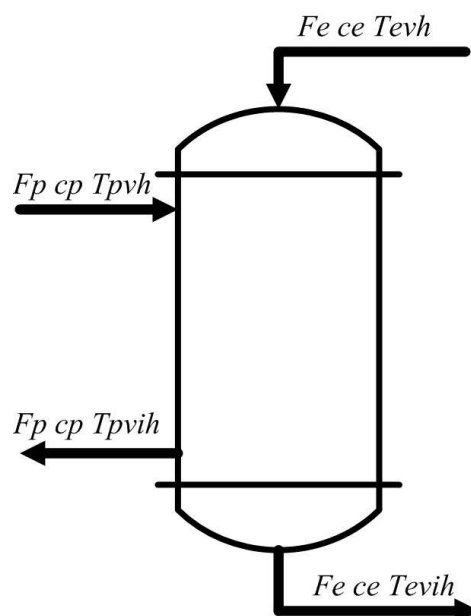


Рис. 4.18. Розрахункова схема теплообмінника для етилену

Даний об'єкт має наступні параметри:

$F_p$  ,  $F_e$  – витрата водяної пари та етилену на виході та вході в апарат;

$T_{evh}$  ,  $T_{evih}$  – температура етилену на вході та виході теплообмінника;

$T_{pvh}$  ,  $T_{pvih}$  – температура водяної пари на вході та виході теплообмінника;

$C_e$  ,  $C_p$  – теплоємність етилену та водяної пари;

На основі структурно-параметричної схеми, яку зображено на рис.3 можна зробити висновок, що керуючою дією може виступати витрата етилену чи водяної пари, а їх температури на вході являються збуреннями.

Оскільки не доцільно здійснювати керування об'єктом цільовим продуктом , то керуючою дією оберемо витрату водяної пари.

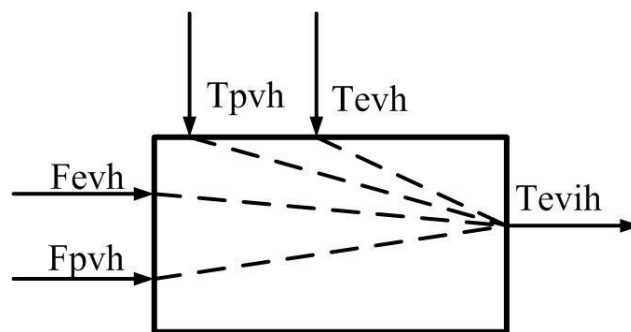


Рис. 4.19. Структурно-параметрична схема

При моделюванні статичного та динамічного режимів теплообмінника робимо такі припущення:

1. Втрати тепла в навколишнє середовище незначні, тому знехтуємо ними;
2. Акумуляцією тепла в стінках знехтуємо через невелику товщину стінок.
3. Зміну температури вважаємо лінійною на всьому проміжку, а процес зосереджений;
4. Витрата газів на вході і виході однакова.

Матеріальний баланс по етилену:

$$F_e \cdot C_e \cdot T_{evh} - F_e \cdot C_e \cdot T_{evih} + k \cdot S \left( \frac{T_{pvh} + T_{pvih}}{2} - T_{evih} \right) = 0 \quad (4.1)$$

Де  $S$  – площа поперечного перерізу ,  $K$ - коефіцієнт теплопередачі.

Тепловий баланс для водяної пари:

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$F_p \cdot C_p \cdot T_{pvh} - F_p \cdot C_p \cdot T_{pvih} - k \cdot S \left( \frac{T_{pvh} + T_{pvih}}{2} - T_{evih} \right) = 0 \quad (4.2)$$

Прирівняємо один тепловий баланс (4.1) до (4.2) та виразимо контрольований параметр:

$$T_{evih} = \frac{k \cdot S \cdot \left( \frac{T_{pvh} + T_{pvih}}{2} \right) + F_p \cdot C_p \cdot (T_{pvih} - T_{pvh}) + 2 \cdot F_e \cdot C_e \cdot T_{evh}}{F_e \cdot C_e + 2 \cdot k \cdot S} \quad (4.3)$$

Усі значення технологічних параметрів що використовуються при статичному моделюванні теплообмінника занесені до таб. 4.1.

Таблиця 4.1. – Значення технологічних параметрів статичного режиму для теплообмінника

Назва	Позначення	Числове значення	Розмірність
1	2	3	4
Температура етилену на вході	$T_{evh}$	374	К
Температура етилену на виході	$T_{evih}$	394	К
Температура водяної пари на вході	$T_{pvh}$	433	К
Температура водяної пари на виході	$T_{pvih}$	413	К
Витрата етилену	$F_e$	1	м <sup>3</sup> /с
Витрата водяної пари	$F_p$	4	м <sup>3</sup> /с
Теплоємність етилену	$C_e$	1528	Дж/(кг*К)
Теплоємність водяної пари	$C_p$	4158	Дж/(кг*К)
Коефіцієнт теплопередачі	$K$	101	Вт/(м <sup>2</sup> *К)
Площа поверхні теплообміну	$S$	90	м <sup>2</sup>

Оберемо критерій оптимальності.

Підтримання температури етилену на виході з теплообмінника – наша задача. Отже, витрата водяної пари (ВП) повинна бути включена до критерію оптимальності. Наша модель лінійна. Тоді візьмемо квадратичний критерій, який необхідно мінімізувати помноживши його на вагові коефіцієнти.

$$I=1/2 \cdot Q \cdot (T_{evih} - T_z)^2 + 1/2 \cdot F_p^2 \cdot R \quad (4.4)$$

Витрата водяної пари знаходиться в межах :

$$F_{p\_min} < F_p < F_{p\_max} \quad 0 < F_v < 5$$

Запишемо функцію Лагранжа:

$$L = 1/2 \cdot Q \cdot (T_{evih} - T_z)^2 + 1/2 F_p^2 \cdot R + \lambda_1 [F_e \cdot C_e \cdot T_{evh} - F_e \cdot C_e \cdot T_{evih} + k \cdot S \cdot (\frac{T_{pvh} + T_{pvih}}{2} - T_{evih})] + \lambda_2 [F_p \cdot C_p \cdot T_{pvh} - F_p \cdot C_p \cdot T_{pvih} - k \cdot S \cdot (\frac{T_{pvh} + T_{pvih}}{2} - T_{evih})] + R \cdot [1/(F_p - F_{p\_min}) + 1/(F_{p\_max} - F_p)] \quad (4.5)$$

Необхідні умови оптимальності:

$$\frac{\partial L}{\partial T_{evih}} = Q \cdot (T_{evih} - T_z) - \lambda_1 \cdot (F_s \cdot C_s + k \cdot S) + \lambda_2 \cdot k \cdot S$$

$$\frac{\partial L}{\partial T_{pvih}} = \lambda_1 \cdot K \cdot S \cdot 0.5 + \lambda_2 \cdot (-F_v \cdot C_v - k \cdot S \cdot 0.5)$$

Градiєнтна процедура:

$$\frac{\partial L}{\partial F_p} = F_p \cdot R + \lambda_2 \cdot (T_{pvh} \cdot C_p - T_{pvih} \cdot C_p) + R \cdot (-1/(F_p - F_{p\_min})^2 + 1/(F_{p\_max} - F_p)^2) \quad (4.6)$$

Оберемо метод оптимізації.

Запишемо алгоритм розрахунку з використанням градієнтного методу.

- 1) прирівняти керуючу дію  $F_p$  до константи (початкова витрата для розрахунку  $F_p = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ );
- 2) підставивши значення  $F_p$  в рівняння теплового балансу, отримати величину керованого параметра  $T_{evih}$ ;
- 3) підставити значення параметрів  $F_p$  та  $T_{evih}$  в рівняння (4.3) та в критерій оптимальності  $I$  (4.4), отримати значення  $\lambda_2$  та  $I$ ;

4) підставити усі отриманні значення в рівняння (4.5) та отримати  $\frac{\partial L}{\partial F_p}$ .

4) підставити  $\frac{\partial L}{\partial F_p}$  в рівняння (4.6) та отримати нове значення витрати;

5) повернутись до 2-го пункту;

6) провести стільки ітерацій, скільки потрібно для виходу залежності  $T=f(N)$  на пряму лінію (див. рис. 4.20.)

Програмно цей алгоритм реалізовується так :

Функція для обрахунку n-го кроку:

```
function [Tevih,I,Fp1] = optF(Fp)
close all;
k = 101;
S = 90;
Ce = 1528;
Cp = 4158;
Tevh = 100;
Tz = 120;
Tpvh = 160;
Tpvih = 140;
Fe = 1;
Fpmin = 0;
Fpmax = 5;
Q = 0.05;
R = 0.001;
R1 = 0.01;

Tevih = (Fp*Cp*(Tpvih-Tpvh) + 2*k*S*(Tpvih) + Fe*Ce*Tevh)/(Fe*Ce
+ 2*k*S);

I = (0.5 * Q *(Tz-Tevih)^2)+(0.5 * (Fp)^2 * R);

lm2 = Q*k*S*(Tz-Tevih)/(2*Fp*Cp*(Fe*Ce+k*S)+k*S*(Fe*Ce+k*S) -
(k*S)^2);

dLdF= Fp*R + lm2*Cp*(Tpvh - Tpvih) + R1*(1/(((Fpmax-Fp)^2))-
(1/((Fp-Fpmin)^2)));

Fp1 = Fp-0.2*dLdF;
end
```

Програмний модуль для обрахунку параметрів по ітераціям та побудови їх графіків:

```
close all;
Fp = 4.5;
for i=1:16;
[Tevih(i),I(i),Fp1(i)]=optF(Fp);
Fp=Fp1(i);
```

```

end;
plot(0:15,Fp1);
xlabel('N');
ylabel('Fp m^3/s');
legend('Fp=f(N) ');
figure;
plot(0:15,Tevih);
xlabel('N');
ylabel('T °C');
legend('T=f(N) ');
figure;
plot(0:15,I);
xlabel('N');
ylabel('I');
legend('I=f(N) ');

```

Результати роботи програми:

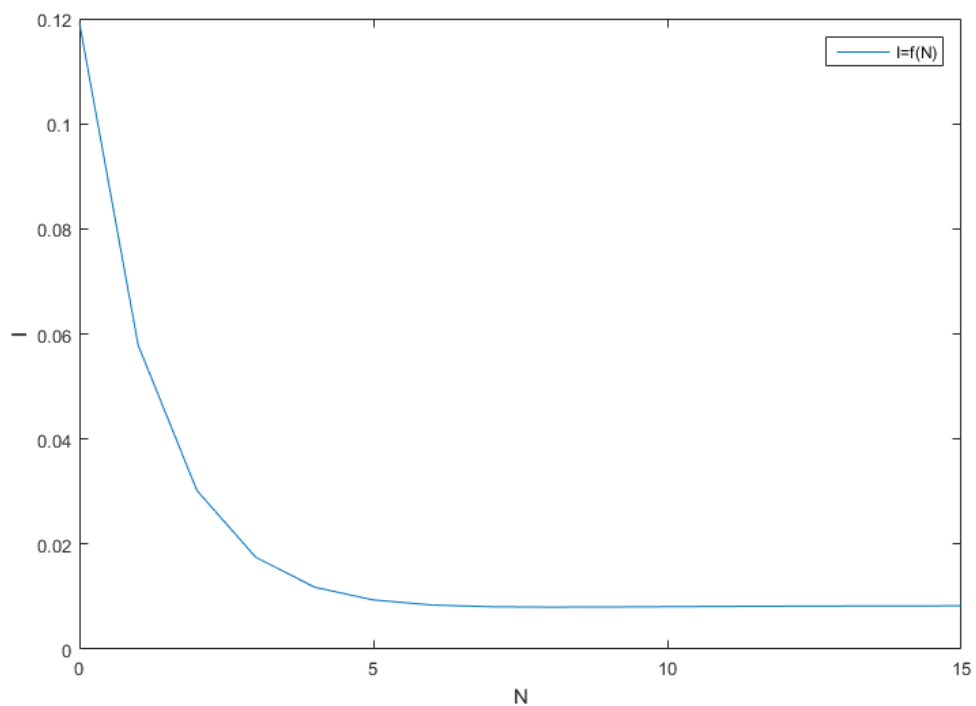


Рис. 4.20. Залежність критерію оптимальності від кроку

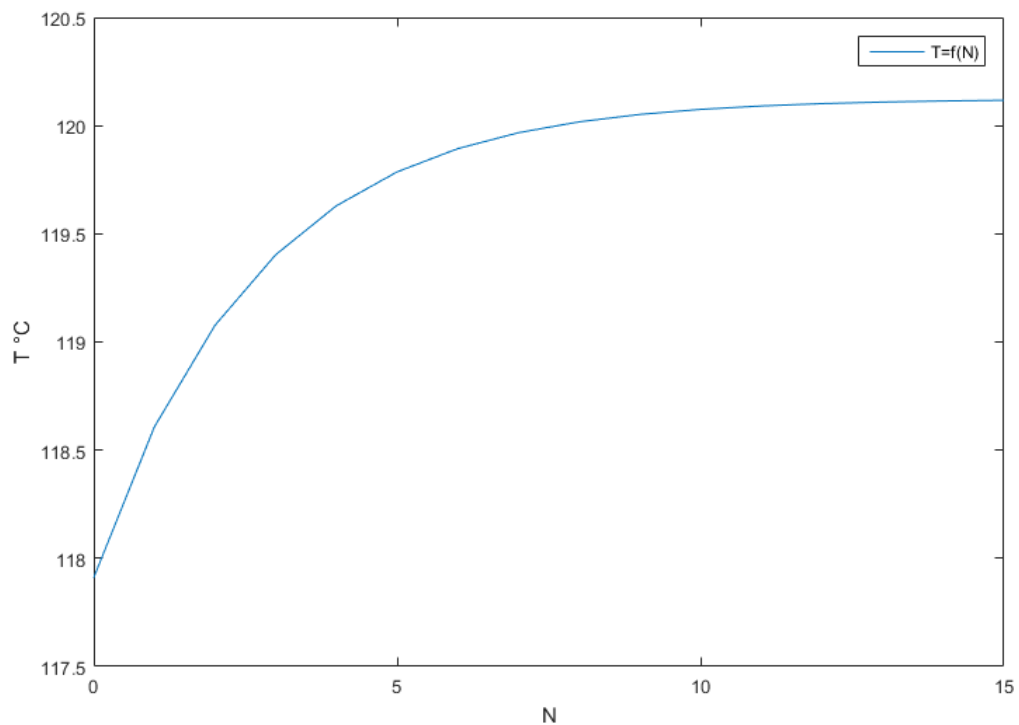


Рис. 4.21. Залежність температури етилену від кроку

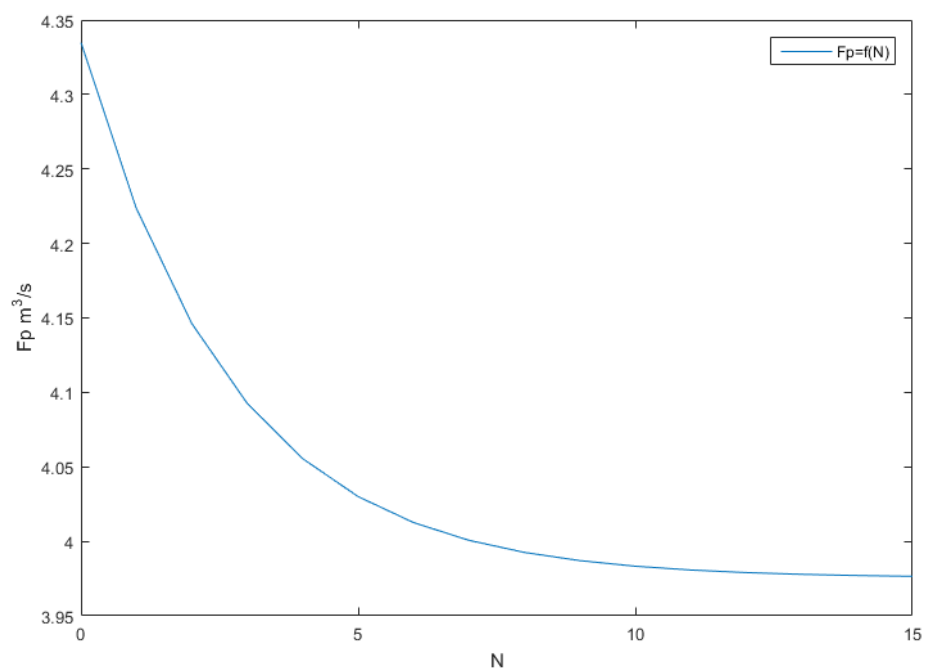


Рис. 4.22. Залежність витрати водяної пари від кроку

### 4.3. Застосування SCADA-системи для дослідження процесу теплообміну

На базі розрахункової моделі, яку зображено на рис.4.18. у програмному середовищі *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) було створену імітаційну модель реального апарату. На основі його теплових балансів

було виведено різницеві рівняння та записано у блок *Formula* у формі, яку зображено на рис.4.23.

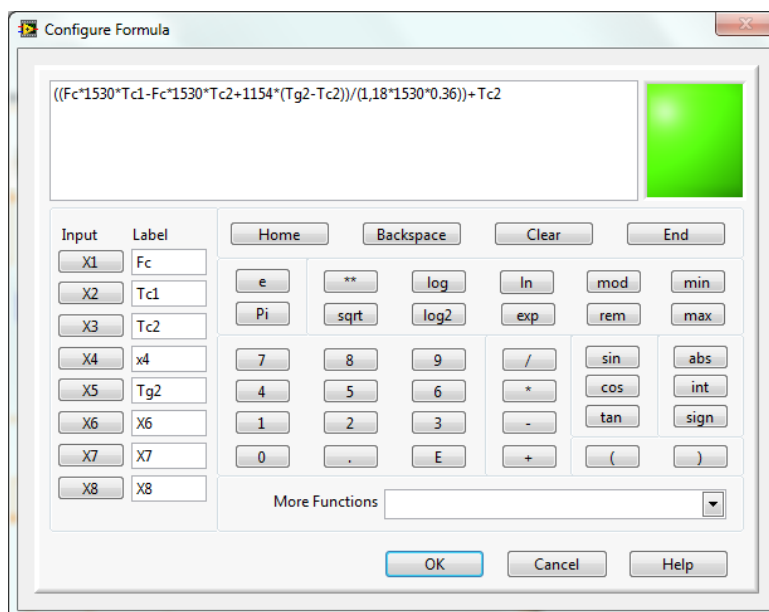


Рис. 4.23. Різницеве рівняння для температури етилену в апараті

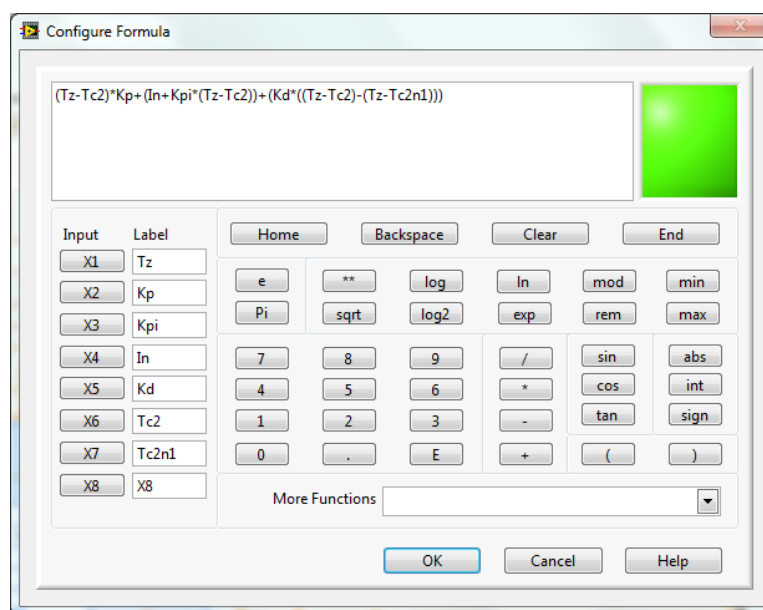


Рис. 4.24. ПІД-регулятор у формі різницевого рівняння

Для імітації системи управління апаратом було додано ПІД-регулятор форму запису якого зображено на рис.4.24.

Для зручності користування було розроблено інтерфейс рис.4.25. з можливістю налаштування регулятора методом перехідного режиму та блоком який відображає перехідну характеристику об'єкта керування.

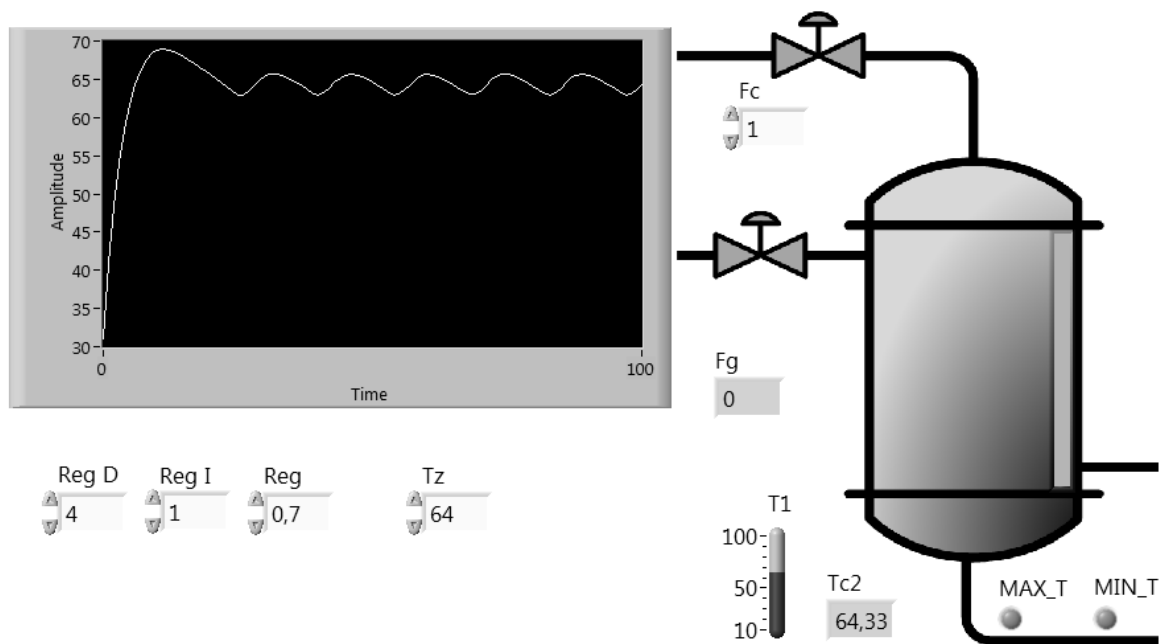


Рис.4.25. Робоче поле програми *LabVIEW* з імітацією об'єкта керування

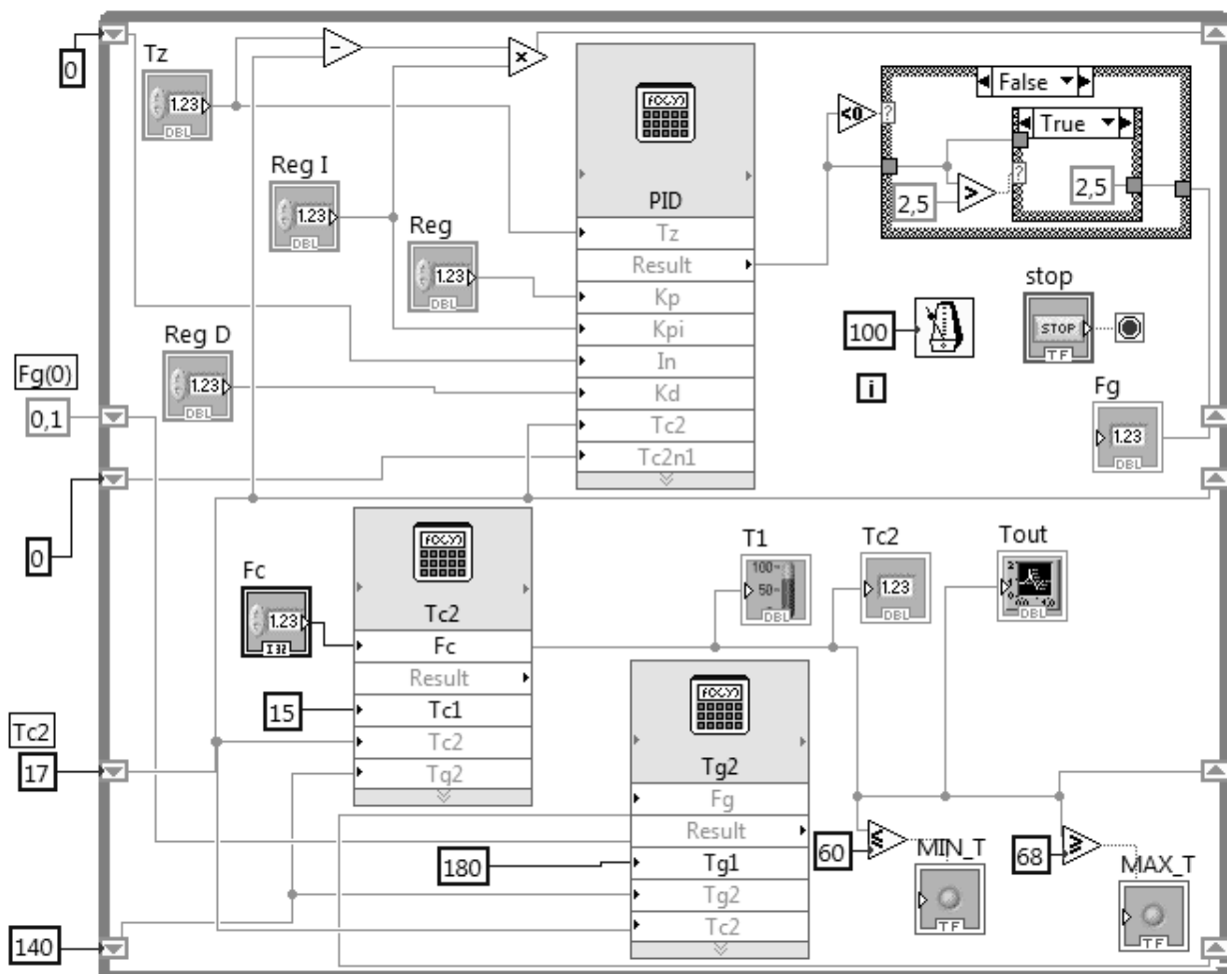


Рис.4.26. Структура блочної діаграми програмного модуля

На рис.4.26. зображено структуру блочної діаграми. На ній видно елементи що знаходяться за межами блоку-циклу і можуть бути приєднані через інтерфейс до фізичних датчиків, щоб обробляти реальні збурення та генерувати адаптивний керуючий вплив.

#### Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто синтез системи керування технологічного об'єкта холодильника-конденсатора. Було знайдено налаштування регуляторів за допомогою метода М-кола, програмного засобу *SISOTool* та *PID Tuner*. Останній із них виявився най ефективнішим оскільки ми змогли згенерувати найкращі налаштування регулятора виходячи з якісних характеристик отриманої замкнутої системи. Також ми дослідили метод статичної оптимізації теплообмінників та створили його SCADA-систему.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Цей розділ розроблено для дипломного проекту на тему: “Автоматизація хіміко-технологічного процесу виробництва етилового спирту з етилену”. При проектуванні було розроблено заходи, що забезпечують безпеку персоналу виробництва в процесі експлуатації приладів, засобів автоматизації, щитових пристроїв системи автоматики у відповідності до Державних актів, що забезпечують виконання Закону України «Про охорону праці».

В процесі синтезу сечовини маємо справу із парою, високою та низькою температурою і різноманітними хімічними речовинами, що являються відходами в процесі виробництва, установками, що працюють під тиском, кріогенним устаткуванням. Тому для забезпечення безпеки потрібно строго виконувати заданий режим, неперервно слідкувати за роботою апаратури, забороняється залишати її без нагляду.

Наприклад, перед початком роботи з компресором необхідно перевірити стан і надійність кріплення арматури, захисного заземлення, контрольно-вимірювальних і сигнальних приладів, а також наявність і справність пломб на запобіжних клапанах, манометрах та іншій апаратурі, яка має бути опломбованою.

Кожний запобіжний клапан компресорної установки має бути відрегульований і опломбований, мати пристрій для його примусового відкривання під час роботи, натяжні гайки пружинних запобіжних клапанів також мають бути опломбованими. Вантаж важільних запобіжних клапанів після регулювання закріплюють, закривають металевими, кожухами і опломбовують. До подачі повітря у циліндри компресора, його необхідно очистити від пилу, бризок масла, водяної пари і інших забруднень. Захистом від статичного струму передбачено влаштування заземлення.

Небезпеку аварії на трубопроводі можуть спричинити гідравлічні удари, які відбуваються внаслідок конденсації насиченої пари і скупчення води в паропроводі при його прогріванні перед початком роботи.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Для запобігання гідравлічних ударів у паропроводах влаштовують дренажні пристрої, які являють собою відвідні лінії з вентилями і відкритими лійками.

Кріогенні речовини в холодильнику та інших установках чинять шкідливу дію на організм людини, особливо на очі і шкіру, яка стає крихкою (ламкою) подібною до опіків. Холодні гази можуть не пошкоджувати тканин тіла, але при сильній турбулентності вони відбирають тепло у більшій кількості, ніж організм може його відновити. Тому при експлуатації кріогенних установок персонал, що обслуговує кріогенні системи, має працювати у відповідному спецодязі, рукавицях і протигазах. Відкривати фреонові апарати дозволяється тільки у захисних окулярах, а аміачні — у протигазах і гумових рукавицях, після того як тиск у системі зрівняється з атмосферним і залишиться постійним не менше 30 хв. Персонал має бути ознайомлений з правилами пожежної безпеки, що охоплюють як нормальний хід експлуатації, так і можливі аварійні ситуації.

В газгольдері зберігається діоксид вуглецю, або вуглекислий газ, який представляє небезпеку для здоров'я та життя людини. Цей газ не підтримує горіння і дихання. Токсична дія вуглекислого газу виявляється при його вмісті в повітрі 3-4% і полягає в подразненні дихальних шляхів, запамороченні, головному болю, шумі у вухах, психічному збудженні, непритомному стані.

При роботі використовують захисні засоби: захисні окуляри, гумові рукавички, прорезинений хімічностійкий одяг, маски та фільтруючі респіратори.

В процесі роботи у виробничій зоні на персонал також можуть впливати такі шкідливі фактори, як шум, вібрація, пожежо- та вибухонебезпека, електробезпека.

При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Площа операторської 9 м<sup>2</sup>, висота 3 м, в ній працює 3 оператора.

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- шум;

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

- повітря робочої зони;
- освітлення;
- електробезпека;
- пожежна безпека.

### 5.1. Виробничий шум

Шум один з основних факторів, що негативно впливає на людей у сучасних містах і на виробництві. Збільшення потужності устаткування, насиченість виробництва високошвидкісними механізмами, різке збільшення транспортного потоку приводить до збільшення рівня шуму як у побуті так і на виробництві.

Шкідливий вплив шуму на організм людини досить різноманітний.

Працюючі в умовах тривалого шумового впливу випробують зниження пам'яті, запаморочення, підвищену стомлюваність, дратівливість і ін. До об'єктивних симптомів шумової хвороби відносяться: зниження слухової чутливості, зміна функцій травлення, що виражається в порушенні кислотно-лужного балансу у шлунку, серцево-судинна недостатність, нейроендокриновий розлад.

У процесі синтезу сечовини головними джерелами шуму й вібрації можуть бути вентилятори, електродвигуни, відцентрові насоси, центрифуга, посудини, що працюють під тиском.

Одними з джерел шуму є вентилятори і насоси, гучність роботи яких сягає 80-100 дБА. Тривалий вплив інтенсивного шуму (вище 80 дБА) на слух приводить до його часткової або повної втрати. Відповідно до ДСН 3.3.6037-99, для налагодження, ця гучність не повинна перевищувати 80 дБ, тому приймаються наступні заходи для її зниження. Оскільки шум від вентиляційного агрегату поширюється через повітряне середовище, по будівельних конструкціях і через стінки повітропроводів, боротьба з шумом може здійснюватися, методом зниження початкової гучності вентиляційного агрегату і насосів, ізоляцією агрегатів за допомогою віброзахисних елементів. Амортизатори вібрацій виготовляють зі сталевих пружин чи гумових прокладок. Фундаменти під відцентрові насоси ізолюють аз-

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

бестом, для зменшення вібрації. Застосовують також звукопоглинаючі матеріали, такі як скловолокно, поролон для повітропроводів і обличкування вентиляційних систем.

До організаційних заходів відносять раціональне розташування виробничих ділянок, устаткування та робочих місць, постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників, обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму, використовують легкі противошумні вкладки, що вставляються у вуха. Для захисту від вібрації, переданої людині через ноги, використовується взуття на товстій гумовій підшві.

В результаті, відповідно до ДСН 3.3.6037-99, для персоналу забезпечується гучність 50-60 дБА.

## 5.2 Повітря робочої зони

Речовини що являються відходами в процесі синтезу сечовини є в тій чи іншій мірі *шкідливими (або виробничими отрутами)*.

Патологічні процеси, що розвиваються під дією виробничих отрут, спричиняють в організмі людини до порушення функціонального і структурного стану, необхідного для його нормальної життєдіяльності.

Характер і ступінь таких змін під дією отрути обумовлений їх концентрацією (дозою), часом дії і періодом виведення (елюмінації) з організму. Токсичний ефект хімічних речовин залежить від індивідуальних властивостей особистості, що визначається станом здоров'я людини.

Промислові отрути можуть чинити на організм людини як місцеву, так і загальну дію.

*Гігієнічне нормування* шкідливих речовин проводять по гранично допустимих концентраціях (ГДК, мг/м<sup>3</sup>) у відповідності з нормативними документами: для робочих місць визначається гранично допустима концентрація в робочій зоні – ГДК<sub>рз</sub>. Гігієнічне нормування вимагає, щоб фактична концентрація забруднюючої речовини не перевищувала ГДК ( $C_{\text{факт}} \leq 1$ ).

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

*ГДКрз* – це максимальна концентрація, що при щоденній (крім вихідних днів) роботі у продовження 8 год чи при іншій тривалості, але не більш 41 год у тиждень, протягом усього стажу (25 років) не може викликати захворювань чи відхилень стану здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи чи у віддалений період життя сучасного і наступних поколінь.

Для запобігання професійним отруєнням служать технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи та засоби. Радикальним способом захисту є заміна отруйних неотруйними або менш токсичними речовинами, дотримання правил безпеки і виробничої санітарії, введення нових технологій, санітарно-гігієнічна експертиза хімічних речовин, їх гігієнічна стандартизація, комплексна механізація та автоматизація виробничих процесів.

Ефективним заходом профілактики на виробництвах, де використовують високо-отруйні речовини, є впровадження дистанційного управління або безперервності технологічних процесів, за рахунок яких усувається порушення герметичності обладнання.

Суттєво впливають на рівень професійної токсикології санітарно-гігієнічні засоби: обладнання ефективної природної та штучної припливно-витяжної вентиляції, а в разі потреби - аварійної механічної вентиляції, розробка і впровадження систем кондиціонування повітря з використанням автоматичної і контрольовимірювальної апаратури, яка сигналізує про наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

До лікувально-профілактичних заходів належить обов'язкова реєстрація всіх випадків професійних отруєнь та їх розслідування з метою виявлення та усунення їх причин. Обов'язкові попередні й наступні медичні огляди, результати яких є підставою для розробки відповідних заходів запобігання та переведення працівників на іншу роботу і спеціального лікування.

Серед організаційних заходів законодавчо передбачена скорочена тривалість робочого дня, додаткові відпустки, безплатне спеціальне й лікувально-

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

профілактичне харчування, підвищений рівень заробітної плати, скорочений термін виходу на пенсію.

За станом повітря виробничої зони необхідно здійснювати систематичний контроль з метою порівняння його з гігієнічними нормативами. Крім наведеного роботодавець має забезпечувати всіх працюючих ЗІЗ органів дихання, спеціальним одягом, спеціальним взуттям, засобами захисту рук, обличчя, очей.

Для очищення робочого середовища від шкідливих речовин що можуть у нього потрапляти, а також для подачі свіжого повітря використовується *припливно-витяжна вентиляція*.

*Засоби індивідуального захисту* є допоміжною мірою захисту працівників цеху від шкідливої дії професійних факторів. Для захисту дихальних шляхів використовують *протигази ИП-4М*. Для захисту очей використовуються *захисні окуляри*.

До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць ставляться освітлювальні прилади, світлові прорізи.

Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки.

Опалення виробничих приміщень – повітряне, сполучене із приточною вентиляцією.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- 1) температура повітря;
- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості.

- Температура повітря, °С

Перехідний та холодний період року – 18-24 °С.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Теплий період року – 19-28 °С.

Фактичні метеорологічні умови – 21-24 °С.

- Відносна вологість повітря, %

Холодний період року – 45-65 %.

Теплий період року – 40-75 %.

Фактичні метеорологічні умови – 35-60 %.

- Швидкість руху повітря, м/с

Холодний період року – 0,15 м/с.

Теплий період року – 0,25 м/с.

Фактичні метеорологічні умови – 0,08м/с.

### 5.3 Виробниче освітлення

У денний час в операторській передбачене денне освітлення згідно ДНБ В 25.28-2006. Роботи, виконувані в операторській, пов'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

У приміщенні КВП (контроль вимірювальних пристроїв) маютья вікна розміром 3300х2300 мм. Вони забезпечують значення коефіцієнта природного освітлення 8 - 10 %.

Коефіцієнт природного освітлення для даного розряду робіт при верхньому і комбінованому освітленні складає 8 %. Отже, фактичне значення КПО відповідає нормам.

У темний час доби використовують штучне висвітлення. По ДНБ В 25.28-2006 освітленість відповідна III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути  $E_n=250$  Лк,  $F_n=2800$  Лм світловий потік світлодіодних ламп;

Приймемо лампи типу AL509.

Поставимо 9 світильників, що забезпечать освітленість приміщення для даного розряду зорових робіт відповідно до ДНБ В 25.28-2006.

При цьому  $E_{факт}=275$  Лк.  $E_{нор}=250$  Лк.

Освітленість приміщення відповідає нормам.

### 5.4 Електробезпека

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Відповідно до правил улаштування електроустановок цех виробництва за небезпекою електротравм відноситься до приміщення *без підвищеної небезпеки*.

В приміщенні застосовується *трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю*. У цьому випадку захисне заземлення не є досить надійним захистом щодо профілактики електротравм. Більш ефективним засобом попередження електротравм при замиканні на корпус у даному випадку вважається *занулення* – навмисне електричне з'єднання неструмовідних елементів електроустановки, які можуть опинитися під напругою в результаті замикання на корпус, з нульовим проводом.

*Система технічних засобів і заходів з електробезпеки.*

Основні технічні засоби і заходи що застосовуються для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок в цеху включають:

- *ізоляція струмовідних частин* - забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;
- *недоступність струмовідних частин* – застосовуються захисні огороження, закриті комутаційні апарати, неізольовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;
- *блоківки безпеки* - унеможливлюють доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;
- *засоби орієнтації в електроустановках* - дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

### *Система електрозахисних засобів.*

Основні електрозахисні засоби для роботи з електричним обладнанням в цеху:

- ізолювальні штанги;
- ізолювальні кліщі;
- електровимірювальні кліщі;
- показчики напруги;
- діелектричні рукавички;
- інструмент з ізолювальним покриттям;
- діелектричне взуття;
- сигналізатори напруги;
- захисні огороження (щити, ширми);
- переносні заземлення;

### **5.5 Пожежна безпека**

Так як в процесі виробництва етилового спирту з етилену приймають участь вибухонебезпечні речовини (суміш повітря і етилену, етанол), то дане виробництво відноситься до категорії А (вибухо-пожежонебезпечне). Клас вибухонебезпечної зони – 2 (відповідно до ПУЕ).

Виходячи з категорії пожежної безпеки виробництва (категорія А) визначаємо потрібну ступінь вогнестійкості будівлі – клас 2.

На основі вибраної ступені вогнестійкості обираємо найменшу допустиму межу вогнебезпечності основних будівельних конструкцій.

Протипожежні перегородки виконуються з матеріалів, що не горять і мають спиратися на фундаменти, встановлюватися на всю висоту цеху. В залежності від категорії пожежної безпеки та ступені вогнестійкості будівлі (А) визначаємо максимально допустиму відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого експлуатаційного виходу для об'єму приміщення 32400 м<sup>3</sup> – при густині людського потоку в спільному проході до 1 чол/м – найбільш допустима відстань 40 метрів. Кількість евакуаційних виходів – 2. Ширину тамбурів евакуа-

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ційних виходів слід приймати більшу, ніж ширина дверних проходів на 0.5(по 0.25м з кожного боку): ширина дверей найменша – 0.8м, найбільша – 2.4м.

Вибираємо тип та кількість первинних засобів пожежогасіння: На 400-500м вуглекислотних вогнегасників – 2 (типу ручних: ОУ-8), пінні, хімічні, повітряно-пінні та рідкісні вогнегасники - 4шт; бочка з водою та відро, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала. Також повинні бути передбачені вогнегасник – ОВПУ-250 з установкою в місцях роз положення ємностей та апаратів з ЛЗР, також передбачені щити з протипожежним інвентарем. Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент фарбується в чорний колір. Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлюються у виробничому приміщенні. Такі бочки повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8л. Ящики з піском місткістю 0,5, 1,0 та 3,0 м<sup>3</sup> та повинні бути укомплектовані совковою лопатою. Протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубо бавовняної тканини повинні мати не менш як 2х1м та 2х2 м. Передбачена система виявлення пожежі та її гасіння. Система виявлення пожежі забезпечує відключення системи живлення та кондиціонування повітря.

Системи звукової та візуальної сигналізації забезпечують негайне оповіщення основного персоналу. По попередженню вибухів передбачене герметичне устаткування, автоматичні локальні засоби пожежогасіння. Приміщення відділені від цеху незгораючими перегородками з межею вогнестійкості 0.75 годин.

## 5.6 Заходи щодо захисту працівників від травмування

Працівники отримують захисний одяг – індивідуальний спецодяг – від впливу аміачних продуктів, газів, високих та низьких температур:

- бавовняні костюми ;
- рукавиці спеціальні , гумові технічні рукавички ;
- захисні окуляри ;

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

- захисні каски ;
- захисні щитки лицьові ;
- гумові чоботи, черевики МБС, підбиті цвяхами, що не дають іскри.

Знаходження обслуговуючого персоналу на робочому місці без спецодягу заборонено.

Весь обслуговуючий персонал установки зобов'язаний мати на робочому місці фільтруючі протигази марки "БКФ" захищаючі органи дихання від парів вуглеводнів і кислих газів, "КД", що захищає від сірководню.

Індивідуальні фільтруючі протигази зберігаються в спеціальних шафах з комірками. Передача протигазу однією особою іншій забороняється.

На установці є шлангові протигази марок ПШ-1 або ПШ-2, які застосовуються при вмісті кисню в повітрі менш 18% об. і вмісті шкідливих парів і газів більше 0,5% об., при роботі всередині апаратів, ємностей, а також у колодязях, лотках і інших заглиблених місцях.

Крім індивідуальних протигазів на установці в спеціальній опломбованій шафі зберігається аварійний комплект газорятівних засобів захисту: фільтруючі протигази, шлангові протигази. Аварійний запас протигазів береться з розрахунку найбільшої кількості людей, що працюють у зміні.

До засобів захисту від високих температур ставляться огорожувальні пристрої, термоізоляційне покриття, пристрої автоматичного контролю, сигналізації й дистанційного керування.

До засобів захисту від впливу хімічних факторів ставляться пристрої огорожувальні, герметизуючі, дистанційного керування, знаки безпеки.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті бакалавра було виконано аналіз хіміко-технологічної системим, висначена структура системи автоматизації, розроблена функціональна схема автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва етилового спирту з етилену. Також для даного процесу була розроблена принципова електрична схема і монтажно-комутаційна схема. В дипломі було розраховано витратомір змінного перепаду тиску для водного середовища. Для холодильника-конденсатора була розроблена математична модель, як об'єкта керування. Показані входи і виходи в апарат, класифікація об'єкта, і побудова статичної на динамічної характеристик апарату, розрахунок транспортного запізнення. Був проведений синтез системи керування холодильником конденматором методом М-кола та програмними модулями *MatLab SISOTool* та *PID Tuner*. Також було проведено оптимальне керування теплообмінником та розроблена SCADA-система для нього. В сукупності проведені дослідження та розробки підвищать економічні та якісні показники виробництва.

Надано рекомендації з охорони праці у хіміко-технологічній системі виробництва етилового спирту з етилену, що відповідають чинному законодавству України.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

### Список використаної літератури

1. Етанол [Електронний ресурс] // wikipedia. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Етанол>.
2. Кодекс Алиментариус [Електронний ресурс] // wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кодекс\\_Алиментариус](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кодекс_Алиментариус).
3. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза / Илья Исаевич Юкельсон. – Москва: ГХИ, 1959. – 528 с.
4. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови. — Київ: Держспоживстандарт, 2003. — 9 с
5. «Хімічна енциклопедія», т.1, М.: Хімія, 1987р - 566с.
6. «Хімічна енциклопедія», т.2, М.: Хімія, 1987р - 540с.
7. Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 416 с
8. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 690 с
9. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні 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.
10. И.А. Елизаров, Ю.Ф.Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, С.В. Фролов. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебное пособие. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004г. 180с.
11. Несмеянов А. Н., Несмеянов Н.А. «Почала органічної хімії», т.2, М.: Хімія, 1969 - 826 с.
12. Лебедев М.М. «Теорія хімічних процесів основного органічного і нафтохімічного синтезу». М.: Хімія, 1988 - 588 с.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

13. Несмеянов А. Н., Несмеянов Н.А. «Почала органічної хімії», т.1, М.: Хімія, 1969 - 668с.
14. Степанов А.В. «Виробництво етилену» Київ, видавництво «Наукова думка» 1973р. - 400с.
15. Л.Р. Ладієва. Оптимізація технологічних процесів.: Навчальний посібник.- К.: НМЦВО, 2003. – 209 С.

					ДП ЛА52.13.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

# Специфікація устаткування, виробів та матеріалів

Додаток 1

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	Кількість, од.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Устаткування та прилади</b>								
1А	Тиск	Гідрататор, пари	8 МПа	Гідрататор	Манометр з мембраною ОВЕН ПД100 діапазон вимірювання 16 кПа – 25 МПа, класом точності 1.6., вхідний сигнал: 4...20 мА	ПД100	ВО «ОВЕН», м. Харків	4
5А		Трубопровід, рекупераційний етилен		Трубопровід				
6А		Трубопровід, етилен		Трубопровід				
9А		Сепаратор, розчин спирту		Сепаратор				
12А		Трубопровід, луг		Трубопровід				
1Б	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Індикатор технологічний мікропроцесорний одно канальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; допустима зведена похибка 0.2%, RS-232/485	ІТМ-20У	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м.Івано-Франківськ	4
5Б								
6Б								
9Б								
12Б								
2А	Температура	Трубопровід,	300°С	Трубопровід	Термоперетворювач, типу ТХАУ,	ТХАУ–	НВО «Електротех-	7

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

88

		суміш водяної пари та етилену			діапазон вимірювання, 0...400°C, основна похибка 1,0 %, $U_{\text{жив}} = 12 - 36 \text{ В}$ , $P = 25 \text{ Мпа}$ , $L = 400 \text{ мм}$ , $I_{\text{вих}} = 4...20 \text{ мА}$	0289	рмія», м. Луцьк	
3А		Трубопровід, етилен	230°C	Трубопровід				
4А		Трубопровід, етилен	80°C	Трубопровід				
10А		Трубопровід, спирт сирець	80°C	Трубопровід				
13А		Трубопровід, кубова рідина	125°C	Трубопровід				
14А		Трубопровід, кубова рідина	130°C	Трубопровід				
20А		Трубопровід, етанол	50°C	Трубопровід				
22А		Трубопровід, етанол	25°C	Трубопровід				
2Б	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний, з вмонтованою сигналізацією, вторинний прилад, $I_{\text{вх}} = 0...5 \text{ мА}$ , $4...20 \text{ мА}$ , НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК–250	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ	7
3Б								
4Б								
10Б								
13Б								
14Б								
20Б								
22Б								
2В	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Мікропроцесорний багатоканальний регулятор	МІК-121	Підприємство «МІКРОЛ», м.	7

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

89

10В					вихідний сигнал $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ $U_{\text{вих}} = 24 \text{ В}$		Івано-Франківськ	
14В								
20В								
2Г	— " —	Трубопровід, водяна пара та етилен	— " —	Місцевий	Клапан регулюючий електронний, нормально закритий з опозиціонером, вх.сигнал $0 \dots 5 \text{ мА}$ , $4 \dots 20 \text{ мА}$ , типу KROHNE	FD 500 4/20	М. Київ, вул. М.Расковой 15 КСК Аавтоматизація	7
3В		Трубопровід, етилен						
4В		Трубопровід, продукти синтезу						
10Г		Трубопровід, водний розчин спирту						
13В		Трубопровід, пара						
14Г		Трубопровід, пара						
20Г		Трубопровід, вода						
22В		Трубопровід, вода						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

90

7А	Концентрація	Трубопровід, етанол	___ " ___	Трубопровід	Газоаналізатор ДГС ЕРИС-210 з пристроєм сигналізації; діапазон вимірювання 0...10, 0...100, 0...1000 мСм/см; температура робочого середовища -60...150 °С, тиск до 10 МПа, вихідні сигнали: аналогові – 0...5 мА або 4...20 мА; дискретні; цифрові – інтерфейс RS-484, RS-232, Ethernet; радіоканал	ДГС ЕРИС-210	ГК "ЭРИС м. Чайковсь кий	1
7Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одно канальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; допустима зведена похибка 0.2%, RS-232/485	ІТМ-20У	ВАТ «Підприємство "МІКРОЛ"», м. Івано-Франківськ	1
8А	Концентрація	Трубопровід, кислота	___ " ___	Трубопровід	Первинний перетворювач кондуктометричного аналізатора рідини АЖК-1 з пристроєм сигналізації; діапазон вимірювання 0...10, 0...100, 0...1000 мСм/см; температура робочого середовища 0...100 °С, тиск до 1 МПа, термокомпенсація забезпечується у межах ±15 °С; $I_{\text{вих}} = 0...5$ і $4...20$ мА	АЖК- 3101.1	НВО «Автоматика», м. Володимир	1
8Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини кондуктометричного	АЖК- 3101.2	НВО «Автоматика», м. Володимир	1

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

91

					АЖК-1; граничнодопустима осн. зведена похибка аналізаторів питомої електропровідності – до 2 %, аналізаторів концентрації – до 5 %; додаткова похибка не перевищує 0,5 граничнодопустимої основної; оснащений пристроєм сигналізації			
21А	Концентрація етанолу	Трубопровід, етанол	___ " ___	Трубопровід	Аналізатор складу (етиловий спирт, вода, диетиловий ефір, ацетальдегід, вищі спирти в складі, що визначає замовник), діапазон вимірювання від 0 до 100 % Вихідний сигнал 4-20 мА.	Анализ-3 0107	ТОВ «Енергометрика», м. Москва	1
21Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад, $I_{вх}=0...5$ мА, $4...20$ мА,	ДИСК-250	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	1
20В	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Мікропроцесорний багатоканальний регулятор вихідний сигнал $I_{вих}=0...5$ мА $U_{вих}=24$ В	МІК-121	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1
21В	___ " ___	Трубопровід, етанол	___ " ___	Місцевий	Клапан регулюючий електронний, нормально закритий з опозиціонером, вх.сигнал $0...5$ мА, $4...20$ мА , типу KROHNE	FD 500 4/20	М. Київ, вул. М.Расковой 15 КСК Аавтоматизація	2
21Г		Трубопровід, етанол						
11А	Рівень	Збірник лугу, луг	___ " ___	Збірник лугу	Рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем, $L_{max}=0,02...16$ м, $p_{доп}=4$ МПа, температура $(-50)...50$ °С, відносна	УБ-ПА	ВО «Теплоприбор», м. Рязань	1

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

92

					вологість 98–100 % (при 35 °С), $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100 \text{ кПа}$ (рівнемір має електрич. вих. сигнал: $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ )			
11Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний, з вмонтованою сигналізацією, вторинний прилад, $I_{\text{вх}} = 0 \dots 5 \text{ мА},$ $4 \dots 20 \text{ мА},$ НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК–250	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ	1
10В	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Мікропроцесорний багатоканальний регулятор вихідний сигнал $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ $U_{\text{вих}} = 24 \text{ В}$	МІК-121	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1
11В	___ " ___	Трубопровід	___ " ___	Місцевий	Клапан регулюючий електронний, нормально закритий з опозиціонером, вх.сигнал $0 \dots 5 \text{ мА}, 4 \dots 20 \text{ мА}$ , типу KROHNE	FD 500 4/20	М. Київ, вул. М.Расковой 15 КСК Аавтоматизація	1
15А	Рівень	Відпарна колона, кубова рідина	___ " ___	Відпарна колона	Байпасний індикатор рівня. Діапазон 150-25000 мм, точність 0,1% Робоча температура вимірюваного середовища від -160 до 400 °С Тиск до 40 мПа Щільність мінімальна 350-2000 Температура навколишнього середовища -60 до 180 °С, вх.сигнал $0 \dots 5 \text{ мА}, 4 \dots 20 \text{ мА}$	УП ЭРИС-630	ГК "ЭРИС м.Чайковский	2
17А		Ректифікаційна колона, кубова рідина		Ректифікаційна колона				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

93

15Б	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний, з вмонтованою сигналізацією, вторинний прилад, $I_{вх} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ , $4 \dots 20 \text{ мА}$ , НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК–250	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ	2
17Б								
14В	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Мікропроцесорний багатоканальний регулятор вихідний сигнал $I_{вих} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ $U_{вих} = 24 \text{ В}$	МІК-121	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	2
15В	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Клапан регулюючий електронний, нормально закритий з опозиціонером, вх.сигнал $0 \dots 5 \text{ мА}$ , $4 \dots 20 \text{ мА}$ , типу KROHNE	FD 500 4/20	М. Київ, вул. М.Расковой 15 КСК Аавтоматизація	2
17В								
16А	Витрата	Трубопровід, пари та етанол	0...1 МПа	Трубопровід	Вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків <sup>і</sup> , $\Delta P_{\max} = 1,6 \text{ МПа}$ , температура $5 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , матеріал мембрани – сплав 06ХН28МДТ; клас точності 1; $I_{вих} = 4 \dots 20 \text{ мА}$	САФІР-М, мод.2460	ЗАТ «Манометр», м. Харків	2
18А								
16Б	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний, з вмонтованою сигналізацією, вторинний прилад, $I_{вх} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ , $4 \dots 20 \text{ мА}$ , НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК–250	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ	2
18Б								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

94

19А	Витрата	Трубопровід, вода	___ " ___	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа, внутрішній діаметр трубопроводів 39 мм	ДКС 0,6–100	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	1
19Б	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення, $P_{\text{доп.}} = 2,5$ МПа, Гранично допустима похибка $\pm 0,25$ %, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА	Сапфір 22ДД 2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	1
19В	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад, $I_{\text{вх}} = 0 \dots 5$ мА, $4 \dots 20$ мА,	ДИСК-250	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	1
<b>Електроапарати</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
SB1				Щит керування	Кнопковий пост керування	КУ-92-1EXD11В Т5	Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	6
SB2								
SB3								
SB4								
SB5								
SB6								
МП1		Насос		Місцевий	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР–3А	ВО «Електроприбор», м.Чебоксари	3
МП2								
МП3								
SA1				Місцевий	Кнопка запобіжного відмикання	КМЕ-5111У	-	3
SA2								
SA3								
HL1... HL16				Щит керування	Лампа електрична сигнальна	ЛС–151	Трест «Променергоавтоматика», м. Київ	16

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.13.000.000.ПЗ

Арк.

95