

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -23.00.00.000 ПЗ

група АКП -21-1

Роман Хомин

2025

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

Хомин Роман Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:662.749
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу

(назва роботи)

оксиетилірування алкілфенолів

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

доцент О. В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1 Р. М. Хомин
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент Л.Я. Чигур
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент В.С. Борин
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідуючий кафедри

доцент А. І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

«___» _____ 20__ року

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

Хомину Роману Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу оксиетилірування алкілфенолів

керівник роботи Борин Василь Степанович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 7 » травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів як об'єкта автоматизації. 2 Огляд наявних технологій управління об'єктом та чітке визначення завдання для дипломного проекту. 3 Математичний опис об'єкта керування. 4 Дослідження та синтез системи керування об'єктом. 5. Проектна документація.

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-23.00.00.001

Лист 2 - Результати аналізу одноконтурної АСК - БР.АКП-23.00.00.002

Лист 3 - Результати аналізу каскадної АСК - БР.АКП-23.00.00.003

Лист 4 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКП-23.00.00.004

Лист 5 - Структурна схема РСУ CENTUM CS 3000- БР.АКП-23.00.00.005

Лист 6 - Схема процесорної плати управління - БР.АКП-23.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 61 сторінки, 19 рисунків, 14 таблиця, 14 джерел.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу оксиетилірування алкілфенолів».

Об'єкт дослідження: процес оксиетилірування алкілфенолів.

Метою роботи є удосконалення системи автоматизації процесу оксиетилірування алкілфенолів.

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

Результати бакалаврської роботи.

Розроблено систему автоматизації установки для оксиетилування алкілфенолів. Управління реалізовано на основі розподіленої системи CENTUM CS 3000, яка підтримує локальне, багатозв'язне та каскадне регулювання. Застосовано сучасні засоби автоматизації від компаній Fisher-Rosemount і Yokogawa, що забезпечують надійний обмін сигналами з системою керування.

Проведено аналіз технологічної схеми та обладнання (випарник, реактори, сепаратор), визначено основні параметри контролю. Виконано математичне моделювання об'єкта керування, побудовано передавальні функції каналів та обґрунтовано вибір регуляторів. Доведено, що каскадна система регулювання забезпечує кращу якість керування порівняно з одноконтурною.

Розроблено функціональну та структурну схеми автоматизації, схему зовнішніх з'єднань, а також описано побудову процесорної плати системи LFCS, що забезпечує надійне та безперервне функціонування системи керування.

Ключові слова: система управління, канал регулювання, технічні засоби, оксиетилування алкілфенолів.

ABSTRACT

Bachelor's Thesis Includes: 61 pages, 19 figures, 14 tables, 14 references.

Topic: "Improvement of the automation system of the technological process of oxyethylation of alkylphenols".

Object of Study: The process of alkylphenol oxyethylation.

Purpose of the Thesis: To improve the automation system of the alkylphenol oxyethylation process.

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

Results of the Bachelor's Thesis: An automation system for an alkylphenol oxyethylation unit has been developed. Control is implemented using the distributed control system CENTUM CS 3000, which supports local, multivariable, and cascade regulation. Modern automation tools from Fisher-Rosemount and Yokogawa were used, ensuring reliable signal exchange with the control system.

A detailed analysis of the technological scheme and equipment (evaporator, batch reactors, separator) was performed, and key control parameters were identified. Mathematical modeling of the control object was conducted, transfer functions of primary and auxiliary channels were derived, and controller selection was justified. It was shown that the cascade control system offers better performance characteristics compared to the single-loop system.

Functional and structural automation diagrams were developed, along with the external wiring diagram and a description of the LFCS processor board, which ensures reliable and uninterrupted operation of the control system.

Keywords: control system, control channel, technical equipment, alkylphenol oxyethylation.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
	ВСТУП.....	9
1	ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОКСИЕТИЛЮВАННЯ АЛКІЛФЕНОЛІВ З ТОЧКИ ЗОРУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1	Визначення, хімізм та призначення технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів.....	10
1.2	Властивості сировини і вихідних продуктів.....	12
1.3	Вивчення технологічної схеми процесу оксиетилювання алкілфенолів.....	14
1.4	Аналіз технічної характеристики технологічного обладнання.....	17
1.5	Визначення параметрів контролю і регулювання.....	18
	Висновки до розділу	21
2	МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	21
2.1	Структурна схема об'єкта дослідження.....	24
2.2	Експериментальне моделювання керованого об'єкта.....	25
	Висновки до розділу	30
3	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ	31
3.1	Моделювання одноконтурної системи керування.....	31
3.1.1	Розрахунок параметрів налаштування регулятора.....	31
3.1.2	Проведення дослідження одноконтурної системи на стійкість	33
3.1.3	Обчислення запасу стійкості одноконтурної системи.....	34
3.1.4	Розрахунок показників якості системи.....	35
3.2	Моделювання каскадної системи керування.....	36
3.2.1	Отримання параметрів налаштування регулятора.....	37
3.2.2	Проведення дослідження каскадної системи на стійкість.....	39

					БР.АКП-21.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Хомин Р.М.			Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу оксиетилірування алкілфенолів	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Борин В.С.				6		
Реценз.		Чигур Л.Я.				АКП-21-1 ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

3.2.3	Визначення запасу стійкості каскадної системи.....	40
3.2.4	Розрахунок показників якості системи.....	41
	Висновки до розділу	42
4	ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ.....	43
4.1	Розробка структурної схеми ієрархічної системи керування.....	43
4.2	Технічні засоби системи автоматизації.....	45
4.3	Функціональна схема автоматизації.....	53
4.4	Схема зовнішніх з'єднань.....	55
4.5	Структурна схеми РСУ CENTUM CS 3000.....	56
4.6	Схема процесорної плати станції управління LFCS.....	57
	Висновки до розділу.....	58
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	60

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

FCS - Field Control Station (Станція управління ділянкою).

АСК – автоматична система керування.

АСР – автоматична система регулювання.

АСР – автоматична система регулювання.

АСУТП – автоматична система управління технологічними процесами.

АФХ – амплітудно-фазова характеристика.

ГДК – гранично допустима концентрація.

ЕОМ – електронна обчислювальна машина.

КВП – контрольно-вимірювальні прилади.

КіА – контролю і автоматизації.

КТЗ – комплекс технічних засобів.

НПАР – неіоногенні поверхнево-активні речовини.

ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина.

РСУ – розподільна система управління.

СУ – система управління.

ТЗА – технічні засоби автоматизації.

ФСА – функціональна схема автоматизації.

ЦПУ – центральний процесор управління.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Проектування системи автоматизації технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів є надзвичайно актуальним і важливим завданням для хімічної промисловості. Сам процес оксиетилювання алкілфенолів відіграє ключову роль у синтезі спеціалізованих хімічних речовин, які широко використовуються у виробництві пластмас, детергентів, пінополіуретанів та інших продуктів промислового призначення.

Метою автоматизації цього технологічного процесу є підвищення якості кінцевої продукції, оптимізація виробничої ефективності, скорочення споживання ресурсів та забезпечення безпечних умов функціонування промислових установок. Застосування сучасних засобів автоматизації, зокрема мікроконтролерних систем, розподілених систем керування та інтеграції з моніторинговими платформами, відкриває можливості для досягнення високого рівня точності та надійності керування процесом оксиетилювання.

Разом із тим, розробка системи автоматизації для такого складного процесу потребує глибокого розуміння його фізико-хімічної природи, ретельного аналізу технологічних параметрів і взаємозалежностей, а також врахування вимог до якості продукції й промислової безпеки. Інтеграція інноваційних технологій у поєднанні з грамотним підходом до планування та проектування автоматизованої системи створює передумови для успішного впровадження цього рішення.

У вступній частині роботи обґрунтовано актуальність і значущість автоматизації процесу оксиетилювання алкілфенолів, а також окреслено основні виклики, з якими стикаються фахівці під час реалізації подібних проєктів. Наступні розділи присвячено детальному дослідженню технологічного процесу, вибору ефективних параметрів керування та створенню комплексної автоматизованої системи з метою досягнення максимальної продуктивності та високих стандартів якості.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОКСИЕТИЛЮВАННЯ АЛКІЛФЕНОЛІВ ЯК З ТОЧКИ ЗОРУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Визначення, хімізм та призначення технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів

Технологічний процес оксиетилювання алкілфенолів має на меті отримання неіоногенних активно-поверхневих речовин, зокрема оксиетилюваного нонілфенолу (неонолу). Ця реакція проводиться в ректорах періодичної дії Р-1, Р-2, Р-3.

Реакторний блок являє собою конструкцію, що складається з трьох паралельно працюючих реакційних вузлів, кожен з яких функціонує в різні часові інтервали. Така організація процесу передбачає, що у першому реакторі здійснюється завантаження сировини, у другому – проходження реакції, а в третьому – виведення готового продукту. Подібна послідовність дозволяє забезпечити безперервний та рівномірний вихід продукції.

Запропонований підхід до конфігурації реакторного блоку сприяє ефективному керуванню процесом оксиетилювання алкілфенолів, створюючи сприятливі умови для стабільного отримання цільового продукту. Рівномірність продуктивності кожного реакційного вузла позитивно впливає на загальну стабільність процесу та якість кінцевого продукту.

Конструктивно реакторний вузол включає три горизонтальні циліндричні апарати – Р-1, Р-2 та Р-3, які розміщені на двох рівнях. Нижній апарат Р-1 виконує функції прийому сировини та збору реакційної суміші, тоді як верхні апарати Р-2 і Р-3 призначені для проведення реакції оксиетилювання у фазі пари.

Усі апарати оснащені обігрівальними оболонками. Для підтримання необхідного теплового режиму використовуються різні тиски подачі водяної пари: для апаратів Р-2 та Р-3 – 0,2 МПа, для апарата Р-1 – 1,6 МПа, що забезпечує стабільну температуру продукту на рівні 120 °С. Верхні реактори Р-2 та Р-3 обладнані розпилювальними соплами, які слугують для введення оксиду етилену

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

до реакційної маси, тоді як у Р-1 передбачено подачу циркуляційної маси через аналогічні елементи. Така конструкція забезпечує інтенсивний масообмін, рівномірний розподіл реагентів та оптимальні умови перебігу хімічної реакції.

Процес оксиетилування алкілфенолів є періодичним і включає кілька послідовних стадій, що забезпечують формування продукту з необхідними характеристиками, зокрема неонолу. Початковим етапом є завантаження каталізатора та алкілфенолів у реактор, що готує систему до основного перебігу реакції. Далі відбувається ініціація реакції між оксидом етилену та алкілфенолами за наявності каталізатора. Основна стадія включає активне протікання процесу оксиетилування, тривалість якого залежить від технологічних вимог та характеристик цільового продукту.

Після завершення реакції суміш витримується в реакторі протягом певного часу з метою стабілізації властивостей продукту, після чого здійснюється його виведення. Заклучна стадія передбачає очищення реактора від залишків продукту та підготовку до наступного циклу.

Кожна зі стадій охоплює чітко визначені дії, які можуть варіюватися відповідно до типу та марки отриманого неонолу, а також у залежності від встановлених умов технологічного процесу. Така структура процесу оксиетилування забезпечує точне керування та високу ефективність при виробництві неіоногенних поверхнево-активних речовин.

Оксиетилування алкілфенолів як метод синтезу неіоногенних поверхнево-активних сполук базується на хімічній взаємодії оксиду етилену з алкілфенолами згідно з відповідною реакцією [1].

Цей процес відбувається за підвищених температур (зазвичай в межах 150-250°C) у присутності каталізатора. Одним з каталізаторів, які використовуються, є гідрооксид чи метилат натрію, зазвичай використовуваний у концентрації близько 0,3%.

Під впливом оксиду етилену відбувається присоеднання етоксильних груп до алкілфенолів, що призводить до утворення оксиетильованих алкілфенолів. Ці

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

продукти мають властивості поверхнево-активних речовин, які знаходять широке застосування у різних галузях промисловості та побуту.

1.2 Властивості сировини і вихідних продуктів

Технологічний процес оксиетилювання алкілфенолів передбачає використання трьох основних сировинних компонентів. Основною речовиною є моноалкілфеноли на основі тримерів пропілену, які утворюються внаслідок алкілування алкілфенольного ядра вуглеводневими залишками. Вони є базовими реагентами у синтезі оксиетильованих продуктів. Газоподібний азот слугує інертним середовищем, створюючи безпечні умови для перебігу реакції та запобігаючи небажаним побічним процесам. Оксид етилену, в свою чергу, є активним реагентом, що вступає в хімічну взаємодію з моноалкілфенолами, утворюючи неіоногенні поверхнево-активні речовини.

Перед початком основної реакції з реакційного об'єму апаратів Р-1, Р-2 та Р-3 витісняється кисень за допомогою газоподібного азоту. Такий підхід забезпечує стабільність, контрольованість і безпечність умов протікання оксиетилювання.

Основним продуктом процесу є оксиетильований нонілфенол, який класифікується як неіоногенна поверхнево-активна речовина з високою ефективністю. Завдяки здатності знижувати поверхневий натяг та покращувати стабільність емульсій, він знаходить широке застосування у хімічній промисловості, фармацевтиці, косметичних засобах та інших сферах.

Неоноли, до яких належать згадані моноалкілфеноли, поділяються на кілька типів залежно від довжини алкільного ланцюга і кількості оксиетиленових груп у молекулі. Так, АФБ-12 є представником неонолів зі структурою на основі тримеру пропілену. Він застосовується як компонент у мастильних матеріалах, синтетичних смолах та полімерних композиціях. АФ9-12 також використовується як поверхнево-активна речовина у виробництві пластифікаторів і полімерів. АФ9-10, АФ9-9, АФ9-8, АФ9-6 та АФ9-4 є похідними тримерів пропілену й мають

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

подібне технологічне застосування в адгезивах, емульсіях, смолах та інших хімічних продуктах.

Зокрема, неол АФБ-12, який має хімічну формулу $C_9H_{19}C_6H_4OH$, характеризується наявністю розгалуженого вуглеводневого ланцюга та фенільної групи. Його оксиетильовані похідні описуються загальною формулою $(C_2H_4O)_nH$, де n позначає кількість оксиетиленових фрагментів у ланцюгу. Завдяки своїм властивостям, неол АФБ-12 широко застосовується як емульгатор, стабілізатор емульсій і компонент для синтезу полімерів, смол та інших функціональних матеріалів.

Узагальнюючи, неоли є багатофункціональними сполуками, що використовуються в різноманітних галузях промисловості – від хімічної і нафтохімічної до полімерної, виконуючи роль модифікаторів фізико-хімічних властивостей кінцевих продуктів.

1.3 Вивчення технологічної схеми процесу оксиетильовання алкілфенолів

На рисунку 1.1 представлено технологічну схему досліджуваного процесу оксиетильовання алкілфенолів. Перед початком основного технологічного циклу обов'язковою є перевірка вмісту кисню у реакційній системі. З цією метою до апаратів Р-1, Р-2 та Р-3 подається газоподібний азот під надлишковим тиском у межах 0,01–0,03 МПа. Допустимий вміст кисню у системі не повинен перевищувати 0,015 мас. %.

Після підтвердження відповідності умов нормам безпеки здійснюється подача каталізованих алкілфенолів до реактора Р-1 при температурі 130–140 °С. Об'єм завантаження визначається залежно від типу та марки цільового оксиетильованого продукту.

У подальшому технологічному ланцюзі конденсат водяної пари заповнює випарну колону В-1 та сепаратор С-1. Ввімкнення насоса Н-1 ініціює циркуляцію каталізованих алкілфенолів через відповідні апарати системи.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Циркуляційний потік алкілфенолів підігрівається за допомогою водяної пари, що подається під тиском 1,6 МПа, а також завдяки нагрівальним оболонкам реакторів Р-2 і Р-3, підтримуючи температуру на рівні 150 °С. Після досягнення необхідних температурних параметрів розпочинається подача оксиду етилену, кількість якого коригується відповідно до технологічних вимог до продукту.

Із збільшенням об'ємів подачі оксиду етилену до реакторів Р-2 та Р-3 регулюється і частота обертання турбонасоса Н-1 — з 2400 до 4100 об/хв, що сприяє інтенсифікації циркуляції реагентів.

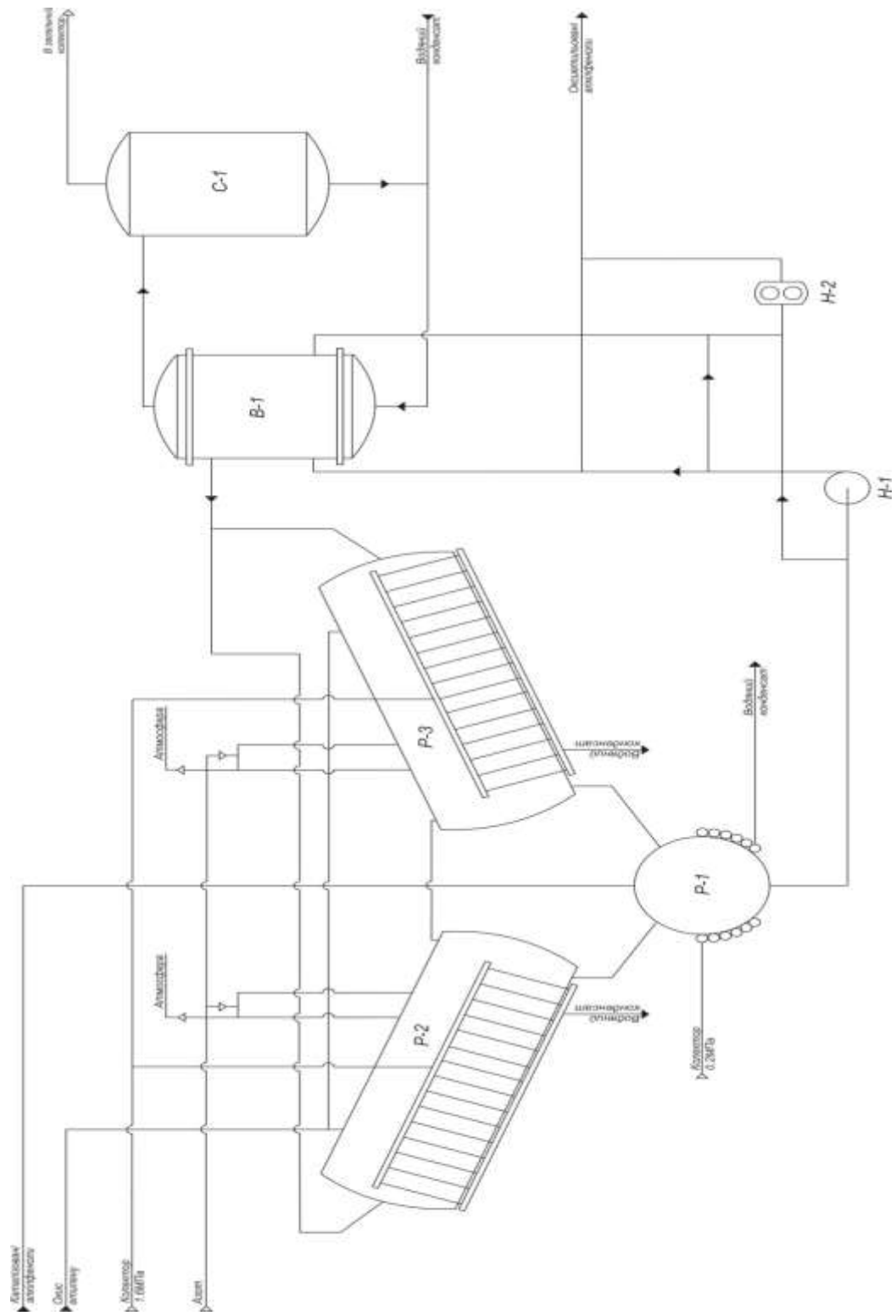
Розгортання реакції супроводжується зростанням температури та тиску в реакційних апаратах. Екзотермічний характер процесу зумовлює виділення значної кількості тепла, яке відводиться у випарну колону В-1 шляхом випаровування конденсату водяної пари. Система охолодження функціонує за принципом циркуляційного теплообміну.

У сепараторі С-1 відбувається розділення парорідинної суміші, де пара спрямовується до колектора водяної пари під тиском 0,2 МПа, тоді як конденсат подається у випарник.

Реакція оксиетилювання протікає за умов тиску 0,4–0,7 МПа та температури 160–190 °С доти, доки оксид етилену повністю не поглинутий реакційною масою.

Завершення реакції супроводжується етапом витримки, у ході якого здійснюється поступове зниження тиску до рівня 0,1–0,25 МПа, а температура в зоні виходу з реактора Р-1 стабілізується на рівні 160–165 °С.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



P-1, P-2, P-3 – реактори періодичної дії, B-1 – випарник, C-1 – сепаратор, H-1 – насос центробіжний, H-2 – насос шестерневий

Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки окиснення алкілфенолів

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

БР.АКП-21.00.00.000ПЗ

Назва обладнання	Позначається на схемі	К-сть	Технічна характеристика
Кожухотрубчатий випарник призначений для відведення тепла реакції оксиетилювання за рахунок теплообміну між реакційною сумішшю та конденсатом	В-1	1	Розрахований тиск, кгс/см ² : - в міжтрубному просторі 1,68 - в трубному просторі 1,2 Допустимий тиск, МПа: - в міжтрубному просторі 1,1 - в трубному просторі 0,35 Допустима температура, °С: - в міжтрубному просторі 190 - в трубному просторі 128 Розрахована температура, °С: - в міжтрубному просторі 220 - в трубному просторі 220
Сепаратор, що використовується для розділення паро рідинної суміші із випарника В-1, обладнаний з зовнішнім змієвиком	С-1	1	Розрахований тиск, МПа: - в змієвику складає 1,2 - в апараті складає 1,2 Температура розрахункова, °С: - в змієвику складає 1150 - в апараті складає 1190 Допустима температура, °С: - в змієвику складає 1150 - в апараті складає 1133 Допустимий тиск, МПа: - в змієвику складає 1,2 - в апараті складає 1,2

1.5 Визначення параметрів контролю і регулювання

До основних параметрів, що суттєво впливають на ефективність та безпеку технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів, належать: концентрація кисню в реакторах, концентрація оксиду етилену в лінії після розривної мембрани, витрата оксиду етилену, температура реакційної маси, а також рівень рідини в сепараторі.

Контроль концентрації оксиду етилену після розривної мембрани є критично важливим із точки зору промислової безпеки, оскільки перевищення

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		17

допустимих значень може становити ризик для здоров'я працівників. З цієї причини необхідне постійне моніторування даного параметра та вжиття заходів для підтримання його в межах нормативно безпечного рівня.

Температура перебігу реакції оксиетилювання безпосередньо впливає на швидкість хімічного процесу. Хоча підвищення температури сприяє зростанню швидкості реакції, її необхідно утримувати в межах оптимального інтервалу для уникнення побічних реакцій та зниження якості кінцевого продукту. Для регулювання температури використовуються нагрівальні оболонки реакторів Р-2 і Р-3, через які подається водяна пара під контролем відповідних параметрів.

Концентрація кисню в реакційній системі повинна залишатися на безпечному рівні, що не перевищує 0,15%. З метою її зниження перед подачею сировини до реакторів виконується продування системи азотом під тиском 0,01–0,03 МПа, що забезпечує витіснення кисню з реакційного об'єму.

Витрата оксиду етилену розраховується відповідно до заданих технологічних характеристик цільового продукту, зокрема марки неолу. Кількісна подача реагенту повинна бути такою, щоб у реакторі не утворювався надлишок оксиду етилену, що дозволяє досягти стабільності процесу, економічного витрачання сировини та підвищеної якості продукції.

Особливу увагу слід приділяти рівню водяного конденсату в сепараторі. Перевищення допустимого значення призводить до зниження ефективності процесу розділення парорідинної суміші, що, в свою чергу, негативно впливає на температурний режим у випарнику В-1. Порушення температурного балансу в реакційній зоні може спричинити відхилення від оптимальних умов реакції.

Таким чином, концентрація кисню, витрата оксиду етилену, температурний режим реактора та рівень конденсату є ключовими технологічними змінними, які необхідно контролювати для забезпечення безпечного, ефективного та якісного перебігу процесу оксиетилювання алкілфенолів.

Значення контрольованих параметрів приведені в таблиці 1.4.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Значення параметрів регулювання та контролю

Назва параметра	Одиниці вимірювання	Межі вимірювання	№ позиції на ФСА
Регулювання в реакторному блоці Р-1, Р-2, Р-3 тиску	МПа	0,7	п. 2-3
Тиск газів після розривної мембрани реакторного блоку Р-1, Р-2, Р-3	МПа	0,85	п. 2-4, 2-5
Контроль тиску в сепараторі С-1	МПа	1	п. 2-1
Регулювання температури продукта після реактора Р-1	°С	210	п. 3-2
Регулювання температури продукту після випарника В-1	°С	165	п. 3-1
Регулювання після реактора Р-1 температури продукту	°С	140	п. 3-3
Регулювання рівня в сепараторі С-1	мм	1584	п. 5-1
Рівень реагуючої маси в рекаторах Р-1	мм	1800	п. 5-2
Вміст кисню в реакторах Р-1, Р-2, Р-3	ppm	150	п. 4-3
Контроль концентрації оксиду етилену після розривної мембрани в лінії	%	20 від ГДК	п. 4-1, 4-2
Регулювання витрати в реакторі Р-1 каталізованого алкілфенола	м ³ /год	72	п. 1-1
Витрата оксиду етилену	м ³ /год	30	п. 1-2
Випорожнення від готового продукту реакторного блоку Р-1	мм	0	п. 5-3

Висновки до розділу

У цьому розділі здійснено аналіз технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів з позиції його автоматизації. Проведено детальний розгляд

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		19

технічного оснащення та структурної організації установки. Визначено ключові параметри, які потребують постійного регулювання та контролю в умовах реального виробництва. На основі розробленої технологічної схеми сформовано функціональну схему автоматизації, яка відображає основні аспекти керування та моніторингу перебігу процесу.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

Метою впровадження системи керування технологічним процесом є підвищення техніко-економічної ефективності функціонування обладнання за рахунок удосконалення засобів контролю та регулювання. Основна увага приділяється забезпеченню оптимальних режимів експлуатації об'єкта з високою точністю дотримання параметрів технологічного регламенту в умовах змінного виробничого середовища. Це, своєю чергою, гарантує надійну, безаварійну експлуатацію обладнання із дотриманням норм вибухо- та пожежонебезпеки.

У контексті керування установкою оксиетилювання алкілфенолів основним завданням є отримання продукції заданої якості за мінімального енергоспоживання та з дотриманням вимог технологічної безпеки. Для реалізації цього завдання необхідно провести аналіз технологічної установки, розробити відповідну схему автоматизованого керування процесом оксиетилювання та сформулювати функціональну схему системи контролю й регулювання.

На рисунку 2.1 представлено одноконтурну систему регулювання температури циркулюючої маси на виході з випарника В-1. У цій конфігурації температурне регулювання здійснюється за принципом циркуляції: парорідинна суміш надходить до сепаратора, де відбувається її розділення на пару і водяний конденсат.

Зображена автоматична система регулювання є базовою схемою температурної стабілізації. Однак через значну теплову інерційність процесу якість регулювання такої системи залишається низькою. Вона здатна лише компенсувати статичну похибку, характерну для П-регуляторів.

Покращення якості регулювання може бути досягнуто шляхом включення диференціальної складової у структуру регулятора або ж запровадженням додаткового керуючого контуру з параметрами, що мають низьку інерцію. Такий підхід дозволяє підвищити динамічну точність та ефективність регулювання температурного режиму.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

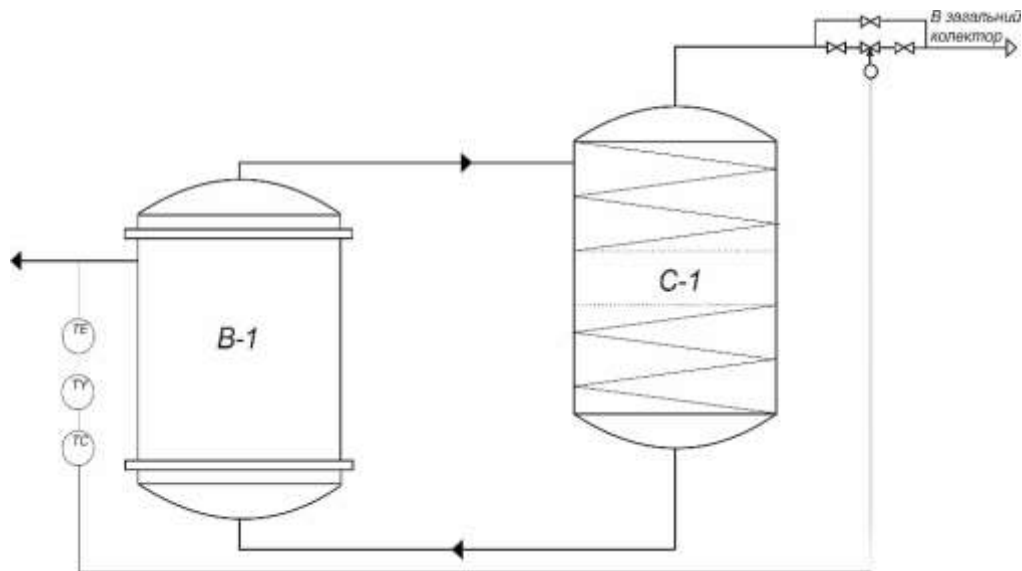


Рисунок 2.1 – Одноконтурна АСР температури

Варіант, показаний на рисунку 2.2, використовує каскадну систему регулювання, що дозволяє зменшити вплив збурень.

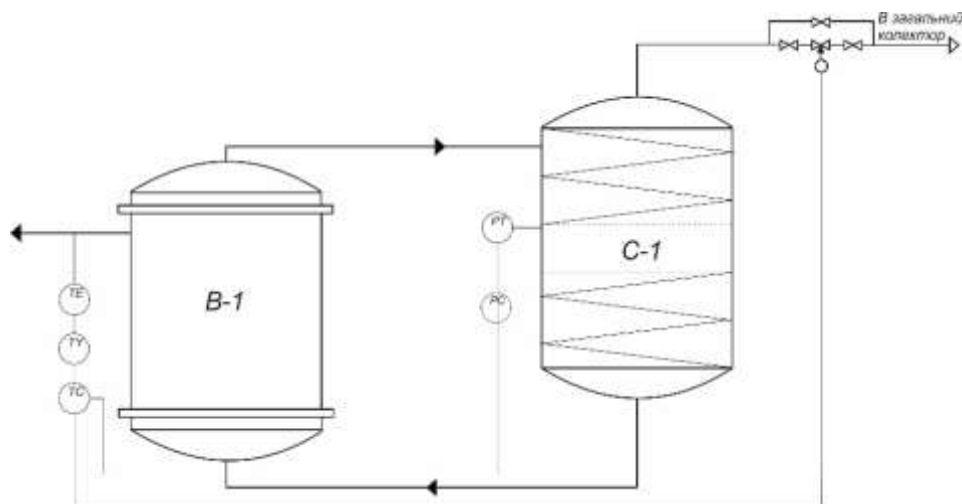


Рисунок 2.2 – Каскадна АСР температури

Для керування установкою оксиетилування алкілфенолів пропонується застосування автоматизованої системи керування типу CENTUM CS 3000. Ця система є універсальним інструментом для реалізації широкого спектра задач, пов'язаних із регулюванням, сигналізацією та моніторингом технологічних процесів. Вона підтримує реалізацію локального, каскадного та багатозв'язаного регулювання, що дозволяє гнучко адаптувати систему до складних умов функціонування.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		22

CENTUM CS 3000 забезпечує сумісність із різноманітними конфігураціями аналогових і дискретних входів/виходів, гарантує безударне перемикання між режимами роботи, а також стабільне вмикання або відключення контурів регулювання без негативного впливу на динаміку процесу.

Для збору, передачі та обробки технологічної інформації доцільно використовувати сучасні засоби автоматизації провідних виробників, таких як «Yokogawa» та «Fisher-Rosemount». Вказане обладнання легко інтегрується в систему керування CENTUM CS 3000 завдяки уніфікованому вихідному сигналу, що відповідає промисловим стандартам.

Для реалізації ефективної системи керування необхідно, спираючись на експериментальні дані перехідних процесів, побудувати математичну модель об'єкта регулювання. Надалі слід здійснити аналіз і синтез одноконтурної та каскадної систем регулювання з метою вибору варіанта, що забезпечує найкращі якісні характеристики.

Для досягнення цієї мети передбачається виконання наступних завдань:

- розробка структурних схем одноконтурної та каскадної систем керування з урахуванням функціональних взаємозв'язків між елементами;
- вибір відповідних законів регулювання та визначення параметрів налаштування регуляторів для забезпечення бажаних режимів роботи системи;
- моделювання перехідних процесів та оцінка їхніх якісних показників, зокрема часу встановлення, ступеня перерегулювання та наявності коливань;
- проведення аналізу стійкості системи на основі критерію Найквіста для розімкненого контуру, що дозволить оцінити потенційні ризики виникнення нестійкості.

Послідовне виконання вказаних етапів дозволить обґрунтовано визначити оптимальну архітектуру та параметри системи автоматичного керування, здатної забезпечити високі показники надійності, точності та стабільності технологічного процесу.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1 Структурна схема об'єкта дослідження

З огляду на складність математичного опису всієї установки, що забезпечує реалізацію процесу оксиетилювання алкілфенолів, було прийнято рішення зосередити дослідження на одному з ключових елементів, який безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту — випарника. В результаті детального аналізу особливостей його роботи сформовано уявлення про структуру об'єкта керування, яку наведено на рисунку 2.3.

Такий підхід є обґрунтованим, оскільки глибоке вивчення функціонування випарника дає змогу отримати суттєві дані щодо його динаміки та ролі у технологічному процесі. Фокусування на цьому апараті дозволяє більш ефективно вирішувати задачі оптимізації керування, спрямовані на поліпшення якісних характеристик продукції, за рахунок вдосконалення регуляторних впливів у критичній частині технологічного ланцюга.

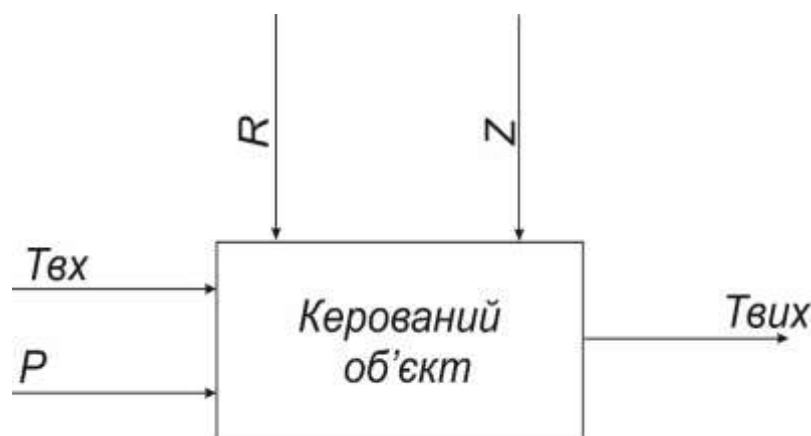


Рисунок 2.3 – Структурна схема об'єкта керування

У розглянутій схемі об'єкта керування, використовуються такі позначення:

- Твх - температура на вході у випарник реакційної суміші;
- Твих - температура на виході з випарника реакційної суміші;
- Р - тиск в сепараторі;
- R - регулююча дія;
- Z - сумарні збурення.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

Зазначимо, що отримання математичного опису об'єкта керування може бути складною задачею. Експериментальне моделювання або зняття кривої розгону дозволяє визначити динамічні властивості об'єкта і отримати передавальну функцію, яка відображає залежність між вхідними і вихідними сигналами системи.

Перехідна характеристика або крива розгону відображає зміну вихідного сигналу системи від часу при введенні збурень або зміни вхідних сигналів. Ці дані можуть бути використані для визначення передавальної функції, яка виражає взаємозв'язок між вхідом і виходом системи.

Варто зазначити, що експериментальне моделювання може супроводжуватись певною похибкою, яка може виникнути під час зняття кривої розгону або її апроксимації. Проте, в інженерних розрахунках такі похибки є прийнятними, оскільки дозволяють отримати достатньо точний математичний опис об'єкта керування для подальшого синтезу та аналізу системи керування.

Для отримання динамічних властивостей об'єкта керування у дипломному проєкті використовано криві розгону основного і допоміжного каналів. Ці криві відображають залежність вихідного сигналу від часу при введенні збурень або зміні вхідних сигналів.

Для безрозмірного представлення експериментальних даних перехідних процесів можна використати нормалізацію. Це дозволяє привести значення величин до безрозмірних одиниць і спростити подальший аналіз. Зазвичай використовують безрозмірний час (наприклад, відносний час, відлік від початку перехідного процесу) і безрозмірний вихідний сигнал (наприклад, відносне значення відхилення від статичного значення).

Після приведення експериментальних даних до безрозмірних одиниць, їх можна використовувати для подальшого аналізу і отримання передавальних функцій для об'єктів керування.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

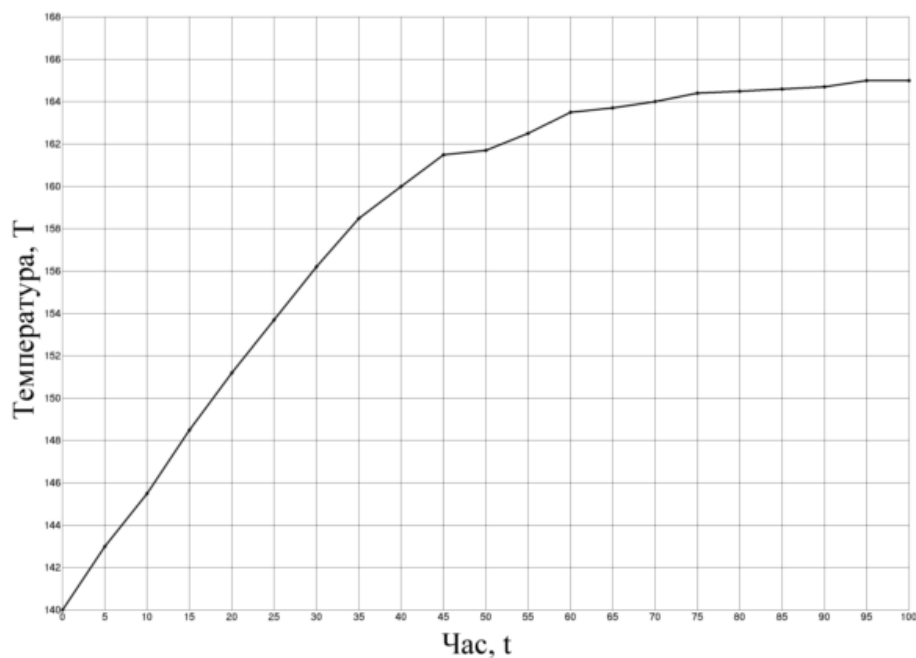


Рисунок 2.4 – Крива розгону для основному каналу

Таблиця 2.1 – Результати експерименту по основному каналу температури

Температура, °C	Час, с	Температура, °C	Час, с
140	0	161,7	55
142,1	5	162,4	60
144,2	10	162,9	65
147,6	15	163	70
150,4	20	163,2	75
152,7	25	163,1	80
154,1	30	163,4	85
157,8	35	164,8	90
160,1	40	165	95
161,5	45	165	100
161,6	50		

Для переходу від розмірних до безрозмірних одиниць можа використовувати наступний метод:

Безрозмірний вихідний сигнал (Y_b) можна визначити, віднімаючи статичне значення вихідного сигналу ($Y_{ст}$) від поточного значення вихідного сигналу (Y) і діливши його на амплітуду зміни вихідного сигналу (ΔY), тобто $Y_b = (Y - Y_{ст}) / \Delta Y$.

З кривої розгону визначено $x_{max} = 165 \text{ }^\circ\text{C}$ та $x_0 = 140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Перетворюємо результати експерименту у безрозмірні величини.

Таблиця 2.2 – Безрозмірні величини по основному каналу

Температура, °C	Безрозмірні одиниці, у	Температура, °C	Безрозмірні одиниці, у
140	0	161,5	0,87
142	0,12	162,5	0,9
144,5	0,22	162,7	0,94
147,5	0,34	163	0,95
150,2	0,45	163,4	0,96
152,7	0,55	163,5	0,975
154,2	0,65	163,6	0,98
157,5	0,74	164,8	0,986
160	0,8	165	1
161,2	0,86	165	1
161,4	0,87		

Перехідна характеристика об'єкта була апроксимована за допомогою програмного забезпечення Arproх з метою визначення його функції передачі. Для виконання апроксимації до програми вводилися значення часу (t) та відповідні вихідні сигнали ($y(t)$). Шляхом варіювання поліномів чисельника і знаменника здійснювався підбір моделі з мінімальною похибкою. При цьому критичною умовою була точність апроксимації, яка не повинна перевищувати 2,5%.

Програма Arproх забезпечує автоматичний підбір оптимальної апроксимуючої моделі відповідно до заданої межі похибки. Після введення вхідних даних та налаштування необхідних параметрів виконується розрахунок

коефіцієнтів апроксимуючої функції, а результати подаються у вигляді готової моделі.

Для досягнення необхідного рівня точності (похибки менше ніж 2,5%) іноді виникає потреба у багаторазовому тестуванні різних варіантів поліномів і коригуванні налаштувань програми. Після одержання моделі з прийнятною точністю отримана функція передачі може бути використана у подальшому для аналізу та синтезу системи керування.

Отримуємо таку функцію передачі сигналу по головному каналу:

$$W_o(p) = \frac{4.684p+1}{269.801p^2+30.684p+1} \quad (2.1)$$

Аналогічно робимо аналізування динамічної характеристики по допоміжному каналі. Рисунок 2.5 відображає експериментальну перехідну характеристику допоміжного каналу.

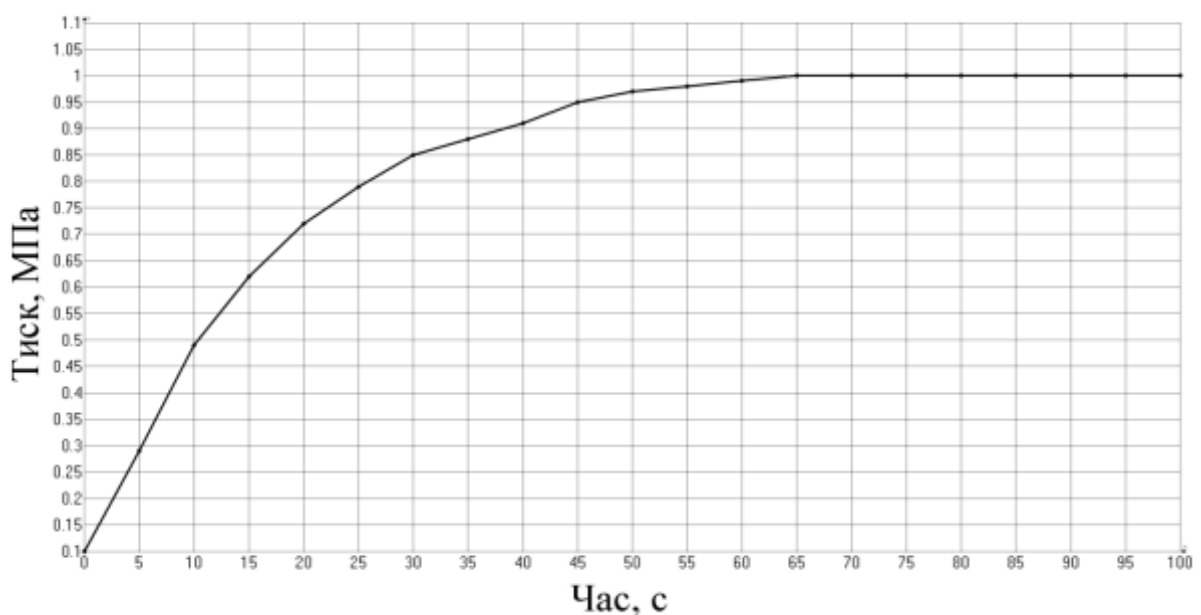


Рисунок 2.5 – Крива розгону допоміжного каналу тиску

Таблиця 2.3 – Результати експерименту по допоміжному каналу тиску

Тиск, МПа	Час, с	Тиск, МПа	Час, с
0,1	0	0,98	55
0,28	5	0,99	60
0,48	10	1	65
0,61	15	1	70
0,71	20	1	75
0,78	25	1	80
0,84	30	1	85
0,87	35	1	90
0,90	40	1	95
0,94	45	1	100
0,98	50		

Перетворюємо результати експерименту у безрозмірні величини (табл. 2.3).

Таблиця 2.4 - Безрозмірні величини по допоміжному каналу тиску

Тиск, МПа	Безрозмірні одиниці, у	Тиск, МПа	Безрозмірні одиниці, у
0,1	0	0,99	0,99
0,28	0,24	1	1
0,48	0,43	1	1
0,61	0,58	1	1
0,71	0,69	1	1
0,78	0,77	1	1
0,84	0,83	1	1
0,87	0,86	1	1
0,90	0,9	1	1
0,94	0,94	1	1
0,98	0,98		

Проведена апроксимація перехідної характеристики з використанням програми Arproх з метою визначення функції передачі об'єкта. Для цього введемо значення часу (t) та відповідних вихідних сигналів (y(t)) у відповідні поля програми. Змінюючи поліноми в чисельнику та знаменнику, отримаємо апроксимацію з найменшою похибкою. Важливо, щоб похибка була меншою за 2,5%.

Отримуємо таку функцію передачі сигналу по допоміжному каналу:

$$W_1(p) = \frac{12.845p+1}{243.5p^2+29.345p+1} \quad (2.2)$$

Математичне моделювання об'єкта керування передбачає використання передавальних функцій, що описують взаємозв'язок між вхідними та вихідними сигналами системи. Завдяки цим функціям можливе відтворення динаміки об'єкта та прогнозування його реакції на різні зовнішні впливи.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи здійснено математичний опис об'єкта керування. В якості об'єкта було обрано випарник, оскільки він є одним із основних компонентів досліджуваної технологічної установки. На підставі експериментальних даних визначено передавальні функції для основного каналу – «температура на виході випарника» – та допоміжного каналу – «тиск у сепараторі».

Отримані функції передачі відображають динамічні властивості об'єкта й можуть бути використані для подальшого синтезу та налаштування системи автоматичного керування. Їх застосування дає змогу розробити ефективні алгоритми керування, спрямовані на досягнення заданих показників процесу та забезпечення стабільної і оптимальної роботи випарника.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Моделювання одноконтурної системи керування

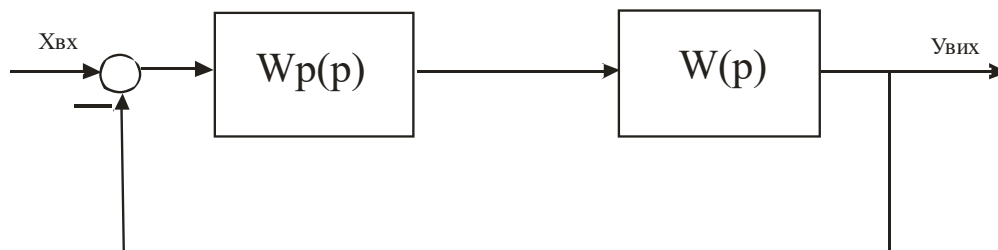
У процесі розробки системи автоматичного керування ключовим етапом є синтез, який останніми роками набув широкого практичного застосування. Синтез полягає у виборі структури системи, визначенні параметрів та прийнятті конструктивних рішень, що забезпечують необхідну точність і якість регулювання із застосуванням відносно простих керуючих пристроїв. Однією з основних складових цього етапу є вибір технічних засобів автоматизації, зокрема типу регулятора.

Вибір типу регулятора та його оптимальних параметрів здійснюється з урахуванням динамічних характеристик об'єкта керування, природи збурень, а також вимог до статичних та перехідних процесів у системі. Доцільним є зменшення кількості змінних, що впливають на процес проєктування, з метою формулювання узагальнених принципів побудови регулятора та спрощення процедури його налаштування.

Такий підхід забезпечує ефективність синтезу системи керування, дозволяючи застосовувати типові принципи для визначення структури регулятора та оптимізації його параметрів.

3.1.1 Розрахунок параметрів налаштування регулятора

Структурна схема, що зображена на рисунку 3.1, представляє одноконтурну автоматичну систему керування.



$W(p)$, $W_p(p)$ - функції передачі об'єкта керування та регулятора

Рисунок 3.1 – Структурна схема АСК

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

У даній бакалаврській роботі для отримання параметрів налаштування регуляторів використане програмне забезпечення Matlab модулем Simulink. На рисунку 3.2 зображена складена структурна схема системи у середовищі Simulink.

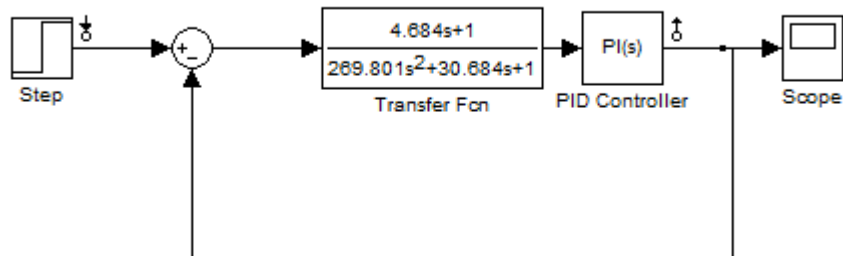


Рисунок 3.2 – Одноконтурна АСК у програмі Simulink

У блоці налаштування контролера оберяємо ПІ-закон регулювання і виконуємо розрахунок оптимальних параметрів налаштування натисканням кнопки Tune (рис.3.3).

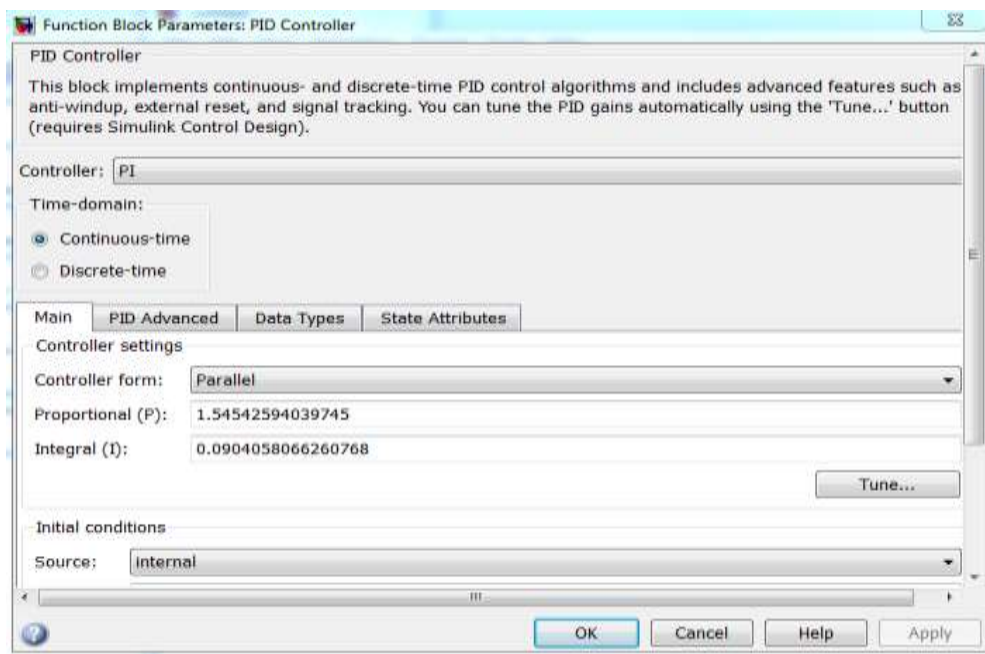


Рисунок 3.3 – Параметри налаштування ПІ-регулятора після налаштування. Одержуємо такі оптимальні параметри налаштування із застосуванням ПІ-закону регулювання.

P складова складає 0,23; I складова - 0,0049.

Тоді запишемо функція передачі регулятора одноконтурної АСК:

$$W_p(p) = \frac{c_1 p + c_0}{p} = \frac{1,54p + 0,09}{p} \quad 3.1$$

Параметри налаштування регулятора, отримані за допомогою моделювання виконано у тулбоксі Simulink, будуть використовуватись для подальших розрахунків і аналізу системи керування. Ці параметри є оптимальними з точки зору визначених критеріїв ефективності і забезпечують необхідну якість та точність керування.

3.1.2 Проведення дослідження одноконтурної системи на стійкість

Аналіз стійкості системи буде здійснено за допомогою критерію Найквіста. Для цього попередньо виконується лінеаризація математичної моделі об'єкта керування, після чого за допомогою інструментів пакета Control and Estimation Tools Manager у середовищі Matlab будується годограф Найквіста. Годограф відображає частотну залежність амплітудно-фазових характеристик розімкненої системи в комплексній площині, що дозволяє провести якісну оцінку її стійкості. На основі побудованого годографа можна визначити, чи задовольняє система умови стійкості, а також встановити орієнтовні параметри налаштування регулятора для забезпечення необхідних динамічних властивостей. Дослідження буде продовжено шляхом аналізу отриманого годографа Найквіста з урахуванням його впливу на подальший синтез системи автоматичного керування (рисунок 3.4).

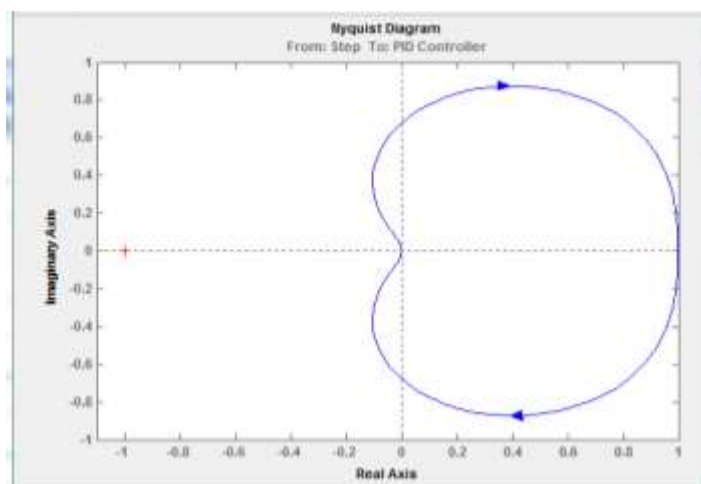


Рисунок 3.4 – Годограф Найквіста

3.1.4 Розрахунок показників якості системи

Для отримання перехідних процесів системи та визначення показників якості використаємо програмне середовище Matlab (рис. 3.6).

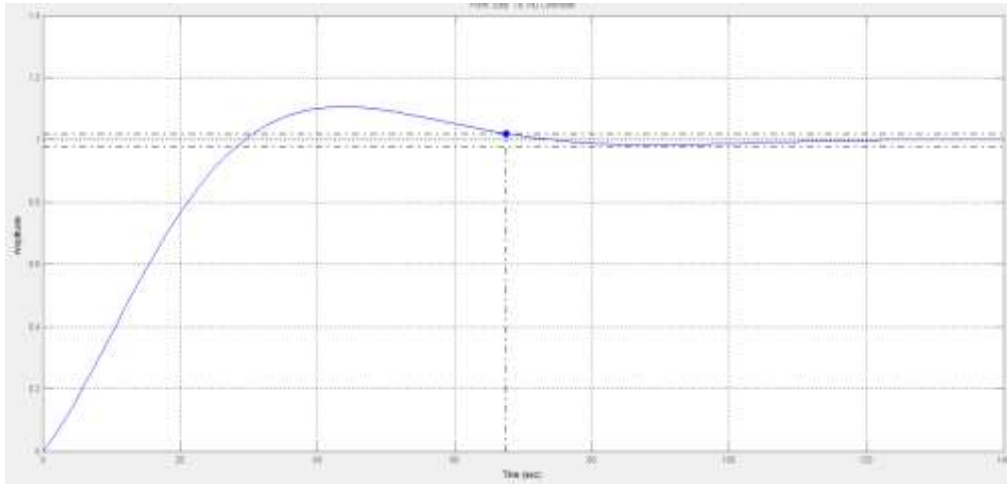


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика одноконтурної АСК

За даним графіком, можемо визначити параметри якості перехідного процесу.

Один з таких параметрів - перерегулювання, яке визначається за формулою

$$\tau = \frac{x_{max} - x_{(\infty)}}{x_{(\infty)}} \cdot 100\% , \quad 3.2$$

де x_{max} – максимальне значення відхилення величини;

$x_{(\infty)}$ – значення величини.

Ця формула дозволяє визначити відсоток, на який регульована величина відхиляється від встановленого значення.

Скориставшись формулою (3.2) визначаємо перерегулювання:

$$\tau = \frac{1.11 - 1.00}{1.00} \cdot 100\% = 11\% . \quad 3.3$$

Час регулювання є мірою тривалості перехідного процесу і вважається основною характеристикою швидкодії системи. Він вказує на час, який система потребує для досягнення стану регулювання після появи збурюючого впливу. Чим менше час регулювання, тим швидше система здатна повернутися до стану регулювання та забезпечити стабільну роботу:

$$t_p = 67,5\text{с.}$$

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Моделювання каскадної системи автоматичного керування

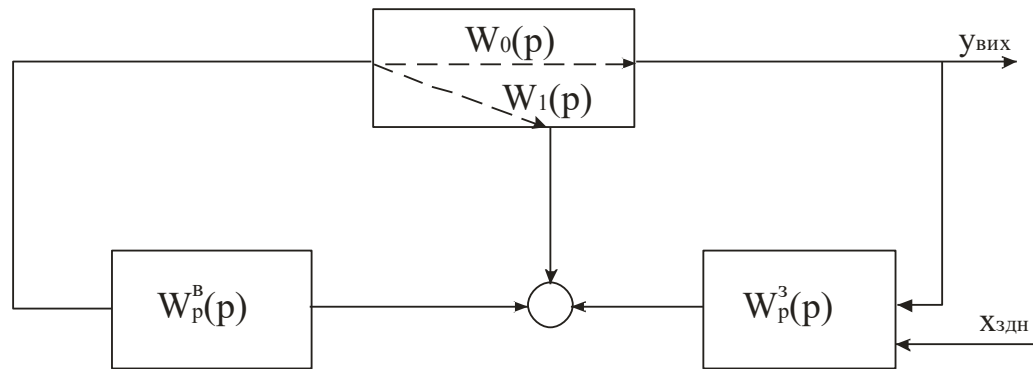
У системах автоматичного керування розрізняють два основних типи структур: одноконтурні та каскадні. Одноконтурні системи часто не забезпечують належного рівня якості регулювання через обмеження коефіцієнта підсилення регулятора та недостатню швидкодію. Проведений аналіз таких систем свідчить про їх обмежену ефективність у випадках підвищених вимог до динамічних характеристик.

Підвищити якість керування можливо шляхом ускладнення структури системи, зокрема через впровадження каскадної схеми. Ефективна реалізація каскадного керування стає можливою лише за умови, що об'єкт можна умовно поділити на дві послідовно з'єднані динамічні ланки, а також коли існує можливість вимірювання проміжної змінної між ними.

При цьому важливо, щоб обрана проміжна змінна характеризувалась меншою інерційністю та запізненням порівняно з основними збуреннями і регульованими параметрами, що забезпечує швидке реагування внутрішнього контуру керування.

На рисунку 3.7 представлено структурну схему каскадної системи автоматичного керування. У процесі дослідження та практичного застосування були виділені три основні типи каскадних систем: П–ПІ, ПІ–ПІ та ПІ–ПІД. Вибір конкретної структури регуляторів у каскадній системі здебільшого базується на практичному досвіді інженера-проектувальника, оскільки універсальних критеріїв для прийняття такого рішення не існує.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



$W_0(p)$ – функція передачі основного каналу, $W_1(p)$ – функція передачі допоміжного каналу, $W_p^B(p)$ – функція передачі внутрішнього (допоміжного регулятора) каналу, $W_p^3(p)$ – функція передачі допоміжного каналу

Рисунок 3.7 – Структурна схема каскадної АСР

3.2.1 Отримання параметрів налаштування регулятора

Для налаштування параметрів регуляторів використаємо програмне забезпечення Matlab (Simulink). На рисунку 3.8 представлена складена структурна схема, реалізована в середовищі Simulink..

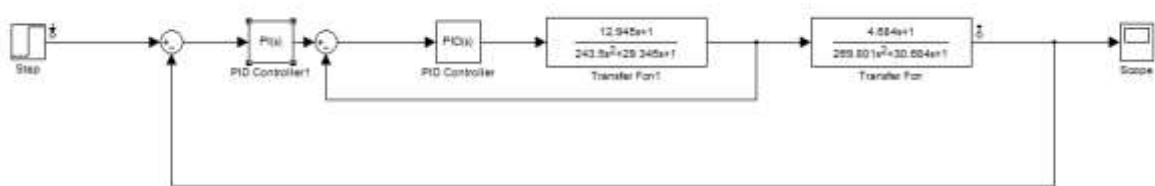


Рисунок 3.8 - Вікно програми Simulink для каскадної АСК

Для розрахунку оптимальних параметрів налаштування коректуючого регулятора застосовано підпрограму Simulink програмного пакету Matlab (рис. 3.9).

Одержуємо такі оптимальні параметри налаштування із застосуванням ПІД-закону регулювання.

$$P=20.92; I=0.183; D=-9.856.$$

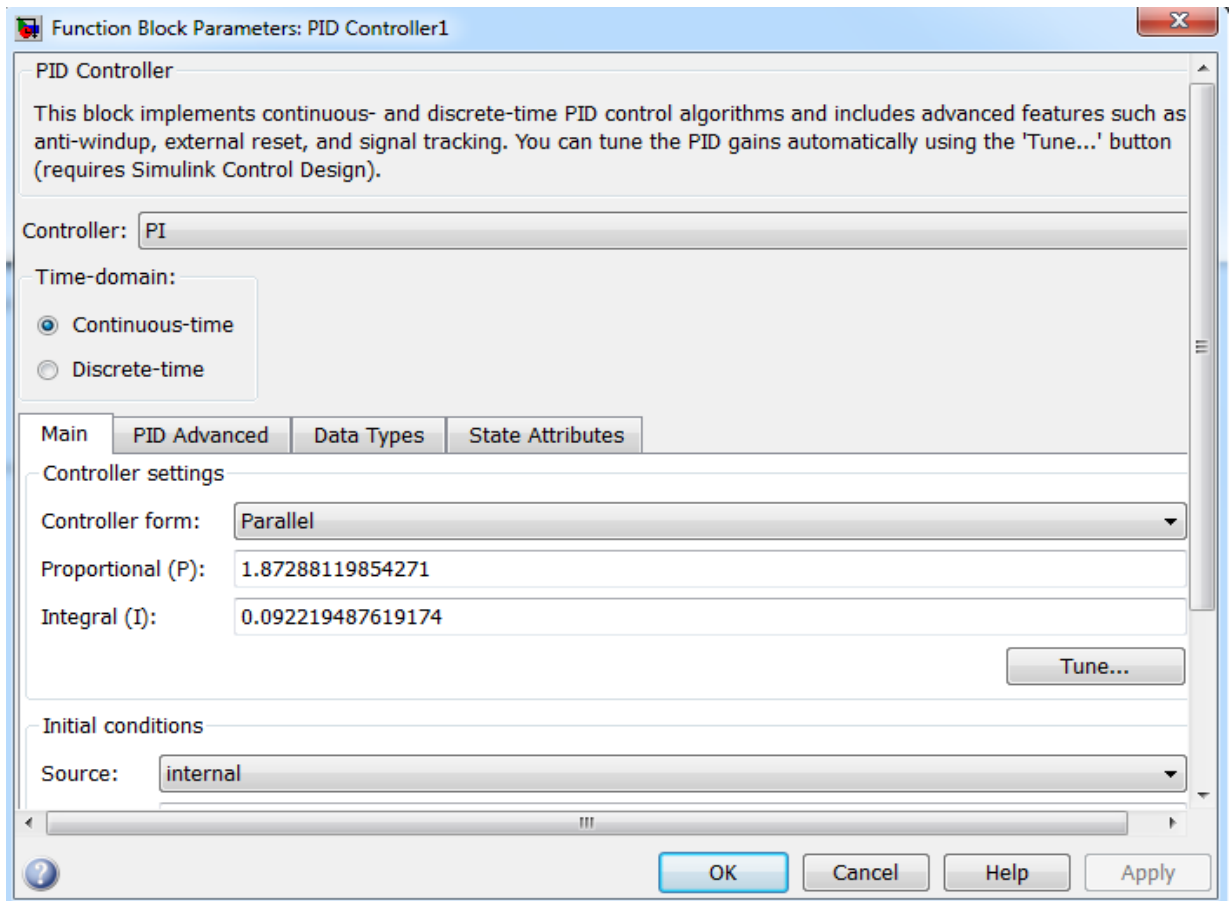


Рисунок 3.10 – Параметри налаштування ПІ-регулятора

Тоді запишемо функцію передачі стабілізуючого регулятора каскадної САК:

$$W_p^3(p) = \frac{c_1 p + c_0}{p} = \frac{1,87p + 0,09}{p} \quad 3.5$$

3.2.2 Дослідження каскадної САК на стійкість

Проведемо дослідження стійкості каскадної системи автоматичного керування за критерієм Найквіста використовуючи програмний пакет Matlab.

Наведемо одержаний у процесі дослідження годограф Найквіста (рисунок 3.11).

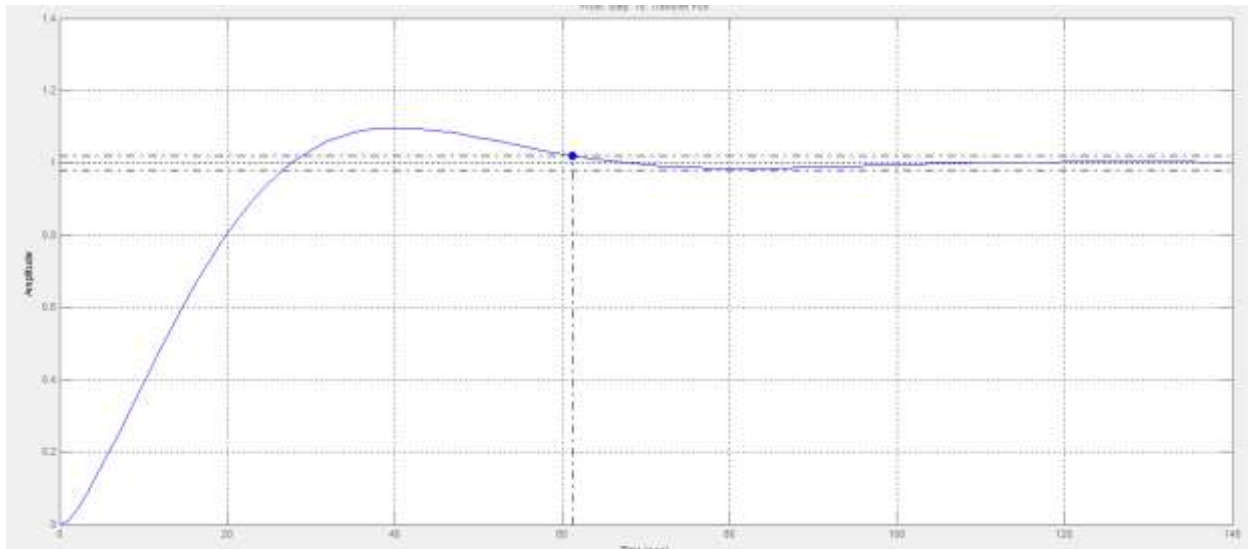


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика каскадної системи

Визначаємо параметри якості перехідного процесу:

- перерегулювання :

$$\tau = \frac{1.1-1.00}{1.00} \cdot 100\% = 10\% . \quad 3.6$$

- час регулювання - $t_p = 61\text{с}$.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи було здійснено аналіз і синтез автоматичної системи керування. Визначено оптимальні параметри налаштування регуляторів, а також проведено дослідження стійкості системи. Окрему увагу приділено оцінці якісних показників перехідних процесів.

Результати моделювання свідчать, що одноконтурна система має довший час регулювання порівняно з каскадною. Каскадна система автоматичного регулювання температури реакційної суміші на виході випарника демонструє кращі динамічні характеристики та відповідає поставленим вимогам і цілям керування.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

4.1 Розробка структурної схеми ієрархічної системи керування

Під час розробки проєкту автоматизації одним із першочергових завдань є визначення структури управління. Це передбачає встановлення місць керування окремими ділянками об'єкта, розміщення пунктів керування та операторських приміщень, а також організацію зв'язку між ними.

Структура управління відображає поділ автоматизованої системи на окремі функціональні частини відповідно до визначених критеріїв і встановлює шляхи передачі керуючих впливів між цими частинами. Її графічне представлення називається структурною схемою. Хоча вихідні дані щодо вибору типу структури й її ієрархічного рівня формуються на етапі технічного завдання замовником, остаточно розробка структури управління виконується проєктною організацією.

Раціонально обрана структура управління має вагомий вплив на ефективність функціонування системи автоматизації, її економічність, надійність, ремонтпридатність та інші експлуатаційні характеристики.

На рисунку 4.1 представлено загальну структурну схему системи автоматизації. Вона складається з двох основних складових: об'єкта автоматизації та системи управління. Ці компоненти тісно взаємодіють, що забезпечує досягнення бажаних результатів функціонування об'єкта.

Ефективність роботи об'єкта визначається сукупністю параметрів $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$, до яких можуть належати як характеристики кінцевого продукту, так і показники, що описують динаміку технологічного процесу, його економічність, надійність та безперервність роботи. Усі ці параметри комплексно впливають на загальну результативність системи автоматизації.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 – Структурна схема системи автоматизації

У типовому випадку об'єкт автоматизації складається з кількох ділянок управління, які можуть бути представлені як окремі технологічні установки, агрегати або ж у вигляді локальних каналів регулювання окремих параметрів цих установок чи агрегатів.

У розробленій системі передбачено три рівні управління. Перший рівень охоплює давачі та виконавчі механізми. Другий — це рівень контролерів. Третій, верхній рівень, реалізується у вигляді персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ), оснащеної SCADA-системою, яка виконує функції збору, моніторингу та аналізу даних.

На першому рівні відбувається безперервне вимірювання технологічних параметрів, здійснюється первинна обробка інформації, а також передається актуальна інформація про стан об'єкта на вищі рівні у вигляді аналогових сигналів. Цей рівень відповідає за збір базових технологічних даних, що є основою для подальшого прийняття рішень в автоматизованій системі.

Другий рівень, представлений контролерами, передбачає застосування сучасних інтелектуальних датчиків, які оснащені вбудованими мікропроцесорами. Це відповідає сучасним тенденціям у галузі автоматизації та забезпечує швидке і точне зчитування параметрів з об'єкта. На цьому рівні збирається інформація з давачів і виконавчих механізмів, відстежуються відхилення технологічних змінних

від допустимих меж, здійснюється реєстрація та сигналізація. Крім того, проводяться розрахунки оптимальних значень параметрів, реалізуються закони регулювання, формуються керуючі дії для стабілізації процесу, а також організується обмін даними з автоматизованим робочим місцем оператора. Контролери також приймають команди від оператора та передають їх на виконавчі елементи. Цей рівень відіграє центральну роль у реалізації стратегій керування технологічним процесом, забезпечуючи гнучку взаємодію між технологією та оператором.

Верхній рівень автоматизації включає дві робочі станції — операторську та інженерну. Станція оператора забезпечує керування технологічним процесом у реальному часі, візуалізацію стану обладнання, ведення та обробку бази даних, а також підтримку як автоматичного, так і ручного режимів керування. Окрім цього, здійснюється моніторинг параметрів з подальшою сигналізацією у випадку відхилення від встановлених норм, а також формуються й виводяться протоколи порушень і повідомлення.

Обмін інформацією між рівнями системи організовано різними способами. Зв'язок між першим та другим рівнями здійснюється через електричні сигнали — як аналогові, так і дискретні. Передача даних між контролерами та ПЕОМ організована кодовим способом через промислові комп'ютерні мережі, які забезпечують повний цикл обміну інформацією протягом однієї секунди. Така структура системи дозволяє забезпечити ефективне управління технологічними процесами, їхню надійність і своєчасну реакцію на зміни параметрів.

4.2 Технічні засоби системи автоматизації

Під час вибору технічних засобів автоматизації слід орієнтуватися на низку ключових принципів. По-перше, пріоритетною є простота в експлуатації — обладнання має бути зручним у використанні та технічному обслуговуванні, що сприяє зниженню витрат часу та трудових ресурсів на його налагодження, ремонт і підтримку працездатності. По-друге, важливим є рівень надійності — пристрої мають

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати стабільну та безперебійну роботу системи, мінімізуючи ймовірність виникнення аварійних ситуацій і збоїв у керуванні. По-третє, вибрані засоби мають володіти необхідним функціоналом для реалізації усіх передбачених операцій, з урахуванням специфіки та вимог відповідного технологічного процесу. Ще одним критерієм є сумісність із різними протоколами передачі даних, що забезпечує можливість інтеграції з іншими компонентами автоматизованої системи, полегшуючи обмін інформацією та розширення функціональності.

Оскільки об'єктом автоматизації є система з низкою однотипних параметрів, доцільним є застосування уніфікованих засобів вимірювання та керування. Це спрощує процеси введення в експлуатацію, налаштування і технічного обслуговування, оскільки дозволяє використовувати однакові алгоритми дій для різних елементів системи.

У результаті аналізу технічного забезпечення обрано такі засоби автоматизації. Для контролю тиску впроваджено перетворювач надлишкового тиску моделі EJA530 виробництва компанії "Yokogawa". Цей пристрій формує уніфікований електричний вихідний сигнал, придатний для подальшої обробки та візуалізації даних.

Вимірювання температури реалізовано за допомогою двох пристроїв тієї ж компанії. Перший — термометр опору типу RMPt100, що функціонує на основі зміни електричного опору залежно від температури. Другий — нормуючий перетворювач YTA70, який приймає аналоговий сигнал від термоперетворювача і трансформує його в уніфікований вихідний сигнал, зручний для обробки в системі автоматизованого керування.

Облік витрати речовин здійснюється за допомогою вихрового витратоміра DY100 виробництва "Yokogawa", який також формує уніфікований електричний сигнал. Контроль рівня речовин реалізовано через датчик рівня EJA110A, який забезпечує точне вимірювання із подальшою передачею сигналу у стандартному форматі.

Моніторинг концентрації речовин у системі здійснюється двома окремими сенсорами: перший — для оксиду етилену (модель Polytron 2IR), другий — для кисню

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

(модель ОХ-102). Обидва пристрої забезпечують точні вимірювання та формують уніфікований електричний вихідний сигнал для подальшої обробки.

Регулювання рівня речовин у системі виконується за допомогою регулюючого органу з пневматичним приводом Fisher-Rosemount 1018S. Для аварійного припинення потоку речовин у процесі використовується відсікаючий клапан Fisher-Rosemount V500, також обладнаний пневмоприводом.

Точне позиціонування регулюючих органів забезпечується за рахунок електропневматичних позиціонерів моделей Fisher-Rosemount 3582 та 3620J. Для централізованого моніторингу та керування системою застосовується автоматизована система керування типу CENTUM CS 3000. Фіксація граничних положень виконавчих механізмів здійснюється кінцевими вимикачами FR 501.

Комплекс цих технічних засобів забезпечує ефективний, точний і надійний контроль та регулювання параметрів технологічного процесу.

Для вимірювання температури у газоподібних і рідких середовищах, які не мають агресивного впливу на матеріал захисної арматури, використовуються термометри опору типу RM. Ці пристрої комплектуються захисними трубками конічної або циліндричної форми, передбачено можливість фланцевого або різьбового монтажу. Робочий температурний діапазон термометрів RM може охоплювати від -200 до 500 °С. Пристрої формують вихідний сигнал у межах 4–20 мА, підтримують вибухозахищене виконання (ExdІІВТ6Х) і функціонують у діапазоні напруги живлення від 17 до 40 В.

Нормуючий перетворювач YTA70 призначений для перетворення слабких аналогових сигналів у стандартизовані. Його конструкція включає гальванічну розв'язку між входом і виходом, а похибка перетворення становить $\pm 0,1\%$ шкали. Вихідний сигнал перебуває в діапазоні 4–20 мА за HART-протоколом. Діапазон напруги живлення складає 10,5–42 В постійного струму, температурний режим експлуатації — від -40 до +85 °С.

Датчик надлишкового тиску EJA530 призначений для вимірювання тиску в рідких, газоподібних і парових середовищах. Пристрій генерує уніфікований вихідний

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

сигнал 4–20 мА відповідно до HART-протоколу та характеризується точністю вимірювання $\pm 0,2\%$ від повної шкали. Робочий температурний діапазон навколишнього середовища становить від -40 до $+85$ °С, а залежно від модифікації пристрій може працювати в умовах температури процесу до $+1200$ °С. Також передбачено вибухозахищене виконання згідно зі стандартом ЕЕхдІІСТ6 і можливість живлення від джерела постійного струму у межах 10,5–42 В.

Границі вимірювання давача надлишкового тиску ЕА530 представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Межі вимірювання давача надлишкового тиску ЕА530

Границі вимірювання МПа	Діапазон переналаштування шкали, МПа	Капсула
від 0 до 0,2	від 0 до 0,01 / від 0 до 0,2	А
від 0 до 2	від 0 до 0,01 / від 0 до 2	В
від 0 до 10	від 0 до 0,05 / від 0 до 0,10	С
від 0 до 50	від 0 до 5 / від 0 до 50	D

Датчик диференціального тиску ЕА110А призначений для вимірювання рівня та густини середовищ за гідростатичним принципом. Його вихід є уніфікованим струмовим сигналом у діапазоні 4–20 мА, що передається за HART-протоколом. Похибка вимірювання становить $\pm 0,075\%$ від верхньої межі шкали. Пристрій функціонує в широкому діапазоні температур: від -400 до $+850$ °С для навколишнього середовища та від -400 до $+1200$ °С для процесу. Живлення забезпечується напругою в межах 10,5–42 В. Конструкція датчика відповідає вимогам вибухозахисту за класом ЕЕхдІІСТ4.

Вихровий витратомір DY 100 використовується для визначення об'ємної витрати газоподібних, рідких і пароподібних середовищ. Пристрій також формує уніфікований струмовий сигнал у діапазоні 4–20 мА за HART-протоколом. Похибка вимірювання становить $\pm 1\%$. Витратомір застосовується в трубопроводах із номінальним діаметром від 15 до 400 мм. Робочий температурний діапазон

становить від -400 до $+850$ °С для навколишнього середовища та до $+1200$ °С для процесу. Витратомір відповідає класу вибухозахисту EExdIICT6 та працює при напрузі живлення $10,5-42$ В.

Аналізатор кисню типу OX102 призначений для безперервного та високоточного контролю концентрації кисню. В основі приладу лежить цирконієвий сенсор. Доступні діапазони вимірювання – $0-100$ ppm, $0-1000$ ppm і $0-10000$ ppm. Пристрій формує уніфікований сигнал $4-20$ мА та має вибухозахист рівня ExdIIBT4.

Стационарний газоаналізатор Polytron 2IR здійснює безперервний контроль вмісту вибухонебезпечних парів і газів із вуглеводневим складом. Оснащений двонаправленим інтерфейсом HART та RS-485 для налаштування та передачі даних. Аналоговий вихідний сигнал знаходиться в межах $4-20$ мА. Діапазон вимірювання становить $0-20...100\%$ ГДК.

Електропневматичний позиціонер 3620J призначений для перетворення сигналу постійного струму $4-20$ мА у пневматичний сигнал для керування регулюючими елементами. Робоча температура варіюється від -300 до $+850$ °С. Діапазон ходу становить $10-50$ мм. Пристрій має вибухозахист ExdsIIB+H2T6, а тиск живлення складає $2,8$ кг/см².

Позиціонер 3582i виконує аналогічні функції з перетворення електричного сигналу $4-20$ мА в пневматичний. Діапазон ходу — $10-100$ мм, робоча температура — від -300 до $+850$ °С. Живиться при тиску $1,8$ кг/см² та має вибухозахист ExdsIIB+H2T6.

Односідельний регулюючий клапан 1018S здатен працювати в температурному діапазоні від -40 до $+225$ °С. Максимально допустимий тиск робочого середовища — 16 МПа. Корпус виготовлено з нержавіючої сталі.

Відсікаючий клапан V500 із пневмоприводом функціонує при температурах навколишнього середовища від -40 до $+260$ °С. Його корпус виконано з вуглеводневої сталі, що забезпечує хімічну стійкість. Живлення здійснюється напругою $5-25$ В при струмі понад 3 мА. Допустимий тиск робочого середовища — до 25 МПа.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Кінцевий вимикач FR 501 має вихідну конфігурацію з нормально відкритими (NO) та нормально закритими (NC) контактами, оснащений піновим планжером діаметром 8 мм. Максимальна робоча напруга становить 250 В змінного струму, а максимальний струм — 10 А.

Система керування CENTUM CS 3000 призначена для автоматизації технологічних процесів, забезпечуючи збирання, обробку та передачу даних. Система виконує функції моніторингу, аналізу параметрів, формування регулюючих впливів, у тому числі аварійних сигналів, і передає інформацію на вищі рівні управління. Завдяки своїй архітектурі забезпечує високу надійність, безпеку та ефективне управління.

Ця система базується на розподіленій архітектурі, що забезпечує гнучкість, масштабованість та багатопотоковий контроль. Вона підтримує стандартні промислові протоколи, зокрема OPC, Foundation Fieldbus, HART, що забезпечує її інтеграцію з різноманітними пристроями. Інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс полегшує роботу операторів, а функції журналювання та архівування дозволяють зберігати історичні дані для подальшого аналізу.

До переваг системи належать: можливість віртуального тестування схем керування; висока надійність за рахунок дублювання комунікаційних шин V-net та RIO; ефективне керування періодичними процесами; реалізація функцій протиаварійного захисту; наявність засобів для зручного інжинірингу.

У структурі системи управління ключовою ланкою є станція польового керування (FCS), яка включає інтерфейсні блоки з вузлами NIU, блок керування (FCU) з мікропроцесором і резервним живленням, шину RIO для зв'язку, а також модулі введення/виведення. FCS забезпечує обробку аналогових і дискретних сигналів, які надходять від датчиків, пультів та виконавчих пристроїв, і формує керуючі сигнали для впливу на процес.

Модулі NIU відповідають за перетворення сигналів з аналогового або дискретного вигляду в цифровий для подальшої обробки блоком FCU. У свою чергу, модулі виводу забезпечують перетворення цифрових сигналів у форми, придатні для

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

керування виконавчими механізмами, такими як клапани або електродвигуни. Завдяки такій структурі забезпечується цілісна інтеграція й ефективне керування технологічними процесами.

Технічна характеристика модулів приведена в табл. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика модуля ААМ 11

Спосіб задавання сигналів	Вхідні сигнали та діапазони задаються за рахунок програмного налаштування	
Допустимий вх. струм/напруга	10 ... 30 В постійного струму	Менше 40 мА постійного струму
Вхідний опір	100 кОм при викл. живленню, 1МОм при вкл. живленню	250 Ом
Вхідний сигнал	0 ... 10 В постійного струму	0 ... 20 мА постійного струму
Точність	Струмовий вх.: ± 16 мкА. Вх.напруга: ± 4 мВ.	
Споживаючий струм	Менше 300мА (при 5В постійного струму)	
Період оновлення даних	50мс	
Кількість вх. точок	1	

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика модуля ААМ 12Т

Вхідний сигнал	Напруга постійного струму
Точність	± 4 мВ
Вх. опір	постійний струм -10 ... 10 В
Вих. опір	1 МОм
Період оновлення даних	1 с
Допустима вхідна напруга	Від -30 до 30 В постійного струму
Вплив зміни температури	Струмовий вхід : ± 8 мВ При зміні на 10 °С
Кількість вхідних точок	16

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика модуля ААМ 50

Вих. сигнал	4 ... 20 мА постійного струму
Вих. Опір	Більше 500 кОм
Допустимий опір навантаження	0 ... 750 Ом
Вихідний діапазон	1,0 ... 21,5 мА постійного струму
Точність	Струмовий вхід: ± 48 мкА
Кількість вх. точок	Кількість вх. точок

Таблиця 4.5 – Технічна характеристика модуля АDМ 51С

Вих. сигнал	Транзисторний контакт
Кількість вхідних точок	16
Дозвіл на тривалість імпульсу	20 мс
Тривалість імпульсу	0,1 ... 7200 с
Споживаючий струм	Менше 600 мА (при 5 В постійного струму)
Вихід стану	Фун-я виходу стану вимикача ВКЛ/ ВИКЛ
Імпульсний вихід	Фун-я виходу імпульсу стану
Широтно-імпульсний вихід	Фун-я виходу тривалого разового імпульсу

Шина RІO є комунікаційною шиною, призначеною для забезпечення дистанційного вводу/виводу. Вона підключається до блоків вузлових інтерфейсів FCU. Докладні технічні характеристики RІO шини можна знайти в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика шини RІO

Кабель	Кабель типу «вита пара», опто-волоконний кабель
Максимальна кількість під'єднаних пристроїв	8 вузлів
Швидкість передачі даних	2 Мбіт/с
Топологія мережі	шина

Мережа V-net є реально-часною мережею управління, яка з'єднує операторну станцію управління типу FCS. Швидкість передачі даних в цій мережі становить 10 Мбіт/с, а її конфігурація базується на стандарті IEEE 802.4. Мережа V-net виконує такі функції: передача загальних даних системі, передача повідомлень та передача синхронізованих сигналів між станціями управління FCS.

4.3 Функціональна схема автоматизації

Система автоматизації установки оксидилювання алкілфенолів виконує такі функції:

1. За допомогою вихрового витратоміра DY 100 (п.1-1а), встановленого на трубопроводі подачі алкілфенолів, система здійснює дистанційний контроль, моніторинг, сигналізацію та регулювання їх витрати до апарата Р-1. Сигнал 4-20 мА з витратоміра передається в систему управління CENTUMCS 3000. Для регулювання система подає сигнал 4-20 мА до позиціонера 3620J (п.1-1б), який керує відсічним клапаном V500 (п.1-1в), перетворюючи електричний сигнал у пневматичний.

2. Контроль, сигналізація та реєстрація тиску в сепараторі С-1 здійснюються за допомогою датчика тиску EJA 530 (п.2-1а), встановленого на корпусі сепаратора. Сигнал 4-20 мА передається в систему CENTUMCS 3000 для обробки.

3. Температура на виході з випарника В-1 контролюється термоперетворювачем RMPt100 (п.3-1а), сигнал з якого надходить на нормуючий перетворювач УТА 70 (п.3-1б), що формує сигнал 4-20 мА для системи управління. Для регулювання використовується позиціонер 3582i (п.3-1в), який керує клапаном 1018S (п.3-1г) на лінії подачі водяної пари.

4. Для контролю концентрації оксиду етилену після розривної мембрани застосовується газоаналізатор Polytron 2IR (п.4-1а, 4-2а). Сигнал 4-20 мА передається до системи управління, де відбувається аналіз і сигналізація.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Тиск у реакторному блоці Р-1 контролюється за допомогою датчика ЕЈА 530 (п.2-2а), встановленого на трубопроводі між реакторами Р-2 та Р-3. Уніфікований сигнал 4-20 мА надходить у систему CENTUMCS 3000 для контролю та сигналізації.

6. Для регулювання витрати оксиду етилену в реакторах Р-2 та Р-3 використовується витратомір DY 100 (п.1-2а). Сигнал 4-20 мА надходить у систему управління, яка видає команду на позиціонер 3582і (п.1-2б), що керує клапаном 1018S для подачі оксиду етилену.

7. Температура суміші після реактора Р-1 контролюється термоперетворювачем RMPt100 (п.3-2а), сигнал з якого обробляється перетворювачем YTA 70 (п.3-2б). Регулювання здійснюється через позиціонер 3582і (п.3-2в) і клапан 1018S (п.3-2г), який керує подачею пари в змієвики реакторів Р-2 та Р-3.

8. У випадку відхилення контрольованих параметрів (тиску, температури, концентрації кисню, рівня в Р-1) сигнал 4-20 мА надходить у систему, яка видає команду на позиціонери 3620J (п.5-2в, 5-2д). Вони керують відсічними клапанами V500 (п.5-2е, п.5-2є), що регулюють подачу азоту та оксиду етилену, стабілізуючи процес.

9. Рівень водяного конденсату в сепараторі С-1 контролюється за допомогою перетворювача гідростатичного тиску ЕЈА 110А (п.5-1а). Сигнал 4-20 мА подається в систему управління для контролю і регулювання.

10. Для регулювання рівня водяного конденсату сигнал з системи управління передається на позиціонер 3582і (п.5-1б), який керує клапаном 1018S (п.5-1в) на лінії відводу водяного конденсату до випарника В-1.

11. Після завершення процесу оксietiлювання в Р-1 система здійснює переключення клапанів: відкривається клапан 5-3д (лінія відкачки), закривається 5-3є (лінія циркуляції), відкриваються клапани 5-3й (випорожнення випарника) і 5-3в (випорожнення реактора). Після досягнення мінімального рівня в Р-1 (контроль

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

через ЕЈА 110А, п.5-3а), система видає команди на відкриття/закриття клапанів 5-3з, 5-3є, 5-3д, 5-3л для забезпечення нормального переходу до наступного етапу.

Ці переключення допомагають налагодити подальші операції та забезпечити нормальний режим роботи системи після закінчення процесу оксидилювання.

4.4 Схема зовнішніх з'єднань

Схеми зовнішніх з'єднань (або підключень) використовуються для відображення взаємозв'язків між елементами автоматизованої системи — пристроями, пультами, установками та щитами. Вони створюються на основі функціональних схем і типових електросхем керування та сигналізації.

У цих схемах використовуються умовні графічні позначення, які представляють різні технічні засоби, зокрема: відбірні пристрої, первинні перетворювачі, пульти керування, щити, місцеві контрольні й керуючі пункти, обладнання сигналізації й контролю вимірювань, засоби автоматизації, прилади поза щитом, з'єднувальні та протяжні коробки, кабельні й електропровідні лінії, комутаційні клеми, запірні арматура та пристрої захисного заземлення.

Шафи з приладами позначаються у вигляді прямокутників або кіл з відповідними написами, що вказують тип чи функцію приладів.

У проектуванні та реалізації автоматизованих систем використовуються різні документи: специфікації на обладнання й засоби автоматизації, технологічні схеми автоматизації, принципові електричні та пневматичні схеми. Вони задають вимоги до підключення обладнання та містять необхідну інформацію для коректної роботи системи керування.

Схеми зовнішніх з'єднань узгоджуються з загальними кресленнями щитів. У таких схемах зображуються місцеві контрольні пункти, прилади поза щитами, захисні пристрої, електричні та пневматичні з'єднання, протяжні й з'єднувальні коробки, підведення стисненого повітря, технологічні примітки, основні підписи, умовні графічні позначення та перелік кабельної і монтажної продукції.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Звертається увага, що в схемах зовнішніх з'єднань масштаб не використовується. Графічна частина містить саму схему.

Для підключення приладів до з'єднувальних коробок застосовуються кабелі типу КВВБГ 4x1,5 мм². Кабелі марок КВВБГ 14x1,5 мм² і КВВБГ 10x1,5 мм² використовуються для з'єднання модулів системи керування з коробками.

Імпульсні лінії виконані з безшовних сталевих труб Тр.Ст. 14x2. Для зручності монтажу, демонтажу та перевірки роботи вимірювальних перетворювачів на цих лініях використовуються триходові вентиля HERZ CALIS-TS-RD і запірні вентиля типу 15кч18бр.

4.5 Опис структурної схеми РСУ CENTUMCS 3000

Система приймає уніфіковані аналогові сигнали 4–20 мА від різноманітних датчиків, що вимірюють параметри, такі як рівень, температура, витрата, тиск і концентрація. Ці сигнали надходять на аналоговий вхідний модуль ААМ 11. Спочатку вони проходять через модуль обробки та масштабування сигналів (MUB), де перетворюються в сигнали напруги (1–5 В) або залишаються в струмовому діапазоні 4–20 мА.

Далі оброблені сигнали подаються на мультиплексований вхідний модуль ААМ 12Т, де відбувається їх оцифрування, масштабування і передача по шині RIO до процесорних модулів системи керування. У процесорі сигнали аналізуються на відповідність заданим межам та обробляються згідно з алгоритмом, визначеним технологічною схемою керування. Після цього формується керуючий сигнал, який передається в аналоговий вихідний модуль ААМ 50, а далі — до виконавчих механізмів.

Програмування контролера системи керування здійснюється з операторської станції. Модулі введення/виведення в складі керуючого блоку з'єднуються між собою через RIO-шину. Зв'язок між АРМ оператора і станцією керування на об'єкті (FCS) реалізовано через мережу V-net.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6 Схеми процесорної плати станції управління LFCS

У системі управління LFCS реалізовано подвійне резервування для ключових компонентів: центральної процесорної плати (CPU), інтерфейсної плати шини RIO, комутаційних пристроїв мережі V-net, внутрішньої системної шини та комутаційного обладнання RIO-шини. Подвійне резервування передбачене також для самої мережі V-net та її інтерфейсів.

На процесорній платі розміщено два незалежних процесори, які одночасно виконують однакові обчислення. Отримані результати порівнюються – якщо вони ідентичні, це підтверджує коректну роботу, і дані записуються в пам'ять та передаються через інтерфейсну шину. Для забезпечення цілісності даних основна плата використовує код корекції помилок, який дозволяє виправляти одиничні помилки за допомогою зміни стану бітів.

У разі розбіжності між результатами двох процесорів, порівнювальний блок фіксує "нештатний стан" і активує резервну процесорну плату. Крім того, використовується контрольне реле часу, яке постійно моніторить справність активної плати. При виявленні несправності воно також переключає систему на резервний процесор.

Якщо у роботі основної процесорної плати зафіксовано помилку, виконується автоматична самодіагностика. Якщо інші елементи системи працюють нормально, така ситуація класифікується як збій передачі, і плата переходить у "резервний режим", а не повністю відключається.

Резервна процесорна плата повністю дублює функції основної, і, перебуваючи в активному режимі, забезпечує передачу результатів через інтерфейсну шину, що гарантує безперервну роботу системи.

Система також використовує дубльовані шини RIO, які працюють по чергово. У випадку фіксації відхилень або збоїв в одній з шин, автоматично активується інша. При цьому періодично здійснюється перевірка стану "нештатної" шини, щоб за можливості повернути її до нормального режиму. Така

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		57

архітектура забезпечує високу надійність і стабільність функціонування системи управління.

Висновки до розділу

У цьому розділі виконано розробку проектної документації для автоматизації технологічного процесу оксиетилювання алкілфенолів. Проведено аналіз наявних технічних засобів автоматизації, що дало змогу обґрунтовано обрати найбільш ефективні рішення для реалізації даного процесу.

Розроблено структурну схему системи управління та контролю, яка відображає побудову та взаємозв'язки елементів системи управління процесом оксиетилювання. На її основі створено функціональну схему автоматизації, що деталізує призначення та взаємодію окремих компонентів системи.

Складено схему зовнішніх з'єднань, яка охоплює підключення датчиків, пристроїв вводу/виводу, реле та інших елементів автоматизації. Також розроблено схему, що відображає структуру та організацію процесорної плати системи керування LFCS.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі представлено проєкт системи автоматизації для установки, призначеної для процесу оксиетилювання алкілфенолів. Управління технологічним процесом реалізовано за допомогою розподіленої системи керування CENTUM CS 3000, яка забезпечує широкі функціональні можливості, зокрема реалізацію локального, багатозв'язного та каскадного регулювання.

У проєкті застосовано сучасні засоби автоматизації від провідних виробників, зокрема Fisher-Rosemount і Yokogawa, які забезпечують сумісність із системою CENTUM CS 3000 через уніфіковані аналогові сигнали, узгоджені з її інтерфейсами.

Було вивчено технологічну схему установки, а також проаналізовано технічні характеристики основного обладнання — випарника, реакторів періодичної дії та сепаратора. На основі аналізу визначено доцільні параметри контролю та регулювання.

Виконано математичне моделювання об'єкта керування. З використанням експериментальних даних визначено передавальні функції основного і допоміжного каналів, що дозволило обґрунтувати вибір типів регуляторів для одноконтурної та каскадної систем автоматичного регулювання. Доведено, що каскадна система забезпечує кращу якість перехідного процесу порівняно з одноконтурною.

На основі технологічної та структурної схем розроблено функціональну схему автоматизації, схему зовнішніх з'єднань, структурну схему розподіленої системи управління CENTUM CS 3000, а також описано організацію процесорної плати керувальної станції LFCS.

Розроблена система дозволяє забезпечити ефективне автоматизоване керування технологічним процесом оксиетилювання алкілфенолів, підвищуючи надійність, безпеку та стабільність функціонування установки.

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Сайт про хімію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.ximik.ua/encyclopediia/2/3066.html>
2. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного керування. - Івано-Франківськ: Факел, 1999. - 320 с.
3. Дранчук М.М. Проектування систем автоматизації. - Івано-Франківськ: Факел, 2005. - 448 с.
4. Generals pecrfication GS 01C21F01 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.sullivanandsons.com/Files/EJA530datasheet.pdf>
5. Drawnings 01F06A00-05EN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.yokogawa.com/pdf/DYF/SD01F06A00-05EN.pdf>
6. Технічні характеристики GS 06B03B01-00R [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://www.yokogawa.ru/specifications/specific_327_67.aspx
7. Product Information: YTA Temperature Transmitter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.yokogawa.com/fld/TEMPERATURE/fld-yta-yta-02en.htm>
8. Датчик перепаду тиску EJA 510A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: www.yokogawa.ru/measurementpressure/?prod=862
10. Product Bulliten D200064X012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/bulletins/D200064X012.pdf>
11. Product Bulliten D100054X012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/bulletins/D100054x012.pdf>
12. Product Bulliten D200038X0RU [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/instruction_manuals/d200138x0ru.pdf

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Process plant and machinery limited. – Режим доступу:
<http://www.processplantandmachinery.com/default.asp?PageId=478&mode=detail&action=cartadd&cid=35&pid=5904>

14. Технічна інформація [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://www.kip-pribor.com.ua/files/yokogawa/files/documentation/ti_33q01b10-01r_sys_overview.pdf

					БР.АКП-21.00.00.000ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		