

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ

група АКП -23-1К

Володимир Боднарчук

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

Боднарчук Володимир Миронович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:622.276.54
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу депарафінації

(назва роботи)

нафтопродуктів

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

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

(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

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

Рецензент

доцент І. І. Чигур
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-1К В. М. Боднарчук
(шифр групи) (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 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

« » 20 року

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

Боднарчуку Володимиру Мироновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу депарафінізації нафтопродуктів

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

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

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

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Дослідження технологічного процесу депарафінізації нафтопродуктів як об'єкта автоматизації. 2. Синтез системи автоматичного регулювання. 3. Проектування документації на САК. Висновки.

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-36.00.00.001

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКП-36.00.00.002

Лист 3 - Аналіз та синтез одноконтурної - БР.АКП-36.00.00.003

Лист 4 - Аналіз та синтез каскадної - БР.АКП-36.00.00.004

Лист 5 – Стійкість АСР - БР.АКП-36.00.00.005

Лист 6 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-36.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 63 сторінки, 25 рисунків, 5 таблиця, 12 джерел.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу депарафінізації нафтопродуктів».

Об'єкт дослідження: процес депарафінізації нафтопродуктів.

Метою роботи є удосконалення системи автоматизації процесу депарафінізації нафтопродуктів.

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

Результати бакалаврської роботи. Виконано комплексний аналіз технологічного процесу депарафінізації нафтопродуктів пропаном з позиції його автоматизації. Надано характеристику використовуваної сировини та готового продукту. Проведено аналіз технологічної установки депарафінізації, розглянуто вимоги технологічного регламенту, а також надано детальний опис основного технологічного обладнання, комунікацій, допоміжних механізмів та агрегатів. Розроблено структурну схему об'єкта, де основним контуром регулювання виступає температура розчину, а допоміжним — витрата пропану. Здійснено моделювання одноконтурної та каскадної автоматичних систем регулювання. Обчислено еквівалентні передавальні функції, а також виконано аналіз стійкості. Розроблено функціональну схему автоматизації з урахуванням особливостей керованого об'єкта. Проведено вибір технічних засобів автоматизації із зазначенням їх типів і моделей відповідно до вимог окремих контурів регулювання.

Ключові слова: автоматична система регулювання, стійкість, технічні засоби автоматизації, каскадна система, депарафінізація нафтопродуктів, реактор, моделювання.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 63 pages, 25 figures, 5 table, and 12 references.

Title: "Improvement of the Automation System for the Technological Process of Petroleum Products Dewaxing".

Object of research: the process of petroleum products dewaxing.

The aim of the thesis is to improve the automation system of the petroleum products dewaxing process.

Research methods. The study employs methods of systems analysis, mathematical modeling, and automatic control theory. The dynamic behavior of automatic control systems was analyzed using the Mikhailov and Hurwitz stability criteria.

Results of the bachelor's thesis. A comprehensive analysis of the technological process of propane dewaxing of petroleum products was carried out from the standpoint of automation. Characteristics of the raw materials and final products were provided. The dewaxing plant was analyzed, the requirements of the technological regulations were considered, and a detailed description of the main technological equipment, pipelines, auxiliary mechanisms, and units was presented. A structural diagram of the object was developed, where the main control loop regulates the solution temperature, and the auxiliary loop controls the propane flow rate. Modeling of both single-loop and cascade automatic control systems was conducted. Equivalent transfer functions were calculated, and system stability was analyzed. A functional automation scheme was developed considering the specific features of the controlled object. The selection of automation hardware (measuring instruments, controllers, actuators) was carried out, including their types and models according to the requirements of individual control loops.

Keywords: automatic control system, stability, automation hardware, cascade system, petroleum dewaxing, reactor, modeling.

ЗМІСТ

Ст.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЕПАРАФІНІЗАЦІЇ НАФТОПРОДУКТІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1 Опис технологічного процесу депарафінації нафтопродуктів.....	10
1.2 Характеристика сировини і продукту	12
1.3 Технічна характеристика технологічного обладнання	14
1.4 Вибір параметрів контролю і регулювання	15
Висновки до розділу	17
РОЗДІЛ 2	
МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	18
2.1 Класифікація змінних та характеристика об'єкта регулювання.....	18
2.2 Основні показники якості і критерії оптимальності системи автоматизації.....	19
2.3 Експериментальне дослідження динаміки керованого об'єкта.....	19
2.3.1 Підготовка і планування експерименту, виявлення вхідних і вихідних змінних.....	20
2.3.2 Обробка результатів експерименту.....	22
2.4 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів в АСК.	28
2.4.1 Вибір регулятора і розрахунок параметрів його налаштування.....	26
2.4.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів каскадної АСР.....	29
2.5 Синтез та аналіз АСР.....	31
2.5.1 Складання структурної схеми АСР.....	32

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Боднарчук В.М.			Удосконалення системи автоматизації технологічного процесу депарафінації нафтопродуктів	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Борин В.С.				6	63	
Рецензент		Чигур І.І.				ІФНТУНГ, АКП-23-1К		
Н.Контроль		Кучмистенко О.В						
Затвердив		Лагойда А.І.						

2.5.2 Дослідження АСР на стійкість одноконтурної АСР.....	36
2.5.3 Дослідження на стійкість каскадної АСР.....	37
2.6. Визначення показників якості регулювання та їх порівняльний аналіз для одно- і багатоконтурних АСР.....	35
Висновки до розділу.....	37
РОЗДІЛ 3	
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	42
3.1 Розроблення функціональної схеми автоматизації.....	42
3.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	43
3.3 Опис роботи автоматичної системи вимірювальних сигналів.....	57
3.4 Проектування щита сигналізації і управління.....	59
Висновки до розділу.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	62

ВСТУП

Очищення нафтопродуктів — це процес видалення небажаних домішок, методи і цілі якого залежать від властивостей самих нафтопродуктів та напрямків їх подальшого використання.

Сучасні умови, в яких постійно зростає частка сірчистих, високосірчистих і високопарафіністичних нафт, поряд із необхідністю збільшення обсягів виробництва, розширенням асортименту та підвищенням якості нафтопродуктів, вимагають інтенсивного розвитку вторинних, зокрема каталітичних, процесів.

Близько 70% продукції хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної галузей виробляється з використанням каталізаторів, при цьому 90% новітніх хімічних процесів також базуються на їх застосуванні. У нафтопереробці найбільш поширеними є каталітичні процеси, такі як: отримання палив, каталітичний крекінг, риформінг, гідроочищення, алкілювання, ізомеризація та гідрокрекінг. Зокрема, гідроочищення та гідрокрекінг широко використовуються для виробництва високоякісних мастил і парафінів.

Для усунення небажаних домішок нафтопродукти піддають очищенню, яке, залежно від типу продукту та призначення, передбачає використання різних методів.

Процес депарафінізації спрямований на виділення твердих вуглеводнів із нафтових фракцій з метою зниження температури застигання та поліпшення фізико-хімічних властивостей сировини. Для інтенсифікації цього процесу застосовують різноманітні розчинники, які знижують в'язкість і сприяють швидшому утворенню кристалів твердих вуглеводнів.

Вилучені вуглеводні знаходять подальше застосування у виробництві парафіну або церезину — продуктів, затребуваних у різних галузях промисловості та побуту.

У сучасних умовах автоматизація технологічних процесів є невід'ємною складовою ефективного виробництва. Системи автоматичного керування — це

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комплекс технічних засобів, програмного забезпечення та математичних методів, що забезпечують моніторинг і регулювання параметрів технологічних об'єктів згідно з поставленими завданнями.

Метою бакалаврської роботи є дослідження процесу депарафінізації з використанням пропану, розробка системи автоматизації цього процесу, а також його оптимізація задля підвищення якості кінцевого продукту та ефективного використання сировинних ресурсів.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЕПЕРАФІНІЗАЦІЇ НАФТОПРОДУКТІВ ЯК ОБЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Опис технологічного процесу депарафінації нафтопродуктів

Депарафінація нафтопродуктів — це процес видалення парафінових вуглеводнів, які кристалізуються при зниженні температури, що дозволяє отримувати мастильні матеріали з низькою температурою застигання. Цей процес належить до числа найбільш складних у технології переробки нафти, тому вибір оптимальних умов його проведення та режимів має вирішальне значення.

Для депарафінації застосовуються різні розчинники, серед яких — пропан, бензинові фракції, дихлоретан, аміак та кетони. У великотоннажному виробництві найбільш доцільним є використання пропану, який виконує одночасно функції як розчинника, так і холодоагенту.

Схема роботи установки депарафінації пропаном: Сировина (I) за допомогою насоса (20) подається до діафрагмового змішувача (2), де змішується зі зрідженим пропаном (II) із збірника (1). Отримана суміш спочатку підігрівається до 50–70 °С у паровому нагрівачі (3), потім охолоджується у водяному холодильнику (4) до 35–40 °С і далі — в теплообміннику (5) холодним фільтратом (VI).

Охолоджений розчин (IV) надходить до проміжної ємності (9), а звідти насосом (21) — до одного з кристалізаторів (10 або 11), які працюють по чергово. У кристалізаторах за рахунок зниження тиску відбувається випаровування пропану (VIII), що надходить безпосередньо в охолоджений розчин із теплообмінника (не показано) та збірника (15), охолоджуючи при цьому і сам розчин до -30...-45 °С.

Суспензія (V), що утворюється, збирається у приймачі (13) та насосом (22) подається на барабанні фільтри (14), які працюють під тиском 25–30 кПа. Очищений розчин депарафінованого масла (VI) проходить через теплообмінники (7 і 5) і надходить у секцію регенерації розчинника.

Осад, що утворився, промивається розчином пропану (VII), який також використовується для полегшення транспортування петролатуму шнеком у приймач

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ					

(16). Звідти розчин петролатуму (X) через теплообмінник (6) також направляється в регенераційну зону. Осад з фільтрів видаляється циркулюючим газоподібним пропаном за допомогою газодувки.

Пари пропану (XI) проходять через бризговідділювач (12), охолоджуються в холодильнику (8) та надходять до компресора (19), після чого знову повертаються до збірника рідкого пропану (1).

Основна частина пропану, що міститься в депарафінованому маслі (VI) та петролатумі (X), випаровується у парових випарниках під тиском 1,5–1,7 МПа. Решта пропану видаляється у відпарних колонах, що працюють при близькому до атмосферного тиску. Пари пропану та води з колони надходять у конденсатор змішування, а далі — у бризговідділювач і компресор.

Однією з важливих вимог до нафтопродуктів є збереження їх рухомості при низьких температурах. Втрата цієї властивості пов'язана з кристалізацією твердих парафінів з нафтових розчинів. Для забезпечення низькотемпературних властивостей масел у виробничий процес включається стадія депарафінізації, яка дозволяє видаляти тверді вуглеводні — цінну сировину для парафінового виробництва.

Процес базується на різниці у розчинності рідких і твердих вуглеводнів у розчинниках при низьких температурах, що дає змогу застосовувати його до сировини різного фракційного складу.

Існує два основні способи охолодження розчину з пропаном:

- із використанням холодоагенту (на завершальних етапах процесу),
- або за рахунок самовипаровування пропану — метод, що реалізується у вертикальних або горизонтальних апаратах періодичної дії.

Швидкість охолодження регулюється ступенем зниження тиску, а ефективність випаровування — інтенсивністю відсмоктування парів пропану, для чого в системі використовуються компресори. Необхідне співвідношення пропану до сировини підтримується шляхом постійного додавання пропану відповідно до рівня його випаровування або внесенням охолодженого пропану на кінцевих етапах.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Серед переваг процесу:

- економічність і простота, завдяки одночасній функції пропану як розчинника і холодоагенту;
- висока швидкість охолодження через низьку в'язкість розчину;
- можливість виключення інертного газу зі схеми, адже пари пропану використовуються для віддувки осаду на фільтрах.

У разі депарафінації дистилятної сировини фільтрація ускладнюється через дрібнокристалічну структуру твердих вуглеводнів, що знижує швидкість у 10–15 разів. Цю проблему можна частково вирішити шляхом введення спеціальних присадок, які сприяють утворенню більших кристалів.

Співвідношення пропану до сировини зазвичай складає 0,8:1 до 2:1 (об'ємне). Однак висока розчинність твердих вуглеводнів у пропані вимагає значного охолодження для повного їх видалення. Це є недоліком процесу, оскільки зумовлює високу температуру кінцевої ефективної депарафінації (ТЕД) — у межах 15–20 °С.

1.2 Характеристика сировини і продукту

Процес депарафінації остаточного рафінату здійснюється з використанням рідкого пропану як розчинника. Згідно з наведеними даними, на 100 масових частин сировини витрачається загалом 400 масових частин пропану, який подається на різні стадії процесу:

- на промивку — 50 мас.%;
- на розчинення — 175 мас.%;
- на розрідження осаду — 75 мас.%.

Матеріальний баланс депарафінації остаточного рафінату пропаном наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1-Матеріальний баланс депарафінації остаточного рафінату пропаном

	% (мас.) від сировини	Склад розчинів % (мас.)
Взято		

Сировини	100	-
Пропан		
на промивку	50	-
на розчинення	175	-
на розрідження осаду	75	-
Всього	400	-
Отримано		
Розчин депарафінованого масла		
пропан	211	74
масло	74-76	26
Разом	285	100
Розчин петролатума		
пропан	89	77,5
петролатум	26-24	22,5
Разом	115	-
Всього	400	100

Таблиця 1.2-Характеристика сировини і одержаних продуктів

	Рафінат	Депарафінове масло	Петро- латум	Рафінат	Депарафі нове масло	Петро латум
Густина при 20 ⁰ С, кг/м ³	883	887	-	890	897	-
В'язкість при 100 ⁰ С, мм ² /с	17,8	20,3	-	19,0	21,5	-

	Рафінат	Депарафінове масло	Петро- латум	Рафінат	Депарафі нове масло	Петро латум
Температура ⁰ С						
охолодження	-31	-21	-	45	-18	-
плавлення	-	-	60,8	-	-	63,0

Температура кінцевого охолодження і фільтрування -40°C

1.3 Технічна характеристика технологічного обладнання

Сепаратор призначений для розділення газо-рідинної суміші. Він являє собою вертикальний циліндричний апарат висотою 3–5 м та діаметром 0,5–1 м. Усередині апарата розміщені секції жалюзей, що забезпечують ефективне відокремлення рідинної фази від газової. Основним призначенням є вилучення залишкового газу (відпрацьованого повітря) із суміші.

Принцип дії сепаратора полягає в тому, що газорідинну суміш подають під високим тиском через дроселюючий елемент (зазвичай холодильник). При цьому температура суміші знижується, що сприяє інтенсивному виділенню окремих домішок.

Теплообмінники (позиції 5, 7), тип: "труба в трубі". Призначення — підігрів сировини або розчинів. Внутрішньою трубою проходить продукт, а в міжтрубному просторі подається пара як теплоносій. Типова поверхня теплообміну становить 50–80 м², що забезпечує необхідну ефективність теплопередачі для підготовки сировини до наступних технологічних стадій.

Ємність для приготування пасти (позиція 15) використовується для змішування відбілювача з водою з метою одержання робочої пасти. Процес перемішування здійснюється за допомогою мішалки. Така ємність забезпечує гомогенність продукту перед його подачею в технологічну схему.

										Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ					

Збірник (позиція 1) - циліндрична вертикальна ємність діаметром 2 м і висотою 6 м. Використовується для зберігання зрідженого пропану, який надалі подається в змішувачі або кристалізатори.

Компресор (позиція 19) - призначений для відсмоктування парів пропану. Забезпечує інтенсивність випаровування за рахунок створення відповідного тиску. Максимальна продуктивність компресора становить 300 л/с. Компресор є критичним елементом у забезпеченні сталого циклу випаровування і конденсації пропану.

Барабанний фільтр (позиція 14) - фільтраційний апарат, у якому здійснюється розділення суспензії — виділення осаду (парафінів та смолистих речовин). Для очищення фільтра використовується віддувка парами пропану, що дозволяє уникнути додаткового використання інертних газів. Робота фільтра проходить під надлишковим тиском 0,25–0,50 кгс/см².

Пропанові кристалізатори (позиції 10, 11) - використовуються для охолодження розчинів до температур -30...-45 °С з метою кристалізації твердих вуглеводнів і смолистих речовин. Результатом є утворення дендритних кристалів, які відзначаються високою швидкістю фільтрації — 600–1000 кг/(м²·год), що значно підвищує продуктивність процесу депарафінації.

Змішувач (позиція 2) - циліндричний вертикальний апарат, у якому здійснюється змішування сировини з пропаном до необхідної концентрації. Важливий етап для забезпечення однорідного розчину перед подачею у теплообмінники та кристалізатори.

Каплевідбійник (позиція 12) - забезпечує вловлення та видалення крапель рідини із газового потоку. Це дозволяє зменшити втрати пропану та знизити вміст рідких фракцій у паровій фазі, що надходить до компресора або повторно в технологічну схему.

Описані апарати є ключовими елементами в роботі установки депарафінації нафтопродуктів пропаном. Їх конструктивні особливості та параметри роботи прямо

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

впливають на ефективність процесу, якість кінцевого продукту та енергетичну доцільність виробництва.

1.4 Вибір параметрів контролю і регулювання

На досліджуваній установці депарафінації нафтопродуктів розчином пропану контролю і регулюванню підлягають параметри, основні з них наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.-Параметри контролю і регулювання.

№	Параметр	Значення параметру	Діапазон зміни
1	Температура розчину сировини	350°C	335-370°C
2	Температура розчину промивки осаду	290°C	260-315°C
3	Температура розчину (охолодженого)	215°C	260-290°C
4	Тиск після насосу 20	1,5 МПа	2,0-3,0МПа
5	Тиск після насосу 19	1,5 МПа	1,0-2,0 МПа
6	Тиск після насосу 22	1,5 МПа	1,0-2,0 МПа
7	Тиск після насосу 21	1,5 МПа	1,0-2,0 МПа
8	Тиск в барабаному фільтрі	2,0МПа	1,0-2,0МПа
9	Тиск в кристалізаторі	2,0МПа	1,5-3МПа
10	Витрата р-ну петролатума	40 м ³ /год	45-35м ³ /год
11	Витрата пропану	25 м ³ /год	30-20м ³ /год
12	Витрата сировини	75м ³ /год	60-90м ³ /год
13	Рівень у збірнику	3 м	1,8-3,2

№	Параметр	Значення параметру	Діапазон зміни
14	Рівень у ємності для охолодження	5 м	4,7-5,1
15	Рівень у приймачі розчину	5 м	4,7-5,1
16	Рівень у приймачі пропану	5 м	4,7-5,1
17	Рівень у приймачі суспензії	4 м	4,7-5,1

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи здійснено аналіз технологічного процесу депарафінації із застосуванням пропану з точки зору автоматизації. Подано характеристику вихідної сировини та готової продукції, виконано детальний аналіз установки депарафінації пропаном, розглянуто технологічний регламент та його основні норми. Надано опис технологічного обладнання, апаратів, комунікацій, допоміжних систем та агрегатів. Особливу увагу приділено впливу основних параметрів на перебіг процесу депарафінації та його ефективність.

										Арк.
										17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ					

2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

На основі детального аналізу технологічного процесу депарафінізації із використанням пропану можна зробити висновок, що одним із критично важливих об'єктів установки є реактор Р-1. Основною задачею автоматизованої системи керування (АСК) для цього об'єкта є стабільне підтримання заданої температури в реакторі. Найбільш доцільним рішенням для регулювання температурного режиму є управління подачею теплоносія. Низка параметрів впливає на тепловий баланс реактора, основні подані на рисунку 2.1.

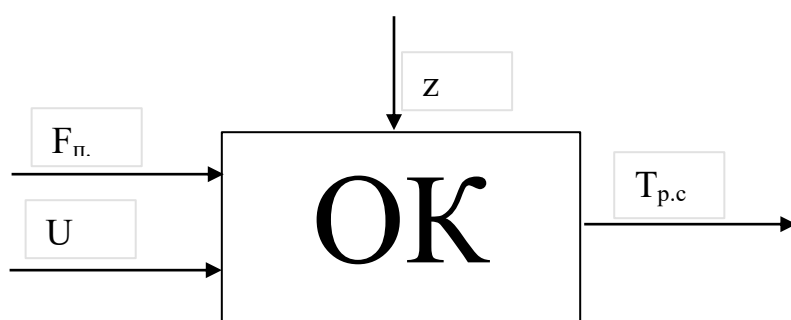


Рисунок 2.1 – Модель вхід-вихід об'єкта (реактора)

2.1 Класифікація змінних та характеристика об'єкта регулювання

Змінні, що впливають на процес депарафінізації, умовно поділяються на три групи:

Керуючі параметри – безпосередньо впливають на хід процесу. У випадку реактора Р-1 такими є:

- положення регулюючого органу U ;
- витрата пропану F_p .

Збурювальні (некеровані) величини – це випадкові або контрольовані впливи, які не підлягають прямому регулюванню. Їх позначимо як z .

Регульовані параметри – це ті величини, значення яких необхідно підтримувати в заданих межах. Для реактора основним регульованим параметром є температура у верхній частині апарата.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Враховуючи значний вплив збурювальних чинників на стабільність технологічного процесу, для підвищення точності регулювання використовується допоміжний контур, що контролює температуру розчину, який подається у нижню частину реактора Р-1.

До складу автоматизованої системи регулювання входять:

- давач витрати;
- давач температури;
- регулятор;
- виконавчий механізм.

Для досягнення високої точності й надійності системи автоматизації обираються прилади з високим класом точності, швидкодією та експлуатаційною надійністю.

2.2 Основні показники якості та критерії оптимальності системи автоматизації

Метою функціонування системи автоматизації є стабільне підтримання температури розчину сировини в межах, оптимальних для процесу депарафінації. Регулювання здійснюється шляхом керування витратою теплоносія, який подається у випарник.

Для оцінки ефективності та оптимальності функціонування системи використовуються такі критерії якості регулювання, як максимальна похибка апроксимації експериментальних характеристик не перевищує 2,5%, перерегулювання – не більше ніж 20%, відхилення регульованої величини від усталеного значення – не більше ніж 5%.

Ці критерії забезпечують необхідний рівень стабільності, динамічної точності та стійкості системи автоматизації.

2.3 Експериментальне дослідження динаміки об'єкта регулювання

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Зважаючи на складність математичного опису динаміки об'єкта, доцільним є експериментальний метод дослідження – зокрема, метод активного експерименту. Це дозволяє отримати динамічні характеристики без глибокого теоретичного моделювання.

Для цього застосовується метод аперіодичних вхідних впливів (ступінчастий вплив або "стрибок"). У результаті такого експерименту будується перехідна характеристика об'єкта, яка дозволяє визначити інерційність, час запізнення, сталу часу системи.

Під час дослідження припускається, що об'єкт є лінійним у межах малих збурень вхідної величини, його динамічні властивості сталі в часі, вихідна змінна не залежить від просторових координат, процеси, що відбуваються в системі, є стаціонарними та ергодичними випадковими процесами.

Процедура експериментального визначення включає три основні етапи:

1. Підготовка та планування експерименту;
2. Проведення вимірювань та фіксація параметрів;
3. Обробка результатів для побудови моделей регулювання та визначення передатної функції об'єкта.

2.3.1 Підготовка, планування експерименту, виявлення вхідних і вихідних змінних

Під час вивчення динамічних характеристик об'єкта регулювання підготовка та планування експерименту розпочинаються з детального аналізу досліджуваного об'єкта. Основним завданням на цьому етапі є визначення вхідної та вихідної змінної: вхідною змінною приймаємо відсоток відкриття регулюючого органу (РО), вихідною змінною є сигнал від вторинного приладу, що надходить на вхід регулятора та відображає вимірюване значення температури.

При дослідженні замкненої системи автоматичного регулювання фіксується реакція вихідної величини на перемикання задавача, що призводить до зміни

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

вхідного впливу. Водночас реєструється зміна вихідного сигналу, що надходить від вимірювального перетворювача.

У випадку застосування аперіодичних (ступінчастих) вхідних впливів, важливо усунути впливи сторонніх збурень, оскільки їхня присутність може спотворити результати. Тому перед початком експерименту необхідно вивчити можливі джерела збурень та забезпечити їхнє усунення або мінімізацію.

Планування експерименту включає вибір типу вхідного впливу (ступінчастий сигнал), вибір амплітуди вхідного сигналу, фіксацію початкового значення вихідної змінної (режим роботи).

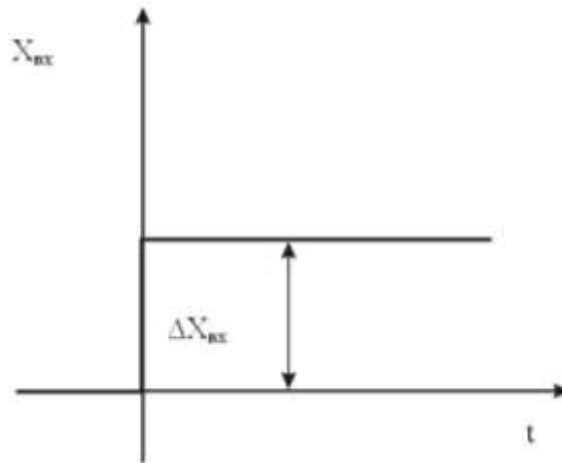
На практиці амплітуда вхідного сигналу зазвичай вибирається в межах $0,1-0,15 \cdot \Delta X_{\text{вх макс}}$, де $\Delta X_{\text{вх макс}}$ — максимальний можливий діапазон зміни вхідної змінної. При переміщенні регулюючого органу $\Delta X_{\text{вх макс}}$ приймається за 100% його ходу.

Проведення експерименту:

1. Обирається виробничий режим об'єкта, за якого вихідна змінна (температура) залишається стабільною.
2. У зв'язку з інерційністю процесу, необхідно витримати час стабілізації при сталому значенні температури (2,0–2,5 хвилини).
3. Наноситься збурення шляхом відкриття регулюючого органу на 10–15%.
4. Фіксується зміна вихідної величини у часі (температурна реакція об'єкта).
5. Одночасно записується інформація про всі можливі збурення, зокрема пов'язані з навантаженням об'єкта.
6. Завершення перехідного процесу визначається моментом, з якого вихідна змінна припиняє змінюватися і залишається практично сталою.

Такий підхід дозволяє побудувати перехідну характеристику об'єкта, яка стане основою для подальшої математичної моделі системи регулювання.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



$X_{\text{вх}}$ - вхідний вплив (відсоток відкриття РО); $\Delta X_{\text{вх}}$ - амплітуда вхідного впливу

Рисунок 2.2 - Аперіодичний вплив

2.3.2 Обробка результатів експерименту

Наведемо одержані результати експерименту по каналах регулювання у таблицях 2.1.

Таблиця 2.1 – Одержані результати після проведення експерименту по основному (темп. розчину сировини) і допоміжному каналу (витрата пропану)

t, с	%, вх	$T_{\text{розч}}, ^\circ\text{C}$	$F_{\text{пропан}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$
0	15	300	17
15	15	300	18
30	15	311	19,4
45	15	323,5	21
60	15	334,4	22,144
75	15	340,9	23
90	15	344,8	23,5
105	15	347	23,864
120	15	348,3	24,36
135	15	348,9	24,552

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

t,с	X _{ВХ}	У _{ВИХ}
165	1	0,99
180	1	1
195	1	1
210	1	1
225	1	1
240	1	1
255	1	1
270	1	1
300	1	1

Дану перехідну характеристику апроксимуємо за допомогою програми APROX 1.0,

отримаємо

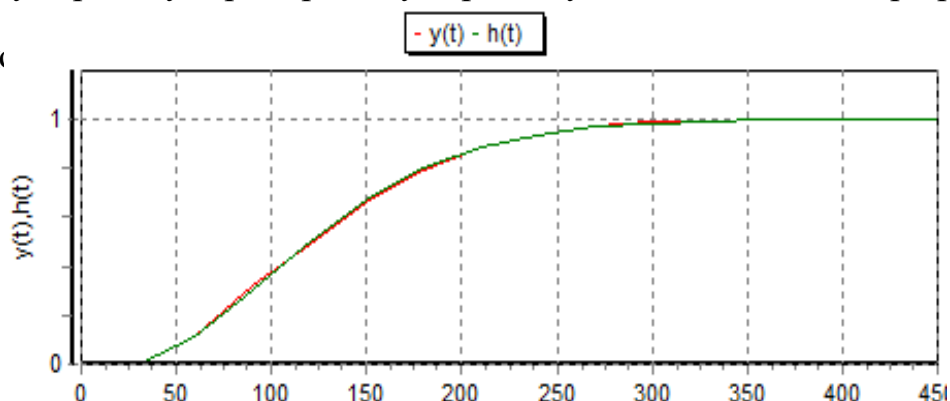


Рисунок 2.2 – Експериментальна перехідна характеристика в безрозмірних одиницях

по основному каналу

Передавальна функція, яку отримали при апроксимації перехідної характеристики:

$$W(p) = \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556 p^3 + 556.329 p^2 + 45.024 p + 1} \quad (2.2)$$

Апроксимація експериментальної перехідної характеристики по допоміжному каналу.

Згідно таблиці приводимо експериментальну перехідну характеристику по допоміжному каналу до безрозмірних величин за формулами:

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

t,с	X _{ВХ}	У _{ВИХ}
60	1	0,
75	1	0,82
90	1	0,813
105	1	0,94
120	1	0,97
135	1	0,98
150	1	0,978
165	1	1
180	1	1
195	1	1
210	1	1
225	1	1
240	1	1
255	1	1
270	1	1
300	1	1

Дану перехідну характеристику апроксимуємо за допомогою програми APROX 1.0, отримаємо максимальну похибку апроксимації $\Delta_{MAX} = 1.8\%$ в точці $T=45с$.

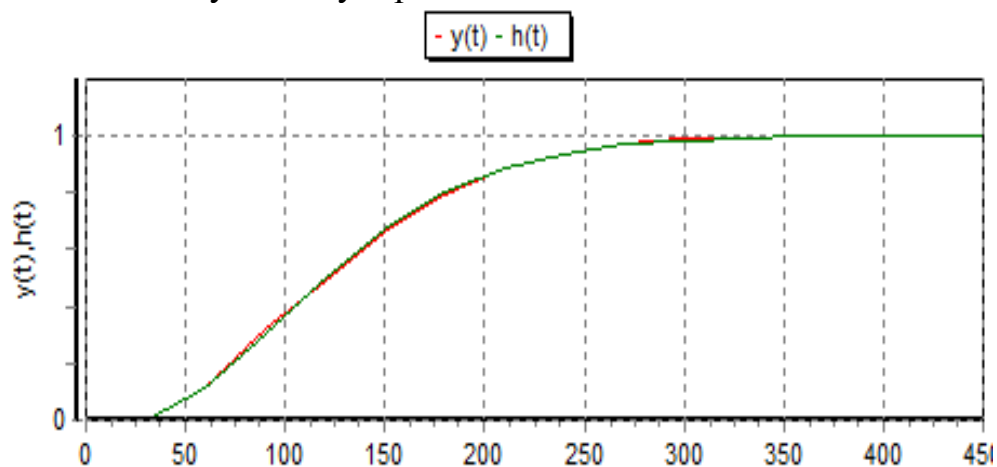


Рисунок 2.4 – Експериментальна перехідна характеристика в безрозмірних одиницях по допоміжному каналу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Передавальна функція, яку отримали при апроксимації перехідної характеристики:

$$W(p) = \frac{5.962 \cdot p + 1}{1081.717 p^2 + 60.542 p + 1} \quad (2.2)$$

2.4 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів в одноконтурних АСК

2.4.1 Вибір регулятора і розрахунок параметрів його налаштування в одноконтурній АСК

Аналізований технологічний об'єкт є астатичним із властивістю самовирівнювання, що функціонує в умовах незначних навантажень. Динамічні властивості об'єкта можуть бути описані передавальною функцією третього порядку, що вказує на його інерційний характер та складність моделювання.

З метою досягнення необхідного рівня якості автоматичного регулювання, зокрема:

- забезпечення обмеженого перерегулювання в межах 30–40%,
- формування стійкого та згладженого перехідного процесу,
- гарантування надійної роботи системи в умовах збурень,

доцільним є впровадження пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора, налаштування якого здійснюється згідно з критерієм симетричного оптимуму. Такий підхід дозволяє не лише стабілізувати систему, але й повністю усунути статичну похибку, яка часто є характерною для систем без інтегровальної складової.

Передавальна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_p(p) = \frac{C_1 p + C_0}{p}$$

Знайдемо параметри налаштування регулятора C_1 і C_0 використовуючи програмний продукт MatLab.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

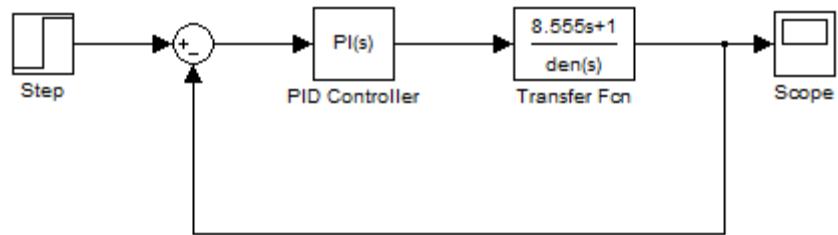


Рисунок 2.6 – Структурна схема одноконтурної АСР в середовищі Matlab

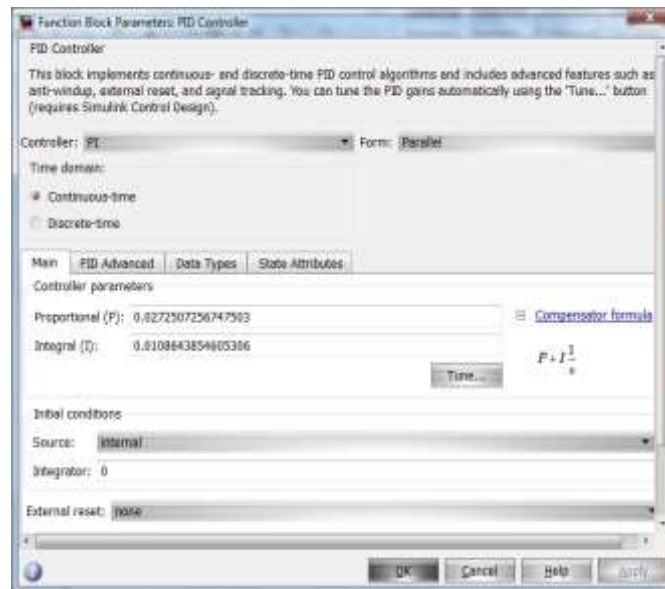


Рисунок 2.7 – Отримані параметри налаштування ПІ-регулятора середовищі Matlab



Рисунок 2.8 – Вікно вводу передавальної функції досліджуваного об'єкта в середовищі Matlab

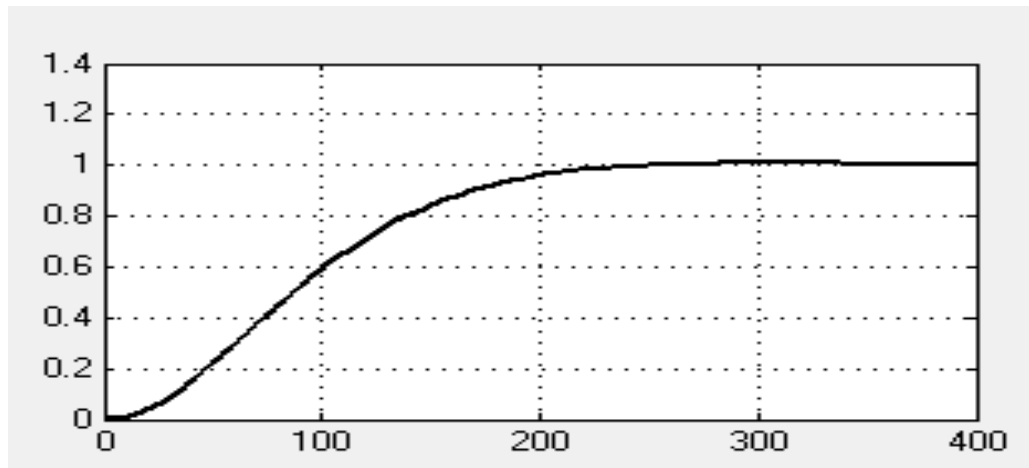


Рисунок 2.9 – Результати розрахунку одноконтурної АСР в середовищі Matlab

Отримаємо : $C_1 = 0.02725$, $C_0 = 0.01086$.

Використавши ці значення одержуємо передавальну функцію регулятора:

$$W_p(p) = \frac{0.02725p + 0.01086}{p}$$

Таким чином, використовуватимемо параметри налаштування регулятора, що розраховані з використанням ЕОМ.

Передавальна функція одноконтурної системи має вигляд:

$$W_{e1}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p)} \quad (2.15)$$

Підставимо в наведену формулу результати $W_p(p)$ і $W_o(p)$ отримані для одноконтурної АСР:

$$W(p) = \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556p^3 + 556.329p^2 + 45.024p + 1} \quad W_p(p) = \frac{0.02725p + 0.01086}{p}$$

$$W_{e1}(p) = \frac{\frac{0.02725p + 0.01086}{p} \cdot \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556p^3 + 556.329p^2 + 45.024p + 1}}{1 + \frac{0.02725p + 0.01086}{p} \cdot \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556p^3 + 556.329p^2 + 45.024p + 1}};$$

Після алгебраїчних перетворень отримаємо таку передавальну функцію:

$$W_{e1}(p) = \frac{9.86076 \cdot 10^{-32} p^3 + 0.19131 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.98606 \cdot 10^{-5} p + 0.891218 \cdot 10^{-5}}{p^4 + 0.456547p^3 + 0.371399p^2 + 0.000919p + 0.891218 \cdot 10^{-5}}$$

2.4.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів каскадної АСР

Для забезпечення ефективної роботи системи автоматичного регулювання, виконаємо розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів у каскадній системі автоматичного регулювання (АСР).

Каскадна АСР передбачає включення до основного контуру регулювання допоміжного, швидкодіючого (малоінерційного) контуру, що забезпечує регулювання витрати пропану — одного з ключових технологічних параметрів у процесі депарафінізації.

Оскільки інерційність допоміжного контуру істотно менша, ніж інерційність основного (контур регулювання температури), то розрахунок налаштувань основного регулятора доцільно проводити відносно еквівалентного об'єкта, який враховує вже відрегульовану динаміку допоміжного контуру.

Це дозволяє значно спростити модель основного об'єкта регулювання та забезпечити покращену точність регулювання температури, швидше досягнення усталеного режиму, зменшення впливу збурюючих чинників на основний технологічний параметр.

Розрахунок налаштувань основного регулятора, як правило, виконується на основі моделі еквівалентного об'єкта, що описується з урахуванням передавальної функції вже замкненого допоміжного контуру. Для цього можуть використовуватись стандартні методи налаштування, зокрема:

- метод симетричного оптимуму,
- метод частотної характеристики,
- метод експериментального моделювання (на основі перехідної характеристики).

Таким чином, каскадна структура регулювання дозволяє підвищити якість керування, мінімізуючи перерегулювання та час виходу системи на новий сталий режим.

$$W_e'(p) = \frac{W_0(p)}{W_1(p)} \quad (3.11)$$

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

або ж підкладаючи значення передавальних функцій $W_0(p)$ і $W_1(p)$ маємо:

$$W'_e(p) = \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556p^3 + 556.329p^2 + 45.024p + 1} = \frac{(23.944p + 1)(34.769p^2 + 21.45p + 1)}{2918341.63p^3 + 49587.574p^2 + 354.344p + 1} =$$

$$\frac{5.962 \cdot p + 1}{1081.717p^2 + 60.542p + 1}$$

$$= \frac{1.2737p^3 + 0.22018p^2 + 0.0095p + 0.000137}{p^4 + 0.4565p^3 + 0.0369p^2 + 0.00082p};$$

Наступним кроком є знаходження для даного еквівалентного об'єкта відповідного регулятора

За допомогою програми MATLAB проведемо вибір параметрів налаштування регулятора для отриманого об'єкту. Отже маємо такі параметри налаштування ПІ-регулятора: $C_0 = 6.266 \cdot 10^{-3}$, $C_1 = 0$.

Передавальна функція основного регулятора запишеться:

$$W'_{PO}(p) = \frac{6.266 \cdot 10^{-3}}{p} \quad (2.12)$$

Перейдемо до знаходження параметрів налаштування допоміжного регулятора. Які будемо шукати для наступного еквівалентного об'єкту:

$$W_e(p) = W_0(p) \cdot W_{PO}(p) - W_1(p) \quad (2.13)$$

Підставимо в формулу значення передавальних функцій $W_0(p)$, $W_{PO}(p)$, $W_1(p)$ і запишемо:

$$W_e(p) = \frac{8.555 \cdot p + 1}{1218.556p^3 + 556.329p^2 + 45.024p + 1} \cdot \frac{5.962 \cdot p + 1}{1081.717p^2 + 60.542p + 1} \cdot \frac{6.266 \cdot 10^{-3}}{p}$$

Після алгебраїчних перетворень отримаємо передавальну функцію виду:

$$W_e(p) = \frac{3.9443 \cdot 10^{-3} p^4 + 2.2186 \cdot 10^{-3} p^3 + 2.4651 \cdot 10^{-3} p^2 + 2.4246 \cdot 10^{-2} p + 2.8341 \cdot 10^{-2}}{p^5 + 0.5125p^4 + 0.0634p^3 + 0.0033p^2 + 0.00008p + 7.5864 \cdot 10^{-7}}$$

Знаходження параметрів налаштування ПІ-регулятора для каскадної АСР виконано за допомогою програми MATLAB.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Підкладемо в отриману формулу значення $W_{PO}(p)$, $W_o(p)$, $W_{DP}(p)$, $W_1(p)$, які отримані для каскадної АСР і запишемо:

$$W_{e2}(p) = \frac{\frac{0.5794p + 0.01786}{p} \cdot \frac{87.9465p + 0.0124}{p} \cdot \frac{-10.381p + 1}{80416.182p^3 + 5171.173p^2 + 119.698p + 1}}{1 + \frac{87.9465p + 0.0124}{p} \cdot \frac{1}{873.235p^2 + 79.339p + 1} \cdot \frac{87.9465p + 0.0124}{p}} \times$$

$$\times \frac{0.5794p + 0.01786}{p} \cdot \frac{-10.381p + 1}{80416.182p^3 + 5171.173p^2 + 119.698p + 1}$$

Проведемо алгебраїчні перетворення і запишемо:

$$W_{e2} = \frac{332.341p^5 + 221.02163p^4 + 126.165523p^3 + 9.34443p^2 + 20.38007p + 2.80699 \cdot 10^{-6}}{p^8 + 0.155p^7 + 0.08p^6 + 0.01p^5 + 0.002p^4 + 0.001 \cdot p^3 + 0.001p^2 + 0.0006 \cdot 10^{-3}p + 0.002 = 0}$$

2.5.2. Дослідження на стійкість одноконтурної АСР

Перевіримо систему на стійкість проведемо за допомогою критерію Михайлова. Для цього використаємо можливості програми MathCad. Результати розрахунку наведені нижче. Як видно з результатів система є стійкою.

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$p^4 + 0.456547p^3 + 0.371399p^2 + 0.000919p + 0.891218 \cdot 10^{-5} = 0$$

Визначимо дійсну та уявну частини:

$$P(w) := 0.0000089 + 1 \cdot w^4 - 0.03714w^2$$

$$Q(w) := 0.0009w - 0.4565w^3$$

$$w := 0, 0.01.. 0.2$$

Побудуємо годограф Михайлова для визначення стійкості досліджуваної системи

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ				36

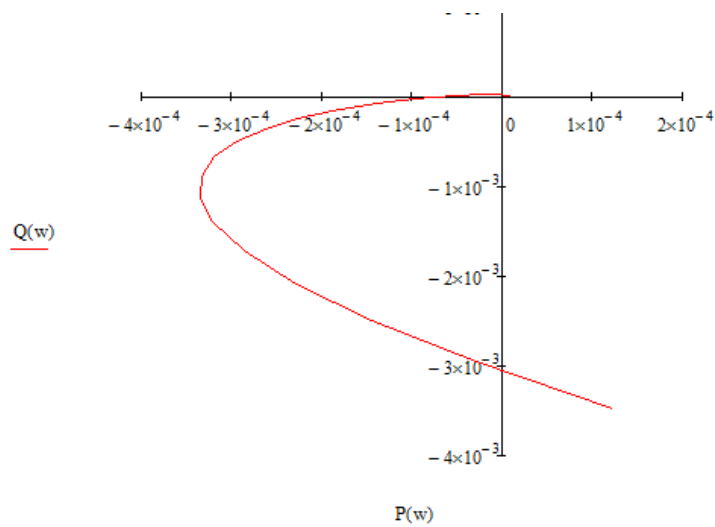


Рисунок 2.15 – Годограф Михайлова

2.5.3. Дослідження на стійкість каскадної АСР

Так як передавальна функція системи 8-го порядку, то дослідження на стійкість проведемо за допомогою програму MathCad. Перевіримо систему на стійкість за допомогою критерію Гурвіца. Як видно з результатів система є стійкою, так як головний визначник та всі діагональні мінори є додатними.

Характеристичне рівняння:

$$p^8 + 0.155p^7 + 0.08p^6 + 0.01p^5 + 0.002p^4 + 0.001 \cdot p^3 + 0.001p^2 + 0.0006 \cdot 10^{-3}p + 0.002 = 0$$

Коефіцієнти характеристичного рівняння:

$$t_m = 250c$$

Також визначаємо показники якості для каскадної АСР.

1. Перерегулювання:

$$\sigma = \frac{1.27 - 1}{1} \cdot 100\% = 27\%$$

2. Час перехідного процесу:

$$t_p = 110c$$

3. Час досягнення першого максимуму:

$$t_m = 50c$$

Робимо висновок на основі перехідних характеристиках бачимо, що показники якості каскадної АСР кращі, аніж показники якості одноконтурної АСР.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи проведено комплексне дослідження динаміки основного технологічного об'єкта — реактора, що є критичним елементом у системі депарафінізації нафтопродуктів. Здійснено побудову структурної схеми об'єкта регулювання, яка відображає два канали керування: основний канал — регулювання температури розчину сировини, та допоміжний канал — регулювання витрати пропану.

Для подальшого аналізу динаміки об'єкта були визначені передавальні функції основного та допоміжного каналів за допомогою програмного забезпечення Argox. Апроксимація динамічних характеристик забезпечила низький рівень похибки — 1,4% та 1,8% відповідно, що свідчить про достатню точність отриманих моделей.

На основі отриманих передавальних функцій проведено моделювання одноконтурної, де регуляція температури здійснюється без урахування допоміжного впливу та каскадної, в якій реалізовано два регулятори — основний і допоміжний, що забезпечують точніше регулювання за рахунок зменшення впливу збурень. В процесі моделювання були визначені оптимальні параметри налаштування регуляторів для забезпечення заданих якісних показників регулювання. Розраховано еквівалентні передавальні функції обох систем для подальшого дослідження.

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Аналіз стійкості систем проведено за допомогою класичних критеріїв, зокрема критерія Михайлова — для одноконтурної системи та критерія Гурвіца — для каскадної системи. Результати аналізу показали, що обидві системи є стійкими у досліджених режимах роботи. У результаті аналізу перехідних процесів встановлено, що каскадна система автоматичного регулювання має значно кращі динамічні характеристики: зокрема, менший час перехідного процесу, що свідчить про вищу швидкодію системи порівняно з одноконтурною. Це дозволяє зробити висновок про ефективність використання каскадного регулювання в умовах об'єкта, що розглядається.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

3.1 Розроблення функціональної схеми автоматизації

Схеми автоматизації є ключовими технічними документами, що пояснюють логіку функціонування системи керування технологічним процесом. Вони визначають структуру і рівень автоматизації, а також демонструють забезпечення процесу контрольно-вимірювальними приладами та засобами автоматизації, організацію пунктів контролю, захисту та управління. Окрім цього, схеми відображають наявність засобів збору, обробки та передавання інформації, що є невід'ємною частиною сучасних АСК.

Ці схеми слугують основою для розробки наступних проектних документів, включаючи специфікації, заявочні відомості, відомості обладнання та інші матеріали. Оформлення схем автоматизації має відповідати вимогам чинних нормативних документів, зокрема ДСТУ Б А.2.4-3:2009, а також відповідним галузевим технічним умовам.

У процесі розробки схем автоматизації обов'язково враховується склад та зміст задач контролю і керування технологічним процесом, структура системи управління, взаємозв'язки між локальними та централізованими елементами керування.

Елементи, що зображуються на схемі автоматизації це технологічне обладнання та комунікації: трубопроводи, газоходи, резервуари тощо та засоби автоматизації, зокрема контрольно-вимірювальні прилади; регулятори; виконавчі механізми; щити, пульти управління, електроапаратура та інше обладнання. А такою лінії зв'язку: зображаються тонкими лініями, які показують інформаційні чи керуючі зв'язки між приладами.

Зображення обладнання на функціональній схемі має відповідати прийнятому зображенню в технологічній частині проекту. Допускається спрощене подання без масштабу, без другорядних конструкцій, за умови збереження інформативності.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Внутрішні елементи устаткування подаються лише у випадках, коли вони взаємодіють із засобами автоматизації.

Лінії зв'язку між приладами виконуються тонкими лініями товщиною 0,2–0,3 мм. Вони прокладаються по найкоротшому шляху з мінімальною кількістю перетинів. Дозволяється підведення лінії до приладу зверху, знизу або збоку. За необхідності, напрям сигналу позначається стрілкою.

Відбірні пристрої, які забезпечують відбір середовища для вимірювання, не мають окремих графічних позначень. Їх показують як тонкі суцільні лінії, що з'єднують трубопровід або апарат із первинним перетворювачем. Якщо важливо зазначити точне місце відбору, в схемі використовується коло діаметром 2,5 мм.

У складних схемах із великою кількістю приладів допускається розрив лінії зв'язку з нумерацією розривів арабськими цифрами. Ці номери вказують на продовження лінії у прямокутнику «Прилади місцеві» і дозволяють зберігати наочність схеми.

3.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Після визначення типу приладу відповідно до його функціонального призначення та умов експлуатації, виконується вибір метрологічних характеристик обраного технічного засобу. Насамперед визначається межа вимірювання приладу, після чого обирається клас точності, що забезпечує необхідну достовірність результатів вимірювання.

Вибір технічних засобів автоматизації здійснюється з урахуванням таких вимог до допустимих похибок вимірювання основних технологічних параметрів:

- температура – допустима абсолютна похибка не повинна перевищувати ± 30 °С;
- тиск – для вимірювання – приведена похибка $\pm 1,15$ %, для сигналізації – приведена похибка $\pm 2,5$ %;
- витрата – приведена похибка вимірювання не більше $\pm 2,5$ %;

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- рівень - для вимірювання – приведена похибка до $\pm 3\%$, для сигналізації – приведена похибка до $\pm 4\%$.

Ці вимоги визначають граничні умови вибору конкретних приладів і забезпечують необхідну точність, надійність і відповідність технічним умовам при реалізації системи автоматичного контролю і регулювання.

Вибираємо такі технічні засоби автоматизації та контролери.

WKA TR10-A є стандартним термометром опору типу RTD, призначеним для вимірювання температури в широкому спектрі промислових застосувань. Цей пристрій ефективно використовується в системах автоматизації, технічного контролю, моніторингу стану обладнання та управління технологічними процесами. Його конструкція передбачає використання чутливого елемента Pt100 або Pt1000, що може бути встановлений як у захисній гільзі, так і безпосередньо в середовище вимірювання. Монтаж пристрою можливий за допомогою різьбових з'єднань, фланців або швидкокороз'ємних фіксаторів.

Застосовується термометр у таких галузях, як харчова промисловість, енергетика (включаючи теплові електростанції, котельні та теплоцентралі), хімічне та нафтохімічне виробництво, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, машинобудування, а також у сферах водопідготовки й водопостачання. Пристрій інтегрується в автоматизовані системи керування технологічними процесами.



Рисунок 3.1 – Давач температури WKA TR10-A

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Перетворювач тиску Emerson Rosemount 3051 є високоточним мікропроцесорним пристроєм, призначеним для вимірювання диференційного, манометричного або абсолютного тиску в автоматизованих промислових системах. Його конструкція ґрунтується на сенсорній технології з подвійною ємнісною структурою, яка забезпечує надзвичайно високу стабільність та точність вимірювань. Висока лінійність та температурна компенсація дозволяють досягати точності до $\pm 0,04$ % від верхньої межі шкали при довготривалій стабільності протягом п'яти і більше років. Пристрій реалізований у варіантах *corpular* і *in-line*, що забезпечує гнучкість монтажу на об'єктах із різними технологічними вимогами.

Матеріали сенсора та корпусу включають нержавіючу сталь, сплави С-276, 400, титан тощо, що робить прилад придатним для експлуатації в агресивних середовищах, зокрема у хімічній та нафтохімічній промисловості. Перетворювач підтримує стандартні протоколи зв'язку, серед яких 4–20 мА з HART, FOUNDATION Fieldbus, PROFIBUS PA, а також є моделі з підтримкою бездротової технології WirelessHART. Пристрій має захист від електромагнітних завад, широкий температурний діапазон експлуатації, а також гальванічну розв'язку. Додатково передбачена опція інтегрованого дисплея з підсвіткою та Bluetooth-конфігурацією, що спрощує доступ до параметрів налаштування і діагностики. Emerson Rosemount 3051 сертифікований відповідно до міжнародних вимог безпеки (включно з АTEX, IECEx, SIL), тому активно застосовується на об'єктах з підвищеними вимогами до вибухозахисту.

Його експлуатаційна надійність, функціональна гнучкість та висока вимірювальна точність роблять цей перетворювач одним із найбільш затребуваних у глобальній промисловій автоматизації.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Рисунок 3.2 - Перетворювач тиску Emerson Rosemount 3051

Перетворювач витрати SCM 3000PLUS серія M

Перетворювачі витрати SCM 3000 PLUS серії M — це високоточні коріолісові витратоміри маси, які дозволяють вимірювати масову та об'ємну витрату, густину, температуру, а також накопичуваний об'єм або масу й процентний вміст твердих включень. В основі лежить компактний сенсор із прямими вимірювальними трубками малого діаметра, доступний у восьми розмірах від 2 до 80 мм, що охоплює діапазон потоків від десятків кілограмів до сотень тонн на годину. Висока точність вимірювання масової витрати $\pm 0,2\%$ незалежно від коливань температури чи густини гарантує повторювані результати та надійність процесу.

Для відображення технологічних параметрів використовується локальний дисплей, який забезпечує два рядки інформації про поточний та накопичений потоки, умови процесу й повідомлення про помилки. Система активної самодіагностики відстежує працездатність сенсора, коректність сигналів і можливі аварійні ситуації.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Конфігурація підтримується як вбудованим варіантом (integral), так і з роздільним розміщенням вимірювального блоку й передавача (remote), що забезпечує зручність монтажу та обслуговування. Програмування здійснюється за допомогою матрично-керованого програмного забезпечення, що дозволяє гнучко налаштовувати витрату, щільність, температуру й інші параметри.

Для SCM 3000 PLUS серії M передбачені стандартизовані протоколи зв'язку через аналоговий вихід 4–20 мА та/або імпульсний вихід до 10 кГц. Гальванічно розв'язані інтерфейси придатні для інтеграції в промислову автоматизацію із загальним кабелем RS-485/Modbus або HART-сумісні сигнали.

Особливістю серії є широкий температурний та тисковий діапазон із матеріалами сенсора з нержавіючої сталі чи Hastelloy, вибухозахищені версії сертифіковані відповідно до умов АTEX/IECEX. Завдяки винятковій повторюваності (для рідин $\pm 0,05\%$ від показу $+0,0025\%$ від шкали; для газів $\pm 0,25\% +0,0025\%$) і лінійності витратоміри найчастіше використовуються у нафтогазовій, хімічній і енергетичній промисловості для критично точних облікових і контрольних завдань.

Незалежність показників від зміни щільності і температури підсилює застосовність SCM 3000 PLUS у задачах обліку та дозування, де необхідна стабільна точність тривалий час. Регламентна калібровка на заводі забезпечена нормами ISO та NIST, що робить ці прилади придатними для метрологічно відповідаючих операцій.

Серія M відзначається можливістю застосування в компактних системах або рознесених конфігураціях, розумілими інтерфейсами програмування, багаторівневою діагностикою та адаптацією під широкий спектр технологічних середовищ. Це дозволяє впровадження в СКУП («системи контролю та управління процесами») будь-якої складності й конфігурації. Якщо ці вимоги відповідають вашим інженерним задачам — готовий надати додаткову технічну інформацію або допомогти з підбором модифікації.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рисунок 3.3 - Перетворювач витрати SCM 3000PLUS серія M

Перетворювач гідростатичного тиску VEGABAR 87.

Перетворювач рівня VEGABAR 87 від компанії VEGA являє собою занурюваний корозійно стійкий датчик гідростатичного тиску, розроблений для точного моніторингу рівня рідин, включно з в'язкими та агресивними середовищами. Завдяки застосуванню металевого сенсорного елемента найвищої надійності його рекомендовано до використання в хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості, де потреба у вимірюванні рівня та тиску поєднується з суворими гігієнічними або технологічними вимогами.

Принцип роботи ґрунтується на вимірюванні гідростатичного тиску рідини на занурений діафрагмовий елемент, наповнений інваріантною рідиною, що передає тиск до металокерамічного керамічно-ємніс to

Перетворювач тиску VEGABAR 87 є високоточним приладом для вимірювання рівня рідин і пастоподібних речовин за гідростатичним принципом. Його конструкція передбачає використання міцного металевого або керамічного сенсора, здатного працювати в умовах підвищеного тиску, високих температур та агресивного середовища. Діафрагма сенсора, що безпосередньо контактує із середовищем, може бути виконана з нержавіючої сталі, танталу або інших стійких матеріалів, що робить VEGABAR 87 особливо придатним для хімічної та фармацевтичної промисловості.

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ					

Сигнал, що формується внаслідок деформації чутливого елемента під дією гідростатичного тиску, перетворюється в уніфікований вихідний сигнал 4–20 мА з підтримкою цифрових протоколів передачі даних, зокрема HART, Profibus PA або Foundation Fieldbus. Це дозволяє інтегрувати прилад у складні системи автоматизації технологічних процесів. Додаткові можливості включають температурну компенсацію, самодіагностику, наявність інтелектуальної електроніки, яка забезпечує стабільність показів навіть при тривалих циклах експлуатації.

VEGABAR 87 демонструє надзвичайно високу точність вимірювань, яка сягає $\pm 0,1\%$ верхньої межі шкали, а робочий температурний діапазон дозволяє застосування від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пристрій підтримує конструктиви як для монтажу у резервуари, так і для безпосереднього занурення у рідину, що забезпечує його універсальність і адаптивність до технологічних умов. Завдяки відповідності стандартам вибухозахисту та гігієнічних норм, VEGABAR 87 використовується не лише в промисловому, але й у харчовому секторі, де точність, надійність і чистота процесу є критично важливими.



Рисунок 3.4 - Перетворювач гідростатичного тиску VEGABAR 87

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Індикатор ІТМ-101 виробництва компанії «Мікрол» є мікропроцесорним одноканальним пристроєм, що виконує вимірювання, обробку та індикацію одного фізичного параметра — таких як температура, тиск, витрата чи рівень. Його призначення полягає в забезпеченні точного контролю та наочності вимірюваних даних у складі систем автоматизації технологічних процесів.

Пристрій підтримує цифрову та лінійну (сегментну) індикацію результатів вимірювання і має компактні розміри (48 × 96 × 106 мм), що дозволяє легко інтегрувати його у щитові конструкції. Вхідна частина працює з універсальними аналоговими сигналами, включаючи термопари типу ТХК або ТХА, що дозволяє здійснювати температурні вимірювання в межах до 400 °С. Залежно від конфігурації, ІТМ-101 може оснащуватись одним дискретним виходом (оптосимісторним або релейним), а також одним аналоговим виходом з підтримкою стандартних сигналів 4–20 мА або 0–10 В.

Завдяки вбудованому інтерфейсу RS-485 і підтримці протоколу ModBus, прилад може бути інтегрований у локальні та мережеві системи автоматизованого керування. Параметри живлення передбачають гнучкість — як змінна напруга від 100 до 242 В, так і постійна у межах 18–36 В.

Серед функціональних можливостей слід виділити програмоване порівняння виміряного значення з межовими уставками та відповідну сигналізацію, програмне калібрування по зовнішньому еталону, цифрову фільтрацію для зменшення впливу промислових завад, масштабування шкали вимірювань, інтерполяцію сигналу до 20 точок, а також ретрансляцію аналогового сигналу. Усі параметри конфігуруються через передню панель або інтерфейс зв'язку, а збереження налаштувань забезпечується незалежною пам'яттю.

ІТМ-101 ефективно використовується в енергетиці, хімічній та харчовій промисловості, а також у будь-яких сферах, де необхідне компактне, надійне та функціональне рішення для локального моніторингу одного технологічного параметра.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



Рисунок 3.5 - Індикатори ITM-101

Контролер МІК-21 представляє собою універсальний мікропроцесорний пристрій, що виконує функції вимірювання, обробки та автоматичного регулювання одного технологічного параметра — зокрема температури, тиску, витрати або рівня. Його застосування охоплює різні галузі промисловості, включаючи енергетику, металургію, хімічне та харчове виробництво, де необхідне надійне автоматичне керування технологічними процесами.

Пристрій підтримує два аналогові входи, що забезпечують прийом уніфікованих сигналів струму або напруги, а також підключення термопар і термоперетворювачів опору з відповідним діапазоном температур. Крім того, контролер має два дискретні входи для прийому логічних сигналів. На виході передбачено один аналоговий канал і чотири дискретних, які можуть реалізовуватись у вигляді транзисторних, релейних, твердотільних реле або оптосимісторів. Завдяки підтримці інтерфейсу RS-485 та протоколу ModBus, пристрій легко інтегрується в мережеві рішення.

Серед функціональних можливостей — реалізація різноманітних законів регулювання, таких як пропорційне, інтегральне, диференціальне, комбіноване (ПІД) управління, включаючи режими з широтно-імпульсною модуляцією.

						БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			52

Користувач може обирати між різними структурними типами регулятора, зокрема двопозиційним, трипозиційним, каскадним або зі зворотним зв'язком. Пристрій підтримує як стабілізуюче, так і слідкуюче регулювання, а також ручне управління виконавчими механізмами.

Додаткові можливості включають цифрову індикацію, лінеаризацію вхідних сигналів, програмовану фільтрацію для зниження впливу шумів, гальванічну розв'язку між елементами системи, а також спеціалізовану функцію витягання квадратного кореня для точного регулювання витрати рідини або газу за перепадом тиску.

Контролер ефективно застосовується в автоматизованих системах регулювання, у складі локальних та розподілених систем управління, а також як елемент віддаленого моніторингу, диспетчерського керування та збору технологічних даних.



Рисунок 3.6 - Вторинний регулюючий прилад типу MIK-21

Контролер MIK-25 від «Мікрол» — це мікропроцесорний одноканальний універсальний прилад, спроектований для точного вимірювання, обробки та автоматичного регулювання одного технологічного параметра: температури, тиску,

						Арк.
					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати чи рівня. Він підтримує різні типи вхідних сигналів, включаючи уніфіковані поточкові (0–5 мА, 0(4)–20 мА), низьковольтні сигнали постійного струму або напруги (0–75 мВ, 0–200 мВ, 0–2 В, 0–10 В), опірні сенсори та термопари різних типів (ТЖК, ТХК, ТХА, ТПП10, ТПР, ТВР-1).

Висока якість вимірювань забезпечується основною наведеною похибкою, що не перевищує 0,2 %, а температурна стабільність складає $\pm 0,2$ % при зміні на 10 °С. Два аналогові входи гальванічно ізольовані як один від одного, так і від інших ланцюгів, що суттєво знижує вплив перешкод. Чотири дискретні виходи мають різні варіанти виконання: транзисторний вихід (до 40 В, 100 мА), релейний контакт (до 220 В, 8 А), твердотільне реле та оптосимістор.

Функціональні можливості охоплюють широкий спектр режимів регулювання: аналоговий або імпульсний ПІД-закон із можливістю каскадного зв'язку, двох- чи трипозиційне регулювання, слідкуючий режим, а також прямий і зворотний режими роботи. Ці можливості дозволяють пристосовувати регулятор до вимог конкретного технологічного процесу. Регулювання здійснюється завдяки лінеаризації сигналу по до двадцяти точках, цифровій фільтрації для зменшення шуму, а також застосуванню квадратного кореня для корекції по витраті, вимірюванню за перепадом тиску .

Контролер забезпечує віддалене управління та моніторинг через протокол ModBus по інтерфейсу RS-485, що дозволяє інтеграцію в територіально розподілені системи чи SCADA-мережі. Програмування виконується як через інтерфейс, так і безпосередньо на передній панелі, при цьому налаштовані параметри зберігаються у незалежній пам'яті, що гарантує відновлення режиму роботи після знеструмлення .

Час оновлення вимірювань становить не більше 0,1 секунди, що дозволяє застосовувати контролер у динамічних процесах. Цифрова індикація з чотирма розрядами відображає значення параметра, контрольні уставки, залишковий сигнал виходу та статус дискретних каналів або виконавчих механізмів. Конструкція з

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

галванічною розв'язкою входів, виходів і живлення з ізоляцією до 1000 В сприяє надійній роботі в умовах електромагнітних завад .

Завдяки збалансованому поєднанню високої точності, багатофункційності, цифрових алгоритмів обробки сигналу, оперативного інтерфейсу і можливості адаптації до різних технологічних умов, МК-25 знаходить застосування у промисловості — енергетиці, металургії, хімічній, харчовій галузях — як автономно, так і у складі комплексних АСУ ТП для локального та дистанційного регулювання, моніторингу та диспетчеризації технологічних процесів.



Рисунок 3.7 - Вторинний регулюючий прилад типу МК-25

Електричний регулюючий клапан типу 3241 (DIN/ANSI) виробництва компанії SAMSON є високотехнологічним виконавчим пристроєм, призначеним для точного регулювання витрати рідин, газів і пари в автоматизованих системах керування технологічними процесами. Цей клапан розроблений відповідно до міжнародних стандартів DIN та ANSI, що забезпечує його універсальність та сумісність із широким спектром промислового обладнання.

Конструктивно клапан складається з литого корпусу з вбудованим сідлом, змінного ущільнювального вузла та штока з клапанним органом, що приводиться в дію електроприводом. Корпус виготовляється з вуглецевої сталі, нержавіючої сталі або спеціальних корозійностійких сплавів, залежно від умов експлуатації, хімічного складу робочого середовища та температурного режиму. Діапазон номінальних

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

діаметрів становить від DN15 до DN300, а номінальний тиск — до PN40 (для DIN) або до Class 300 (для ANSI).

Клапан типу 3241 вирізняється високою точністю регулювання завдяки застосуванню профільованого затвора, що забезпечує бажану витратну характеристику: лінійну, рівнопроцентну або швидковідкривну. Це дозволяє адаптувати пристрій до конкретних вимог об'єкта керування. Завдяки жорсткому напрямному пристрою штока досягається стабільність роботи при змінних навантаженнях та запобігання вібрацій.

У якості виконавчого механізму застосовується електропривод серії SAMSON TROVIS або інші сумісні електроприводи з вбудованими або зовнішніми регуляторами. Привід підтримує вхідні сигнали стандарту 4–20 мА або цифрові протоколи (HART, PROFIBUS, Foundation Fieldbus), що забезпечує інтеграцію в сучасні системи автоматизованого управління.

Ущільнення штока реалізовано за допомогою багатоеlementного ущільнювача з можливістю обслуговування під тиском, що мінімізує втрати робочого середовища та забезпечує довговічність експлуатації. Для зниження шуму та ерозійного зносу передбачена можливість встановлення додаткових шумопоглинаючих вставок і броньованих ущільнювальних елементів.

Температурний діапазон експлуатації клапана залежить від матеріалу корпусу та ущільнень, і може становити від $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пропускна здатність (K_v) залежить від розміру та конфігурації затвора і в окремих виконаннях може сягати понад $1000\text{ м}^3/\text{год}$. Відповідність стандартам безпеки та сертифікація згідно з вимогами PED, ATEX, SIL забезпечують застосування клапана в потенційно вибухонебезпечних середовищах і критичних об'єктах промисловості.

Загалом, регулюючий клапан типу 3241 є прикладом надійного та високоточного пристрою, що поєднує механічну міцність, гнучкість налаштування та можливість глибокої інтеграції в цифрові системи управління технологічними процесами. Його застосування охоплює широкий спектр галузей, включаючи хімічну, енергетичну, нафтохімічну, харчову промисловість та водоочисні системи.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Рисунок 3.8 - Електричний регулюючий клапан типу 3241

3.3 Опис роботи автоматичної системи вимірювальних сигналів

Дана система автоматизації реалізує дворівневий контроль і регулювання параметрів технологічного процесу. На нижньому рівні функції контролю, регулювання та сигналізації виконуються за допомогою мікропроцесорних регуляторів типу МІК 25-03-03-03 та МІК 21-05-15-04-03.

Регулятори типу МІК 21 здійснюють вимірювання, контроль і автоматичне регулювання одного параметра, мають вбудовані контури автоматичного регулювання з можливістю керування від ЕОМ. У їхньому складі передбачені режими П, ПІ, ПД та ПІД із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).

Регулятор типу МІК 25 виконує аналогічні функції, що й МІК 21, але додатково оснащений імпульсним або аналоговим регулятором типу П/ПІ/ПД/ПІД для реалізації співвідношеного або каскадного регулювання із внутрішнім зворотним зв'язком, який адаптується відповідно до положення виконавчого механізму.

Індикатор ІТМ-11 призначений для відображення одного параметра у технологічних одиницях на цифрових та лінійних шкалах, а також для задання і сигналізації відхилень від заданих мінімальних і максимальних значень.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Усі вищезазначені регулятори та індикатори обладнані гальванічно розділеним інтерфейсом RS-485 та підтримують протокол ModBus, за яким здійснюється збір даних і конфігурування за допомогою EOM. Оскільки EOM працює через інтерфейс RS-232, для двосторонньої комунікації використовується перетворювач інтерфейсів типу БПІ-485 (поз. 19).

Контроль та регулювання технологічних параметрів.

Температура розчину сировини: сигнал від WІКА TR10-А (поз. 1а) надходить до регулятора МІК-21 (поз. 1б), який відображає завдання, середнє значення температури та регулюючу дію. Сигнал 4–20 мА подається на позиціонер (поз. 1в), що керує подачею розчину до теплообмінника ІІІ.

Температура охолоджуючої води: аналогічно – WІКА TR10-А (поз. 2а), регулятор МІК-21 (поз. 2б), позиціонер (поз. 2в) для регулювання подачі води в холодильник.

Температура охолодженого пропану: контроль і регулювання здійснюється за аналогічним принципом.

Тиск після насоса 20: первинний перетворювач Rosemount 3051 (поз. 4а) передає сигнал 4–20 мА на індикатор ІТМ-11 (поз. 4б).

Контроль тиску в інших вузлах: аналогічний підхід застосовується для барабанного фільтра, кристалізатора пропану (10, 11), після насосів 19, 21, 22.

Співвідношення витрати сировини і пропану: використовується витратомір SCM3000PLUS (поз. 11а, 12а) з перетворювачем (поз. 11б, 12б). Сигнал надходить на регулятор МІК 25 (поз. 11в), який керує виконавчим механізмом (поз. 11г).

Контроль витрати розчину петролатуму Х: здійснюється витратоміром SCM3000PLUS (поз. 13а), сигнал з якого надходить на ІТМ-11 (поз. 13б).

Рівень у збірнику рідкого пропану 1: визначається VEGABAR 87 (поз. 14а), сигнал надходить на МІК 25 (поз. 14б), який керує виконавчим механізмом (поз. 14в).

Регулювання рівня також здійснюється в приймачах суспензії петролатуму (16), охолодженого пропану (15), пропану після промивки осаду (17).

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

3.4 Проектування щита сигналізації і управління

Щити і пульти системи автоматизації призначені для розміщення технічних засобів контролю, керування, індикації, регулювання, захисту, блокування і зв'язку. Вони монтуються у спеціалізованих щитових або виробничих приміщеннях.

Не допускається монтаж приладів автоматизації на дверях і бокових стінках малогабаритних щитів або пультав, а також на допоміжних панелях, декоративних кришках тощо.

При розміщенні апаратури враховуються конструктивні особливості, зручність обслуговування і монтажу, а також функціональне призначення.

У межах бакалаврської роботи спроектовано щит сигналізації та керування технологічним обладнанням. Його функціональне призначення — інформування операторів про відхилення контрольованих параметрів та керування насосними агрегатами Н-19 – Н-22 з функцією захисту від перевантажень.

На фронтальній панелі щита (висота 636–1957 мм) розміщено апаратуру у такій послідовності:

1957 мм – індикатори наявності напруги живлення;

1796–1563 мм – індикатор ІТМ-11;

1563–1124 мм – регулятори МІК-21, МІК-25;

949 мм – сигнальна арматура роботи насосів;

789 мм – пости управління насосами ;

704 мм – перемикач;

610 мм – кнопка перевірки сигналізації.

На бокових стінках щита розміщені клемно-блочні з'єднувачі для підключення приладів, у межах висот:

– ліва стінка: 1200–1900 мм;

– права стінка: 500–1800 мм.

Обв'язка електроапаратури виконується дротом з ПВХ-ізоляцією типу ПВ 1×1 мм.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Висновки до розділу

У третьому розділі бакалаврської роботи особлива увага приділена питанню розроблення функціональної схеми автоматизації – наведено підбір приладів із зазначенням моделі, для різних контурів регулювання. Наведено опис роботи автоматичної системи вимірювальних сигналів, розроблено схему зовнішніх з'єднань. Здійснено проектування щита сигналізації і управління, наведено опис розміщення відповідної апаратури на фронтальній частині щита.

Проведено розрахунок надійності автоматичної системи керування, що показав, що розроблена система є придатною для її подальшого впровадження на даній установці.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі бакалаврської роботи здійснено аналіз технологічного процесу депарафінації нафтопродуктів з точки зору автоматизації. Наведено характеристику сировини та готового продукту, детально проаналізовано роботу установки депарафінації пропаном. Розглянуто технологічний регламент, а також характеристики основного технологічного обладнання, комунікацій, допоміжних агрегатів і вузлів. Особливу увагу приділено впливу основних параметрів на ефективність процесу депарафінації, що створює підґрунтя для подальшої автоматизації процесу.

У другому розділі проведено детальний аналіз об'єкта дослідження – реактора. Побудовано структурну схему об'єкта, в якій основним каналом регулювання визначено температуру розчину сировини, а допоміжним – витрату пропану. За допомогою програмного забезпечення Arrox побудовано передавальні функції об'єкта з похибками апроксимації 1,4% та 1,8%. Змодельовано одноконтурну та каскадну системи автоматичного регулювання, визначено оптимальні параметри налаштування регуляторів. Обчислено еквівалентні передавальні функції для обох типів систем, проведено аналіз їх стійкості за критерієм Михайлова (для одноконтурної АСР) та за критерієм Гурвіца (для каскадної АСР), що підтвердило стійкість обох систем. За результатами аналізу якісних показників перехідних процесів зроблено висновок, що каскадна система має вищу швидкодію, тобто забезпечує значно менший час перехідного процесу порівняно з одноконтурною.

У третьому розділі особливу увагу приділено розробленню функціональної схеми автоматизації. Здійснено підбір засобів автоматизації для кожного контуру регулювання із зазначенням типу і моделі приладів. Надано опис роботи системи збору та обробки вимірювальних сигналів, виконано проєктування щита сигналізації та керування із детальним описом розміщення апаратури на його фронтальній панелі.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Склабінський В.І. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навчальний посібник / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко, А.Є.Артюхов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 186 с.

2. Жученко А.І. Теорія автоматичного керування. Терміни, поняття, визначення: Довідник для студ. напряму «Автоматизація та компютерно-інтегровані технології» / А.І. Жученко, Т.В. Аверіна. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 52 с.

3. Кваско М.З. Проектування і дослідження дискретних систем автоматичного керування технологічними процесами [Текст]: навч. посіб. // М.З. Кваско, М.С. Піргач, Т.В. Аверіна. – К.: ІВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2003.-360с. – ISBN 966-622-116-0.

4. Проектування систем управління : Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» / Уклад.: Я.Ю. Жураковський, А.І. Жученко, М.З. Кваско, – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 123с.

5. Давач температури WІKА TR10-A. Режим доступу: <https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/wika-tr10-c-14413410-30-300-c>.

6. Перетворювачі витрати SCM 3000PLUS серія M. Режим доступу: https://www.vahitech.com/datasheet/Honeywell/Field_instruments/34CM2902.PDF.

7. Сімейство датчиків тиску Rosemount™ 3051. Режим доступу: <https://www.emerson.com/en-gb/catalog/rosemount-3051-pressure-transmitter-family-en>.

8. Рівнемір VEGABAR 87. Режим доступу: <https://www.koda.ua/ukr/products/desc.html?id=526>

9. Індикатори типу ITM-101. Режим доступу: <https://standart-pribor.com.ua/product/indikator-itm-101/>.

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

10. Регулятор МІК-21. Режим доступу:
[https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.t
pl&product_id=367&category_id=42&option=com_virtuemart&Itemid=71.](https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=367&category_id=42&option=com_virtuemart&Itemid=71)

11. Регулятор МІК-25К7 . Режим доступу:
[https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.t
pl&product_id=450&category_id=43&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang.](https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=450&category_id=43&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang)

12. Електричний регулюючий клапан типу 3241. Режим доступу:
[https://energo-spetsmash.prom.ua/ua/p1136090357-reguliryuschij-klapan-samson.html.](https://energo-spetsmash.prom.ua/ua/p1136090357-reguliryuschij-klapan-samson.html)

					БР.АКП-36.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63