

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ

Група АКП-21-1

Швець Мігел
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

Швець Мігел Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 665.6:681.5

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

«Удосконалення автоматичної системи керування процесом підготовки нафти»

(назва роботи)

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

(посада)

(підпис)

О. В. Кучмистенко

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

М. М. Швець

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І. І. Чигур

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(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

доцент А. І. Лагойда

«___» _____ 2025 року

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

Швецю Мігелю Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення автоматичної системи керування процесом підготовки нафти»

керівник роботи Чигур Людмила Ярославівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » 05 20 25 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Опис технологічного процесу підготовки нафти з точки зору автоматизації. 2. Техніко-економічне обґрунтування обраного напрямку досліджень. 3. Дослідження контуру регулювання рівня води у сепараторі.

4. Розробка проектної документації системи автоматизації підготовки нафти.

5. Розробка програми управління процесом

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

Лист 1 - Структурна схема САК - БР.АКП-25.00.00.000 01

Лист 2 - Показники якості перехідного процесу - БР.АКП-25.00.00.000 02

Лист 3 - Порівняння результатів моделювання регуляторів - БР.АКП-25.00.00.000 03

Лист 4 - Структура автоматизованої системи управління -

БР.АКП-25.00.00.000 04

Лист 5 - Функціональна САК процесом підготовки нафти -

БР.АКП-25.00.00.000 05

Лист 6 - Візуалізація процесу управління рівнем води - БР.АКП-25.00.00.000 06

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис технологічного процесу підготовки нафти з точки зору автоматизації	10.05.25-15.05.25	
2	Техніко-економічне обґрунтування обраного напрямку досліджень	16.05.25-20.05.25	
3	Дослідження контуру регулювання рівня води у сепараторі	21.05.25-25.05.25	
4	Розробка проектної документації системи автоматизації підготовки нафти	26.05.25-05.06.25	
5	Розробка програми управління процесом	06.06.25-10.06.25	

Студент _____
(підпис)

М. М. Швець _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л.Я. Чигур _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 73 сторінок друкованого тексту, 40 рисунків, 18 таблиць, 21 переліків посилань на джерела.

Тема: «Удосконалення автоматичної системи керування процесом підготовки нафти».

Об'єкт дослідження: горизонтальний трифазний сепаратор.

Мета проекту: розробка та впровадження вдосконаленої автоматизованої системи управління технологічним процесом підготовки нафти, спрямованої на підвищення ефективності виробництва, покращення якості кінцевого продукту та забезпечення безпеки експлуатації обладнання.

Методи дослідження: теоретичний аналіз наукової літератури, системний підхід, математичне моделювання, комп'ютерне імітаційне моделювання, експериментальні дослідження, порівняльний аналіз, методи теорії автоматичного керування (зокрема аналіз передавальних функцій, побудова частотних характеристик, синтез ПДД-регуляторів), методи оптимізації технологічних процесів.

Результати бакалаврської роботи: розроблено математичну модель та алгоритм ПДД-регулювання для трифазного сепаратора, спроектовано схему автоматизації з підібраними технічними засобами (датчики, ПЛК Siemens), моделювання в TIA Portal підтвердило ефективність системи – підвищення продуктивності на 15-20%.

Ключові слова: автоматизована система управління, підготовка нафти, трифазний сепаратор, ПДД-регулятор, математичне моделювання, TIA Portal, SCADA, оптимізація процесів, промислова автоматизація.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 73 pages of printed text, 40 figures, 18 tables, 21 lists of references to sources.

Topic: «Improvement of the automatic control system for the oil preparation process».

Object of research: horizontal three-phase separator.

Project goal: development and implementation of an improved automated control system for the oil preparation process, aimed at increasing production efficiency, improving the quality of the final product and ensuring the safety of equipment operation.

Research methods: theoretical analysis of scientific literature, system approach, mathematical modeling, computer simulation modeling, experimental studies, comparative analysis, methods of automatic control theory (in particular, analysis of transfer functions, construction of frequency characteristics, synthesis of PID controllers), methods of optimization of technological processes.

Results of the bachelor's thesis: a mathematical model and PID control algorithm for a three-phase separator were developed, an automation scheme was designed with selected technical means (sensors, Siemens PLC), modeling in TIA Portal confirmed the efficiency of the system - an increase in productivity by 15-20%.

Keywords: automated control system, oil preparation, three-phase separator, PID controller, mathematical modeling, TIA Portal, SCADA, process optimization, industrial automation.

4	РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ НАФТИ.....	41
4.1	Визначення точок контролю та управління.....	41
4.2	Визначення структури автоматизованої системи управління.....	42
4.3	Розробка функціональної схеми автоматизації процесу підготовки нафти.....	45
4.4	Вибір технічних засобів автоматизації.....	47
	Висновки до розділу.....	56
5	РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ.....	57
5.1	Розробка алгоритму керування.....	57
5.2	Розробка програми управління рівнем води у трифазному сепараторі у ТІА–портал.....	59
	Висновки до розділу.....	68
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	69
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	71

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСПН – Автоматизована система підготовки нафти

АСУ ТП – Автоматизована система управління технологічним процесом

ПЛК – Програмований логічний контролер

РСК – Розподілена система керування

САР – Система автоматичного регулювання

ПІД-регулятор – Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор

САК – Система автоматичного керування

ССБ – РТ – Датчик тиску (Pressure Transmitter)

ТТ – Датчик температури (Temperature Transmitter)

LT – Рівнемір (Level Transmitter)

FT – Витратомір (Flow Transmitter)

LS – Сигналізатор рівня (Level Switch)

НМІ – Людинно-машинний інтерфейс (Human-Machine Interface)

SCADA – Система диспетчерського управління та збору даних Система сигналізації безпеки

МНК – Метод найменших квадратів

АФЧХ – Амплітудно-фазова частотна характеристика

АЧХ – Амплітудна частотна характеристика

ФЧХ – Фазова частотна характеристика

ЛАЧХ – Логарифмічна амплітудна частотна характеристика

ЛФЧХ – Логарифмічна фазова частотна характеристика

ZN1 – Метод Циглера-Нікольса №1

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі нафтогазова промисловість відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичних потреб людства. Ефективність та безпека процесів видобутку, транспортування та переробки нафти є критично важливими для стабільного функціонування світової економіки. Одним із найважливіших етапів у цьому ланцюжку є підготовка нафти, яка включає в себе комплекс технологічних процесів, спрямованих на доведення видобутої сировини до необхідних якісних показників для подальшої переробки або транспортування.

Традиційні методи підготовки нафти часто характеризуються значною залежністю від людського фактору, що може призводити до нестабільності технологічних режимів, помилок операторів, зниження продуктивності та підвищення ризиків виникнення аварійних ситуацій. У цьому контексті розробка та впровадження автоматизованих систем підготовки нафти (АСПН) стає не просто бажаним, а необхідним кроком для підвищення ефективності, безпеки та екологічності виробничих процесів.

Автоматизована система підготовки нафти являє собою комплекс технічних та програмних засобів, призначених для автоматичного керування технологічними процесами підготовки нафти, контролю їх параметрів, збору та обробки даних, а також для прийняття рішень в режимі реального часу. Вона включає в себе різноманітні датчики, виконавчі механізми, контролери, системи управління та програмне забезпечення, що працюють у взаємодії для досягнення заданих цілей.

Автоматизація підготовки нафти суттєво підвищує ефективність виробництва за рахунок оптимізації технологічних режимів, зменшення простоїв і збільшення пропускної здатності обладнання. Вона забезпечує стабільну якість продукції шляхом точного контролю параметрів та усуває вплив людського фактору. Економічний ефект досягається за рахунок зниження витрат на енергію, реагенти та персонал, а підвищення безпеки пов'язане з автоматичним запобіганням аварійним ситуаціям і зменшенням ризиків для довкілля.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ НАФТИ З ТОЧКИ ЗОРУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення установки та суть процесу сепарації нафти

Нафта – це природний ресурс, що складається із густої, темної рідини, яку видобувають із надр землі. Вона містить різні вуглеводневі сполуки, які можуть бути перероблені та використані у різних галузях. Нафта є невід'ємною частиною нашої життєдіяльності.

Процес підготовки нафти включає збирання, сепарацію, очищення нафти. Все це робиться, щоб підготувати нафту для подальшого транспортування трубопроводами. Нафта, видобута зі свердловин, подається спеціальний резервуар, де вона поділяється на нафту, воду та газ. Нафтова емульсія може пройти кілька ступенів сепарації для кращої очистки з додаванням деемульгатора. Також від сприятливої роботи процесу поділу залежить тиск сепарації, температура рідини та кількості щаблів сепарації.

Процес поділу нафти відбувається у трифазному сепараторі, який є циліндричний резервуар. Резервуар із двома відсіками, розділеними пластинами або дисками. Трифазні сепаратори часто використовуються на нафтових та газових свердловинах, що вимагають поділу нафтової емульсії. Вони також використовують у інших нафтових галузях [1].

Принцип роботи трифазного сепаратора полягає у поділі емульсії на нафту, газ та воду. Емульсія надходить у сепаратор через головний трубопровід і потрапляє до камери сепаратора. Емульсія уповільнюється, що дозволяє розділити компоненти різної густини. Газ із найнижчою щільністю збирається у верхній частині сепаратора і виводиться через вихід для газу. Вода має більшу щільність, осідає на дні сепаратора і виводиться через вихід для води. Нарешті, нафта залишається у центрі сепаратора і виливається на другий відсік, звідки воно виводиться через вихід нафти.

Вони використовуються при видобутку нафти на нафтових родовищах, а

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також на транспортних і переробних установках. підвищити ефективність якості кінцевого продукту [2].

Сепаратори поділяються на види за положенням:

- горизонтальний;
- вертикальний;
- гідроциклони.
- двофазні;
- трифазні.

За показниками робочого тиску:

- до 0,6 до 1 Мпа;
- від 1 до 2,5 Мпа;
- вище 2,5 Мпа.

Горизонтальний сепаратор (рис.1.1) використовується для поділу нафти, газу та води. Свою назву завдяки тому, що в ньому компоненти поділяються на три фази, корпус розташований горизонтально. Горизонтальний дизайн полегшує доступ до внутрішніх частин сепаратора для обслуговування та ремонту. Його можна використовувати для різних умов роботи та варіантів поділу нафти, газу та води. Через горизонтальне положення сепаратор займає менше місця, ніж вертикальний сепаратор [2].

Вертикальний сепаратор це ще один тип нафтогазового сепаратора з вертикальним розташуванням. Цей тип сепаратора використовується у широкому спектрі галузей промисловості, включаючи нафтогазову промисловість, хімічну промисловість та інші галузі, де потрібне відділення рідких та газових компонентів [2].

Принцип роботи вертикального сепаратора полягає у використанні гравітаційної сили для поділу рідкої та газової фаз. Суміш нафти, газу та води надходить у вертикальний сепаратор через верхню частину, де газ виходить через газовий випускний трубу у верхній частині сепаратора, а рідина стікає в нижню частину сепаратора і збирається там, де вона зливається через випускний трубку рідини.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

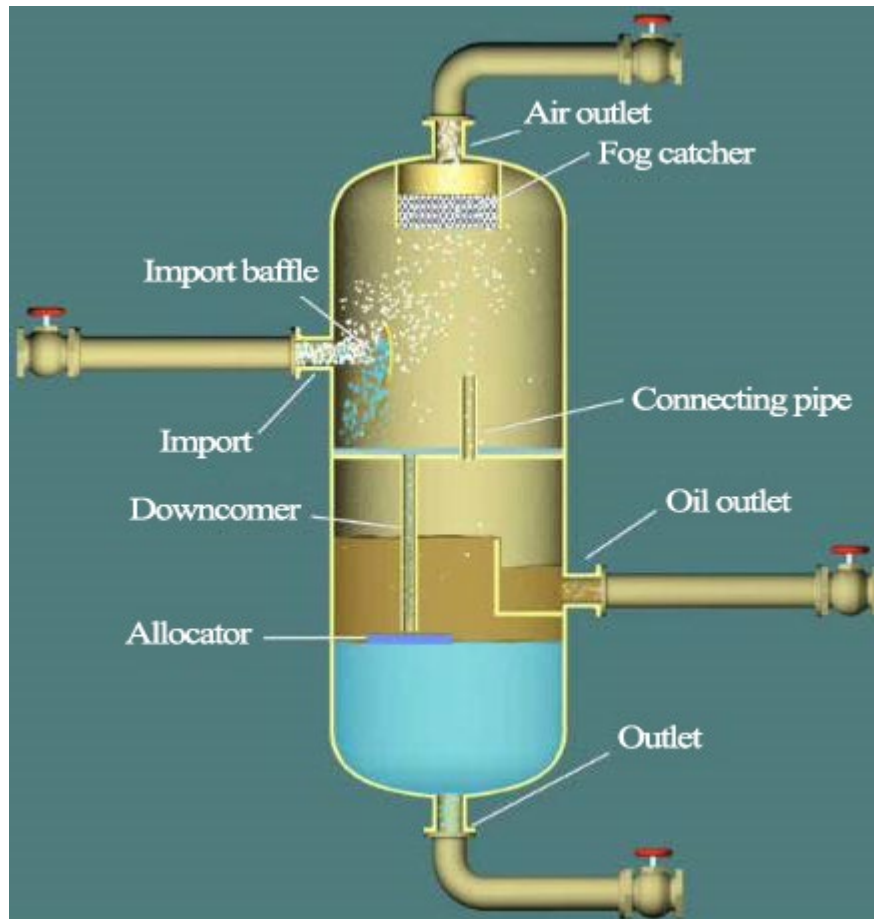


Рисунок 1.2 – Вертикальний сепаратор

Висока продуктивність та ефективність поділу нафти, води та газу. Невеликий розмір дозволяє встановлювати вертикальні сепаратори на обмеженій площі. Можливість використання вертикальних сепараторів як для безперервного, так дискретного режимів роботи. Проста конструкція та менша кількість рухомих частин забезпечують надійність та довговічність сепараторів [2].

1.2 Аналіз технологічної схеми горизонтального трифазного сепаратора та його технічні характеристики

В даній роботі об'єктом управління буде розглянуто горизонтальний трифазний сепаратор. Трифазний сепаратор як об'єкт управління є важливою системою, яка потребує точного контролю та регулювання параметрів для досягнення найкращої продуктивності та якості продукції. У керуванні об'єктом є

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання тиску, температури, рівня рідини, контролю та якості продукції показано на рис. 1.3.

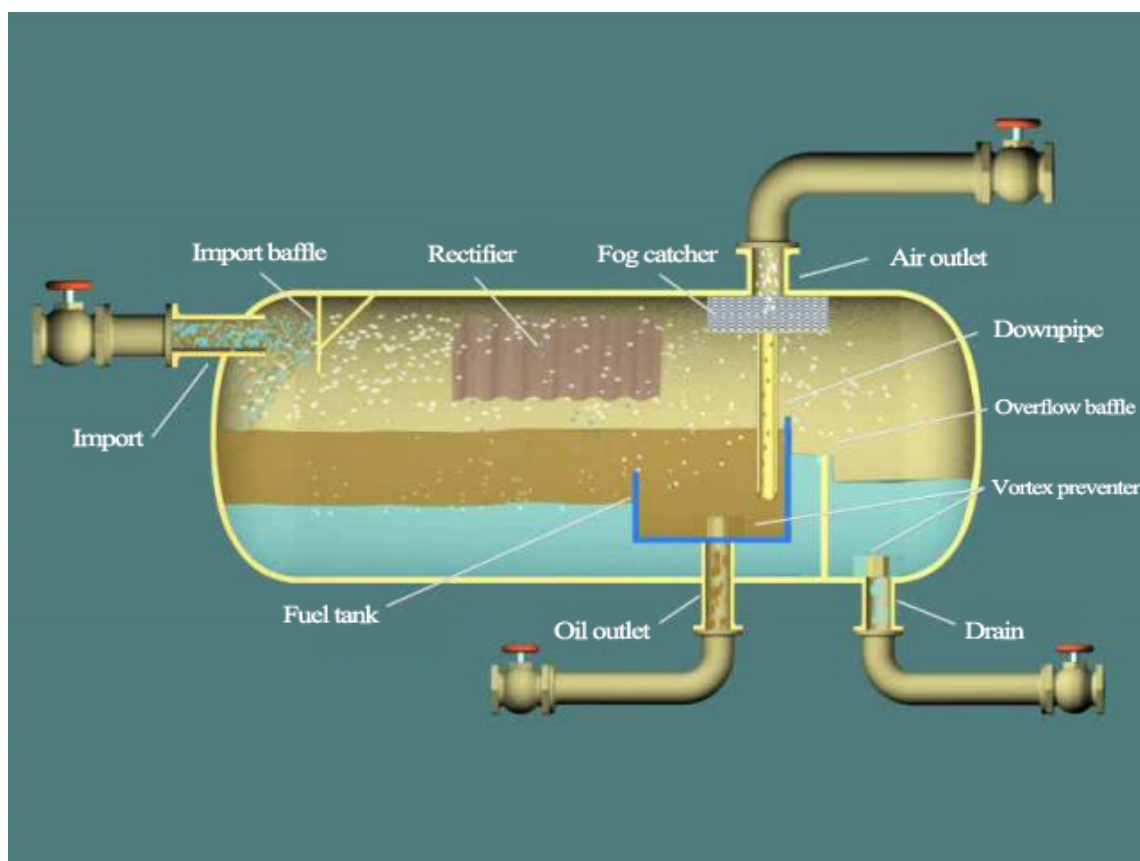


Рисунок 1.3 – Горизонтальний трифазний сепаратор

Особливу увагу також приділяють технічні характеристики сепаратора, які залежать від конкретного виробника і моделі обладнання. Технічні характеристики трифазного сепаратора перераховані в таблиці 1.1.

Горизонтальний трифазний сепаратор є ключовим обладнанням на установках підготовки нафти, призначеним для розділення видобутої нафтогазової суміші на три основні фази: нафту (вуглеводневу рідину), пластову воду та газ. Ефективне функціонування сепаратора є критично важливим для забезпечення якості підготовленої нафти, безпечної утилізації пластової води та ефективного використання попутного газу.

Технологічний процес у горизонтальному трифазному сепараторі відбувається наступним чином.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Видобута нафтогазова суміш, яка є складною дисперсною системою, що містить нафту, воду, газ та механічні домішки, під тиском надходить у сепаратор через вхідний штуцер. Для зменшення турбулентності та сприяння первинному розділенню фаз на вході можуть встановлюватися спеціальні пристрої, такі як дефлектори або заспокійливі пластини.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики трифазного сепаратора

№	Параметри	Одиниці вимірювання
1	Об'єм	200 м ³
2	Робочий тиск	1 МПа
3	Максимальна температура робочого середовища	100°C
4	Виробництво по рідині	1000–12000 м ³ /добу
5	Газовий фактор	200 нм ³ /т
6	Висота	4500 мм

Основний принцип розділення фаз у горизонтальному трифазному сепараторі ґрунтується на різниці їх густин під дією сили тяжіння. Завдяки великому об'єму та горизонтальній конструкції сепаратора створюються умови для спокійного руху суміші, що сприяє осадженню важкої фази (пластової води) вниз, спливанню легшої фази (нафти) вгору та відокремленню газової фази, яка є найлегшою і накопичується у верхній частині апарату.

Газова фаза, звільнена від рідинних фракцій, піднімається у верхню частину сепаратора. Для запобігання захопленню крапель рідини газовим потоком можуть встановлюватися краплевідбійники (туманоуловлювачі) різних конструкцій (сітчасті, жалюзійні, відцентрові). Очищений від рідини газ виводиться з сепаратора через окремий вихідний штуцер.

У середній та нижній частинах сепаратора відбувається розділення нафти та води. Оскільки нафта має меншу густину, вона утворює верхній шар рідини. Пластова вода, як більш важка фаза, осідає на дно сепаратора. Для покращення

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розділення можуть використовуватись різні технологічні рішення, такі як:

Спеціальні насадки або пластини, які сприяють злипанню дрібних крапель нафти або води у більші, що полегшує їх гравітаційне розділення.

Внутрішні перегородки, які створюють додаткові зони для відстоювання та розділення фаз.

Підготовлена нафта відводиться з верхньої частини сепаратора через спеціальний вихідний штуцер. Рівень нафтової фази контролюється та регулюється для забезпечення стабільного відведення якісного продукту та запобігання захопленню води.

Відділена пластова вода накопичується в нижній частині сепаратора та періодично або безперервно виводиться через нижній вихідний штуцер. Рівень води також контролюється та регулюється для забезпечення ефективного розділення та запобігання потраплянню води у нафтову фазу.

1.3 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Як об'єкт управління, горизонтальний трифазний сепаратор характеризується наступними регульованими параметрами.

Підтримання заданого тиску в сепараторі є важливим для забезпечення ефективного розділення фаз та безпечної експлуатації обладнання. Зміни тиску можуть впливати на розчинність газу в рідинах та швидкість розділення.

Температура впливає на в'язкість рідин, міжфазний натяг та швидкість розділення фаз. Підтримання оптимальної температури може покращити ефективність сепарації.

Контроль загального рівня рідини в сепараторі необхідний для забезпечення достатнього часу перебування суміші для ефективного розділення та запобігання переповненню або осушенню апарату.

Точне регулювання рівня міжфазної межі між нафтою та водою є критично важливим для забезпечення якості відведеної нафти (мінімізація вмісту води) та пластової води (мінімізація вмісту нафти).

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними показниками якості є вміст води в нафті та вміст нафти у воді на виході з сепаратора. Система управління повинна забезпечувати підтримання цих показників у заданих межах шляхом регулювання технологічних параметрів.

Ефективне керування цими параметрами є складним завданням, яке вимагає точних вимірювань, швидкої обробки інформації та оперативного впливу на виконавчі механізми. Автоматизована система управління дозволяє здійснювати безперервний моніторинг та регулювання цих параметрів, що призводить до підвищення продуктивності сепаратора, покращення якості підготовленої продукції, зниження експлуатаційних витрат та підвищення безпеки процесу.

Висновки до розділу

У даному розділі було детально розглянуто технологічний процес підготовки нафти з акцентом на автоматизацію роботи трифазного сепаратора – ключового обладнання, призначеного для ефективного розділення нафтогазової суміші на окремі компоненти. Горизонтальний трифазний сепаратор, що став об'єктом дослідження, має ряд переваг порівняно з іншими типами апаратів. Його конструкція дозволяє забезпечити більш стабільне розділення фаз завдяки великому об'єму та оптимальній геометрії. Для забезпечення ефективної роботи сепаратора необхідно ретельно контролювати такі параметри, як тиск, температура та рівень рідин. Від цих показників залежить не лише якість кінцевих продуктів, але й безпека експлуатації обладнання. Окрему увагу слід приділити регулюванню рівня нафти та води, оскільки їхня нестабільність може призвести до потрапляння води в нафту або навпаки, що погіршить якість продукції.

Автоматизація цих процесів дозволяє значно підвищити ефективність роботи сепаратора. Завдяки сучасним системам контролю та управління можна оперативно реагувати на зміни параметрів, уникаючи ручного втручання та знижуючи ризик помилок. Це не лише покращує якість підготовленої нафти, але й зменшує витрати на обслуговування, підвищує продуктивність та забезпечує безпеку виробничого процесу.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

Розробка автоматизованої системи підготовки нафти (АСПН) є надзвичайно актуальною в сучасній нафтогазовій промисловості. Це зумовлено низкою факторів.

Автоматизація дозволяє оптимізувати процеси підготовки нафти, зменшити час простоїв обладнання, підвищити пропускну здатність установок та збільшити обсяги підготовленої нафти. Автоматизовані системи потребують меншої кількості обслуговуючого персоналу, що призводить до зниження витрат на заробітну плату. Також оптимізується споживання енергоресурсів та реагентів.

Автоматичний контроль параметрів процесу забезпечує стабільність технологічних режимів та мінімізує вплив людського фактору, що позитивно впливає на якість підготовленої сировини. Автоматизація дозволяє виключити персонал з небезпечних зон, зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій та оперативно реагувати на технологічні відхилення. АСПН забезпечує безперервний збір інформації про технологічні параметри, роботу обладнання та якість продукції. Це дозволяє проводити глибокий аналіз, виявляти вузькі місця та приймати обґрунтовані управлінські рішення. В умовах зростаючих вимог до екологічної безпеки та енергоефективності, автоматизовані системи дозволяють більш ефективно контролювати та оптимізувати виробничі процеси. Сучасні АСПН можуть мати функції дистанційного керування та моніторингу, що особливо важливо для віддалених та важкодоступних об'єктів.

Незважаючи на очевидні переваги, розробка та впровадження АСПН пов'язані з певними реаліями та викликами. Розробка, закупівля обладнання, монтаж та налагодження автоматизованої системи потребують значних фінансових вкладень. Складність інтеграції з існуючими системами, на багатьох нафтопереробних підприємствах вже існують застарілі системи управління та

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролю. Інтеграція нової АСПН з цими системами може бути складним та ресурсомістким завданням. Для обслуговування та експлуатації автоматизованої системи потрібні висококваліфіковані інженери та техніки, які володіють знаннями в галузі автоматизації, програмування та технології підготовки нафти.

Підключення АСПН до корпоративних мереж та інтернету підвищує ризики кібератак, що може призвести до порушення роботи системи та витоку важливої інформації. Необхідність ретельного проектування та тестування. Помилки на етапі проектування або недостатнє тестування можуть призвести до збоїв у роботі АСПН та значних фінансових втрат.

2.2 Постановка завдання

Розробка автоматизованих систем підготовки нафти є стратегічно важливим напрямком для підвищення конкурентоздатності нафтогазових підприємств. Незважаючи на певні труднощі та високі початкові витрати, переваги від впровадження АСПН значно перевищують недоліки. Успішна реалізація таких проектів вимагає комплексного підходу, врахування специфіки конкретного виробництва, залучення кваліфікованих фахівців та ретельного планування на кожному етапі.

Метою даної бакалаврської роботи є комплексне дослідження процесу підготовки нафти з акцентом на розробку ефективної автоматизованої системи управління (АСУ ТП) для підвищення продуктивності, якості та безпеки цього важливого технологічного етапу.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних основних завдань. Детальне вивчення технологічного процесу підготовки нафти. Проведення глибокого аналізу існуючих методів та технологій підготовки нафти, включаючи фізико-хімічні процеси, використовуване обладнання та контрольовані параметри. Особлива увага буде приділена об'єкту управління – горизонтальному трифазному сепаратору – як ключовому елементу системи підготовки. Розробка функціональної схеми автоматизованої системи управління.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створення концептуальної моделі АСУ ТП, визначення її основних функцій, рівнів управління, інформаційних потоків та взаємозв'язків між окремими підсистемами.

Вибір оптимального обладнання для автоматизації. Обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації, включаючи первинні вимірювальні перетворювачі (датчики) для контролю тиску, температури, рівня рідини, витрати та якісних показників; виконавчі механізми (регулюючі клапани, засувки, насоси) для безпосереднього впливу на технологічний процес; програмовані логічні контролери (ПЛК) або розподілені системи керування (РСК) для реалізації алгоритмів управління та обробки даних; операторські станції та системи візуалізації для забезпечення зручного інтерфейсу користувача та відображення інформації про стан процесу. А також розробка алгоритмів та стратегій управління. Створення математичних моделей об'єкту управління, розробка алгоритмів автоматичного регулювання основних технологічних параметрів (тиску, температури, рівня рідини, міжфазної межі), і реалізація логіки керування допоміжним обладнанням та технологічними режимами. Розробка зручного та інформативного інтерфейсу оператора для візуалізації технологічного процесу, відображення поточних значень параметрів, аварійних сигналізацій, трендів та звітів. Розгляд питань інтеграції АСУ ТП з існуючими системами (за необхідності). Визначення можливостей та шляхів інтеграції розробленої АСУ ТП з іншими виробничими інформаційними системами підприємства. Розгляд питань безпеки та надійності функціонування АСУ ТП. Аналіз потенційних ризиків, пов'язаних з впровадженням та експлуатацією автоматизованої системи, та розробка заходів щодо забезпечення її безпеки та надійності.

Таким чином, дана бакалаврська робота, спрямована на розробку комплексної та обґрунтованої автоматизованої системи управління процесом підготовки нафти, що дозволить оптимізувати технологічні параметри, підвищити якість продукції, знизити витрати та забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У СЕПАРАТОРІ

3.1 Ідентифікація параметрів та отримання передавальної функції трифазного сепаратора каналом регулювання рівня води

Регулювання рівня води в сепараторі є важливим завданням, оскільки надто високий рівень води може призвести до зниження ефективності роботи сепаратора та підвищення вмісту води в нафті. Надто низький рівень води, у свою чергу, може призвести до руйнування обладнання та несанкціонованого випуску неочищеної нафти у навколишнє середовище [7]. Змінні та параметри системи, що використовуються, перераховані нижче в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Змінні та параметри системи

Позначення	Опис	Одиниця вимірювання
$h(t)$	Рівень води в сепараторі	m
$Q_{in}(t)$	Швидкість притоку води	m ³ /h
$Q_{out}(t)$	Швидкість відтоку води	m ³ /h
r	Радіус поперечного січення сепаратора	m
L	Довжина водяного проміжку	m
$h_0(t)$	Рівень нафти в сепараторі	m
$P_g(t)$	Тиск газу в сепараторі	Pa
C_v	Коефіцієнт випуску випускного клапана	-
$u(t)$	Відсоток відкриття клапана	-
ρ_w	Густина води при робочій температурі	kg/m ³
ρ_o	Густина оливи при робочій температурі	kg/m ³
P_w	Тиск клапана вниз по потоку	Pa
U_{max}	Максимальна площа відкриття реулюючого клапана	m ²
ΔP_{out}	Перепад тиску над регулюючим клапаном	Pa

Обсяг води в сепараторі залежить від висоти рівня води всередині нього і обумовлений геометрією сепаратора, що можна описати математичною залежністю:

$$V(h) = (r^2 \cos^{-1} \left(\frac{r-h}{r} \right) - (r-h) \sqrt{2rh - h^2}) L \quad (3.1)$$

Для правильного функціонування необхідно, щоб рівень води знаходився в межах між рівнем, при якому виникає сигнал тривоги про високий рівень, та рівнем, при якому виникає сигнал тривоги про низький рівень. Співвідношення спрощене як лінійна залежність протягом цього інтервалу, $V(h) = ALh(t)$, де $A \approx \pi r^2$ [7].

Динаміка об'єму води всередині сепаратора можна представити як інтегруючу ланку з запізненням:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (3.2)$$

де: V – об'єм води в сепараторі, Q_{in} – вхідний потік води (збурення), Q_{out} – вихідний потік (керований клапаном).

Витрата води через регулюючий клапан у сепараторі визначається за основними рівняннями гідродинаміки та залежить від наступного.

1. Основне рівняння витрати (рівняння неперервності)

$$Q = A \cdot v \quad (3.3)$$

де: Q - витрата води [м³/с], A - площа перерізу клапана [м²], v - швидкість потоку [м/с].

2. Рівняння Бернуллі для витіку через клапан. Для турбулентного потоку (найпоширеніший випадок):

$$Q = C_v \rho \Delta P \quad (3.4)$$

або у практичній формі:

$$Q = C_v \Delta P$$

де: C_v – коефіцієнт витрати клапана (характеристика конкретного клапана), ΔP – перепад тиску на клапані [бар], ρ – густина води (~1000 кг/м³).

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повна модель витрати рідини (води) через регулюючий клапан описується рівнянням:

$$Q=C_v \cdot f(u) \cdot \rho \Delta P_{out} \quad (3.5)$$

де: $f(u)$ – характеристика клапана (залежить від типу клапана та відсотка відкриття u), ΔP_{out} – перепад тиску на клапані [бар, Па], ρ – густина рідини [кг/м³] (для води ~1000 кг/м³).

Розрахунок перепаду тиску ΔP_{out} на клапані залежить від:

- тиску в сепараторі P_{sep} ,
- тиску в зливній магістралі P_{drain} ,
- гідравлічного опору трубопроводу.

Спрощена формула:

$$\Delta P_{out}=P_{sep}-P_{drain}-\Delta P_{line} \quad (3.6)$$

де: ΔP_{line} – втрати тиску в трубопроводі після клапана.

Якщо злив у атмосферу:

$$\Delta P_{out} \approx P_{sep} - P_{atm} \quad (3.7)$$

Для визначення коефіцієнта C клапана використовується метод найменших квадратів, заснований на вимірюваннях витрати води, рівнів води та олії в сепараторі, тиску газу всередині сепаратора та тиску води на виході. За умови постійної густини води значення C_v може бути знайдено як рішення рівняння:

Фізична модель витрати через клапан описується рівнянням (2), ΔP – перепад тиску на клапані, який визначається як:

$$\Delta P=P_{sep}-P_{out} \quad (3.8)$$

де P_{sep} – тиск у сепараторі біля виходу води (враховує гідростатичний тиск стовпа води) і дорівнює:

$$P_{sep}=P_{gas}+\rho \cdot g \cdot h. \quad (3.9)$$

Потрібно знайти C_v , що мінімізує суму квадратів похибок:

$$\min \sum_{i=1}^N \left(Q_i - C_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_i}{\rho}} \right)^2 \quad (3.10)$$

де Q_i та ΔP_i – експериментальні значення витрати та перепаду тиску для i -го вимірювання.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже:

1) лінеаризація моделі (для зручності розрахунків): $y=C_v \cdot x$,

де $y=Q$, $x=\rho \Delta P$

2) оцінка C_v за МНК:

$$C_v = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (3.11)$$

Нехай маємо:

№ вимірювання	Q [м ³ /Год]	P_{gas} [бар]	h [м]	P_{out} [бар]
1	10.2	5.0	2.0	4.8
2	15.1	5.2	2.5	4.5
3	8.5	4.8	1.8	4.9

Розрахунок ΔP :

Для вимірювання № 1:

$$P_{sep} = 5.0 + 1000 \cdot 9.81 \cdot 2.0 \cdot 10^{-5} = 5.196 \text{ бар}$$

$$\Delta P = 5.196 - 4.8 = 0.396 \text{ бар}$$

$$x_1 = \sqrt{\frac{0.396 \cdot 10^5}{1000}} = 6.29, \quad y_1 = 10.2$$

Аналогічно для інших вимірювань:

№ вимірювання	ΔP [бар]	x	y
1	0.396	6.29	10.2
2	0.745	8.63	15.1
3	0.276	5.25	8.5

Обчислення C_v :

$$C_v = \frac{(6.29 \cdot 10.2) + (8.63 \cdot 15.1) + (5.25 \cdot 8.5)}{6.29^2 + 8.63^2 + 5.25^2} \approx 1.69$$

Перевірка адекватності моделі. Коефіцієнт детермінації R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - Cvx_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.12)$$

(значення близьке до 1 вказує на хорошу відповідність моделі).

За умови, що тиск газу, тиск нижче потоку водяного клапана і рівень масла всередині сепаратора є стабільними або їх відхилення від середніх значень можуть бути проігноровані, нелінійна модель системи може бути лінеаризована в нормальних умовах експлуатації. Шляхом підстановки конкретних значень параметрів системи, лінеаризована модель може бути представлена у певній формі [7]:

$$47.55 \frac{d\Delta h(t)}{dt} = Q_{in}(t) - 1.81\Delta h(t) - 10.82\Delta u(t)$$

де $\Delta h(t)$, $\Delta u(t)$ представляє відхилення рівня води (становище клапана) до досягнення рівноваги. В результаті, передатна функція, яка показує відношення між невідомим обуренням $Q_{in}(t)$, керуючим входом $u(t)$ і виходом $h(t)$, матиме наступний вигляд [7]:

$$G(s) = \frac{243.5s + 4382}{47.55s^2 + 245.3s + 4382}$$

На основі лінеаризованої моделі можна розробити автоматичну систему керування рівнем води. Завданням системи керування буде підтримання заданого рівня води ($\Delta h(t)=0$) або його регулювання відповідно до технологічних вимог, незважаючи на наявність збурень та зміни вхідного потоку.

Для перевірки ефективності розробленої системи керування рекомендується провести її моделювання та симуляцію в спеціалізованому програмному середовищі (наприклад, MATLAB Simulink). Це дозволить оцінити поведінку системи при різних сценаріях та налаштувати параметри регулятора до впровадження на реальному об'єкті.

Таким чином, надана лінеаризована модель є важливим кроком у розробці автоматизованої системи управління рівнем води в горизонтальному трифазному сепараторі. Подальша робота буде полягати в аналізі цієї моделі, синтезі

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритмів керування, виборі обладнання та оцінці ефективності розробленої системи.

3.2 Аналіз системи автоматичного регулювання рівня води у трифазному сепараторі

Маючи математичну модель системи автоматичного керування процесом підготовки нафти. Можемо отримати перехідні, частотні та логарифмічні характеристики. Для системи автоматичного керування рівня води побудована схема рисунок 3.1.

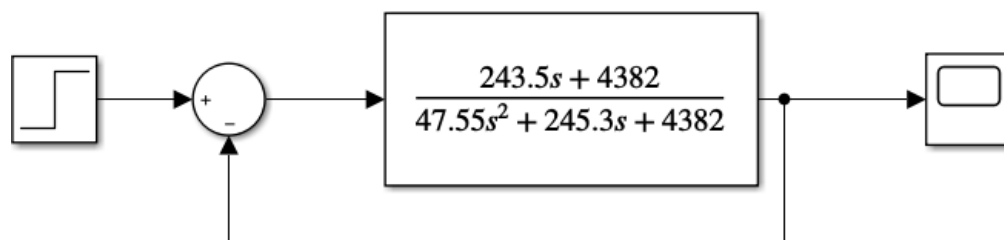


Рисунок 3.1 – Моделювання схеми САК

Структурна схема математичної моделі Simulink представлена рисунку 3.2.

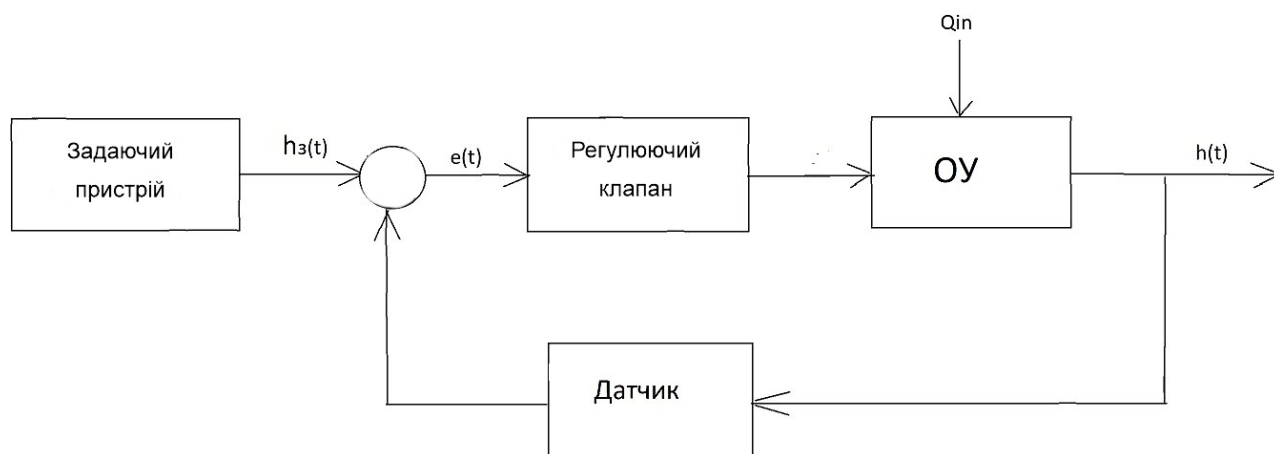


Рисунок 3.2 – Структурна схема в Matlab

На рисунку 3.2 прийняті такі позначення: $hз(t)$ – задане значення; $h(t)$ – регульований параметр; $Qin(t)$ – збурення швидкість припливу води.

За структурною схемою отримали перехідний процес для замкнутої

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

системи, який показаний на рисунку 3.3. Система стійка, але не досягає бажаного значення одиниці та має перерегулювання. Для покращення динаміки системи синтезуємо типовий регулятор.

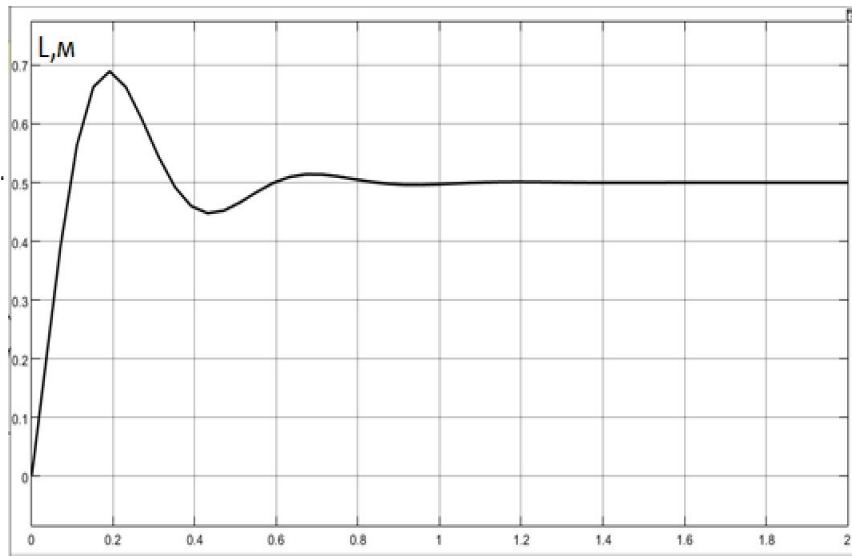


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика системи

Для побудови АФЧХ розімкненої системи необхідно визначити уявні та дійсні частини характеристичного рівняння:

$$G(s) = \frac{243.5s + 4382}{47.55s^2 + 490.5s + 8764}$$

Далі, оператор Лапласа - s замінимо на jw :

$$G(s) = \frac{243.5jw + 4382}{47.55(jw)^2 + 490.5jw + 8764}$$

Помножимо чисельник і знаменник на комплексно-спряжене число:

$$G(s) = \frac{-j11575.42w^3 - 88904w^2 - j155751w + 38404884}{76807696 - 592767.04w^2 + 2260.025w^4}$$

Відокремлюємо дійсну та уявну частину за формулою:

$$\text{Re}(w) = \frac{-88904w^2 + 38404884}{76807696 - 592767.04w^2 + 2260.025w^4}$$

$$\text{Im}(w) = \frac{-j11575.42w^3 - j155751w}{76807696 - 592767.04w^2 + 2260.025w^4}$$

Координати дійсної та уявної частини АФЧХ при зміні частоти w $[0; \infty]$

Побудуємо графік АЧХ, використовуючи дані з таблиці 4.3, який показаний на рисунку 3.5.

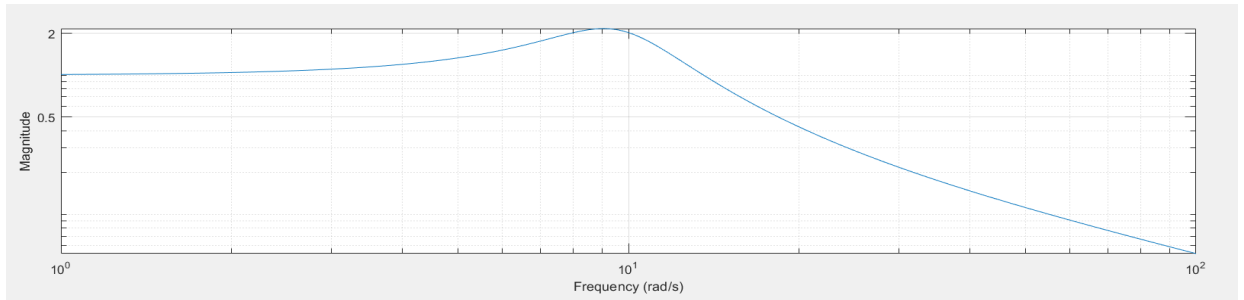


Рисунок 3.5 – Графік АЧХ

Для побудови ФЧХ використовується така формула:

$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} \quad (3.14)$$

Координати ФЧХ у полярній формі при зміні частоти ω $[0; \infty]$ заповнюється таблиця 3.4 значень ФЧХ.

Таблиця 3.4 - Таблиця значень ФЧХ

ω	0	1	10	100	1000	∞
$\varphi(\omega)$	0	-0.0450	-24.2	-94.4	-90	-90

За даними таблиці 3.4, побудуємо графік ФЧХ, показаний рисунку 3.6.

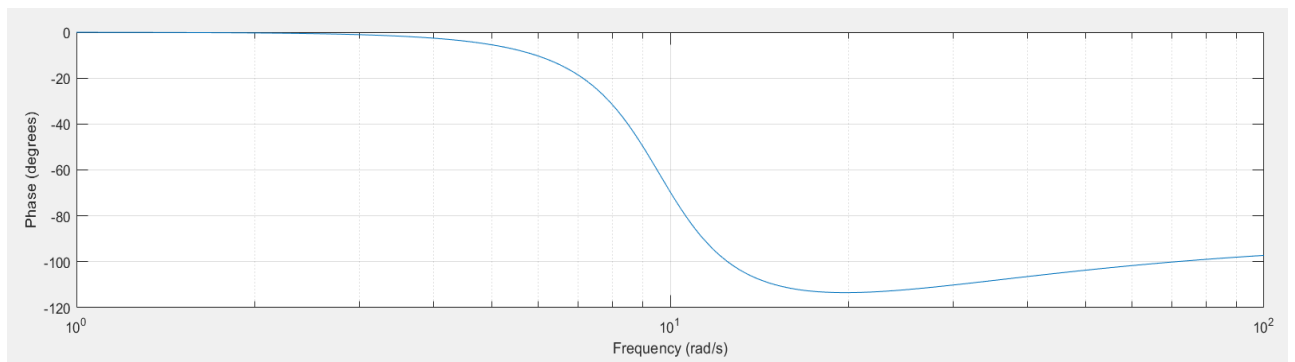


Рисунок 3.6 – Графік ФЧХ

Побудуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнutoї системи. Для їх побудови

використовується така формула:

$$L(\omega) = 20 \lg(A(\omega))$$

Підставляючи значення ω $[0; \infty]$, заповнюємо таблицю 3.5 значень ЛАЧХ

Таблиця 3.5 – Значення ЛАЧХ

ω	0	1	10	100	1000
$\varphi(\omega)$	0	-5.95	-2.02	-25.8	-46

За даними з таблиці зверху побудуємо графік ЛАЧХ, що представлений рисунку 3.7.

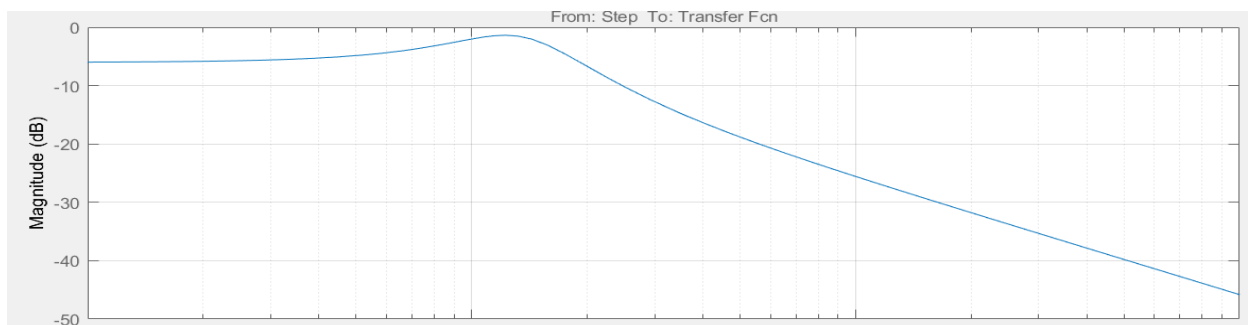


Рисунок 3.7 – Графік ЛАЧХ

Для побудови ЛФЧХ використовується така формула (3.14).

За даними таблиці 3.6 побудуємо графік, як показано на рисунку 3.8.

Таблиця 3.6 – Таблиця значень ЛФЧХ

ω	0	1	10	100	1000	∞
$\varphi(\omega)$	0	-0.0450	-24.2	-94.4	-90	-90

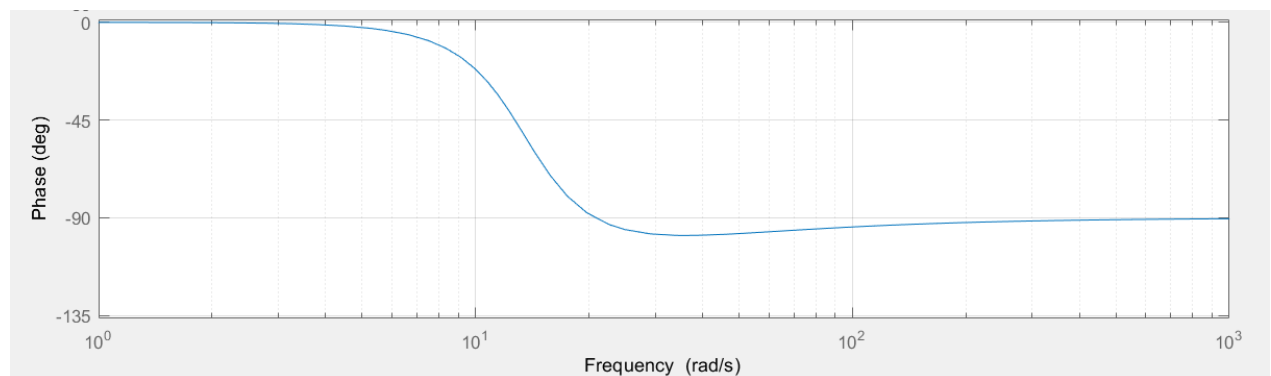


Рисунок 3.8 – Графік ЛФЧХ

Система автоматичного керування рівня води стійка, але потребує корекції для усунення перерегулювання та поліпшення динаміки. Частотні характеристики підтверджують наявність інтегруючої ланки та фільтруючих властивостей. Для подальшого вдосконалення необхідно синтезувати регулятор.

3.3 Показники якості перехідного процесу замкнутої системи регулювання рівня води

За отриманим перехідним процесом замкнутої системи необхідно знайти прямі оцінки якості та перевірити чи відповідає отримані дані вимогам.

До оцінок якості відноситься Peak Response; Rise Time, Settling Time, Set State, як показано рисунку 3.9.

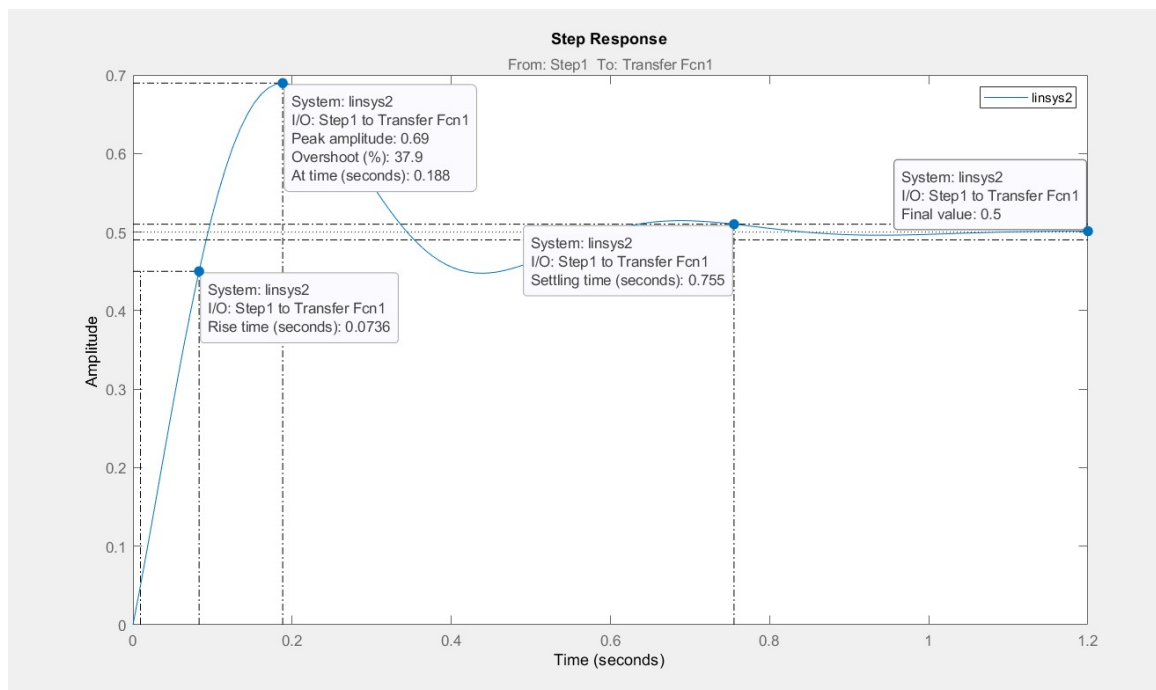


Рисунок 3.9 – Перехідний процес замкнутої системи

З графіка отримуємо дані щодо прямої оцінки:

- перерегулювання: $Pov = 37,9\%$,
- час досягнення першого максимуму: $Tl_{max} = 0,2$ с;
- час регулювання: $Tset = 0,755$ с;
- усталене значення: $y_{ss} = 0,5$;

- час наростання: $T_r = 0.0736$ с.

Також знайдемо непрямі оцінки якості перехідного процесу замкнутої системи, що представлені рисунку 3.10.

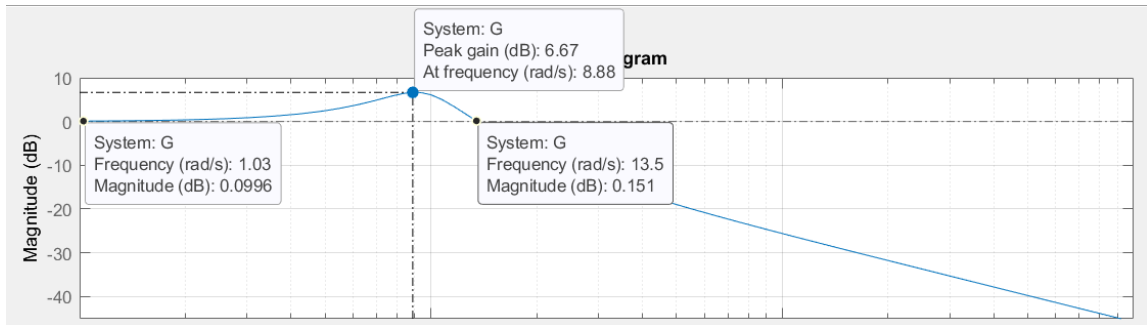


Рисунок 3.10 – Непрямі оцінки якості

Непрямі оцінки якості:

- частота зрізу: 13.5
- чмуга пропускання: [0; 15.7];
- резонансна частота: $\omega_r = 8,88$ при $A_{max} = 2,16$.

Непрямі оцінки якості замкнутої системи:

- резонансна частота: $\omega_r = 8,86$;
- смуга пропускання системи: [0; 15,7];
- коливання системи: $\mu = 2,12$;
- частота зрізу: 12,8.

Дані прямих оцінок якості та непрямих оцінок вставляємо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Оцінки якості замкнутої системи

№	Оцінка якості		Прямі	Коливальні	Відповідність вимогам
1	Час регулювання	T_{set}	0.755	1.56	
2	Перерегулювання	P_{ov}	37.9%	40%	не відповідає
3	Кількість коливань	n	1	2	відповідає
4	Коливальність	μ	5%	3.62%	не відповідає
5	Частота коливань	ω	12.56	9.3	відповідає

6	Усталена похибка	e	0.5	0	не відповідає
7	Час досягнення першого максимуму	T_{1max}	0.188	0.32	
8	Час наростання	T_r	0.0736	-	
9	Дескремент затухання	χ	0.61	-	

Перерегулювання та коливання не відповідає бажаним вимогам. У зв'язку з цим необхідно синтезувати типовий регулятор. Для покращення показників перерегулювання та коливання необхідно ввести регулятор. Усталена похибка дорівнює 0,5.

3.4 Синтез типового регулятора

ПІД регулятор – це пристрій автоматичного керування, що використовується для регулювання процесів, де потрібна точність та стійкість керування. Розрахунок параметрів регулятора буде розрахований методом Циглеру-Нікольса №1 (ZN1). Побудуємо перехідний процес розімкнутої системи рисунок 3.11.

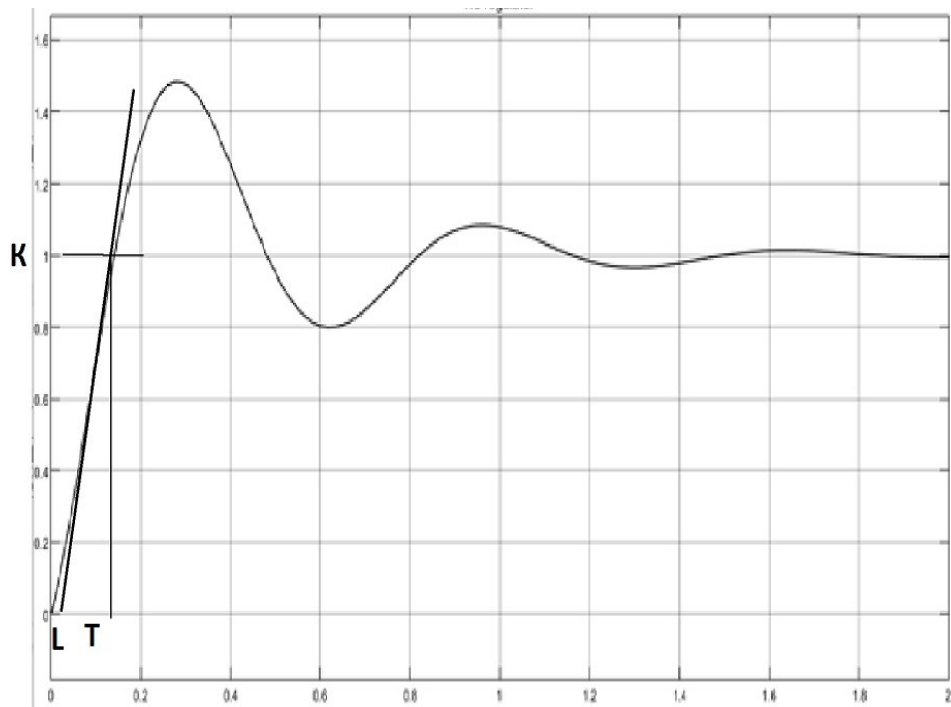


Рисунок 3.11 – Перехідний процес розімкнутої системи

За графіком отримаємо значення: $K=1$, $L=0.02$, $T=0,14$.

За отриманими даними заповнюємо таблицю 3.8, де показані параметри ПІД регулятора.

Таблиця 3.8 – Обчислення параметрів регуляторів

Тип регулятора	P	I/I	D
P	50	-	-
PI	45	15.15	-
PID	60	25	0.01

Проведемо порівняння між П, ПІ та ПІД-регуляторами. Визначимо який із регуляторів найкраще підійде.

На рисунку 3.12 представлено графік перехідного процесу регулятора.

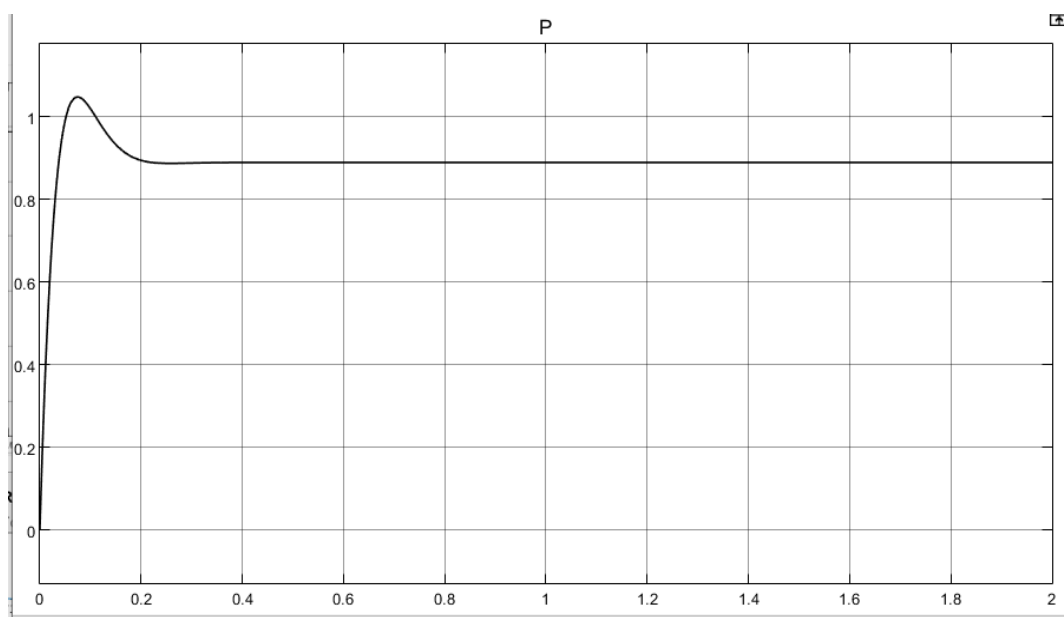


Рисунок 3 .1 2 – Перехідний процес P-регулятора

На рисунку 3.13 показаний перехідний процес регулятора з оцінками якості.

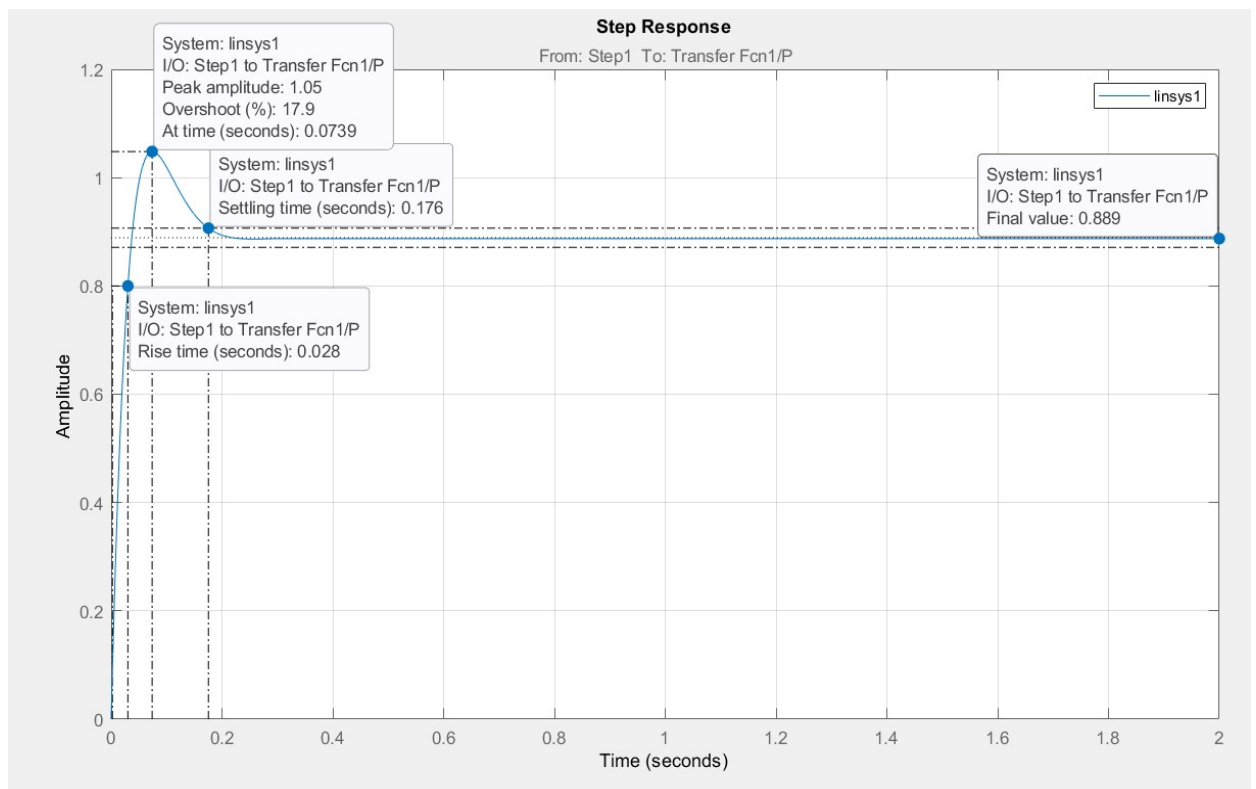


Рисунок 3.13 – Оцінки якості системи з Р-регулятором

У таблиці 3.9 наведені прямі оцінки перехідного процесу Р-регулятора.

Таблиця 3.9 – Прямі оцінки якості регулятора Р

Оцінка якості	Система з Р-регулятором
Час регулювання	0,176с
Перерегулювання	17,6%
Кількість коливань	1
Коливальність	-
Період коливань	0,2с
Час досягнення першого максимуму	0,0739с
Час наростання	0,028с

Дослідимо вплив Р-регулятора на стійкість замкнутої системи.

$$T(s) = \frac{K_p \cdot G(s)}{1 + K_p \cdot G(s)} = \frac{243.5s + 4382K_p}{47.55s^2 + 245.3s + 4382 + 243.5s + 4382K_p}$$

Характеристичне рівняння:

$$47.55s^2 + 245.3s + 4382 + 243.5s + 4382K_p = 0$$

$$K_p > -1$$

Обчислення меж зміни Р на основі критерію Гурвіца:

$$H = \begin{vmatrix} 488.8 & 0 \\ 47.55 & 4382 + 4382K_p \end{vmatrix} \Rightarrow \det(H) = 488.8(4382 + 4382K_p) - 47.55 \cdot 0 > -1$$

$$K_p > -1$$

Отже, Р-регулятор зменшив час регулювання та коливальність процесу. Однак перехідний процес не досяг значення одиниці. Тому цей регулятор не підходить для використання. регулятор не впливає на стійкість системи 2-го порядку.

Доцільно дослідити систему з РІ-регулятором. Побудуємо перехідний процес замкнутої системи з РІ-регулятором (рисунок 3.14).

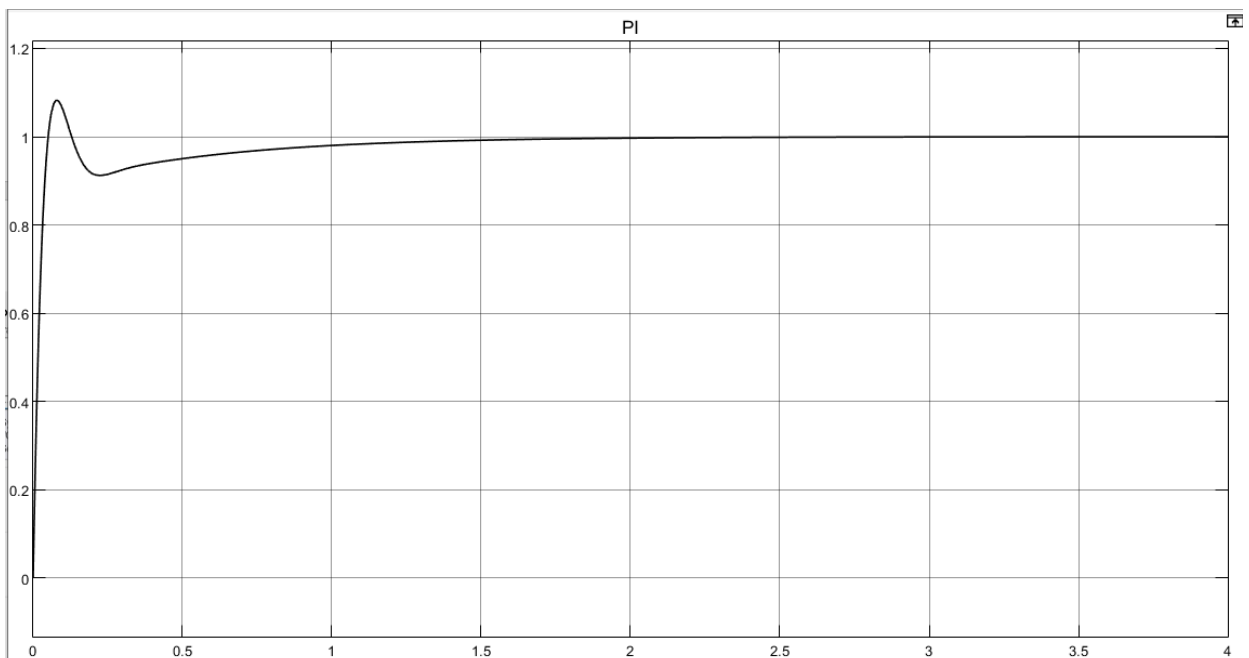


Рисунок 3.14 – Перехідний процес системи з РІ-регулятором

Дослідимо перехідний процес з РІ-регулятором за прямими оцінками якості (рисунок 3.15).

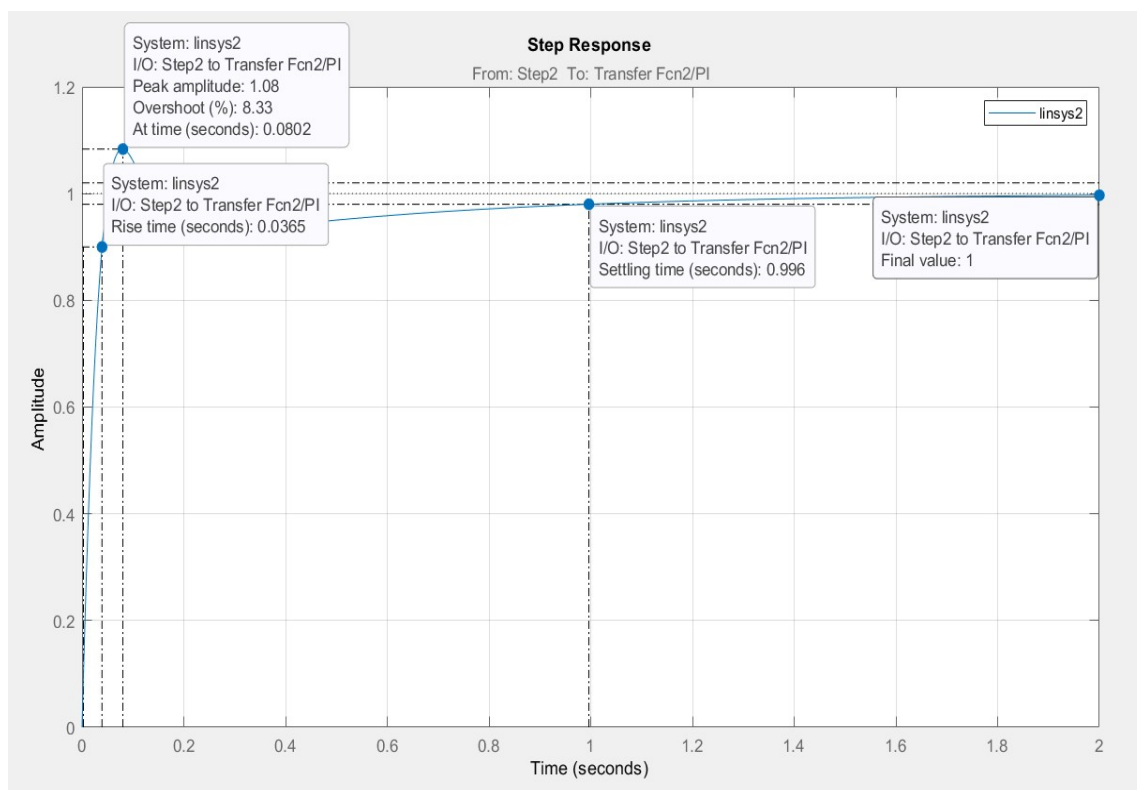


Рисунок 3.15 – Показники якості перехідної характеристики системи з РІ-регулятором

У таблиці 3.10 подано прямі показники перехідного процесу системи з РІ-регулятором.

Таблиця 3.10 – Прямі показники якості перехідного процесу системи з РІ-регулятором

Показник якості	Система з РІ-регулятором
Час регулювання	0,996с
Перерегулювання	8.33%
Кількість коливань	1
Колівальність	-
Період коливань	0,38с
Час досягнення першого максимуму	0,0802с
Час наростання	0,0356с

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Отже, можна зробити висновок, що PI-регулятор збільшив час регулювання та час наростання, але зменшив значення перерегулювання. Також процес досяг усталеного значення. Цей регулятор підходить краще.

Оцінимо перехідний процес системи з PID-регулятором за прямими показниками якості (рисунок 3.16).

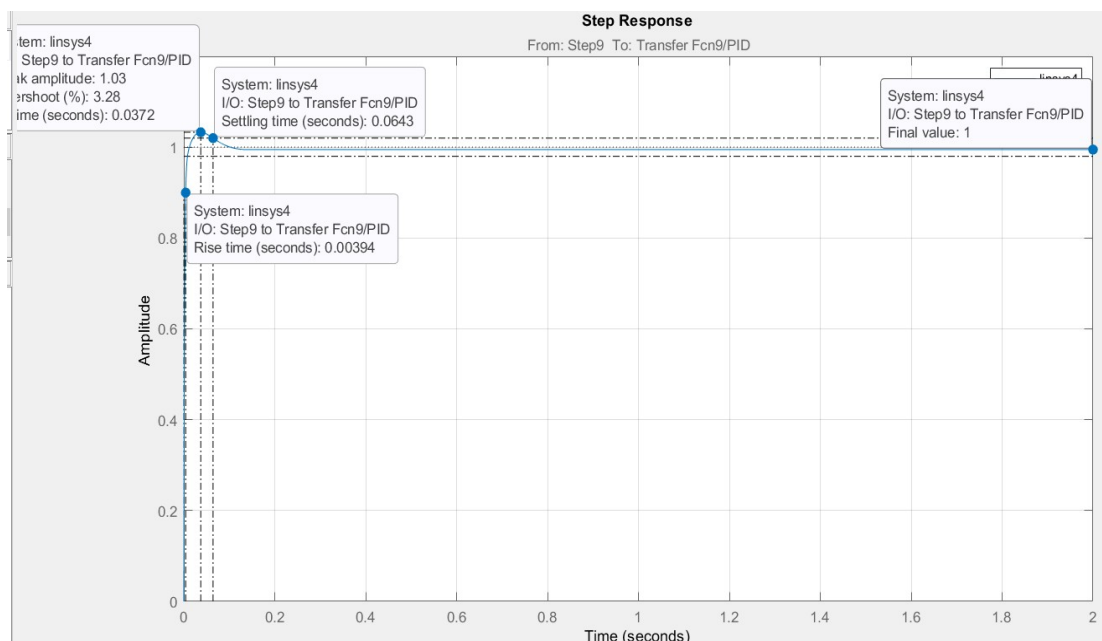


Рисунок 3.16 – Показники якості перехідного процесу системи з PID-регулятором

У таблиці 3.11 подано прямі показники перехідного процесу системи з PID-регулятором.

Таблиця 3.11 – Прямі показники якості перехідного процесу системи з PID-регулятором.

Показник якості	Система з PID-регулятором
Час регулювання	0,0643с
Перерегулювання	3.28%
Кількість коливань	1
Коливальність	-
Період коливань	0,12с
Час досягнення першого максимуму	0,0372с
Час наростання	0,00394с

З отриманих результатів оцінки показників якості можна дійти висновку, що PID-регулятор істотно зменшив час регулювання, наростання і значення перерегулювання. Усталена похибка, дорівнює нулю.

Емпіричний метод Циглера-Нікольса №1 дає найкращі параметри налаштування для PID-регулятора. Здійснили порівняння PI- та PID-регуляторів.

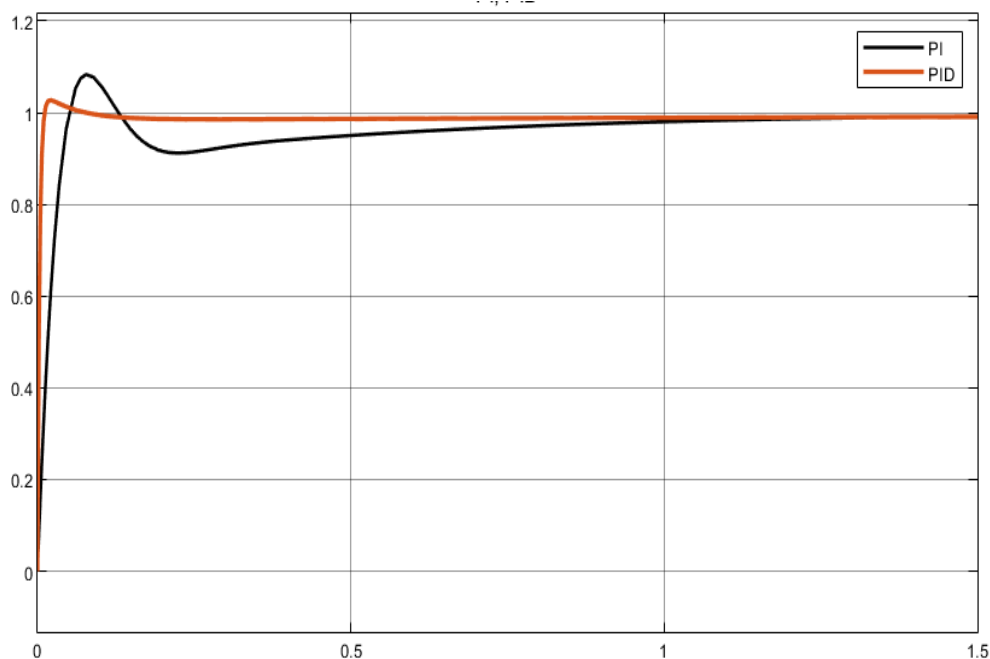


Рисунок 3.17 – Порівняння типових регуляторів

З проведеного дослідження, можна зробити висновок, що P- та PI-регулятори не дали бажаного результату, на відміну від PID-регулятора.

Висновки до розділу

У даному розділі було проведено дослідження контуру регулювання рівня води у трифазному сепараторі з метою забезпечення стабільної роботи системи. На основі аналізу математичної моделі, частотних характеристик та перехідних процесів було визначено оптимальний тип регулятора для підтримки заданого рівня води.

Отримано лінеаризовану модель сепаратора, яка враховує динаміку зміни

рівня води залежно від притоку, відтоку та керування клапаном. Передавальна функція системи визначена як інтегруюча ланка з запізненням, що підтверджує необхідність точного регулювання для запобігання перерегулюванню та коливанням.

Дослідження перехідних та частотних характеристик показало, що система є стійкою, але має значне перерегулювання (37,9%) та усталену похибку (0,5), що не відповідає технологічним вимогам. Це обумовило необхідність введення корекції за допомогою регулятора.

Методом Циглера-Нікольса (ZN1) було розраховано параметри трьох типів регуляторів: P, PI та PID.

P-регулятор зменшив перерегулювання до 17,6%, але не усунув усталену похибку.

PI-регулятор забезпечив нульову усталену похибку та знизив перерегулювання до 8,33%, проте збільшив час регулювання.

PID-регулятор виявився найефективнішим – він усунув усталену похибку, зменшив перерегулювання до 3,28% та значно прискорив час регулювання (0,0643 с).

Найкращі результати показав PID-регулятор, який забезпечує швидкий, точний і стабільний контроль рівня води. Його впровадження дозволить: мінімізувати вміст води в нафті; запобігти аварійним ситуаціям, пов'язаним із переповненням або осушенням сепаратора; підвищити ефективність роботи всього технологічного процесу.

Таким чином, запропонована система автоматичного регулювання на основі PID-регулятора є оптимальним рішенням для підтримки стабільного рівня води в трифазному сепараторі. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на адаптацію алгоритму до реальних умов експлуатації та вдосконалення системи з урахуванням додаткових збурень.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ НАФТИ

4.1 Визначення точок контролю та управління

Для ефективної роботи системи автоматичного керування (САК) процесом підготовки нафти необхідно чітко визначити точки контролю (місця збору даних) та точки управління (місця впливу на процес). При розробці системи автоматизації необхідно забезпечити такі функції:

- збір та обробка даних;
- впровадження систем моніторингу вимірюваних параметрів;
- реєстрація та відображення параметрів на мнемосхемах;
- впровадження системи безпеки для запобігання аварійним ситуаціям;
- дистанційне керування процесом.

Також були визначені точки контролю, управління та сигналізації для управління технологічним процесом:

- 1) витрата суміші на вході в сепаратор;
- 2) рівень кордону нафти;
- 3) рівень межі води;
- 4) тиск у сепараторі;
- 5) температура у сепараторі;
- 6) витрата води на виході із сепаратора;
- 7) витрата нафти на виході із сепаратора;
- 8) витрата газу на виході із сепаратора. Точки управління:
- 9) ступінь відкриття вхідного клапана;
- 10) ступінь відкриття клапана на виведенні нафти із сепаратора;
- 11) ступінь відкриття клапана на виведенні води із сепаратора;
- 12) ступінь відкриття клапана на виведенні газу із сепаратора.

Сигналізація системи безпеки спрацьовує:

- при підвищенні тиску в сепараторі/ при зниженні тиску в сепараторі;

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- при підвищенні температури у сепараторі/ при зниженні температури у сепараторі;
- при підвищенні рівня нафти у сепараторі/ при зниженні рівня нафти в сепараторі;
- при підвищенні рівня поділу фаз (води) у сепараторі/ при зниженні рівня/ поділу фаз (води) у сепараторі.

Система сигналізації безпеки (ССБ, або Safety Alarm System) є критично важливою складовою автоматизованого управління технологічними процесами. Вона призначена для попередження аварійних ситуацій, захисту персоналу та обладнання, а також мінімізації екологічних ризиків.

4.2 Визначення структури автоматизованої системи управління

АСУ ТП допомагає керувати, контролювати та автоматизувати багато аспектів виробничого процесу, для покращення ефективності процесу, знизити витрати, підвищити безпеку праці.

Основними функціями АСУ ТП є:

- контроль та управління технологічними параметрами;
- автоматичне управління технологічними процесами;
- моніторинг та діагностика технічного стану обладнання;
- управління виробничим персоналом.

Для цього технологічного процесу розробимо централізовану систему управління.

Збір даних здійснюється з датчиків, які перетворюють вимірювану величину уніфікований сигнал струму 4-20 мА. Датчики використовуються для моніторингу параметрів процесу, таких як рівні рідини та тиск, температура та потік. Вони збирають дані та відправляють їх на контролери для обробки.

Виконавчі механізми використовуються для виконання дій щодо зміни параметрів процесу. Наприклад, вони можуть керувати клапанами та насосами для регулювання потоку та тиску, а також керувати рівнями рідини у сепараторі.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контролери обробляють дані від датчиків і основі отриманої інформації приймають рішення про управління системою.

Наприклад, вони можуть регулювати рівні рідини в сепараторі, керувати клапанами для регулювання потоку та тиску, а також обробляти дані визначення якості продукції.

Контролери - це центральний пристрій, який займається збором даних, обробкою інформації та прийняттям рішень для управління процесом. Контролери можуть працювати без участі оператора, здійснювати управління на основі заданих алгоритмів та системної логіки або взаємодіяти з оператором через операторські панелі.

У деяких системах збір даних може бути здійснений за допомогою протоколів зв'язку, таких як Modbus, Profibus, Foundation Fieldbus тощо. Ці протоколи забезпечують передачу даних між датчиками та контролерами через шини даних.

Моніторинг процесу здійснюється оператором. Оператор, отримавши інформацію про стан системи, приймає рішення підтримки оптимального режиму роботи процесу.

Оператор може відстежувати різні параметри процесу, змінювати уставки, запускати та зупиняти обладнання та виконувати інші дії, необхідні для керування процесом.

Нижній рівень: датчик тиску (РТ 2-1), датчик температури (ТТ 4-1), рівнеміри для нафти (LT 9-1) та води (LT 8-1) у сепараторі, сигналізатор рівня (LS 3-1), витратоміри (FT 1-1, FT 10-1, FT 6-1, FT 7-1).

Середній рівень: ПЛК, модулі вводу/виводу. До цього об'єкта управління було обрано контролера Siemens S7-313C.

Третій рівень: АРМ оператора, сервер бази даних. Оператор спостерігає за процесом із комп'ютерів, де є необхідні програмні забезпечення.

Наприклад: TIA Portal, Windows, Scada. На рисунку 4.1 наведено ієрархію рівнів автоматизації.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

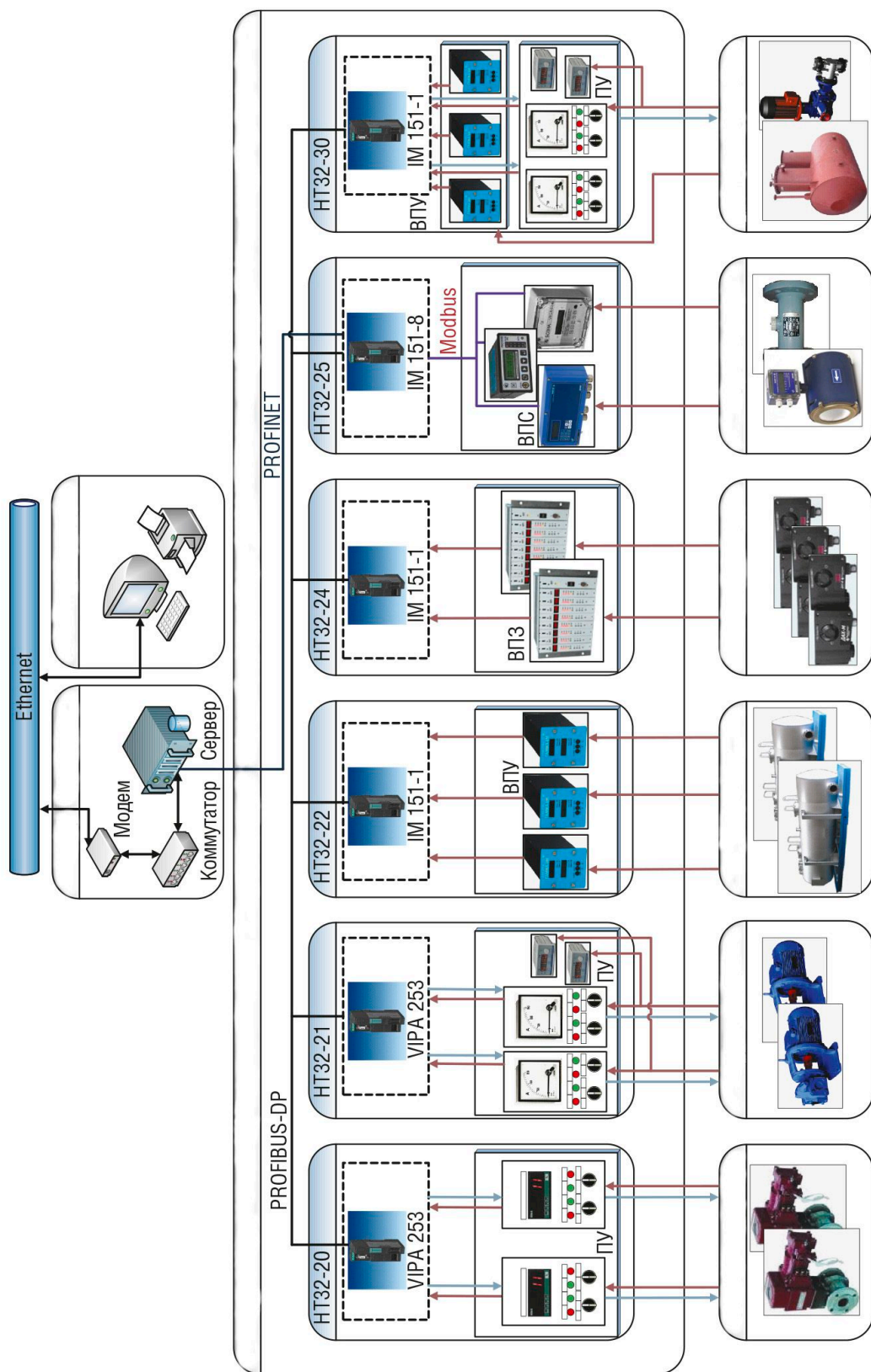


Рисунок 4.1 – Рівні АСУ ТП

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.3 Розробка функціональної схеми автоматизації процесу підготовки нафти

Функціональна схема автоматизації – це важливий технічний документ, який визначає структуру та функціональні відносини між процесом та засобами автоматизації, такими як обране обладнання, засоби отримання первинної інформації, засоби перетворення та обробки інформації, а також засоби подання та розповсюдження інформації серед обслуговуючого персоналу. Функціональна схема автоматизації використовується для визначення операційної логіки системи автоматизації, передачі інформації між вузлами та реалізації управління та управління технологічним процесом. Це допомагає візуалізувати взаємозв'язки та взаємодії між різними компонентами системи автоматизації. Він також визначає завдання автоматизації, які можуть бути виконані за допомогою різних технічних засобів, таких як комбіноване, комплектне та допоміжне обладнання [3].

Схема автоматизації - це графічне зображення, що показує технологічне обладнання, комунікації, засоби управління та засоби автоматизації, а також зв'язок між ними. Розробка схеми може бути більш менш детальною, не повинна містити достатньої інформації для повного розуміння основних рішень з автоматизації процесів і складання списків додатків на етапі проектування. На етапі робіт із проектування схема автоматизації є частиною комплексу проектних матеріалів, необхідних для реалізації проекту [3]. На схемі автоматизації показані засоби автоматизації та обладнання всіх систем управління, регулювання, управління та сигналізації, що входять до цієї технологічної структури. Однак у схемах автоматизації не зазначені допоміжні пристрої, такі як трансмісії та повітряні фільтри, джерела живлення, реле, автомати, перемикачі та запобіжники у ланцюгах, з'єднаннях та інших пристроях та монтажних елементах. Для складних блок-схем рекомендується використовувати кілька креслень на кількох аркушах чи одному аркуші окремих технологічних блоків [3].

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

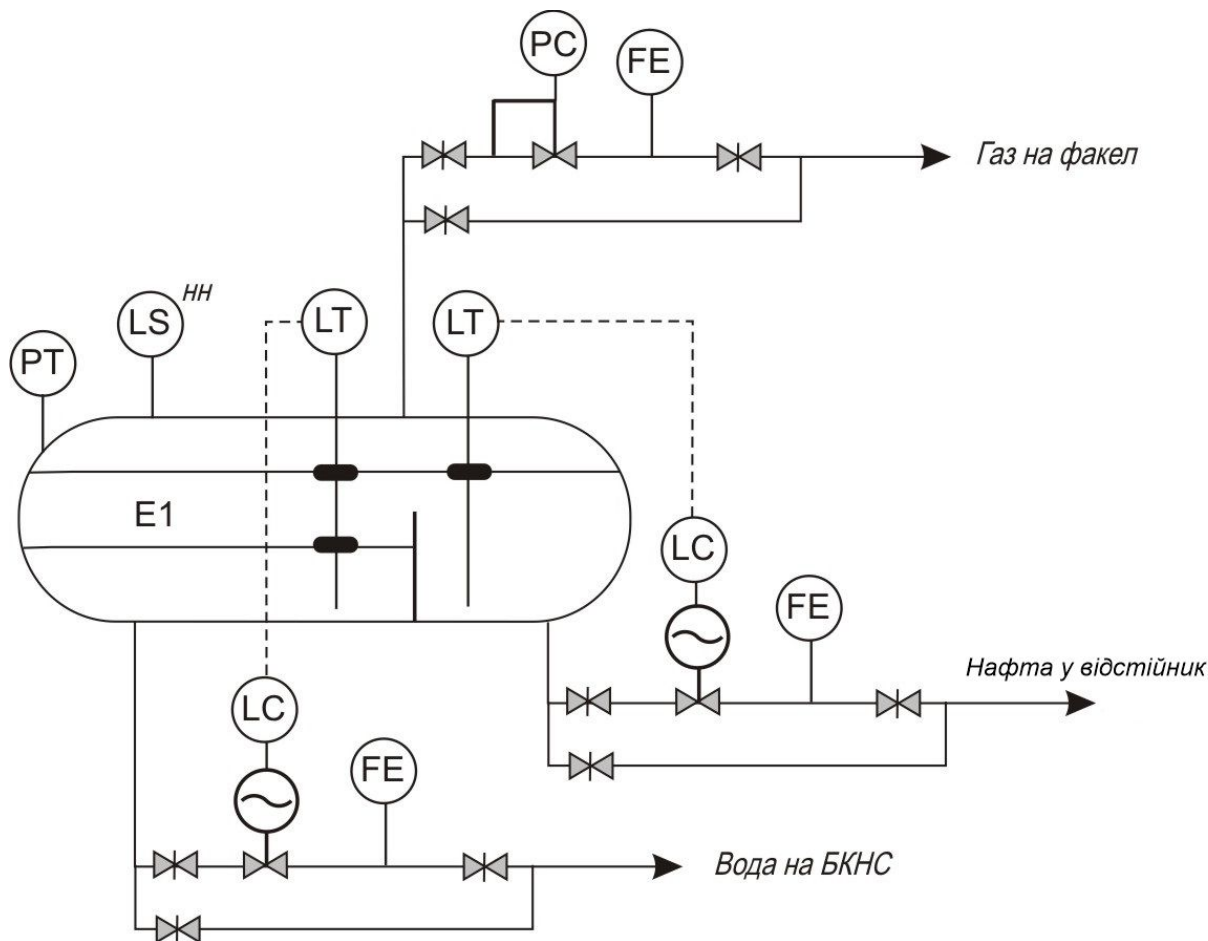


Рисунок 4.2 - Функціональна схема автоматичної системи керування процесом підготовки нафти

Нафтова емульсія надходить через головний клапан 2 сепаратор. За рахунок різної щільності вода та нафта поділяються, а газ виділяється з нафти через її нагрівання. Газ під тиском йде через клапан 6 на факельну установку. Вода, що відокремилася від нафти, виводиться через клапан 8. Відкриття або закриття цього клапана здійснюється за рахунок рівня LT 8-1. Нафта, що надійшла на другий відсік, виводиться через клапан 10. Роботу клапана здійснюється за рахунок рівнеміру LT 9-1. Також в сепараторі потрібно контролювати тиск датчиком РТ 2-1, температуру датчиком ТТ 4-1, критичний рівень в сепараторі LS 3-1.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір контролера. Для проекту системи керування процесом підготовки нафти необхідно вибрати контролер, щоб здійснити керування основних блоків. Вибір здійснювався між контролерами Siemens S7-300 та S7-1200. Було обрано контролера Siemens S7-300, показаного на рисунку 4.3.

Siemens S7-300 – необхідний для побудови різноманітних систем автоматизації низького та середнього ступеня складності. Контролер має модульну конструкцію і включає наступні модулі: блок живлення; модуль центрального процесора; сигнальні модулі; комунікаційні модулі; функціональні модулі; інтерфейсні модулі.



Рисунок 4.3 – Контролер Siemens S7-313C

Параметри контролерів для порівняння представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри контролерів управління

Контролер	Siemens S7- 300	Siemens S7- 1200
Робоча температура	-40°C ~+70°C	-40°C ~+60°C
Інтерфейс	Ethernet, RS232,	Ethernet, RS232, RS422,

Продовження таблиці 4.1

	RS485,USB	RS485, USB
Протокол передачі даних	PROFINET IO, PROFIBUS DP, ASInterface	PROFINET IO, PROFIBUS DP, ASInterface, Modbus RTU, 3964(R) и USS
Дискретний ввід/вивід	24/16	10/10
Аналоговий ввід/вивід	4/2	10/8
Час виконання операцій	0,1 мкс	0,1 мкс
Наробка на відмову	350 000 год	400 000 год

Вибір давача тиску. Тиск у сепараторі олії відіграє важливу роль у поділі фаз. Високий тиск у сепараторах призводить до погіршення їх характеристик. Тому необхідно вибирати оптимальний тиск у сепараторі з урахуванням усіх факторів, щоб забезпечити ефективну роботу сепаратора без ризику негативного впливу. Вибір датчика тиску проводився між Сапфір-22, Метран-150, Yokogawa EJX530A. Датчик Метран 150 повністю відповідав вимогам тому вибір був на користь цього датчика, який показаний на рисунку 4.4.

Параметри давачів тиску наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння давачів тиску

Давачі тиску	Сапфір-22	Метран-150 CG	YokogawaEJX530A
Середовище для вимірювання	Рідини, газ, газові суміші,пара	Рідини, газ, газові суміші, пара	Рідини, газ, газові суміші, пара
Діапазон вимірювань	від 0 до 2,5МПа	від 0 до 10 МПа	від -0,1 до 10 МПа
Похибка вимірювань	±0,5%	±0,075%	±0,1%
Діапазон робочих температур	від -40 до 121°С	від -40 до 149°С	від -40 до 120 °С

Продовження таблиці 4.2

Діапазон температур навколишнього середовища	від -40 до 80°C;	від -55 до 85°C	від -30 до 85°C;
Вихідний сигнал	4-20 мА 0-20 мА	4-20 мА/HART	4-20 мА, HART, BRAIN, FoundationFieldbus
Термін служби	10 р	15 р	15 р
Степінь захисту	IP 66	IP66	IP 67

Давач Метран-150 CG складається із сенсорного модуля та електронного перетворювача. Сенсор складається з вимірювального блоку та плати аналого-цифрового перетворювача. Тиск подається в камеру вимірювального блоку, перетворюється на деформацію чутливого елемента та зміну електричного сигналу.



Рисунок 4.4 – Давач тиску Метран-150CG

Давачі тиску Метран-150 призначені для безперервного перетворення в уніфікований струмовий вихідний сигнал та/або цифровий сигнал у стандарті протоколу HART вхідних вимірюваних величин: надлишкового тиску,

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

абсолютного тиску, різниці тисків, тиску-розрідження, гідростатичного тиску [9].

Вибір сигналізатора рівня. Для контролю граничного рівня у сепараторі необхідний сигналізатор рівня. Вибір здійснювався між РИЗУР-900, ДУ-У-1-200, РИЗУР-М-В. Було обрано сигналізатор рівня РИЗУР-900. Параметри для вибору сигналізатора рівня наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння технічних характеристик сигналізаторів рівня

Сигналізатори рівня	РИЗУР-900	ДУ-У-1-200	РИЗУР-М-В
Виніс чутливої зони	від 6 до 20 м	від 1 до 3 м	від 0,5 до 4м
Температура контрольованого середовища	від -60 до +150°C	від -40 до +70°C	від -60 до +150 °C
Тиск контрольованого середовища	0...2 МПа	не більше 1 МПа	до 2.5 МПа
Температура зовнішнього середовища	від -60 до +75°C	від -40 до +70	від -60 до +75 °C
Похибка вимірювань	±2 мм	±5 мм	±2 мм
Вихідний сигнал	4-20 мА 0-24 В	4-20 мА	4-20 мА
Степінь захисту	IP67	IP67	IP68

Сигналізатори рівня та наявності середовища ультразвукові серії РИЗУР-900 призначені для контролю рівня рідин у відкритих або закритих, у тому числі ємностях хімічної, нафтохімічної, фармацевтичної, харчової та інших галузях промисловості [10]., що знаходяться під тиском, у технологічних установках промислових об'єктів

Корпус (1) та кришка (2) сигналізатора виготовлені з алюмінієвого сплаву чи нержавіючої сталі методом лиття. Під кришкою розміщено електронний блок.



Рисунок 4.5 – Сигналізатор рівня РІЗУР-М-В

Кабель вводиться в корпус через кабельний введення (3) із сальниковим ущільненням. На кришці сигналізатора знаходиться вікно світлодіодного індикатора (5), що індидує стан контрольованого середовища. Приєднання сигналізатора до процесу виконується за допомогою штуцера (6) або фланця [10].

Вибір рівнівміру. Для контролю рівня води та нафти в сепараторі встановлюються рівнеміри. Вибір здійснювався між рівнемірами Rosemount 5300, NivoGuide NG8000, РІЗУР-НТМ-М. Було обрано рівнемір РІЗУР-НТМ-М, який показаний на рисунку 4.6.

Параметри давачів рівня представлені у таблиці 4.4.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Порівняння рівнемірів

Рівнеміри	Rosemount 5300	NivoGuideNG8000	РІЗУР-НТМ-М
Виніс чутливої зони	5 м	4 м	5 м
Температура контрольованого середовища	от -60 до +75°C	от -40 до +150°C	от -45 до +150 °C
Тиск контрольованого середовища	5 МПа	2 МПа	2,5 МПа
Температура зовнішнього середовища	от -40 до +80°C	от -40 до +80°C	от -60 до +75°C
Похибка вимірювань	±2 мм	±3 мм	±2 мм
Вихідний сигнал	4–20 мА /HART, Foundation Fieldbus, Modbus	4-20мА/HART	4-20мА/HART
Степінь захисту	IP67	IP68	IP68

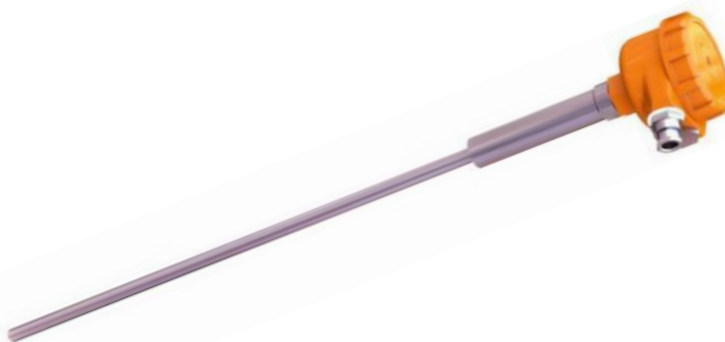


Рисунок 4.6 – Рівнемір РІЗУР-НТМ-М

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Рівнемір РІЗУР-НТМ-М призначений для безперервного вимірювання рівня однієї або декількох рідин, також використовується як індикатор наявності або відсутності рідини. Також може застосовуватися для контролю рівня рідин з різною густиною.

Складається з електронного блоку і жорсткого або гнучкого чутливого елемента, що є сталевим стрижнем з намотаною по всій його довжині котушкою збудження [11].

Вибір витратомірів. Вибір витратомірів здійснювався між Метран 370, ЕМІС-МАГ 270 та Rosemount 8700. Було обрано витратомір Rosemount 8700, який представлений на рисунку 4.7.

Параметри датчиків витрати представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Порівняння витратомірів

Витратоміри	Метран 370	ЕМІС-МАГ 270	Rosemount8700
Тиск контролюваного середовища	від 10 МПа	від 42 МПа	від 40 МПа
Температура контролюваного середовища	від -30 до +180°C	від -40°C до +130°C	від -29 до +177°C
Температура зовнішнього середовища	-40...+65°C	-40...+50°C	-50...+74°C
Похибка вимірювань	4–20 мА /HART	4–20 мА / HART, Modbus RTU	4–20 мА /HART, Foundation Fieldbus
Вихідний сигнал	±0,5 %	±0,5%	±0,25 %

Степінь захисту	IP68	IP66,	IP67
-----------------	------	-------	------

Витратоміри електромагнітні серії Rosemount 8700 призначені для вимірювання об'ємної витрати електропровідних рідин, пульп, суспензій тощо [12].

Електромагнітні витратоміри складаються з датчика витрати та сенсорного пристрою. Датчик витрати встановлений безпосередньо на трубі і являє собою трубу з нержавіючої сталі зі звареними фланцями, на трубі встановлені два індуктори та два ізольовані трубні електроди.



Рисунок 4.7 – Витратомір Rosemount 8700

Електроди та індуктор герметично захищені корпусом, що складається з двох напівциліндрів, які приварені до двох кільців, встановлених на трубі. До корпусу прикріплений кронштейн, на якому встановлена пластина з клемми для підключення перетворювача. У корпусі перетворювача встановлені електронний компонент, локальний інтерфейс оператора, вихідні клемми, клемми струму та заземлення [12].

Давачі температури. Температура також відіграє у процесі сепарації нафти. При підвищенні температури рідини її в'язкість зменшується, що сприяє

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ефективнішій сепарації. Датчики температур Метран 2000 та Rosemount 0065. Було обрано Rosemount 0065, який показано на рисунку 10. Параметри давачів температури наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Порівняння давачів температури

Давачі температури	Метран-271	Rosemount 0065
Діапазон вимірювань	від -40 до +600°C	від -50 до +450°C
Тип сенсора	Pt100	Pt100
Температура навколишнього середовища	від -55 до +65°C	від -40 до +85°C
Вихідний сигнал постійного струму	4–20 мА	4-20 мА /HART, Foundation Fieldbus, Wireless HART
Похибка	±0,5 %	±0,08°C
Степінь захисту	IP66	IP68

Давач температури Rosemount 0065 – високоточний промисловий датчик температури виробництва Emerson.



Рисунок 4.8 – Rosemount 0065

Він призначений для використання в різних промислових застосуваннях, включаючи нафту, газ, хімію, продукти харчування та фармацевтику. Датчик має металевий корпус та стандартний вихід 4-20 мА, що дозволяє легко інтегруватися у системи автоматизації та управління технологічними процесами. Він також має високу точність і стабільність вимірювань, здатний працювати при високих температурах і витримує екстремальні умови експлуатації.

Висновки до розділу

У цьому розділі було розроблено проектну документацію для системи автоматизації процесу підготовки нафти. Основна увага приділялася визначенню ключових точок контролю та управління, проектуванню структури автоматизованої системи, розробці функціональної схеми та обґрунтуванню вибору технічних засобів. Спочатку було визначено, які параметри необхідно контролювати для стабільної роботи сепаратора – рівень нафти і води, тиск, температуру та витрати на вході та виході. Також були вказані точки управління, такі як регулювання клапанів для відведення продуктів сепарації. Для запобігання аварійним ситуаціям запропоновано систему сигналізації, яка реагує на критичні зміни параметрів. Далі було розглянуто структуру автоматизованої системи управління, яка включає три рівні: нижній (датчики та виконавчі механізми), середній (програмований логічний контролер Siemens S7-313C) та верхній (робоче місце оператора з SCADA-системою). Така архітектура забезпечує ефективний збір даних, їх обробку та візуалізацію для оперативного керування процесом. Важливим етапом стала розробка функціональної схеми автоматизації, яка наочно відображає взаємодію всіх елементів системи – від датчиків до виконавчих пристроїв. На схемі показано, як відбувається контроль і регулювання основних параметрів, що дозволяє уникнути помилок на етапі впровадження. На завершення було обґрунтовано вибір технічних засобів, зокрема контролера, датчиків тиску, рівня, витрати та температури. Кожен пристрій був підібраний з урахуванням точності, надійності та відповідності умовам експлуатації.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ

5.1 Розробка алгоритму керування

У сучасних нафтогазових технологіях сепарація рідин є критично важливим процесом, де точний контроль рівня води забезпечує ефективне поділ фаз, запобігає виносу нафти у систему водовідведення та зменшує ризик аварій. Автоматизоване керування рівнем води в сепараторі на основі регулюючого клапана — це класичний приклад застосування теорії автоматичного регулювання до реальних промислових задач. Даний алгоритм поєднує принципи зворотного зв'язку, математичного моделювання та адаптації до динамічних збурень.

Алгоритм побудований за замкнутим контуром керування і включає такі ключові етапи:

1. Вимірювання рівня. Використовуються радарні, ультразвукові або капілярні датчики з високою точністю ($\pm 0.5\%$ від шкали). Для усунення шумів застосовуються цифрові фільтри (наприклад, ковзне середнє або Калмана).

2. Порівняння з заданим значенням. Уставка (h_z) визначається технологічним регламентом (наприклад, 60% від робочого об'єму сепаратора). Похибка ($e(t)$) розраховується як різниця між фактичним рівнем $h(t)$ та h_z .

3. Регулювання клапана здійснюється з використанням PID-алгоритму, в якому пропорційна складова (P) реагує на поточну похибку. Наприклад, при $e(t) = +10\%$ клапан відкривається на 10%. Інтегральна складова (I) усуває статичну похибку шляхом накопичення історії відхилень. Диференційна складова (D) зменшує перерегулювання за рахунок прогнозування динаміки змін. Антивінд-ап (Anti-windup) запобігає перенакопиченню інтегральної складової при заклинюванні клапана.

4. Аварійний захист. Граничні значення при $h(t) > 90\%$ — аварійне відкриття дренажного клапана. При $h(t) < 5\%$ — зупинка відкачувальних насосів для запобігання "сухому ходу". Інтеграція з системою SCADA для сповіщення оператора через HMI-інтерфейс або SMS-розсилку.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Візуалізація та архівування в SCADA-системі, Historian-бази даних зберігають історію параметрів для подальшого аналізу. Графіки зміни $h(t)$, положення клапана та збурень (наприклад, витрати води $Q_{in}(t)$). Алгоритм розроблявся керувати рівнем води в сепараторі. Управління рівнем води здійснюється за рахунок регулюючого клапана, як показано на рисунку 5.1

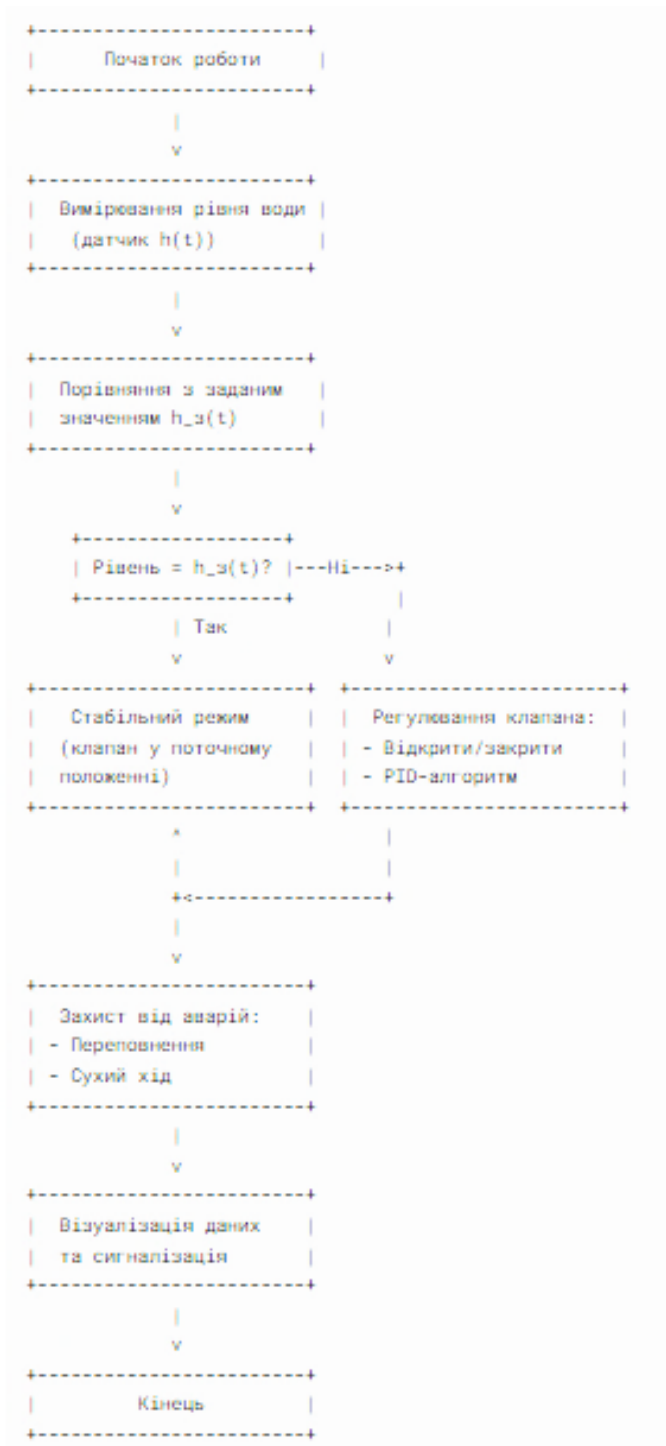


Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритму управління

5.2 Розробка програми управління рівнем води у трифазному сепараторі у TIA–портал

Процес ініціації проєкту автоматизації в середовищі Totally Integrated Automation (TIA) Portal передбачає первинну фазу формування апаратної конфігурації (Hardware Configuration), яка є фундаментальним етапом у проєктуванні систем керування. Даний етап включає селекцію центрального контролера, джерела живлення та модулів введення/виведення (I/O), що визначає функціональну архітектуру та експлуатаційні характеристики майбутньої автоматизованої системи.

Вибір програмованого логічного контролера (PLC) є критичним етапом, що базується на аналізі вимог до обчислювальної потужності, обсягу пам'яті, кількості та типів інтерфейсів зв'язку, а також функціональних можливостей, необхідних для реалізації алгоритмів керування технологічним процесом. Критерії вибору включають наступні аспекти.

Продуктивність центрального процесора (CPU), яка визначає швидкість виконання програмних інструкцій та час циклу сканування, що є критичним для систем реального часу.

Обсяг пам'яті програм та даних обмежує складність алгоритмів керування та обсяг оброблюваної інформації.

Кількість та типи вбудованих інтерфейсів забезпечують комунікацію з периферійними пристроями та іншими системами (наприклад, Ethernet, PROFINET, PROFIBUS).

Функціональні можливості ключають підтримку спеціалізованих бібліотек, протоколів зв'язку та технологічних функцій (наприклад, PID-регулювання, керування рухом).

Емпіричний вибір контролера повинен ґрунтуватися на кількісній оцінці потреб системи з урахуванням потенційного масштабування та оптимізації витрат.

При виборі джерела живлення (Power Supply Unit - PSU). Функціональна

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

стабільність автоматизованої системи безпосередньо залежить від надійності та адекватності системи електроживлення. Селекція PSU здійснюється на основі сумарної номінальної потужності всіх компонентів системи з урахуванням пускових струмів та коефіцієнта запасу. Ключовими параметрами при цьому є наступні.

Вихідна потужність (W) повинна перевищувати сумарну споживану потужність усіх підключених модулів та контролера.

Вихідна напруга ($V DC$) має відповідати вимогам до живлення електронних компонентів системи (зазвичай $24 V DC$).

Вихідний струм (A) повинен забезпечувати достатній струм для одночасної роботи всіх пристроїв.

Характеристики захисту включають захист від перевантаження, короткого замикання та перенапруги, що підвищує надійність системи.

Недостатня потужність джерела живлення може призвести до нестабільної роботи, збоїв та виходу з ладу компонентів системи.

Модулі I/O забезпечують інтерфейс між контролером та об'єктом керування, здійснюючи перетворення фізичних величин у електричні сигнали (вхідні модулі) та навпаки (вихідні модулі). Селекція модулів I/O ґрунтується на типах та кількості необхідних сигналів.

Дискретні вхідні модулі ($DI - Digital Input$) призначені для реєстрації двійкових сигналів (наприклад, від кінцевих вимикачів, датчиків положення). Характеризуються кількістю каналів, типом вхідного сигналу (DC/AC) та напругою.

Дискретні вихідні модулі ($DO - Digital Output$) призначені для керування виконавчими механізмами з двійковим керуванням (наприклад, реле, контактори, електромагнітні клапани). Характеризуються кількістю каналів, типом вихідного сигналу (DC/AC), струмом навантаження та типом вихідного елемента (реле, транзистор, тріачний симістор).

Аналогові вхідні модулі ($AI - Analog Input$) призначені для вимірювання безперервних фізичних величин (наприклад, температура, тиск, витрата) за

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

допомогою відповідних датчиків. Характеризуються кількістю каналів, типом вхідного сигналу (струм, напруга, термопара, RTD) та роздільною здатністю аналого-цифрового перетворювача.

Аналогові вихідні модулі (АО - Analog Output) призначені для формування безперервних керуючих сигналів для виконавчих механізмів з аналоговим керуванням (наприклад, регулюючі клапани, частотні перетворювачі). Характеризуються кількістю каналів та типом вихідного сигналу (струм, напруга).

Спеціалізовані модулі включають модулі для підключення енкодерів, вагових датчиків, комунікаційних інтерфейсів тощо.

Кількісний та якісний аналіз сигналів об'єкта керування є необхідною умовою для коректного вибору модулів I/O.

Віртуальне представлення обраних апаратних компонентів у середовищі TIA Portal є наступним етапом. Процес конфігурації включає наступні етапи.

Додавання компонентів до проєкту, вибір відповідних артикулів з бібліотеки обладнання Siemens та їх інтеграція в структуру проєкту.

Розміщення на віртуальній шині (Rack), фізичне розташування модулів на віртуальній монтажній рейці, що імітує реальну апаратну структуру.

Конфігурування адрес пам'яті для кожного каналу вводу/виводу, що забезпечує однозначну ідентифікацію сигналів у програмі керування.

Параметризація модулів, тобто налаштування специфічних параметрів для кожного модуля (наприклад, діапазони вимірювання аналогових входів, режими роботи виходів).

Коректна конфігурація апаратного забезпечення є передумовою для подальшого програмування контролера та забезпечення адекватного функціонування автоматизованої системи. Будь-які помилки на цьому етапі можуть призвести до некоректної роботи системи, діагностичних ускладнень та потенційних аварійних ситуацій.

Формування апаратної конфігурації в TIA Portal є критично важливим етапом проєктування систем автоматизації, що вимагає глибокого розуміння технічних характеристик компонентів, вимог технологічного процесу та

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

принципів електротехніки.

Науково обґрунтований підхід до вибору контролера, джерела живлення та модулів вводу/виводу, а також їх точна віртуальна конфігурація, забезпечують надійну та функціональну основу для розробки ефективних систем керування.

Подальші етапи проектування, такі як програмування логіки керування та налагодження, безпосередньо залежать від якості виконаної апаратної конфігурації.

Для роботи в ТІА-портал потрібно створити проект та конфігурацію Hardware. Вибираємо контролер, блок живлення та модулі вводу/виводу.

Конфігурація контролера представлена рисунку 5.2.

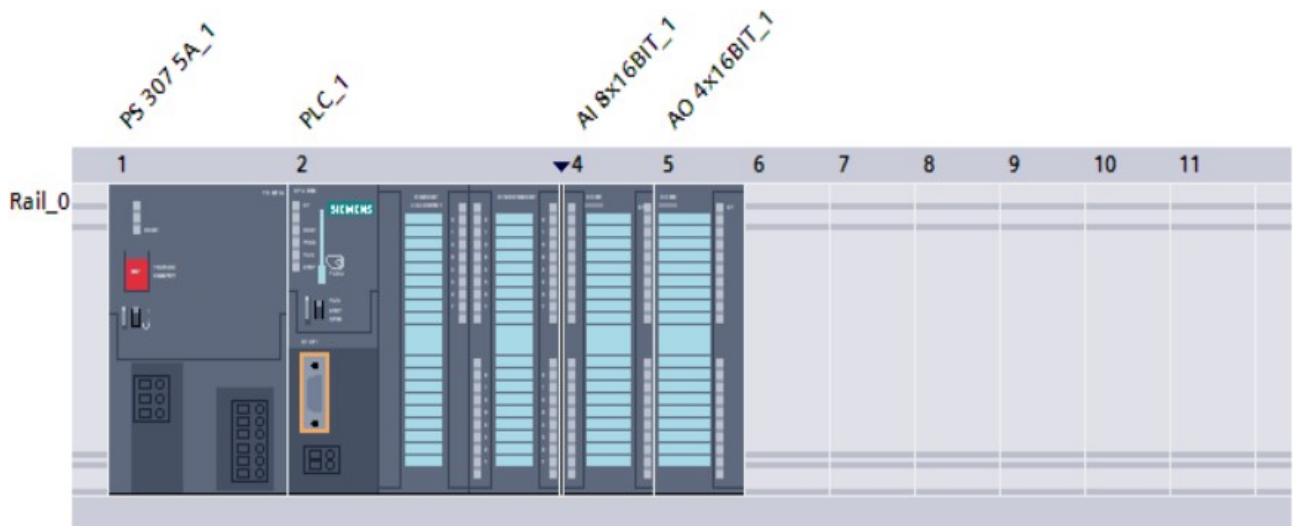


Рисунок 5.2 – Конфігурація контролера

Далі ми переходимо до написання логіки управління.

Для цього нам необхідно заповнити таблицю тегів, як показано на рисунку 5.3.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Visibl...
	master valve	Int	%IW0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	water valve %	Int	%IW2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	oil lvl	Int	%IW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	gas lvl	Int	%IW6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	lvl water	Bool	%I8.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	lvl oil	Bool	%I8.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	tag_1	Bool	%I8.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	tag_2	Word	%MW8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	tag_3	Real	%MD8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	tag_4	Real	%MD10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	tag_5	Bool	%M8.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<Add new>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 5.3 – Таблица тегів

На рисунку 5.4 представлений візуалізація процесу управління рівнем води трифазному сепараторі.

Як видно у сепараторі рівень води нижче заданої уставки, необхідно подати емульсію через головний клапан.

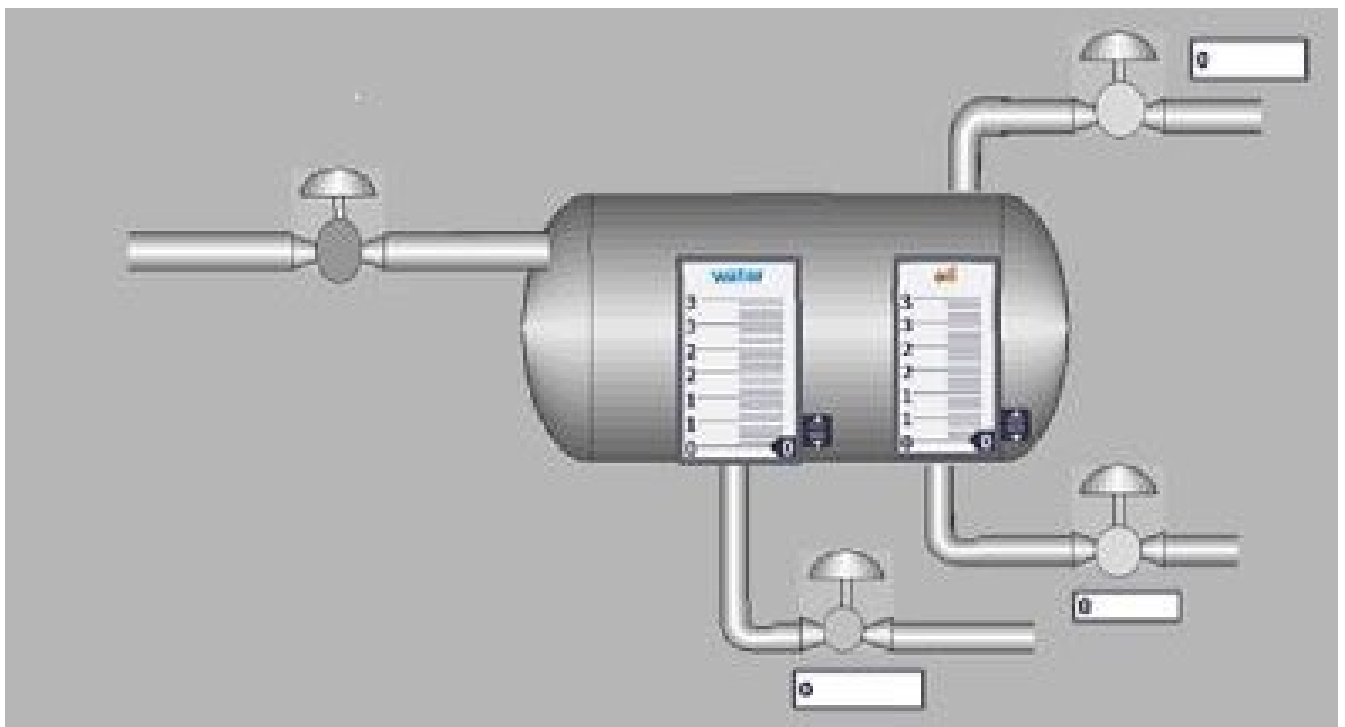


Рисунок 5.4 – Операторский дисплей

Відкриваємо головний клапан, щоб подати емульсію. Через деякий час бачимо, що рівень води становить один метр. Рівень води знаходиться в нижній межах рівня клапан води закритий. На рисунку 5.5 показано подання емульсії до сепаратора.

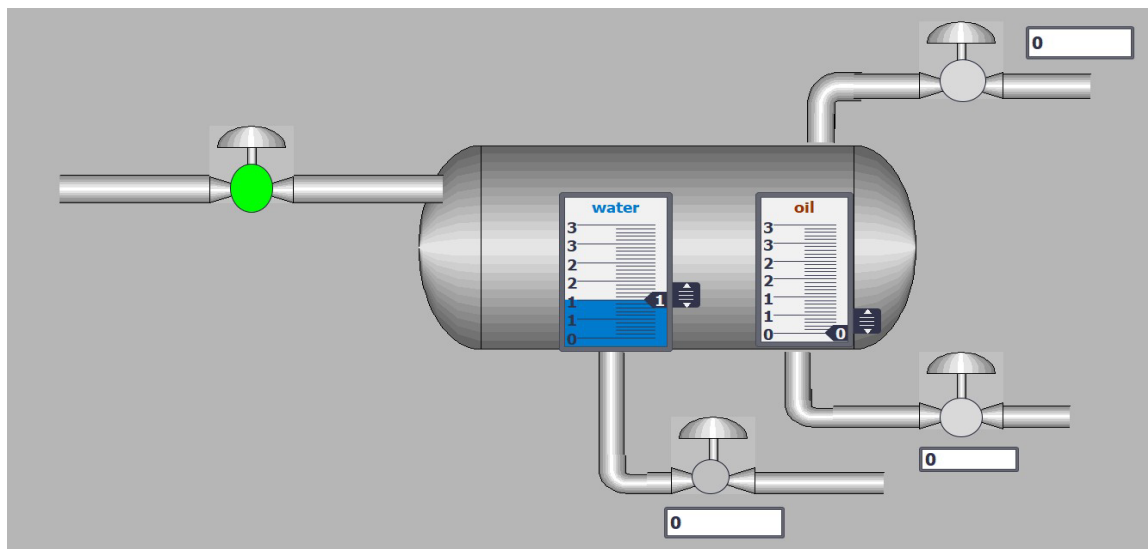


Рисунок 5.5 – Подача емульсії

Як видно з рисунку 5.6, рівень води піднявся до двох метрів. Клапан відкривається на 100 відсотків, тому що значення рівня води досягло уставки.

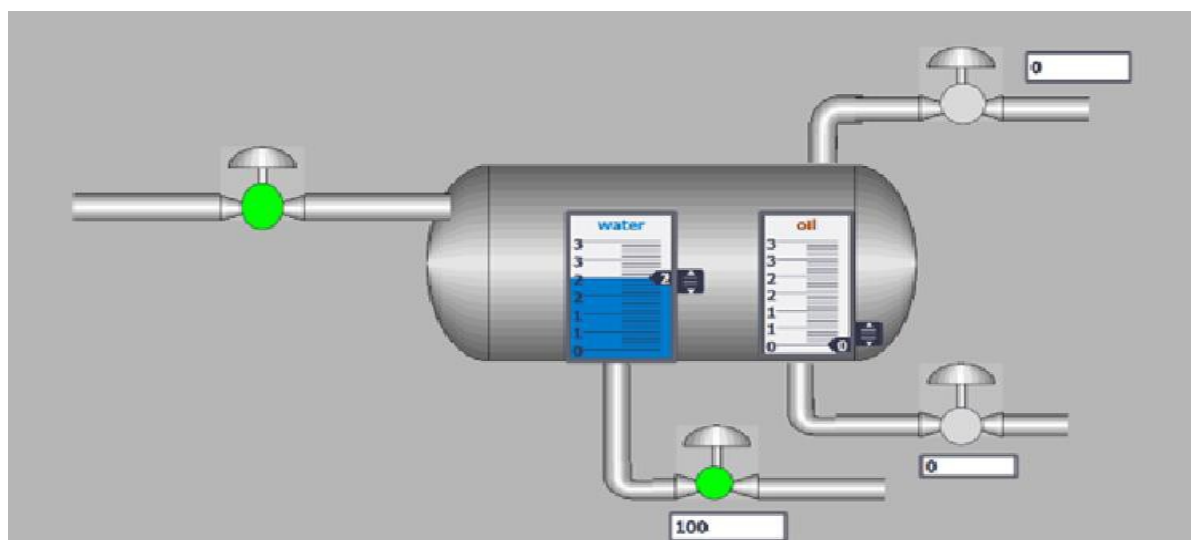


Рисунок 5.6 – Зміна рівня

На рисунках 5.2, 5.3, 5.4 було представлено регулювання рівнем води у

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

трифазному сепараторі.

Сигнал, що надійшов з датчика рівня 4-20 мА, необхідно перетворити в число. За допомогою блоку SCALE відбувається перетворення сигналу, показане на рисунках 5.7 та 5.8.

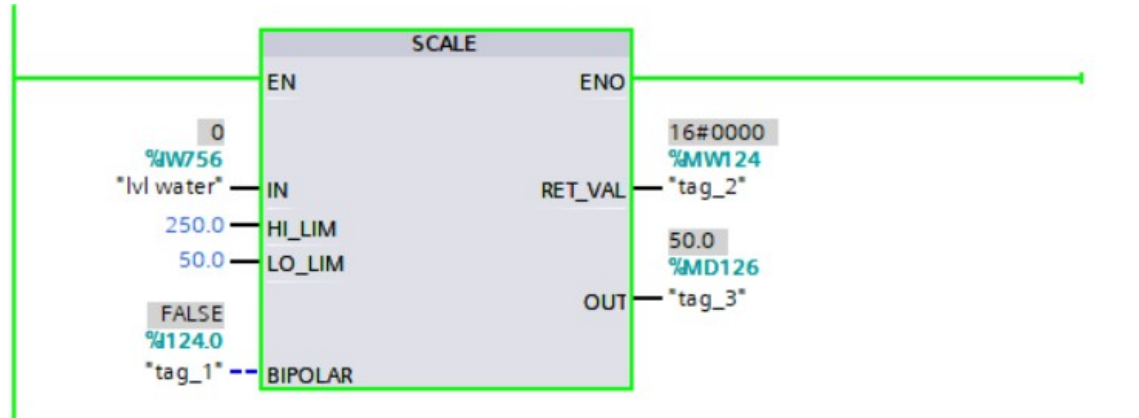


Рисунок 5.7 – Перетворення сигналу рівнеміру води

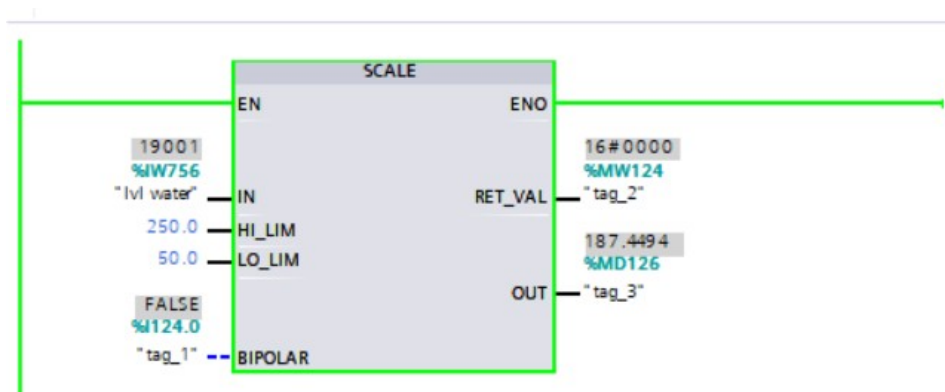


Рисунок 5.8 – Перетворення сигналу рівнеміру води

Отримане значення закидаємо у блок PID СР.

Ставимо верхній та нижній рівень на вході, а на вихідний сигнал отримуємо уставку, як показано на рисунку 5.9.

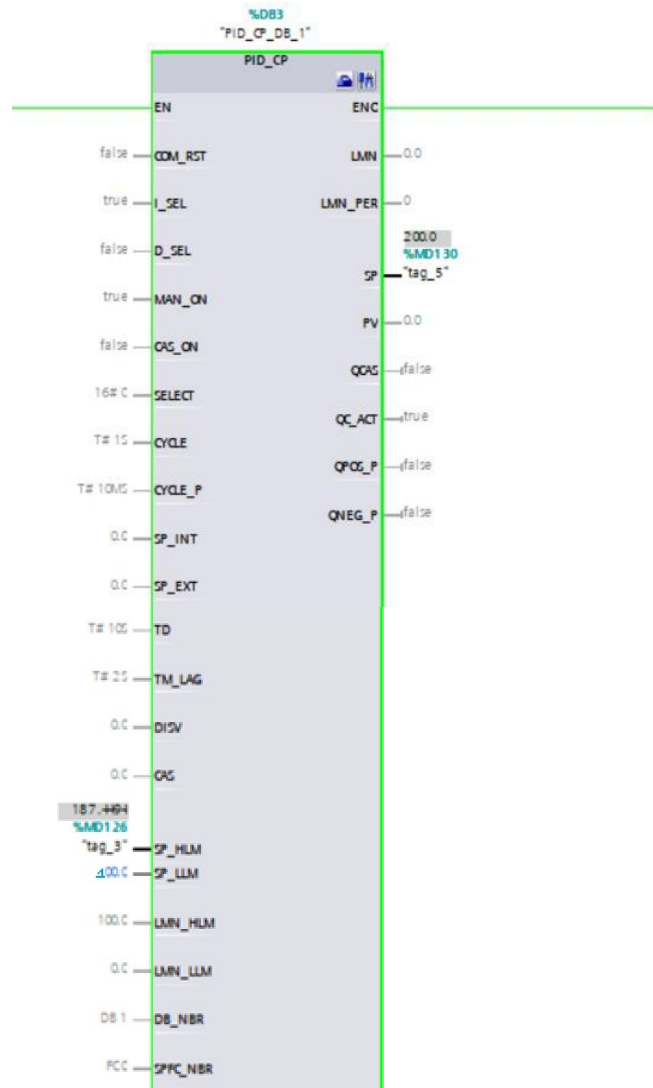


Рисунок 5.10 – Блок PID CP

Отримане значення датчика рівня порівнюємо зі уставкою, як показано на рисунку 5.11.



Рисунок 5.11 – Порівняння значень

Якщо значення датчика рівня більше значення уставки, клапан води відкривається. Якщо значення датчика води менше від уставки, то клапан не відкривається. На рисунку 5.12 показано порівняння значень датчика рівня та уставки.

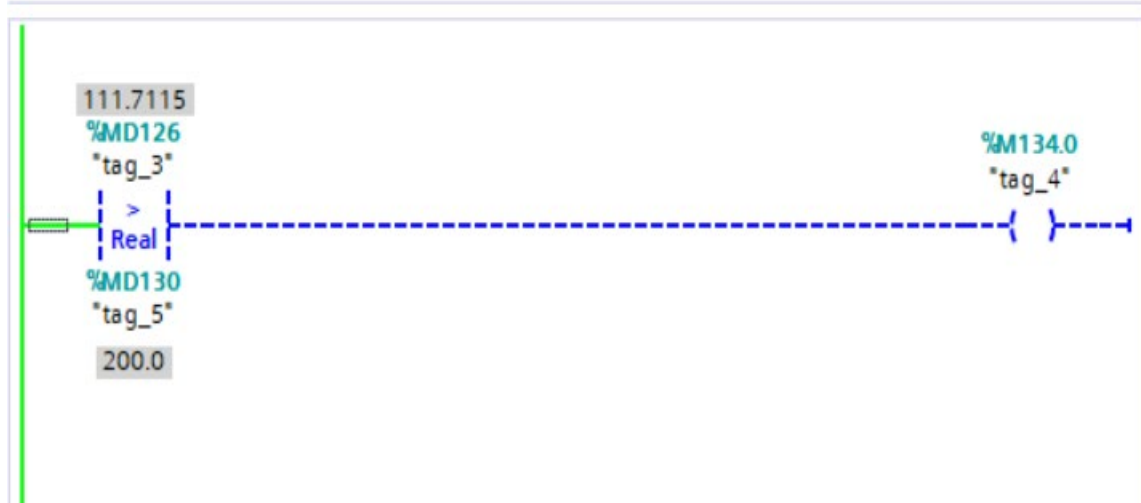


Рисунок 5.12 – Порівняння значень

Процес конфігурації апаратного забезпечення в TIA Portal представлений як поетапне створення віртуальної моделі фізичної системи, включаючи додавання компонентів, їх розміщення на віртуальній шині, призначення адрес та параметризацію.

Точність та коректність виконання цього етапу є критично важливими для подальшого успішного програмування контролера та забезпечення адекватної роботи всієї автоматизованої системи.

Таким чином, формування апаратної конфігурації в TIA Portal є ключовим етапом, що визначає інтелектуальну та енергетичну основу системи автоматизації. Ретельний та науково обґрунтований підхід до цього процесу є запорукою створення ефективних, надійних та безпечних систем керування для різноманітних технологічних процесів. Подальші етапи розробки, такі як написання логіки керування та візуалізація процесів, безпосередньо спираються на якісно виконану конфігурацію апаратного забезпечення, що ілюструється прикладом регулювання рівня води у трифазному сепараторі.

Висновки до розділу

У цьому розділі було розроблено алгоритм автоматизованого управління рівнем води у трифазному сепараторі, який є критично важливим для стабільної роботи нафтогазових установок. Алгоритм базується на PID-регуляторі та включає такі ключові етапи: точне вимірювання рівня за допомогою радарних або ультразвукових датчиків, порівняння отриманих значень із заданою уставкою, регулювання положення клапана з урахуванням пропорційної, інтегральної та диференційної складових, а також аварійний захист для запобігання критичним ситуаціям. Для підвищення точності управління використовуються цифрові фільтри, а інтеграція з SCADA-системою дозволяє операторам моніторити стан процесу в реальному часі та реагувати на зміни.

Друга частина розділу присвячена практичній реалізації програми управління в середовищі TIA Portal. Було обрано відповідний програмований логічний контролер (PLC), модулі введення/виведення та джерело живлення, враховуючи технічні вимоги процесу. У програмному середовищі налаштовано віртуальну апаратну конфігурацію, включаючи параметризацію модулів, призначення адрес пам'яті та налаштування комунікаційних інтерфейсів. Основна логіка управління реалізована за допомогою функціональних блоків, таких як SCALE (для перетворення аналогових сигналів) та PID CP (для регулювання). Також було розроблено операторський інтерфейс, що дозволяє візуалізувати рівень води, стан клапанів та інші параметри процесу.

В результаті створено ефективну систему автоматизованого управління, яка забезпечує стабільну роботу сепаратора, мінімізує ризик аварій та дозволяє оперативно реагувати на зміни технологічних параметрів. Розроблений алгоритм і програма можуть бути адаптовані для подібних систем у нафтогазовій промисловості, що підвищує їх практичну цінність.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота була присвячена актуальній проблемі підвищення ефективності та безпеки процесу підготовки нафти шляхом розробки автоматизованої системи управління (АСУ ТП) для горизонтального трифазного сепаратора, який є ключовим елементом на установках підготовки нафти.

Обґрунтовано важливість нафтогазової промисловості для світової економіки та необхідність автоматизації процесів підготовки нафти для зменшення залежності від людського фактору, підвищення продуктивності, безпеки та екологічності виробництва.

Детально розглянуто технологічний процес підготовки нафти, особливу увагу приділено принципу роботи та конструктивним особливостям горизонтального трифазного сепаратора як основного об'єкта управління. Визначено основні регульовані параметри сепаратора (тиск, температура, загальний рівень рідини, рівень міжфазної межі) та показники якості підготовленої нафти (вміст води) та пластової води (вміст нафти).

Проаналізовано переваги впровадження автоматизації, такі як оптимізація виробничих процесів, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції, покращення безпеки та екологічності.

Проведено дослідження контуру регулювання рівня води у трифазному сепараторі. Отримано передатну функцію об'єкта управління каналом регулювання рівня води шляхом лінеаризації нелінійної математичної моделі. Проаналізовано статичні та динамічні характеристики розімкнутої системи автоматичного регулювання (САР) за допомогою перехідних та частотних характеристик (АФЧХ, АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ). Оцінено якість перехідного процесу замкнутої системи, виявлено наявність перерегулювання та значної усталеної похибки, що свідчить про необхідність синтезу регулятора для покращення динамічних показників САР.

Здійснено синтез типових регуляторів (П, ПІ, ПІД) методом Циглера-Нікольса №1. Проведено порівняльний аналіз впливу різних типів регуляторів на

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

якість перехідного процесу замкнутої системи. Встановлено, що застосування простого П-регулятора дозволяє зменшити час регулювання та коливальність, проте не усуває усталену похибку.

А також розроблено тривірневу централізовану структуру АСУ ТП для процесу підготовки нафти, визначено ключові точки контролю та управління технологічними параметрами трифазного сепаратора, а також необхідні функції системи, включаючи моніторинг, візуалізацію, безпеку та дистанційне керування. Створено функціональну схему автоматизації, що відображає взаємозв'язки між обладнанням та засобами автоматизації. Обґрунтовано вибір конкретних технічних засобів на основі порівняльного аналізу їх характеристик та відповідності вимогам технологічного процесу.

Розроблено алгоритм керування рівнем води в трифазному сепараторі на основі PID-регулювання та принципів зворотного зв'язку, що включає вимірювання, порівняння із заданим значенням, регулювання клапана та аварійний захист. Детально описано початковий етап створення програми управління в середовищі ТІА Portal, включаючи формування апаратної конфігурації шляхом вибору та віртуального представлення контролера, джерела живлення та модулів вводу/виводу. Проілюстровано процес конфігурації та розробки базової логіки керування рівнем води, що є важливим кроком до повної автоматизації процесу підготовки нафти.

Таким чином, у даній бакалаврській роботі було комплексно досліджено процес підготовки нафти, розроблено математичну модель контуру регулювання рівня води у трифазному сепараторі, проведено аналіз характеристик САР та здійснено синтез типових регуляторів. Отримані результати є основою для подальшої розробки ефективної автоматизованої системи управління рівнем води, яка є важливим елементом загальної АСУ ТП процесу підготовки нафти. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію параметрів синтезованих регуляторів, розробку більш складних та адаптивних алгоритмів керування, а також на моделювання та впровадження розробленої АСУ ТП на реальному об'єкті.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Білецький В.С., Серeda Ю.Г. Технологія підготовки нафти і газу. НТУ "Дніпровська політехніка", 2018. 320 с.
2. Гриценко С.М. SCADA-системи в промисловості: WinCC та Ignition. Харків: Основа, 2021. 245 с.
3. Гуменюк В.І., Ковальчук О.П. Автоматизовані системи управління технологічними процесами у нафтогазовій галузі. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 320 с.
4. Довідник інженера з автоматизації / за ред. В.П. Ковальова. Київ: УкрНТІ, 2020. 480 с.
5. Захарченко Ю.М., Білецький В.С. Автоматизація нафтогазових виробництв: лабораторний практикум. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 150 с.
6. Ковальов В.П. Технологічні об'єкти нафтогазової промисловості: проектування та автоматизація. Дніпро: НТУ "Дніпровська політехніка", 2021. 180 с.
7. Марченко Д.О. Програмування ПЛК Siemens S7-300 у TIA Portal. Київ: Фенікс, 2022. 312 с.
8. Петренко І.В., Шевченко Л.М. Сучасні системи автоматичного регулювання в промисловості. 2-ге вид. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. 418 с.
9. Рекомендації з проектування АСУ ТП для нафтогазових об'єктів. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2021. 120 с.
10. Савчук М.П., Лисенко Т.В. Моделювання та оптимізація процесів сепарації нафти. Київ: Наукова думка, 2020. 245 с.
11. ДСТУ 8765:2019 Нафта. Вимоги до сепарації та зневоднення. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2019.
12. ДСТУ EN 61511:2018 Функціональна безпека АСУ ТП. Київ: Держспоживстандарт України, 2018.
13. Коваленко О.М., Петренко І.В. Економічна доцільність автоматизації нафтопереробних виробництв. Економіка промисловості. 2021. №3. С. 45-52.

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

14. Куцук П.М., Бойко О.В. Аналіз ефективності різних методів налаштування ПІД-регуляторів для об'єктів із запізненням. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології. 2021. №2. С. 34-42.
15. Мельник О.В., Сидоренко Р.П. Вдосконалення алгоритмів ПІД-регулювання рівня рідини у трифазних сепараторах. Нафтогазова енергетика. 2022. №4. С. 56-63.
16. Савченко В.А. Оптимальні настройки ПІД-регуляторів для гідродинамічних систем. Автоматизація виробничих процесів. 2019. №2. С. 34-41.
17. Шевчук Л.Б., Мельник П.І. Ідентифікація параметрів об'єктів із запізненням. Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Автоматика. 2020. №15. С. 12-20.
18. Лисенко Т.В., Савчук М.П. Моделювання динаміки горизонтального трифазного сепаратора. Нафтогазові технології: матеріали ІІ Всеукраїнської наукової конференції. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. С. 45-50.
19. Ткачук В.А., Григорович В.К. Сучасні рішення SCADA/HMI для автоматизації нафтопереробних підприємств. Автоматизація-2023: матеріали ХІ Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: КПІ, 2023. С. 112-118.
20. Методичні рекомендації Міністерства енергетики України. Стандарти впровадження АСУ ТП на нафтогазових об'єктах. 2022. URL: <https://mpe.kmu.gov.ua/>
21. Siemens Ukraine. Налаштування ПІД-регулятора в STEP 7: відеоурок. 2022. URL: <https://www.youtube.com/user/SiemensUkraine>

					БР.АКП-25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		