

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ

Група АКП-21-1

Непийвода Олег

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

Непийвода Олег Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.515.4:681.5

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

«Удосконалення системи автоматичного керування газорозподільної станції»

(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)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І. І. Чигур

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

О. Р. Непийвода

(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**

Непийводі Олегу Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення системи автоматичного керування газорозподільної станції»

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

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

затвердені 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 газу з точки зору автоматизації. 2. Обґрунтування і вибір методів розв'язання поставлених задач.

3. Математичне моделювання та ідентифікація об'єкта керування. 4. Розробка проектної документації системи автоматизації. 5. Створення програми управління.

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

Лист 1 – Схема газорегуляторного пункту – БР.АКП-67.00.00.000 01

Лист 2 – Візуалізація процесу ідентифікації даних – БР.АКП-67.00.00.000 02

Лист 3 – Результати моделювання ЗСАУ – БР.АКП-67.00.00.000 03

Лист 4 – Результати моделювання системи з PID-регулятором – БР.АКП-67.00.00.000 04

Лист 5 – Функціональна схема автоматизації вимірного сепаратора – БР.АКП-67.00.00.000 05

Лист 6 - Таблиця тегів – БР.АКП-67.00.00.000 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 газу з точки зору автоматизації	10.05.25-15.05.25	
2	Обґрунтування і вибір методів розв'язання поставлених задач	16.05.25-20.05.25	
3	Математичне моделювання та ідентифікація об'єкта керування	21.05.25-25.05.25	
4	Розробка проектної документації системи автоматизації	26.05.25-05.06.25	
5	Створення програми управління	06.06.25-10.06.25	

Студент _____
(підпис)

О. Р. Непийвода _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л.Я. Чигур _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 62 сторінок друкованого тексту, 33 рисунків, 9 таблиць, 13 переліків посилань на джерела.

Тема: «Удосконалення системи автоматичного керування газорозподільної станції».

Об'єкт дослідження: горизонтальний сепаратор.

Мета проекту є розробка сучасної автоматизованої системи управління для газорозподільної станції, яка дозволить значно підвищити ефективність та надійність її роботи.

Методи дослідження: комп'ютерне імітаційне моделювання, теоретичний аналіз наукової літератури, математичне моделювання, системний підхід, порівняльний аналіз, експериментальні дослідження, методи оптимізації технологічних процесів, методи теорії автоматичного керування.

Результати бакалаврської роботи: було розроблено та впроваджено інноваційні технологічні рішення, які кардинально покращують ефективність роботи станції. Особливу увагу приділено створенню комбінованої системи регулювання тиску, де поєднання електронних контролерів з пневматичними виконавчими механізмами дозволило досягти високої точності підтримки параметрів на рівні $\pm 2\%$. Важливим науковим результатом роботи стало створення точної математичної моделі сепаратора, яка дозволяє прогнозувати його поведінку в різних режимах роботи. Порівняльний аналіз різних алгоритмів управління показав переваги PID-регулятора, який забезпечує значно менше перерегулювання (7,35%) порівняно з традиційними PI-регуляторами (15,1%).

Ключові слова: автоматизація газорозподільної станції, система управління технологічним процесом, PID-регулятор, математичне моделювання, сепарація газу.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 62 pages of printed text, 33 figures, 9 tables, 13 lists of references to sources.

Topic: "Improvement of the automatic control system of a gas distribution station".

Object of research: horizontal separator.

The purpose of the project is to develop a modern automated control system for a gas distribution station, which will significantly increase the efficiency and reliability of its operation.

Research methods: computer simulation modeling, theoretical analysis of scientific literature, mathematical modeling, system approach, comparative analysis, experimental research, methods of optimizing technological processes, methods of automatic control theory.

Results of the bachelor's thesis: innovative technological solutions were developed and implemented, which radically improve the efficiency of the station. Particular attention was paid to the creation of a combined pressure control system, where the combination of electronic controllers with pneumatic actuators made it possible to achieve high accuracy of parameter maintenance at the level of $\pm 2\%$. An important scientific result of the work was the creation of an accurate mathematical model of the separator, which allows predicting its behavior in different operating modes. A comparative analysis of different control algorithms showed the advantages of the PID controller, which provides significantly less overshoot (7.35%) compared to traditional PI controllers (15.1%).

Keywords: gas distribution station automation, process control system, PID controller, mathematical modeling, gas separation.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
	ВСТУП.....	9
1	ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ГАЗУ З ТОЧКИ ЗОРУ АВОМАТИЗАЦІЇ.....	10
	1.1 Суть і призначення газорозподільних станцій.....	10
	1.2 Аналіз схеми сепаратора та його технічні характеристики.....	12
	Висновки до розділу.....	14
2	ОБҐРУНТУВАННЯ І ВИБІР МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАВЛЕНИХ ЗАДАЧ.....	15
	2.1 Технологічні задачі, що виникають під час експлуатації ГРС.....	15
	2.2 Порівняльний аналіз методів регулювання рівня рідини в газових сепараторах.....	16
	Висновки до розділу.....	18
3	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	19
	3.1 Рівняння динаміки.....	19
	3.2 Отримання передавальної функції вимірного сепаратора.....	24
	3.3 Оцінка якості перехідного процесу ЗСАУ.....	28
	3.4 Синтез ПД-регулятора.....	30
	Висновки до розділу.....	33
4	РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	34
	4.1 Визначення структури АСУТП.....	34
	4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації вимірного сепаратора.....	35

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	«Удосконалення системи автоматичного керування газорозподільної станції»	Літ.	Арк.	Акрушів
		Непийвода О.Р.				6	62	
		Чигур Л. Я.						
		Чигур І. І.						
		Кучмистенко О.В.				Група АКП-21-1 ІФНТУНГ		
		Лагойда А.І.						

4.3 Вибір технічних засобів автоматизації.....	37
Висновки до розділу.....	52
5 СТВОРЕННЯ ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ.....	53
5.1 Розробка алгоритму управління вимірюванням газу у сепараторі.....	53
5.2 Розробка програми управління рівнем води.....	54
Висновки до розділу.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	62

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ГРС – Газорозподільна станція

АСУТП – Автоматизована система управління технологічним процесом

ПЛК – Програмований логічний контролер

SCADA – Система диспетчерського контролю та збору даних (Supervisory Control And Data Acquisition)

HMI – Людино-машинний інтерфейс (Human-Machine Interface)

ПІД-регулятор – Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор

MPC – Предиктивне управління (Model Predictive Control)

ІоТ – Промисловий інтернет речей (Industrial Internet of Things)

DCS – Розподілена система управління (Distributed Control System)

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Природний газ – це важливе викопне джерело енергії, яке утворилося в результаті анаеробного розкладання органічних речовин протягом мільйонів років. Він є одним із найбільш економічно вигідних та екологічно безпечних видів палива, оскільки при його згорянні утворюється значно менше шкідливих викидів порівняно з нафтопродуктами або вугіллям.

Це паливо широко використовується в різних сферах: для опалення та роботи котелень; як енергоносіє у промисловому обладнанні (металургія, хімічна промисловість тощо); у побутових цілях (приготування їжі, опалення будинків); як автомобільне паливо (КПГ – компримований природний газ).

Доставка газу здійснюється двома основними способами. Магістральні трубопроводи – найпоширеніший метод, що забезпечує безперервність поставок. Морські танкери – для перевезення скрапленого природного газу (СПГ), який охолоджують до рідкого стану для зручності транспортування.

Перед транспортуванням газ проходить кілька етапів підготовки: очищення від домішок (сірководню, води тощо); осушування для запобігання корозії труб; стиснення компресорними станціями для підвищення тиску.

Для підтримки стабільної швидкості руху газу вздовж трубопроводу встановлюються каскади газокompресорних станцій з турбінним приводом. Вони розташовуються на рівновіддалених ділянках, оскільки через тертя об стінки труб та втрати тиску енергія потоку поступово зменшується. Компресорні станції забезпечують додаткове стиснення, що дозволяє газу рухатися з необхідною швидкістю на великі відстані.

Таким чином, природний газ залишається стратегічно важливим ресурсом завдяки своїй ефективності, екологічності та розвинутій інфраструктурі транспортування.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ГАЗУ З ТОЧКИ ЗОРУ АВОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Суть і призначення газорозподільних станцій

Сучасні газорозподільні станції представляють собою складні технологічні комплекси, основним призначенням яких є підготовка природного газу до подальшого транспортування та споживання. Процес підготовки включає кілька ключових операцій, таких як зниження тиску, очищення від механічних домішок і вологи, одоризація, а також точний облік кількості транспортуваного газу. Ефективне виконання цих операцій неможливе без застосування сучасних засобів автоматизації, які забезпечують стабільність технологічного процесу, точність підтримки параметрів і дотримання вимог промислової безпеки.

Автоматизовані системи управління газорозподільних станцій виконують ряд важливих функцій, спрямованих на підтримку безперебійної роботи обладнання. Однією з основних задач є регулювання тиску газу, яке здійснюється за допомогою спеціальних клапанів-редукторів. Ці пристрої забезпечують зниження вхідного тиску з магістрального рівня, що становить 6–8 МПа, до значень, прийнятних для споживачів, які зазвичай знаходяться в діапазоні 0,3–1,2 МПа. Важливим аспектом є також очищення газу від твердих частинок, конденсату та інших домішок. Цей процес реалізується за допомогою сепараторів, фільтрів-коалесцерів та систем осушення, що дозволяє отримати газ із необхідними якісними характеристиками.

Окрему увагу приділяється процесу одоризації газу, який полягає у додаванні одоранту – етантиолу. Ця речовина додається у строго нормованих пропорціях, що дає можливість оперативно виявляти витіки газу за характерним запахом. Контроль концентрації одоранту здійснюється за допомогою спеціальних газоаналізаторів, які забезпечують дотримання нормативних вимог.

Не менш важливим елементом технологічного процесу є вимірювання витрати газу. Для цього використовуються високоточні кореляційні або ультразвукові витратоміри, які забезпечують надійний облік обсягів

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортування. Отримані дані передаються до SCADA-системи, де вони аналізуються та зберігаються для подальшого використання.

Особливу роль у роботі газорозподільних станцій відіграє система технологічної безпеки. Вона включає газоаналізатори для моніторингу концентрації газу в повітрі, аварійні відсікаючі клапани, які автоматично перекривають подачу газу у разі витoku, та системи пожежогасіння, що активуються при виявленні підвищеної температури або диму.

Залежно від конструктивних особливостей газорозподільні станції поділяються на різні типи. Шафні ГРП (ГРПШ) є компактними автоматизованими модулями, які дозволяють здійснювати дистанційне керування. Стаціонарні ГРП обладнані розширеними системами контролю та резервування, що забезпечує їх надійну роботу. Газорегуляторні установки (ГРУ) інтегровані з технологічним обладнанням споживача, а блокові ПГБ виконуються у модульному виконанні контейнерного типу з автономною роботою.

Впровадження автоматизованих систем управління на газорозподільних станціях дозволяє значно підвищити ефективність їх роботи. Використання сучасних засобів контролю, таких як програмовані логічні контролери, SCADA-системи та високоточні датчики, забезпечує надійність і економічну ефективність процесу підготовки газу. Це, у свою чергу, сприяє забезпеченню стабільного газопостачання споживачів та дотриманню всіх необхідних норм безпеки. Устаткування стаціонарного газорегуляторного пункту (ГРП) розміщується у спеціально призначених будинках, приміщеннях або на відкритих майданчиках [1]. На рисунку 1.1 представлено схему ГРП. Процес сепарації газу та рідини відбувається всередині газорозподільної станції. Рідина, що протікає через ємність, відстоюється в секції збору рідини, щоб захоплені рідиною бульбашки газу могли спливати на поверхню і приєднатися до основного обсягу газу. Потім рідина залишає ємність через клапан регулювання рівня, який керується рівнеміром.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

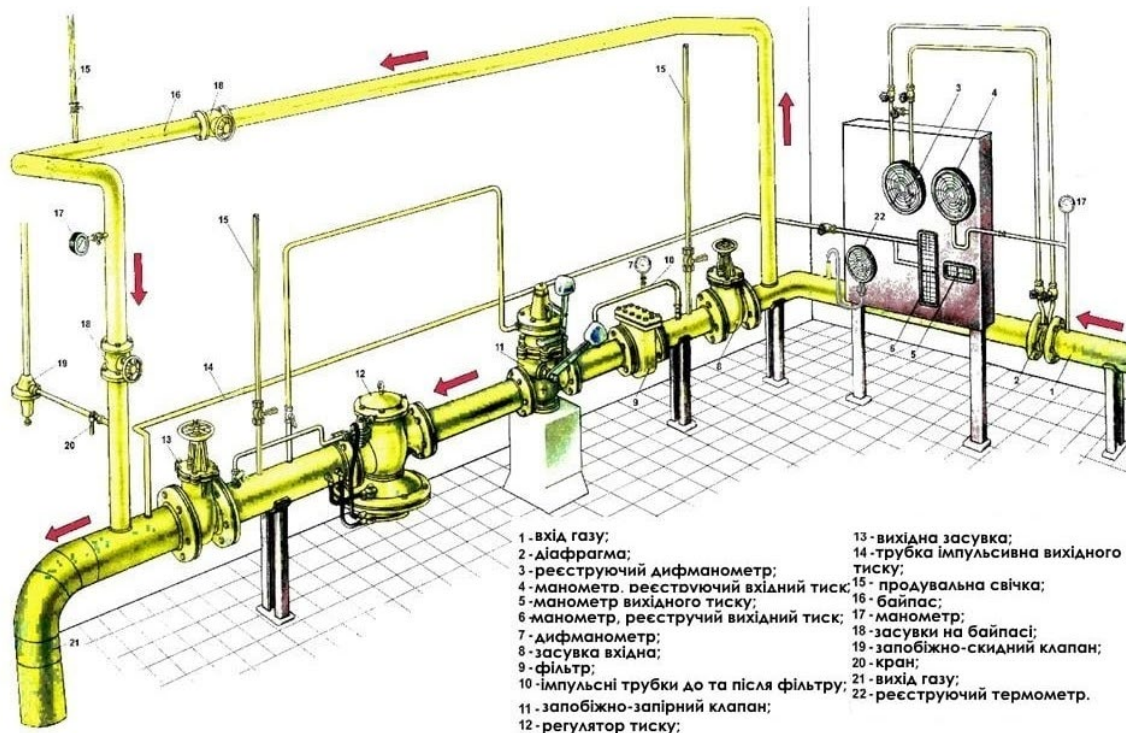


Рисунок 1.1 – Газорегуляторний пункт

Газ проходить через секцію вторинної сепарації, де дрібні краплі рідини осідають під дією сили тяжіння та потрапляють на межу поділу фаз. Перед залишенням ємності газ проходить через коалесціруючу секцію або краплі відбійник, де уловлюються дрібні краплі рідини і допомагає їм коагулювати та осідати.

Тиск у ємності контролюється клапаном регулювання тиску, що встановлюється на лінії виходу газу. Датчик тиску реєструє відхилення тиску в ємності від нормального та подає сигнал на відкриття або закриття клапана, щоб підтримувати необхідний тиск [2].

1.2 Аналіз схеми сепаратора та його технічні характеристики

На рисунку 1.2 представлено схему горизонтального сепаратора.

Призначенням цієї установки є видалення важких вуглеводнів і вологи з газу з метою досягнення необхідної температури точки роси. Це виконується за рахунок охолодження газу до температури, за якої важкі вуглеводні та волога конденсуються. Потім отримана рідина видаляється в низькотемпературному

сепараторі. Газ, що йде з низькотемпературного сепаратора, так званий «товарний газ», нагрівається перед тим, як вирушає з установки. Температура точки роси сухого газу дорівнює робочій температурі низькотемпературному сепараторі.

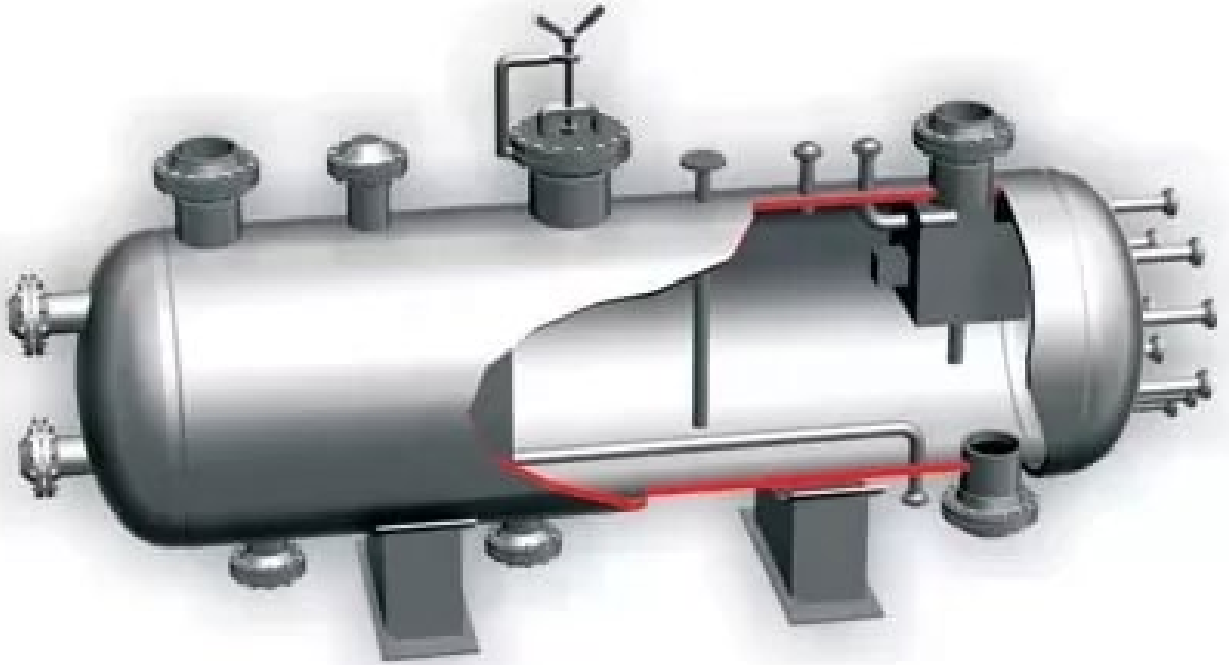


Рисунок 1.2 – Схема горизонтального сепаратора

Номінальна проектна продуктивність установки комплексної підготовки газу родовища становить 700 млн.м³ очищеного та осушеного товарного газу на рік або 1 млн. 910 тис.м³ на добу УКПГ.

Ця установка складається з наступних систем:

1. Вхідний маніфольд.
2. Система вимірного сепаратора.
3. Система низькотемпературної сепарації.
4. Система теплообмінного блоку ПХУ.
5. Система підігріву товарного газу.
6. Система стабілізації конденсату.
7. Система аварійної дегазації конденсату.
8. Система упорскування та регенерації інгібітора (діетиленгліколю).
9. Система теплоносія.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Система вимірювання витрати газу.
11. Резервуарний парк конденсату.
12. Система паливного газу.
13. Смолоскипне господарство.
14. Система компрімування повітря.
15. АГРС (автоматизована газорозподільна станція).
16. Вузол прийому газового конденсату.
17. Система підігріву сирого газу.
18. Пропаново-холодильна установка.

Вихідні дані системи підготовки газу наведені нижче.

Газ на вході: товарний газ.

Температура: 7 °С-30 °С.

Тиск: до 8.6 МПа.

Продуктивність: до 2.08×10^6 ст. м³/добу;

Вміст вологи: насичено.

Точка роси по волозі: не менше, влітку мінус 3 °С, взимку мінус 5 °С (при абс. тиску 3,92 МПа), вуглеводнів менше мінус 2 °С (при абс. тиск від 2,5 до 7,5 МПа).

Висновки до розділу

В даному розділі проведено комплексний аналіз технологічного процесу підготовки природного газу на газорозподільних станціях з точки зору автоматизації. Детально розглянуто сутність та призначення сучасних ГРС як складних технологічних комплексів, основним завданням яких є підготовка газу до подальшого транспортування та споживання. Охарактеризовано ключові технологічні операції, що включають зниження тиску, очищення від механічних домішок і вологи, одоризацію, а також точний облік кількості транспортуваного газу. Особливу увагу приділено ролі автоматизованих систем управління, які забезпечують стабільність технологічного процесу, точність підтримки параметрів і дотримання вимог промислової безпеки.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОБҐРУНТУВАННЯ І ВИБІР МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАВЛЕНИХ ЗАДАЧ

2.1 Технологічні задачі, що виникають під час експлуатації ГРС

Під час проектування та експлуатації автоматизованих систем газорозподільних станцій виникає низка технологічних завдань, які потребують науково обґрунтованого підходу до їх вирішення. Основним критерієм вибору методів є забезпечення надійності, ефективності та безпеки технологічного процесу підготовки газу.

Для вирішення задачі регулювання тиску газу було обрано комбінований метод, що поєднує використання електронних регуляторів тиску з пневматичними виконавчими механізмами. Такий підхід дозволяє досягти високої точності підтримки заданого тиску (з похибкою не більше $\pm 2\%$) завдяки швидкій реакції системи на зміни параметрів. Електронні контролери постійно аналізують показники датчиків тиску та оперативно коректують роботу виконавчих механізмів.

Задачу очищення газу від механічних домішок та вологи вирішено за допомогою двоступеневої системи сепарації. На першому етапі застосовується гравітаційний сепаратор для відділення великих частинок і крапель рідини, на другому - коалесцентні фільтри для уловлювання дрібнодисперсних часток. Така схема дозволяє досягти ступеня очищення газу до 99,8%, що повністю відповідає вимогам ДСТУ.

Для вирішення задачі одоризації газу обрано метод імпульсної дозації одоранту. Він передбачає точне дозування речовини короткими імпульсами, що забезпечує рівномірний розподіл одоранту в газовому потоці. Концентрація одоранту постійно контролюється газоаналізаторами з точністю вимірювання $\pm 0,1$ мг/м³, що дозволяє підтримувати оптимальний рівень запаху для виявлення витоків.

Проблему точного обліку газу вирішено за допомогою ультразвукових витратомірів, які забезпечують вимірювання з похибкою не більше 0,5%. Ці

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прилади особливо ефективні завдяки відсутності рухомих частин і здатності працювати в широкому діапазоні тисків і температур.

Для забезпечення безпеки роботи станції запропоновано багаторівневу систему захисту, яка включає:

1. Швидкодіючі відсікаючі клапани з часом спрацювання менше 1 с.
2. Розподілену мережу газоаналізаторів.
3. Автоматизовану систему пожежогасіння.
4. Резервне живлення критично важливих систем.

Вибір архітектури системи управління обґрунтовано необхідністю забезпечення надійності та гнучкості. Застосовано розподілену структуру з промисловими контролерами, що дозволяє:

- мінімізувати вплив відмов окремих компонентів;
- забезпечити масштабованість системи;
- реалізувати дистанційний моніторинг і управління;
- спростити процес технічного обслуговування.

Запропоновані методи та рішення дозволяють ефективно вирішувати поставлені технологічні задачі, забезпечуючи при цьому високу надійність, точність і безпеку роботи газорозподільної станції. Вони враховують сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів і відповідають чинним нормативним вимогам.

2.2 Порівняльний аналіз методів регулювання рівня рідини в газових сепараторах

Сучасні технології регулювання рівня рідини в газових сепараторах пропонують цілий спектр різних підходів, кожен з яких має свої особливості та сфери найбільш ефективного застосування. Традиційні ПД-регулятори, незважаючи на свою доволі просту конструкцію, продовжують залишатись основним інструментом у більшості промислових процесів завдяки надійності та доведеній ефективності. Вони добре підходять для стандартних умов експлуатації, де параметри процесу залишаються відносно стабільними, а вимоги

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до точності регулювання не надто високі.

Однак у складніших умовах, коли технологічний процес характеризується нелінійністю або постійними змінами параметрів, на допомогу приходять більш прогресивні адаптивні системи регулювання. Ці системи, що включають нейромережеві алгоритми, нечітку логіку та самоналаштовуючі механізми, здатні автоматично коректувати свої налаштування, підлаштовуючись під зміни в роботі обладнання. Особливо цінною є їхня здатність підтримувати стабільність процесу навіть при значних зовнішніх впливах, що робить їх незамінними на об'єктах із складними технологічними умовами.

Ще більш високий рівень контролю забезпечують системи предиктивного регулювання (MPC), які базуються на створенні детальних математичних моделей технологічного процесу. Ці системи не просто реагують на поточні зміни, але й здатні прогнозувати майбутні стани системи, оптимізуючи керуючі впливи заздалегідь. Такий підхід особливо ефективний для складних багатопараметричних систем, де важливо враховувати взаємозв'язок між різними показниками. Варто однак зазначити, що впровадження таких систем вимагає значних інвестицій та кваліфікованого персоналу.

Для особливо відповідальних ділянок, де недопустимі навіть мінімальні відхилення від норми, часто застосовують каскадні системи регулювання. Ця архітектура передбачає створення кількох контурів управління, кожен з яких відповідає за свій рівень контролю. Внутрішній контур забезпечує швидке реагування на зміни, тоді як зовнішній відповідає за точне підтримання заданих параметрів. Такий підхід дозволяє досягти високої стабільності навіть при наявності значних зовнішніх збурень.

Найсучаснішим напрямком у галузі автоматизації є розподілені системи керування на основі технологій промислового Інтернету речей (IIoT). Ці системи інтегрують традиційні методи регулювання з хмарними обчисленнями, штучним інтелектом та передовими аналітичними інструментами. Вони дозволяють не лише ефективно керувати процесами в реальному часі, але й прогнозувати можливі відмови обладнання, оптимізувати енергоспоживання та здійснювати

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віддалений моніторинг роботи всієї системи. Особливо цінним є те, що такі рішення дозволяють інтегрувати окремі технологічні вузли в єдину керовану систему, що особливо актуально для великих газорозподільних мереж.

Вибір конкретного методу регулювання завжди повинен ґрунтуватися на ретельному аналізі технологічних вимог, економічної доцільності та доступних ресурсів. На практиці часто виявляється найефективнішим комбінований підхід, коли різні методи застосовуються для різних ділянок технологічного процесу. Наприклад, для основних сепараторів можуть використовуватись предиктивні системи, тоді як для допоміжних процесів цілком достатніми будуть традиційні ПД-регулятори. Важливо також враховувати перспективи масштабування системи та можливість її подальшого вдосконалення у міру розвитку технологій.

Висновки до розділу

У другому розділі роботи було проведено детальне обґрунтування та вибір оптимальних методів для вирішення ключових технологічних завдань, що виникають під час експлуатації газорозподільних станцій. Особливу увагу приділено аналізу сучасних підходів до автоматизації основних технологічних процесів, що дозволило запропонувати ефективні рішення для кожного з визначених завдань. Для забезпечення стабільного регулювання тиску газу запропоновано інноваційний комбінований підхід, який поєднує переваги.

У другій частині розділу проведено глибокий порівняльний аналіз сучасних методів регулювання рівня рідини в газових сепараторах. Дослідження показало, що традиційні ПД-регулятори залишаються оптимальним вибором для стандартних умов експлуатації, тоді як для складних нелінійних процесів краще підходять адаптивні системи з нейромережами та нечіткою логікою. Для особливо відповідальних ділянок запропоновано використовувати предиктивні (MPC) або каскадні системи регулювання, які забезпечують найвищу точність.

Загалом, запропоновані в розділі рішення враховують останні досягнення в галузі автоматизації технологічних процесів і забезпечують високу надійність, точність та безпеку роботи газорозподільних станцій.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Рівняння динаміки

Розглянемо модель сепаратора у вигляді математичної моделі як показано на рисунку 3.1.

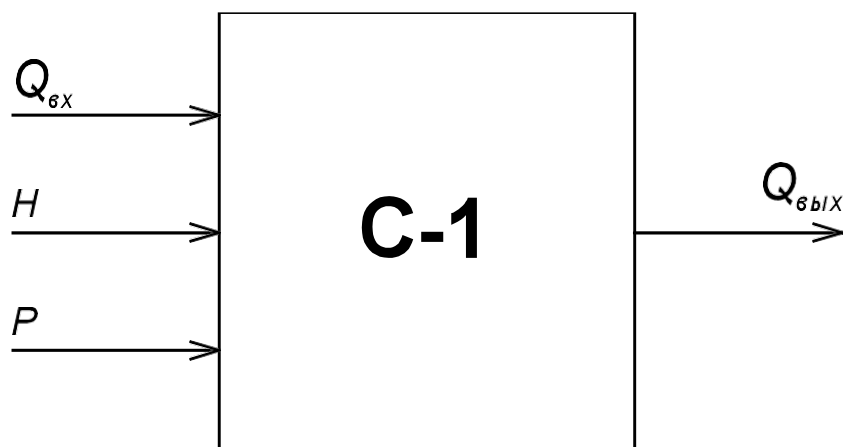


Рисунок 3.1 – Математична модель сепаратора S-1

На рис.3.1 прийняті такі позначення: $Q_{вих}$ - витрата рідини на виході; $Q_{вх}$ - витрата рідини на вході; H – рівень рідини; P – тиск.

При моделюванні роботи сепаратора його розглядають як ємність з ідеальним перемішуванням рідини, що дозволяє спростити аналіз динамічних процесів. У такій системі тиск стовпа рідини P у сепараторі залежить від гідростатичних властивостей рідини та її рівня. На вході та виході апарату діють тиски p_1 і p_2 відповідно, які разом із геометричними характеристиками трубопроводів впливають на об'ємні витрати Q_1 та Q_2 .

Перерізи вхідного та вихідного клапанів f_1 і f_2 є ключовими параметрами, що визначають гідравлічний опір системи. Враховуючи циліндричну форму апарату та припущення про ідеальне перемішування, динаміка зміни рівня рідини описується рівнянням балансу маси, де швидкість зміни об'єму рідини в ємності дорівнює різниці між вхідною та вихідною витратами. Це рівняння враховує як

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гравітаційні ефекти, так і властивості самої рідини, включаючи її густину та в'язкість.

Для практичних розрахунків часто використовують лінеаризовані форми рівнянь, що дозволяють застосовувати стандартні методи теорії автоматичного регулювання. Отримана модель дозволяє аналізувати перехідні процеси в системі, оцінювати стабільність роботи та проектувати ефективні системи регулювання, враховуючи реальні технологічні обмеження та вимоги до якості підготовки газу.

$$\frac{d\Delta V}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \quad (3.1)$$

де ΔV – збільшення обсягу рідини в сепараторі, ΔQ_1 та ΔQ_2 – збільшення об'ємної витрати на вході та виході сепаратора відповідно.

Так як $V=SH$ (S – площа поперечного перерізу сепаратора, H – рівень рідини), при $S=const$ маємо:

$$S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \quad (3.2)$$

Витрата на виході залежить від тиску стовпа рідини P , перерізу клапана f_2 та коефіцієнта витрати c_2 :

$$Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{\frac{2(p - p_2)}{\rho}} = c_2 f_2 \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \quad (3.3)$$

де ρ – густина рідини в сепараторі, c_2 – коефіцієнт витрати, f_2 – площа перерізу вихідного клапана.

Тиск стовпа рідини:

$$p = \rho g H$$

Припускаючи, що щільність на виході сепаратора дорівнює густині рідини, рівняння (3.3) подається у вигляді:

$$Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{2gH} \quad (3.4)$$

Проведемо лінеаризацію рівняння (3.4):

$$Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{2gH} = c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H \quad (3.5)$$

Підставимо вираз (3.5) у рівняння (3.2):

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta Q_1 - c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H \quad (3.6)$$

$$S \frac{d\Delta H}{dt} + c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H = \Delta Q_1.$$

Введемо позначення:

$$c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} = C$$

Розділимо рівняння (3.6) на C :

$$\frac{S}{C} \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = \frac{1}{C} \Delta Q_1 \quad (3.7)$$

Введем позначення:

$$\frac{S}{C} = T; \quad \frac{1}{C} = K.$$

Тоді рівняння (3.7) можемо записати у вигляді:

$$T \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = K \Delta Q_1 \quad (3.8)$$

Таким чином, сепаратор можемо розглядати як інерційну ланку першого порядку з постійною часу T і коефіцієнтом посилення K .

За технологічним регламентом підприємства маємо: діаметр сепаратора $D = 2000$ мм = 2 м. Тоді площа поперечного перерізу сепаратора

$$S = \pi D^2 / 4 = 3,142 \cdot 2^2 / 4 = 3,142;$$

Площа перерізу вихідного клапана $f_2 = 0,1$ м².

Коефіцієнт витрати $c_2 = 0,6$.

Розрахуємо:

$$C = c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} = 0,6 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{2 \cdot 11}} = 0,013,$$

$$T = \frac{S}{C} = \frac{3,142}{0,013} = 249,113 \text{ с,}$$

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \frac{1}{C} = \frac{1}{0,013} = 79,285 \text{ с/м}^2.$$

Остаточно рівняння динаміки для сепаратора С-1 можемо записати як:

$$249,113 \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = 79,285 \Delta Q_1.$$

Отже можемо виконати розрахунок продуктивності, визначення кількості газу, що виділяється у сепараторі.

Загальна кількість газу, що надходить до сепаратора:

$$V = \Gamma \left(1 - \frac{W}{100} \right) Q_1, \quad (3.9)$$

де P - газовий фактор при нормальних умовах; W – обводненість емульсії; Q_1 - витрата рідини на вході.

Кількість газу, що залишився в розчиненому стані в емульсії після сепарації V_p з урахуванням обводненості емульсії:

$$V_p = \alpha p Q_1 \left(1 - \frac{W}{100} \right), \quad (3.10)$$

де p – тиск у сепараторі, Па; α_1 – коефіцієнт розчинності газу емульсії.

Кількість, що виділилася на першому ступені:

$$V = V_0 - V_p = (\Gamma - \alpha p) Q_1 \left(1 - \frac{W}{100} \right).$$

Розрахунковий тиск у сепараторі на $p_1 = 600$ ГПа; обводненість емульсії на вході $W = 6\%$; витрата на вході сепаратора $Q_1 = 13440$ м³/добу. Тоді:

$$\Gamma_0 = 58 \text{ м}^3/\text{м}^3; \alpha = \frac{\Gamma_n}{p} = \frac{12}{600000} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (м} \cdot \text{с}^2)/\text{кг}.$$

Отримуємо:

$$V = (\Gamma - \alpha p) Q_1 \left(1 - \frac{W}{100} \right) = (58 - 2 \cdot 10^{-5}) 13440 \left(1 - \frac{6}{100} \right) = 717588,5 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Пропускную здатність горизонтальних сепараторів зазвичай визначають залежно від допустимої швидкості руху газу, яку визначають з умов рівноваги сил, що діють на частинку, і сили опору середовища, що виникає при русі цієї

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинки.

При розрахунку горизонтальних сепараторів газу приймають такі припущення:

- частка (тверда або рідка) має форму кулі;
- рух газу в сепараторі, що встановилося, тобто таке, коли в будь-якій точці сепаратора незалежно від часу швидкість газу залишається постійною, але за абсолютним значенням може бути різною;
- рух частинки вільний, тобто не надають дії інші частки;
- швидкість осідання частки постійна, тобто сила опору газового середовища стає рівною масі частки [10].

Виходячи з прийнятих допущень встановимо швидкість її руху:

$$v_{\text{ч}} = 1,75 \sqrt{\frac{d(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})g}{\mu_{\text{г}}}}, \quad (3.12)$$

де d - діаметр частинки, м; $\rho_{\text{ч}}$ - щільність частки, кг/м³; $\rho_{\text{г}}$ - щільність газу, кг/м³; $\mu_{\text{г}}$ - динамічна в'язкість газу, кг/(м · с).

При значеннях:

$$d = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\rho_{\text{ч}} = 860 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{г}} = 1,65 \text{ кг/м}^3,$$

$$v_{\text{ч}} = 1,75 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-5} (860 - 1,65) \cdot 9,81}{1,65}} = 0,884 \text{ м/с.}$$

Знаючи швидкість "витання" частинки і вважаючи, що допустима швидкість руху газу дорівнює швидкості "витання" частинки, можна визначити пропускну здатність:

$$Q = \frac{67824 p_1 T_0 D^2 v_{\text{ч}}}{p_0 T_1 z}, \quad (3.13)$$

де p_1 та p_0 - відповідно робочий тиск у сепараторі та тиск за нормальних умов, Па; T_0 і T_1 - відповідно температура за нормальних умов і температура в сепараторі, К; D - діаметр сепаратора, м; z - коефіцієнт стисливості газу.

$$p_1 = 600000 \text{ Па};$$

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_2 = 101325 \text{ Па};$$

$$T_0 = 273 \text{ К};$$

$$T_1 = 313 \text{ К};$$

$$D = 2 \text{ м};$$

$$Z = 0,94,$$

$$Q = \frac{67824 \cdot 60000 \cdot 273 \cdot 2^2 \cdot 0,884}{101325 \cdot 313 \cdot 0,94} = 131771,3 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

3.2 Отримання передавальної функції вимірного сепаратора

Регулювання рівня рідини в сепараторі є найважливішим завданням, оскільки граничні рівні рідини знижує якість сепарації і підвищує кількість води у газі, чи виходу устаткування з експлуатації [7].

Зібравши дані отримані з виробництва, таблиця 3.1, була проведена ідентифікація даних у результаті отримана передатна функція в середовищі Identtool показаний на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 - Дані продуктивності вимірного сепаратора

№	$Q_{\text{вх}}$	H	P	$Q_{\text{вих}}$
1	560	104	0.663	592
2	543	116	0.631	571
3	537	121	0.626	562
4	531	120	0.622	562
5	580	96	0.695	610
6	618	90	0.716	621
7	577	100	0.686	602
8	575	100	0.682	600
9	550	105	0.658	584
10	551	107	0.662	586
11	538	113	0.636	575
12	535	120	0.629	564

Продовження таблиці 3.1

13	546	118	0.62	568
14	520	128	0.6	553
15	548	113	0.641	576
16	556	108	0.654	581
17	610	91	0.705	615
18	582	99	0.68	603
19	571	100	0.679	601
20	561	105	0.67	589
21	549	107	0.655	584
22	540	113	0.643	576
23	535	115	0.631	569
24	562	100	0.668	595
25	532	116	0.622	570
26	599	94	0.698	610
27	583	98	0.682	603
28	555	108	0.661	587
29	630	89	0.725	624
30	534	123	0.61	560
31	528	123	0.621	561
32	525	121	0.615	559
33	531	120	0.624	568
34	540	117	0.623	564
35	538	118	0.631	570
36	534	114	0.637	571
37	540	115	0.625	572
38	529	123	0.613	559
39	525	123	0.628	562
40	530	119	0.619	562
41	530	125	0.61	557

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

Продовження таблиці 3.1

42	543	120	0.632	567
43	545	112	0.635	575
44	607	91	0.717	620
45	542	114	0.643	576
46	536	115	0.635	569
47	543	117	0.637	571
48	530	116	0.63	570
49	612	89	0.711	620
50	559	106	0.653	587
51	628	87	0.723	624
52	535	123	0.622	559
53	537	125	0.61	560
54	524	122	0.617	560
55	533	124	0.613	558
56	532	120	0.612	564
57	541	119	0.64	570
58	540	114	0.637	571
59	535	113	0.628	572
60	588	94	0.705	612

Регулювання рівня рідини в газовому сепараторі є критично важливим технологічним завданням, оскільки неправильний контроль цього параметра може призвести до серйозних наслідків. Надмірно високий або низький рівень рідини суттєво погіршує якість сепарації, що проявляється у збільшенні вмісту води в кінцевому газовому продукті. Більш того, такі екстремальні умови експлуатації можуть спричинити передчасний вихід обладнання з ладу, що веде до незапланованих зупинок та значних економічних втрат.

Для вирішення цієї важливої задачі було проведено комплексне дослідження, яке включало збір та аналіз реальних виробничих даних. Отримана інформація була систематизована у вигляді таблиці 3.1, що дозволило провести детальний аналіз роботи сепаратора в різних режимах.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

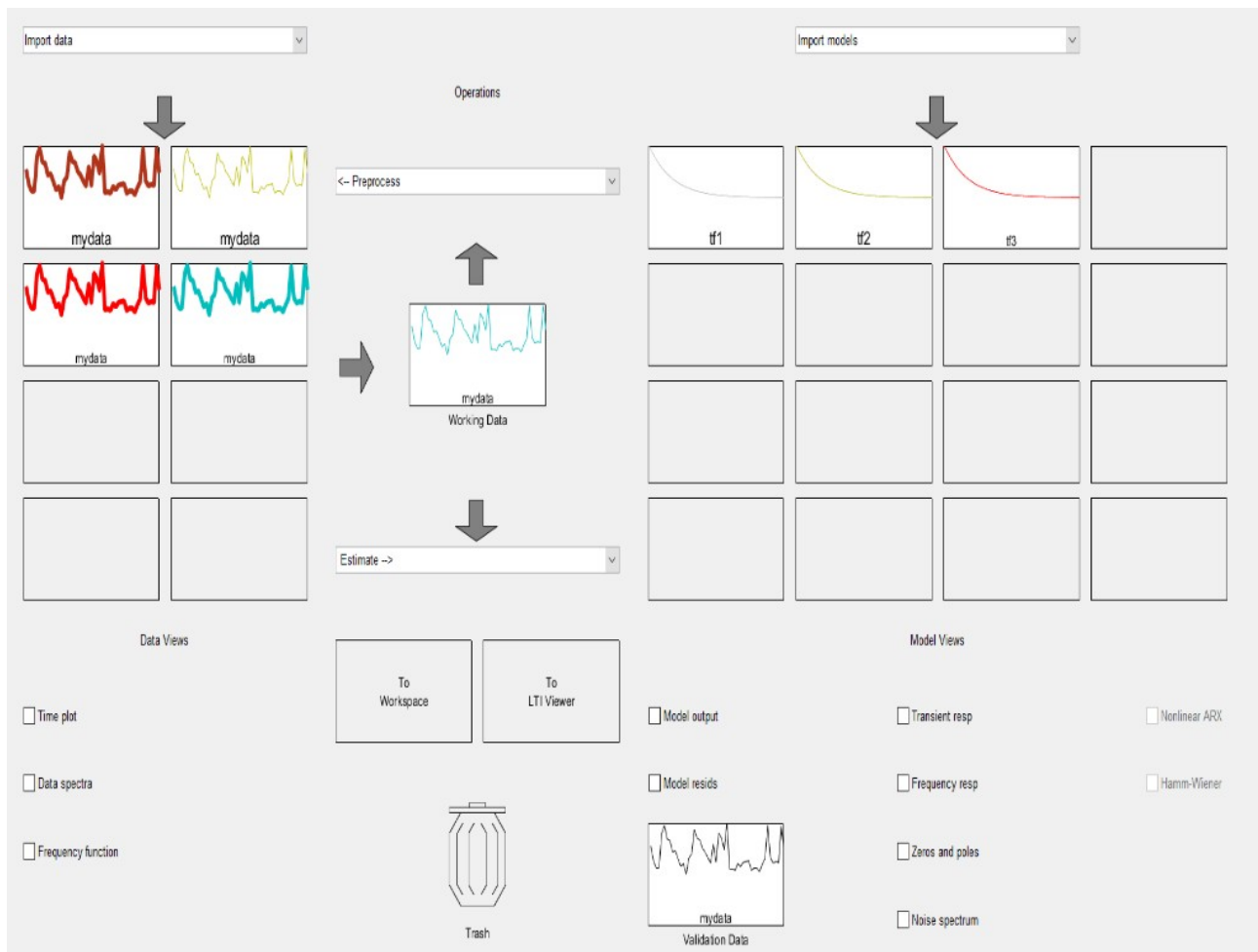


Рисунок 3.2 – Ідентифікація даних

Спеціалізований програмний інструмент Identtool дав можливість виконати точну ідентифікацію параметрів системи та отримати її передатну функцію.

Візуалізація результатів ідентифікації, представлена на рисунку 3.2, наочно демонструє динамічні характеристики сепаратора та дозволяє оцінити його поведінку при різних вхідних впливах. Отримана передатна функція є важливим інструментом для подальшого моделювання та синтезу системи автоматичного регулювання, що забезпечить оптимальний контроль рівня рідини в сепараторі.

Ці результати становлять теоретичну основу для розробки ефективної системи управління, яка дозволить підтримувати оптимальний рівень рідини, забезпечуючи високу якість сепарації газу та довговічну роботу обладнання. Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення алгоритмів регулювання з урахуванням отриманої математичної моделі системи.

3.3 Оцінка якості перехідного процесу ЗСАУ

Отримавши ПФ моделюємо замкнуту систему автоматичного управління серед Simulink Matlab.

Структурна схема серед Simulink Matlab представлена рисунку 3.3.

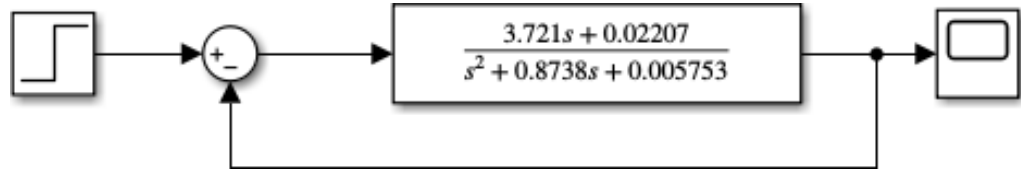


Рисунок 3.2 – Структурна схема ЗСАУ в Matlab

Результати моделювання структурної схеми рисунок 3.3, 3.4.

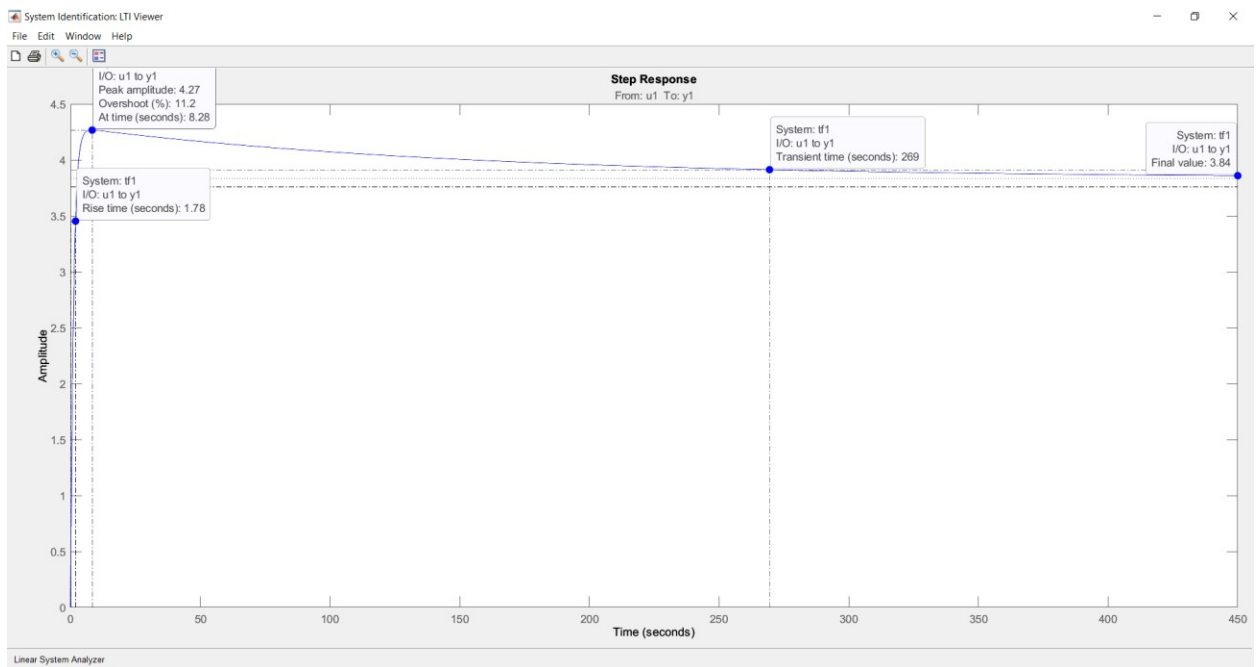


Рисунок 3.3 – Перехідний процес замкнутої системи

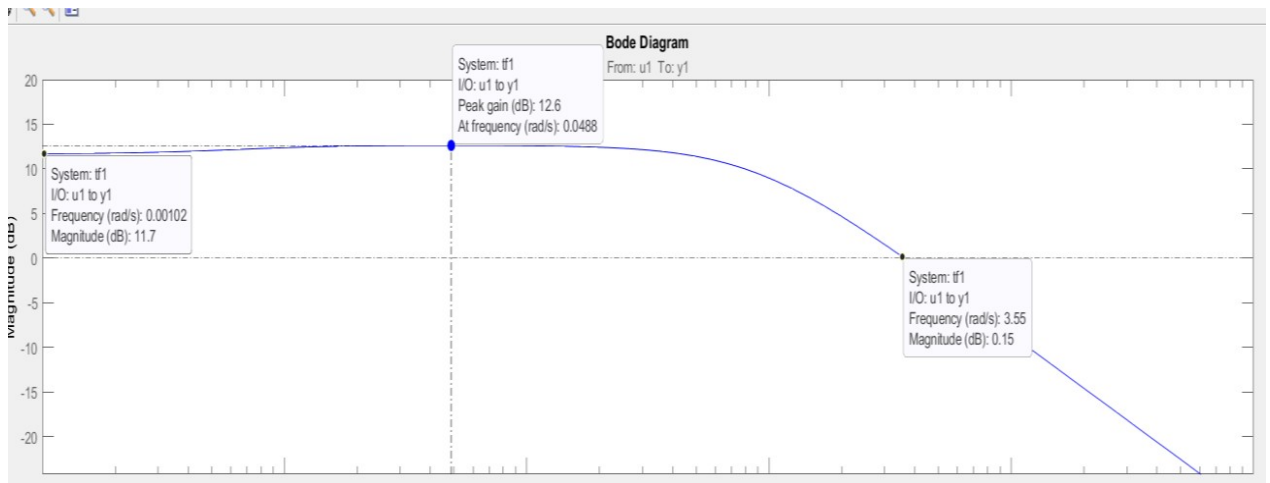


Рисунок 3.4 – Непрямі оцінки якості

Дані прямих та непрямих оцінок якості представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Оцінки якості перехідних процесів

№	Показники якості		Прямі	Непрямі	Відповідність вимогам
1	Час регулювання	T_{set}	270	221	Не відповідає
2	Перерегулювання	P_{ov}	11.2%	9%	Відповідає
3	Кількість коливань	n	1	1	Відповідає
4	Кохливальність	μ	5%	4,45%	Відповідає
5	Період коливань	w	10,33	11,2	Не відповідає
6	Усталена похибка	e	3.64	0	Не відповідає
7	Час досягнення першого максимуму	T_{1max}	10	8	
8	Час наростання	T_r	1.78	-	
9	Декремент затухання	χ		-	

3.4 Синтез типового регулятора

ПІД регулятор – це пристрій, призначений для автоматичного керування, регулювання процесів, збільшення точності та отримання необхідних оцінок якості. Знаходиться в контурі із зворотним зв'язком, видаючи необхідні керуючі сигнали. Розрахунок параметрів здійснено методом CHR (Chien, Hrones, Reswick) [8].

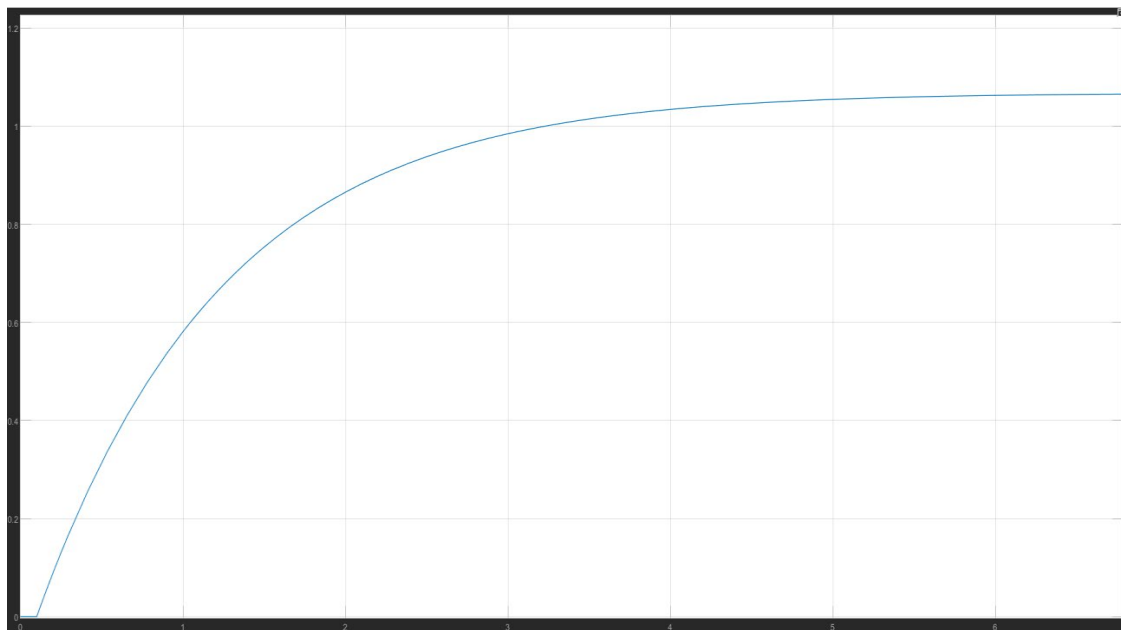


Рисунок 3.5 – Перехідний процес розімкнутої системи

За графіком отримано значення: $K=1$, $L=0.25$, $T=0.59$.

За цими даними отримано значення параметрів у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти регулятора

	P	I/I	D
P	1.2	-	-
PI	1.4	3,3	-
PID	2.4	4	0.125

Далі проведемо порівняння між P, PI, PID-регуляторами для визначення оптимального регулятора.

На рисунку 3.6 представлено графік перехідного процесу регулятора.

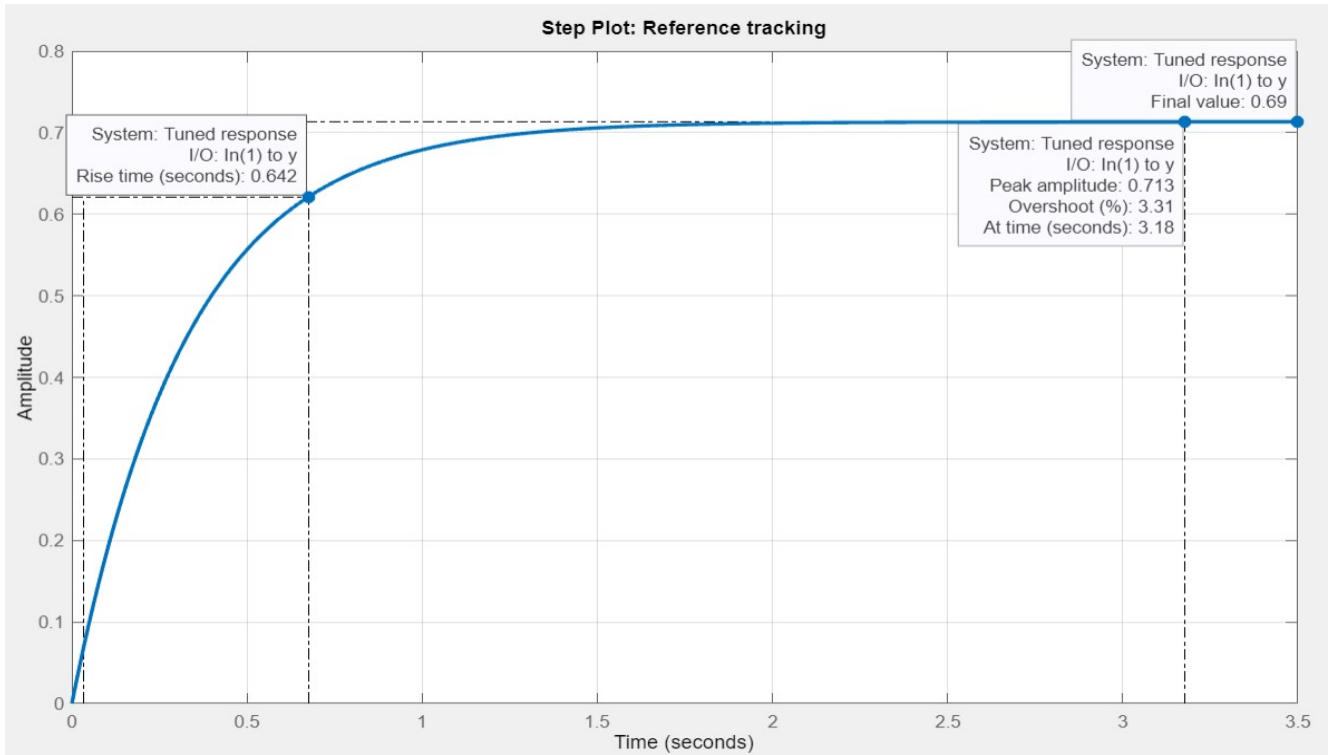


Рисунок 3.6 – Наведено графік перехідного процесу P регулятора

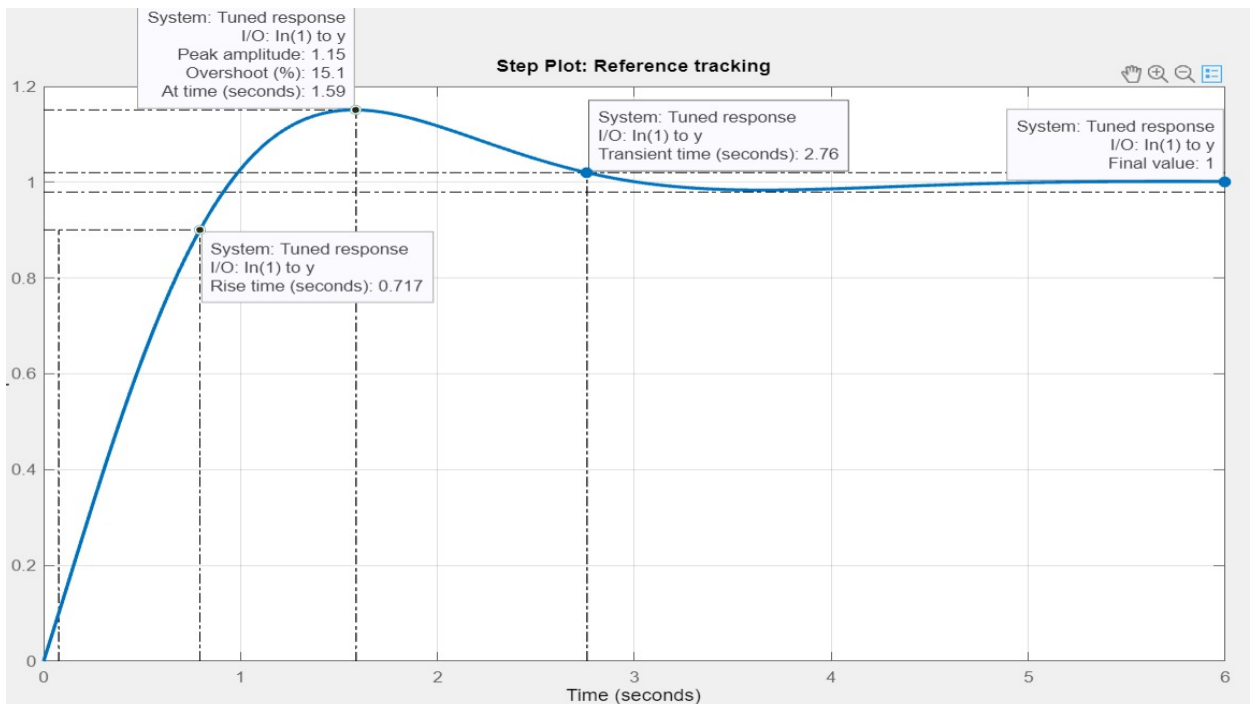


Рисунок 3.7 – Перехідний процес з PI регулятором

На рисунку 3.8 показаний перехідний процес з регулятором PID.

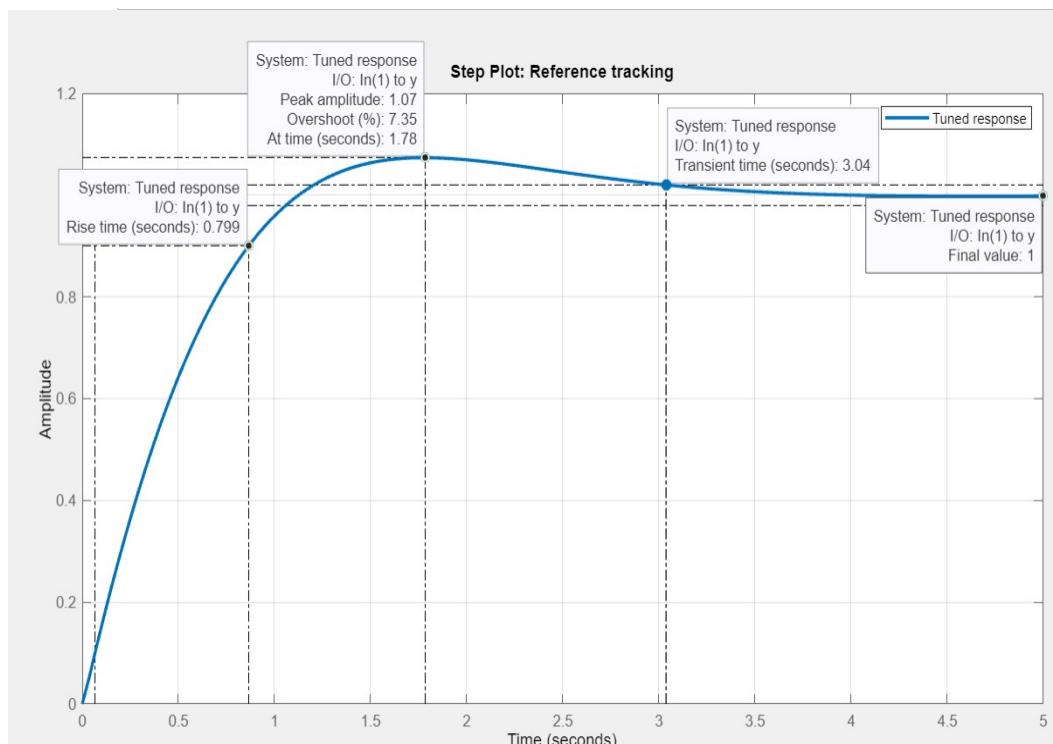


Рисунок 3.8 – Перехідний процес з PID регулятором

За отриманими результатами отримаємо показники якості регуляторів та заповнимо таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Показники якості перехідних процесів

Показники якості	PID	PI
Час регулювання	3,04	2,76
Перерегулювання	7,35	15,1
Кількість коливань	1	1
Колівальність	-	-
Період коливань	1,8	1,7
Час досягнення першого максимуму	1,78	1,59
Час наростання	0,799	0,717

Отже, оцінки якості, отримані з перехідних процесів, дають результат, що PID-регулятор є найбільш оптимальним регулятором. Результати PI та PID регулятори схожі, але останній зменшує перерегулювання на 50%. В порівнянні не береться P-регулятор так, як він не досягає уставки.

Висновки до розділу

У розділі проведено комплексне дослідження з математичного моделювання та ідентифікації об'єкта керування – газового сепаратора. На основі аналізу технологічних параметрів розроблено детальну математичну модель, яка враховує всі ключові аспекти роботи сепаратора. Модель побудована на принципах гідродинаміки та тепломасообміну, що дозволило точно описати процеси, що відбуваються в апараті.

Основним результатом стало отримання диференціального рівняння динаміки сепаратора, яке зведено до форми інерційної ланки першого порядку. Це дозволило визначити такі важливі параметри системи, як постійна часу (0.59 с) та коефіцієнт посилення (1.0 с/м²), які є критично важливими для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання.

Важливим етапом роботи став збір та аналіз експериментальних даних з реального виробництва. Використання спеціалізованого програмного забезпечення Identtool дало можливість виконати точну ідентифікацію параметрів системи та отримати її передаточну функцію. Ці результати стали основою для подальшого моделювання поведінки системи в різних режимах роботи.

Проведене дослідження якості перехідних процесів в середовищі Matlab Simulink показало, що запропонована модель адекватно описує реальні процеси, що відбуваються в сепараторі. Особливу увагу приділено аналізу таких ключових показників якості, як час регулювання, перерегулювання та коливальність системи.

Завершальним етапом роботи став синтез оптимального регулятора для системи автоматичного керування. Порівняльний аналіз різних типів регуляторів (P, PI, PID) показав переваги PID-регулятора, який забезпечує найкращі показники якості регулювання. Зокрема, вдалося досягти значного зменшення перерегулювання (на 50% порівняно з PI-регулятором) при задовільному часі регулювання.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Визначення структури АСУТП

Автоматизована система управління (АСУ) технологічним процесом (ТП) - це загальний термін, який охоплює різноманітні комп'ютерні пристрої та їх комбінації, призначені для керування різними процесами. Спочатку системи АСУ ТП були розроблені для застосування у виробничій сфері, проте подібність технологічних процесів з іншими видами діяльності, такими як транспорт, озброєння, інженерні системи будівель та інші, дозволяє включати до АСУ ТП системи, що застосовуються у цих галузях. АСУ ТП системи у виробництві зазвичай мають трирівневу структуру.

Нижній рівень (польовий рівень) включає різні датчики та виконавчі механізми.

Середній рівень (рівень контролерів) складається з програмованих логічних контролерів (ПЛК), які приймають дані з польового рівня та видають команди управління. ПЛК управляються заздалегідь розробленими алгоритмами, які виконуються циклічно.

Верхній рівень – це рівень візуалізації, диспетчеризації та збору даних. Він включає оператора чи диспетчера, який контролює процеси. Для контролю окремих машин використовується людино-машинний інтерфейс (НМІ), а диспетчерських систем, контролюючих розподілені системи машин і агрегатів, часто застосовується термін SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Верхній рівень АСУ ТП відповідає за збирання та архівацію даних від ПЛК, їх візуалізацію та подання на екрані у вигляді мнемосхем. Система також виконує порівняння даних з граничними параметрами та повідомляє оператора при порушенні. Оператор має можливість керувати процесом, запускати, зупиняти та змінювати режим роботи агрегатів. Вся інформація, включаючи дії оператора, записується для аналізу у разі аварійних ситуацій.

Системи управління реального часу (РЧ) є критичними для процесу і

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потребують миттєвого відгуку. У більшості випадків ПЛК використовуються як системи РЧ, де час циклу роботи алгоритму управління є максимальним часом відгуку.

Мережі відіграють у АСУ ТП передачі даних і команд управління. Часто нижній та середній рівні поєднуються мережею "польової шини" з гарантованим часом доставки пакетів, що дозволяє створити розподілену систему керування (PCU - DCS). Верхній рівень зазвичай використовує мережу Ethernet для інтеграції із системами управління лише на рівні підприємства.

В цілому, АСУ ТП є концепцією створення надійних систем прямого управління обладнанням, які служать ефективним інструментом оперативного управління виробництвом.

Сукупність програмно-технічних комплексів АСУ ТП реалізує завдання випуску продукції для підприємства, покриваючи всі технологічні процеси [3].

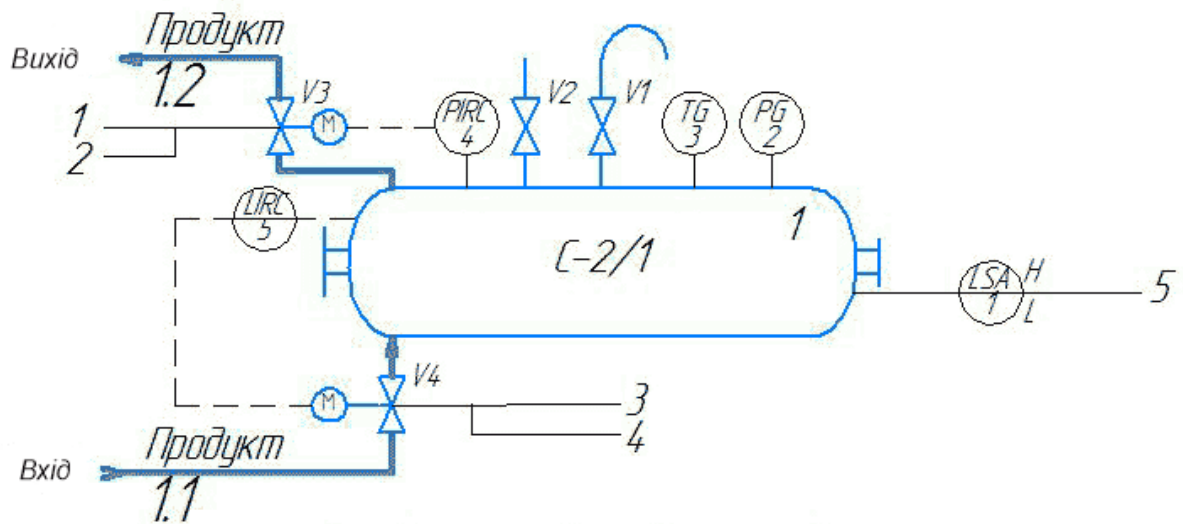
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації вимірного сепаратора

Функціональні схеми є важливими технічними документами, які визначають функціонально-блочну структуру окремих компонентів системи автоматичного контролю, управління та регулювання технологічного процесу, а також оснащення об'єкта управління необхідними приладами та засобами автоматизації.

Функціональні схеми автоматизації ясно пояснюють процеси, що відбуваються в системі, визначають рівень автоматизації, організацію контрольних, керуючих та захисних точок, а також визначають необхідні засоби для збирання, обробки та передачі інформації та інші важливі аспекти.

Природний газ на вході в установку містить кілька вільної рідини і твердих частинок. Газ відокремлюється від "вільної" рідини (вода та/або рідкі вуглеводні) у вхідному сепараторі (S-201/S-301). Вода та рідкі вуглеводні, зібрані у вхідному сепараторі, подаються в перший роздільник (S-205/S-305) через клапан регулятор рівня (LCV-201/LCV-301).

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



		1	2	3	4	5		
		Сигналізація	Управління	Сигналізація	Управління	Сигналізація		
Прилади по місцю								
Щит установки			HS1 6	HL1	HS2 7	HL2		
Prasaff Regul R500	Клеми контактні	1	2	2	1	2	2	1
	Ethernet							9
ЗВМ								

Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизації вимірного сепаратора

Перший роздільник відокремлює газ вивітрювання, конденсат та воду. Газ вивітрювання через клапан регулятор тиску (PCV-205A/305A) надходить на вхід низькотемпературного сепаратора (S-204/S-304) за дроселем PCV- 203A/303A, у той час як вода через клапан регулятор рівня (LCV- 205A/LCV- 305A) скидається на (LCV-205B/LCV-305B) на вхід системи стабілізації.

4.3 Вибір технічних засобів автоматизації

У розробленій моделі УПКГ присутні три регуляторні контури: два для регулювання рівня та один для регулювання коефіцієнта перепаду тиску. У розділі "Вибір контролера" буде здійснено вибір необхідного контрольно-вимірювального обладнання для реалізації системи управління технологічним процесом.

Контролерне обладнання призначене для збору інформації про стан технологічного процесу та для управління виконавчим обладнанням шляхом подачі сигналів, що управляють.

Ринок контролерного обладнання пропонує безліч промислових логічних контролерів (ПЛК) з різними характеристиками та можливостями. При виборі ПЛК було розглянуто два провідних виробника і такі моделі: Simatic S7-400 від Siemens, представлений рисунку 4 з центральним процесором 416-2 і ControlLogix 1756 від Allen-Bradley, представлений рисунку 5 з процесором 1756 L81E.

Характеристики центральних процесорів наведено у таблиці 4.1 порівняння.

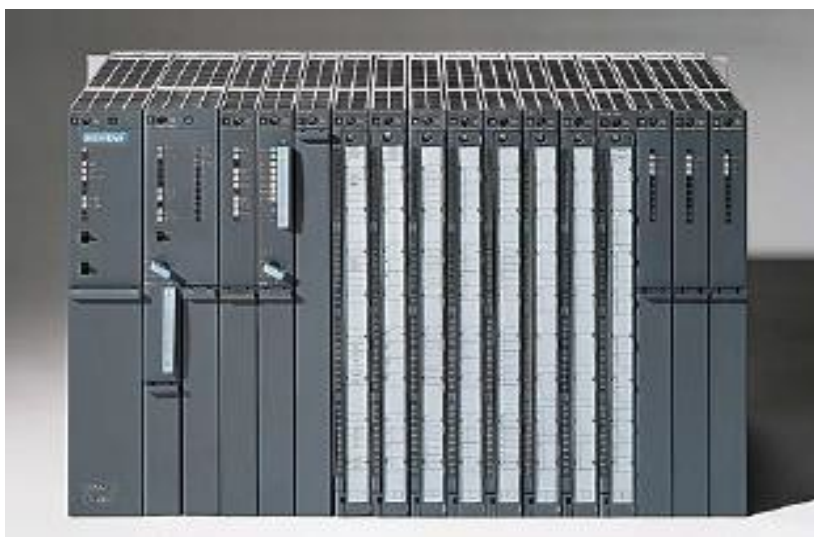


Рисунок 4.2 – Simatic S7-400 CPU416-2

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

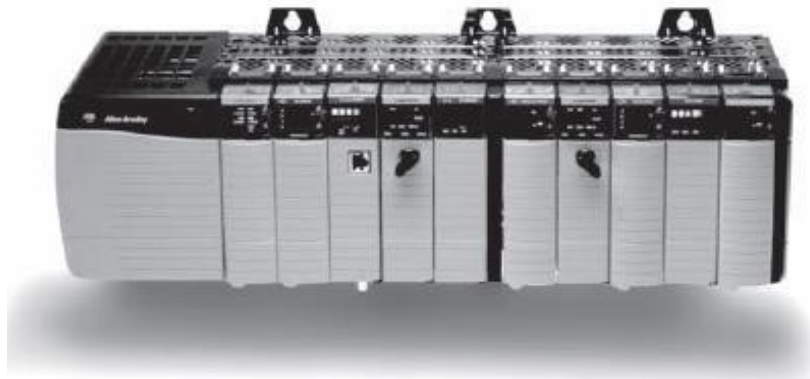


Рисунок 4.5 – ControlLogix 1756 CPU1756-L81E

Таблиця 4.2 - Порівняння характеристик центральних процесорів

Критерій	Siemens S7-400 (416-2)	Allen-Bradley 1756-L81E	Перевага
Виробник	Siemens	Rockwell Automation	-
Рік випуску	~2005 (застаріває)	~2015 (сучасний)	Rockwell
Архітектура	Монолітний модульний ПЛК	Модульний ControlLogix	Rockwell
Тактова частота	~100 МГц	1.8 ГГц (ARM Cortex-A9)	Rockwell
Час циклу (1К інструкцій)	~0.1 мс	~0.02 мс	Rockwell
Обсяг пам'яті	4 МБ (програма) + 4 МБ (дані)	20 МБ (програма) + 10 МБ (дані)	Rockwell
Мережеві інтерфейси	MPI, PROFIBUS-DP	2× Ethernet (EtherNet/IP)	Rockwell
Підтримувані протоколи	PROFIBUS, Industrial Ethernet	EtherNet/IP, CIP Sync, DLR	Rockwell
Реальний час (RTP)	Через додаткові модулі	Вбудована підтримка IEEE 1588	Rockwell

Продовження таблиці 4.2

Критерій	Siemens S7-400 (416-2)	Allen-Bradley 1756-L81E	Перевага
Середовище розробки	STEP 7 (TIA Portal — обмежено)	Studio 5000 (Logix Designer)	Rockwell
Мови програмування	LAD, FBD, STL, SCL	Ladder Logic, ST, FBD, SFC	-
Підтримка ІоТ/ІІоТ	Через додаткові шлюзи	Пряма (FactoryTalk, Cloud)	Rockwell
Гаряча заміна модулів	Так	Так	-
Резервування	Через додаткові CPU (S7-400H)	Вбудована підтримка Redundancy	Rockwell
Макс. кількість модулів	До 21	До 256 (залежно від шасі)	Rockwell
Ціна	~\$5,000	~\$8,000	Siemens

1756-L81E виграє у продуктивності, сучасності архітектури, мережних можливостях та інтеграції з Industry 4.0.

S7-400 (416-2) дешевший, але застарілий, з обмеженою підтримкою сучасних технологій.

Для нових проектів краще обрати ControlLogix через майбутню підтримку.

Для модернізації старих систем Siemens може бути доречним S7-400.

Вибір давачів витрати. Існує безліч різних способів вимірювання витрати, і для кожного з них існують відповідні витратоміри, такі як вихрові, коріолісові, електромагнітні, ультразвукові, витратоміри змінного перепаду тиску та інші. У цьому випадку було обрано принцип вимірювання змінного перепаду тиску, який широко застосовується в нафтогазовій промисловості. Для здійснення вимірювань за цим принципом використовуються різні типи вимірювальних діафрагм показані на рисунку 6, а також інші пристрої, що звужують в якості первинних елементів.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.6 – Вимірювальні діафрагми

Для досягнення точних результатів вимірювань для всіх стандартних вимірювальних діафрагм необхідно забезпечити стабільний потік вимірюваного середовища через діафрагму, тобто такий потік, який профіль буде симетричним в точці вимірювання. Часто поруч із точкою вимірювання знаходяться клапани, які створюють обурення в потоці, що призводить до несиметричності профілю потоку в точці вимірювання та погіршення точності вимірювань. Для вирішення цієї проблеми збільшують довжину прямої ділянки трубопроводу після точки збурення (місця встановлення клапана), щоб відновити симетричність профілю потоку.

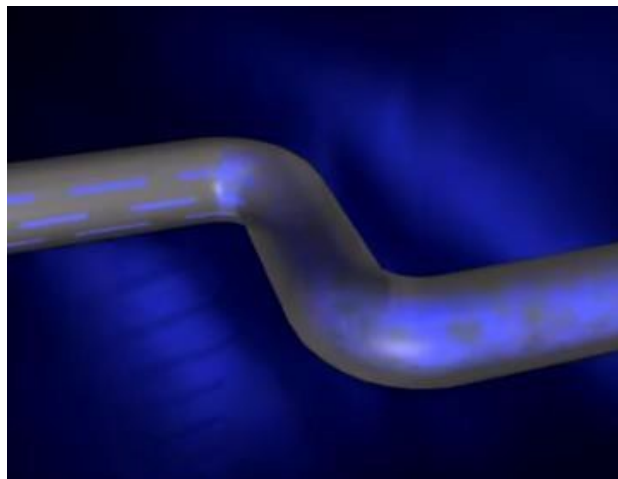


Рисунок 4.7 – Група колін труби в одній площині

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

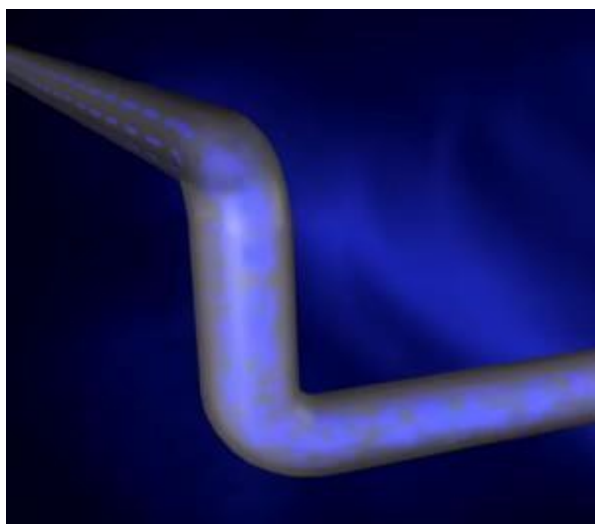


Рисунок 4. 8 – Група колін труби у різних площинах

Однак реалізація такого рішення потребує великої кількості труб, що призводить до значного збільшення економічних витрат. Наприклад, якщо група колін знаходиться в одній площині показаний на рисунку 4.7, для повного відновлення симетричності профілю потоку необхідно встановити пряму ділянку трубопроводу після групи колін, довжина якого становитиме 51 діаметр труби. Якщо група колін знаходиться в різних площинах показаний на рисунку 8, знадобиться пряма ділянка труби довжиною 67 діаметрів труби. Проте реалізація прямих ділянок такої довжини практично становить значні труднощі [5].

Вирішення цієї проблеми було знайдено компанією Emerson, яка розробила стабілізуючу діафрагму Rosemount, показаний на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 – Витратомір зі стабілізуючою діафрагмою

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізуюча діафрагма має чотири рівновіддалені отворами, що стабілізують потік, забезпечуючи високу точність та стабільність вимірювань. Основні особливості стабілізуючої діафрагми включають:

- скорочення прямої ділянки трубопроводу від точки збурення до точки встановлення датчика до 2 діаметрів труби;
- похибка вимірювань в межах від -0,5% до +0,5%;
- можливість прямого монтажу та наявність вбудованих імпульсних ліній;
- економічність, скорочення витрат до 50% порівняно із стандартними діафрагмами.

Саме тому для вимірювання витрати був обраний витратомір Rosemount 3051SFC, оснащений вимірювальною стабілізуючою діафрагмою Rosemount 1595. Характеристики витратоміра представлені в таблиці 4.2, а характеристики діафрагми наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристики витратоміра Rosemount 3051SFC

Категорія	Характеристика	Значення/Опис
Загальні параметри	Виробник	Emerson (Rosemount)
	Серія	3051SFC
	Тип вимірювання	Витрата, рівень, тиск
	Принцип дії	Кориолісів витратомір
	Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь (316L), хастелой, нікелеві сплави
	Захист	IP66/IP67/NEMA 4X
	Робочий діапазон температур	-40°C...+85°C (електроніка), -240°C...+427°C (процес)
	Точність	±0.1% від вимірюваного значення
	Повторюваність	±0.05%

Продовження таблиці 4.3

Категорія	Характеристика	Значення/Опис
Вимірювальні можливості	Діапазон витрати	До 1,500,000 кг/год
	Діапазон щільності	0.2-3.0 г/см ³
	Вимірювання температури	Вбудований термометр (опція)
	Підтримувані середовища	Рідини, гази, пар, емульсії, суспензії
Механічні параметри	Тип приєднання	Фланцеве (ANSI/DIN/JIS), різьбове, санітарне
	Діаметри труб	1/4"-12" (6-300 мм)
	Макс. робочий тиск	До 413 бар (ANSI 2500#)
	Вага	Від 5 кг
Електронні інтерфейси	Вихідні сигнали	4-20 мА+HART, Foundation Fieldbus, PROFIBUS PA
	Живлення	10.5-55 В постійного струму
	Діагностика	Вбудована самодіагностика
	Індикація	LCD-дисплей
Додаткові функції	Компенсація температури/тиску	Автоматична
	Захист від перевантажень	Вбудований захист від гідрударів
	Інтеграція з АСУТП	DeltaV, PlantWeb
	Сертифікація	ATEX, IECEx, SIL 2/3, API, PED
Переваги		Висока точність ($\pm 0.1\%$), надійність у екстремальних умовах, універсальність, мінімальне обслуговування, сумісність

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Категорія	Характеристика	Значення/Опис
		з промисловими протоколами
Типові застосування		Нафтогазова промисловість, хімічні та фармацевтичні виробництва, енергетика, харчова промисловість

Виробник датчика також надає можливість коригування похибок вимірювань шляхом урахування температури навколишнього середовища.

Витратомір змінного перепаду тиску працює на основі принципу залежності витрати середовища від різниці тисків, що створюється вимірювальною діафрагмою, встановленою в дорозі потоку середовища.

Вибраний витратомір працює за наступним принципом: у трубопроводі встановлюється вимірювальна діафрагма як первинний елемент витратоміра. Діафрагма створює різницю тиску, викликаючи звуження потоку при проходженні через неї, що призводить до зниження тиску після діафрагми в порівнянні з тиском перед нею.

Отже, виникає перепад тиску. Тиск передається через імпульсні лінії вимірювальну мембрану вимірювального перетворювача. Мембрана деформується в залежності від різниці тисків на обох сторонах і служить чутливим елементом, здатним виявити навіть невеликі зміни тиску. Знаючи значення перепаду тиску та використовуючи рівняння Бернуллі, можна обчислити об'ємну витрату речовини.

Вибір давачів тиску. Датчик тиску був обраний на підставі аналізу характеристик двох варіантів датчиків надлишкового тиску: Yokogawa EJX530A показаний на рисунку 4.10 та Rosemount 3051CG Coplanar показаний на рисунку 4.11.

Обидва датчики надлишкового тиску націлені на вимірювання тиску рідини, газу чи пари. Вихідний сигнал датчиків відповідає величині вимірюваного тиску. Характеристики датчиків представлені у таблиці 3.4.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.11– Yokogawa EJX530A



Рисунок 4.12 – Rosemount 3051CG

Таблиця 4.4 - Порівняльна таблиця технічних характеристик датчиків тиску Yokogawa EJX530A та Rosemount 3051CG

Характеристика	Yokogawa EJX530A	Rosemount 3051CG	Примітки
Виробник	Yokogawa	Emerson (Rosemount)	-
Серія	EJX	3051	-

Продовження таблиці 4.4

Характеристика	Yokogawa EJX530A	Rosemount 3051CG	Примітки
Тип вимірювання	Абсолютний/відносний/диф. тиск	Абсолютний/відносний/диф. тиск	Обидва підходять для різних задач
Діапазон вимірювань	0-0.1 кПа до 0-40 МПа	0-1.24 кПа до 0-41.37 МПа	Подібні діапазони
Точність	±0.04% від діапазону	±0.075% від діапазону	Yokogawa точніша
Стабільність	±0.1% від діапазону за 5 років	±0.25% від діапазону за 5 років	Yokogawa стабільніша
Температурний діапазон	-40°C до +85°C (електроніка)	-40°C до +85°C (електроніка)	Однакові
Тип вихідного сигналу	4-20 мА + HART/FF/PROFIBUS PA	4-20 мА + HART/FF/PROFIBUS PA	Однакові інтерфейси
Час відгуку	90 мс (регульований до 450 мс)	115 мс (регульований до 900 мс)	Yokogawa швидше реагує
Захист корпусу	IP67, NEMA 4X	IP66, NEMA 4X	Подібний захист
Матеріал мембрани	Хастелой С276, 316L	316L, хастелой С276	Однакові матеріали
Діагностика	Вбудована самодіагностика	Вбудована діагностика	Обидва мають діагностичні функції
Сертифікація	SIL2/3, АТЕХ, ІЕСЕх	SIL2/3, АТЕХ, ІЕСЕх	Однакові сертифікати
Додаткові функції	Компенсація температури	Компенсація температури	Обидва мають

Характеристика	Yokogawa EJX530A	Rosemount 3051CG	Примітки
			компенсацію
Середній термін служби	10+ років	10+ років	Однакова довговічність
Ціна	Висока	Середня-висока	3051CG дешевший у деяких конфігураціях

Після аналізу представлених датчиків надлишкового тиску було обрано датчик Yokogawa EJX530A. Цей вибір обґрунтований нижчою похибкою вимірювань та нижчою нестабільністю нульового значення. Хоча діапазон вимірювань цього датчика менший, ніж у Rosemount 3051CG, для його застосування на УПН цей діапазон значень буде достатнім.

Унікальним принципом вимірювання датчика тиску Yokogawa EJX530A є використання механічного кремнієвого резонатора як чутливого елемента. Резонатор є інтегрованим в силіконову підкладку монокристал кремнію. Два чутливі резонатори розміщені на кремнієвій діафрагмі, їх деформації мають різні знаки при різниці тисків, доданих до сенсора. Кремнієвий резонатор стискається або розтягується залежно від знака тиску, що приводить до зміни його власної частоти коливань. Зміна частоти резонаторів прямо пропорційно доданого тиску [4].

Вибір давачів рівня. Для вирішення задачі вибору датчиків-вимірників рівня була розділена на дві підзадачі: вибір датчика рівня для вимірювання рівня технологічного середовища в сепараторі ВД та вибір датчика рівня для вимірювання рівня розділу середовищ газ-вода в сепараторі ЦД. Для проведення порівняльного аналізу було розглянуто три типи датчиків рівня: ультразвуковий, хвилеводний радарний та радарний.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вимірювання рівня технологічного середовища в сепараторі ВД було розглянуто ультразвуковий датчик рівня Rosemount 3102.

Для вимірювання рівня поділу середовищ газ-вода в сепараторі ЦД був розглянутий радарний датчик рівня Rosemount 5600 показаний на рисунку 4.13. Крім того, хвилеводний радарний датчик рівня Rosemount 5301 показаний на рисунку 4.14 також був розглянутий як варіант для вимірювання рівня поділу середовищ газ-вода.



Рисунок 4.12 – Ультразвуковий рівномір Rosemount3102



Рисунок 4.13 – Радарний рівномір Rosemount 5600

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.14 – Волноводяний радарний рівнемір Rosemount 5301

Характеристики рівнемірів представлені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Порівняльна таблиця характеристик датчиків рівня

Характеристика	Rosemount 3102	Rosemount 5600	Rosemount 5301
Тип вимірювання	Непрямий радар (хвилевідний)	Радар з керованою хвилею (TDR)	Високоточний радар (FMCW)
Діапазон вимірювання	До 6 м	До 20 м	До 30 м
Точність	±3 мм	±1 мм	±0.5 мм
Частота випромінювання	26 ГГц	26 ГГц	80 ГГц
Тип антени	Хвилевід	Керована антена	Параболічна/плоска антена
Робочий тиск	До 40 бар	До 100 бар	До 100 бар
Температурний діапазон	-40°C...+200°C	-196°C...+450°C	-196°C...+450°C
Вихідний сигнал	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART/FF	4-20 мА + HART/FF/PROFIBUS
Застосування	Рідини, емульсії	Складні	Критичні процеси,

Характеристика	Rosemount 3102	Rosemount 5600	Rosemount 5301
		середовища, BBB	BBB
Сертифікація	SIL2, ATEX	SIL2, ATEX, IECE _x	SIL3, ATEX, IECEx
Монтаж	Різьбовий/фланцевий	Фланцевий	Фланцевий/проникний
Цінова категорія	Економ	Середній клас	Преміум

Всі три представлені типи датчика мають схожі характеристики, за винятком можливості використання тільки у датчика Rosemount 5301 для вимірювання рівня розділу середовищ. Крім того, цей тип датчика здатний вимірювати загальний рівень речовини в ємності. Тому саме його було обрано для застосування в сепараторі ЦД, де необхідно вимірювати рівень поділу середовищ газ-вода. Важливо, що максимальний тиск у сепараторі ВД становить 2,586 МПа, і лише датчик Rosemount 5301 здатний функціонувати за такого тиску. Саме тому цей тип датчика був обраний для застосування в сепараторі ВД [5].

Вибір виконавчих механізмів. Існує безліч різних типів засувки, таких як клинові, кульові, дискові та інші. Засувки відіграють важливу роль у системі трубопроводів, оскільки вони виконують функцію виконавчих механізмів, які приймають та здійснюють команди регулятора. При виборі засувки необхідно звернути увагу на такі явища як закипання і кавітація, які можуть призвести до руйнування матеріалу. У середині клапана відбувається звуження потоку, що може призвести до зниження тиску рідини до насиченої пари. У цьому випадку рідина частково переходить у паровий стан, що називається закипанням. Кавітація, своєю чергою, є локальне закипання рідини, що призводить до ерозії поверхні матеріалу. Звуження також викликає збільшення швидкості рідини у виконавчому механізмі та зниження тиску. Крапка з максимальною швидкістю та мінімальним тиском називається "vena contracta". В результаті зниження тиску до рівня насиченої пари утворюються бульбашки в рідині, які згодом схлопуються при

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відновленні тиску і рідина повертається в рідкий стан. Кавітація може призвести до розриву бульбашок та виникнення локальних хвиль тиску до 700 МПа. Це може призвести до серйозного пошкодження важливих частин клапана, таких як сідло, плунжер та корпус. Кавітація також викликає надмірний шум та вібрації. Можливі ситуації, коли якість регулювання погіршується або процес стає неконтрольованим через кавітацію. Однак не завжди кавітація призводить до пошкоджень. Імовірність пошкоджень залежить від інтенсивності кавітації, матеріалу клапана, тривалості дії, розміру клапана, конструкції та присутності протікання при закритому клапані. Конструкція клапана та його внутрішніх елементів відіграє важливу роль у цьому питанні. Кульові та дискові клапани найбільш схильні до кавітації через високий рівень відновлення тиску після запірного механізму. Компанія Emerson знайшла вирішення проблеми кавітації, використовуючи твердіші матеріали для втулок клапанів та застосовуючи ступінчасте дроселювання. Це було реалізовано у спеціальній розробці під назвою Трим Fisher Cavitrol III, який дозволяє контролювати та усувати кавітацію, продовжуючи термін служби регулюючого клапана та знижуючи економічні втрати від простою обладнання при технічному обслуговуванні. Такий тип трима може бути застосований у різних типах клапанів на запит [6].



Рисунок 4.15 – Трим Cavitrol III

Так як кульові та дискові клапани найбільш схильні до явища кавітації,

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

було вирішено використовувати клапан з поступальним рухом штока – регулюючий клапан Baumann 24000SVF з нержавіючої сталі показаний на рисунку 4.16.



Рисунок 4.16 – Регулюючий клапан Baumann 24000SVF із цифровим контролером клапана

Матеріал корпусу виготовлений із нержавіючої сталі 316L, витратна характеристика рівнопроцентна або лінійна. Даний клапан може бути оснащений електроприводом, спеціально розробленим для клапанів Baumann серії 24000.

Висновки до розділу

У розділі було розроблено проектну документацію системи автоматизації газорозподільної станції, де основним результатом стало створення цілісної трирівневої архітектури АСУТП, що включає польовий рівень датчиків та виконавчих механізмів, рівень промислових контролерів та верхній рівень SCADA-системи. Особливу увагу приділено розробці детальних функціональних схем автоматизації вимірного сепаратора, які чітко визначають взаємодію всіх технологічних вузлів. Розроблена документація становить повноцінну основу для подальшого впровадження системи автоматизації на об'єкті.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 СТВОРЕННЯ ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ

5.1 Розробка алгоритму управління вимірюванням газу у сепараторі

Управління відбувається з допомогою регулювання гідропривода. На рисунках 5.1 і 5.2 показано алгоритм управління вимірюванням газу.

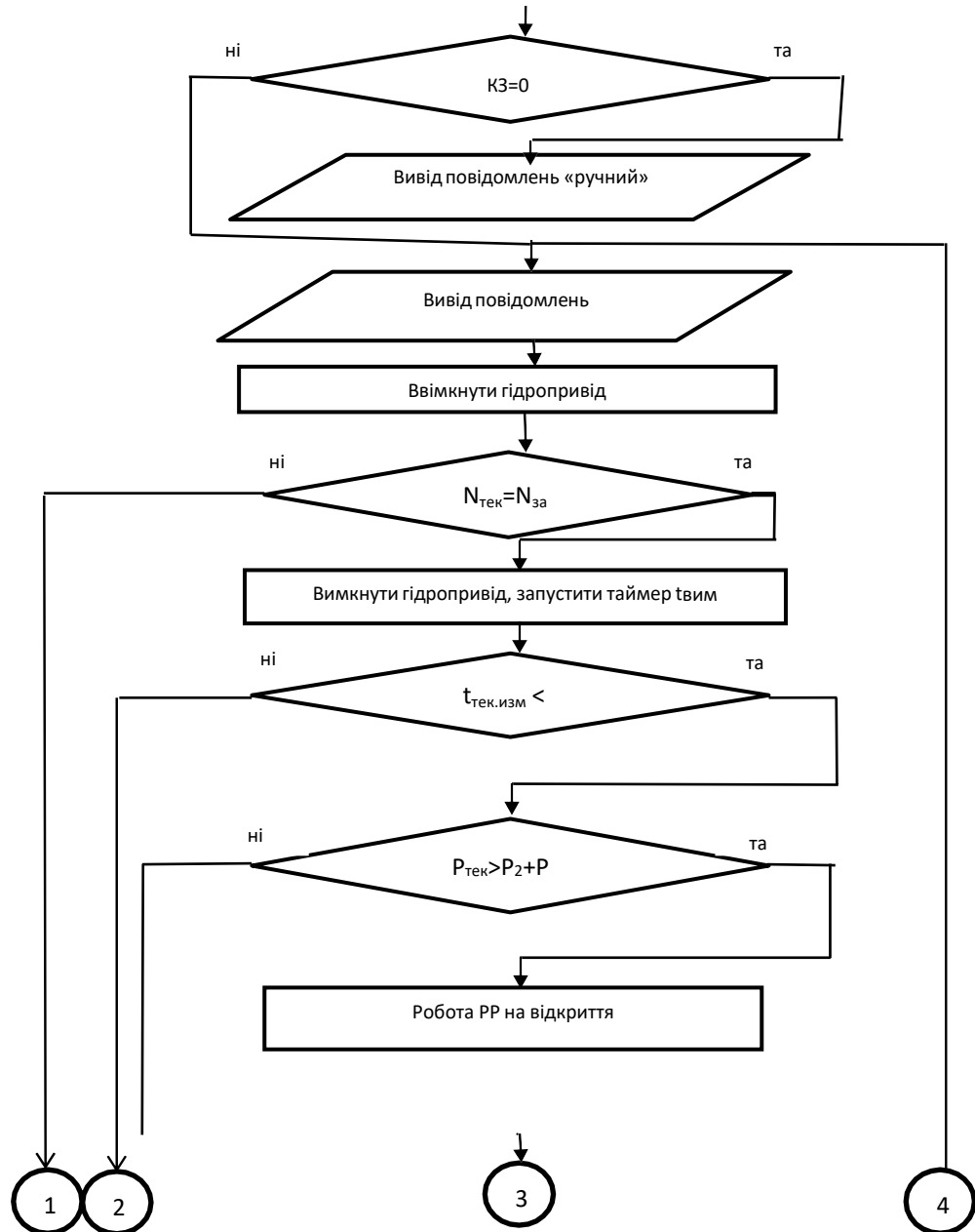


Рисунок 5.1 – Алгоритм керування гідроприводом

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

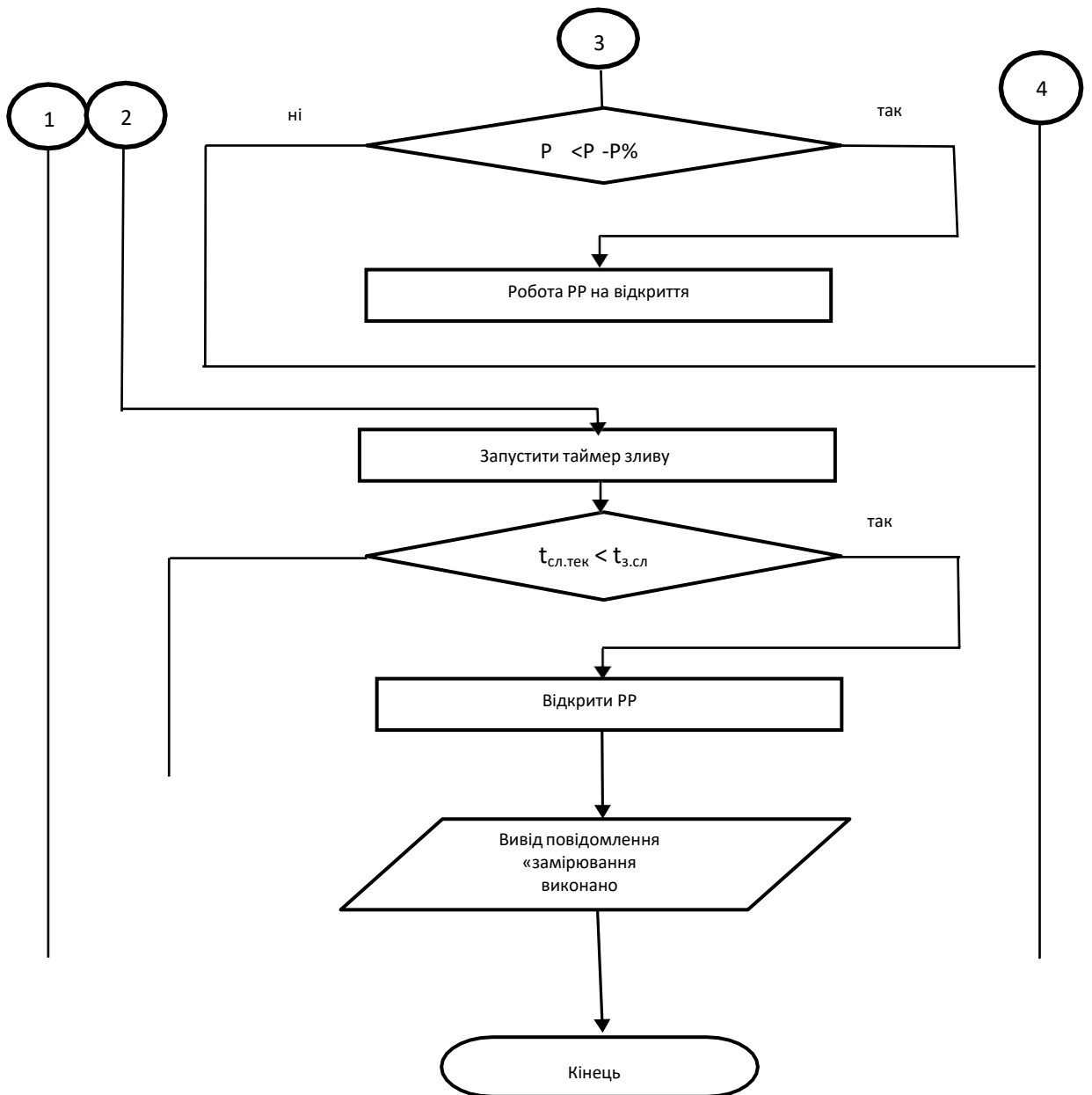


Рисунок 5.2 – Алгоритм керування виміром газу

5.2 Розробка програми управління рівнем води

Для розробки програми управління необхідно розробити проект і конфігурацію Hardware.

Конфігурація контролера представлена рисунку 5.3.

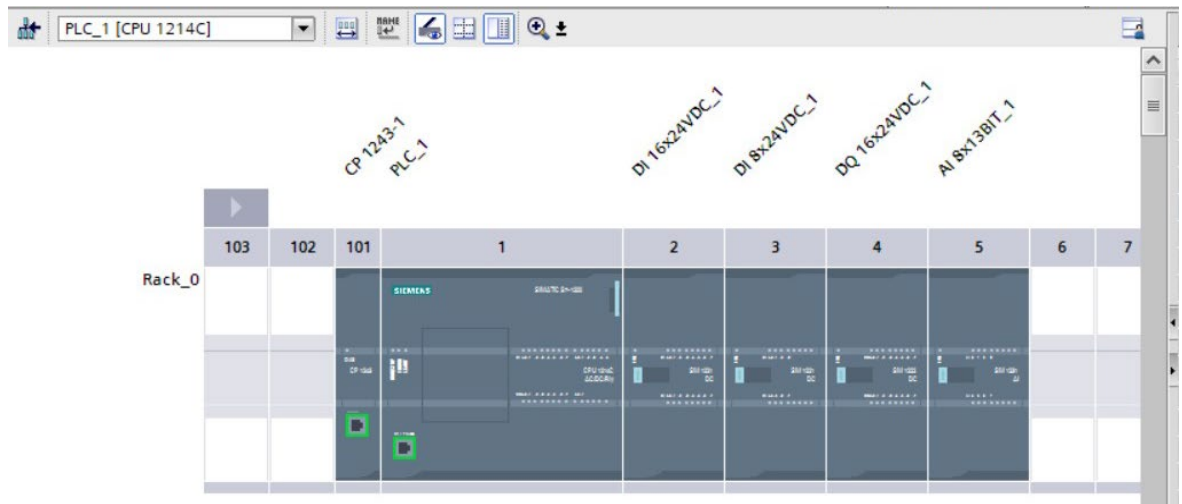


Рисунок 5.3 – Конфігурація контролера

Для написання логіки контролера необхідно заповнити таблицю тегів рисунку 5.4.

Default tag table							
Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	v1_open	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	v2_open	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	v3_open	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	v1_close	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	v2_close	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	v3_close	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	v1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	v2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	v3	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	lahh	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	lall_1	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	lall_2	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	PI	Int	%IW3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	PI	Int	%IW5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	fluid flow	Bool	%I1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	gas flow	Bool	%I1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	shutoff_valve_in_open	Bool	%I2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	shutoff_valve_in_close	Bool	%I2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	shutoff_valve_col_open	Bool	%I2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	shutoff_valve_col_close	Bool	%I2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 5.4 – Таблиця тегів

На рисунку 5.5 представлена НМІ (Human-Machine interface) керування рівнем води в вимірювальному сепараторі.

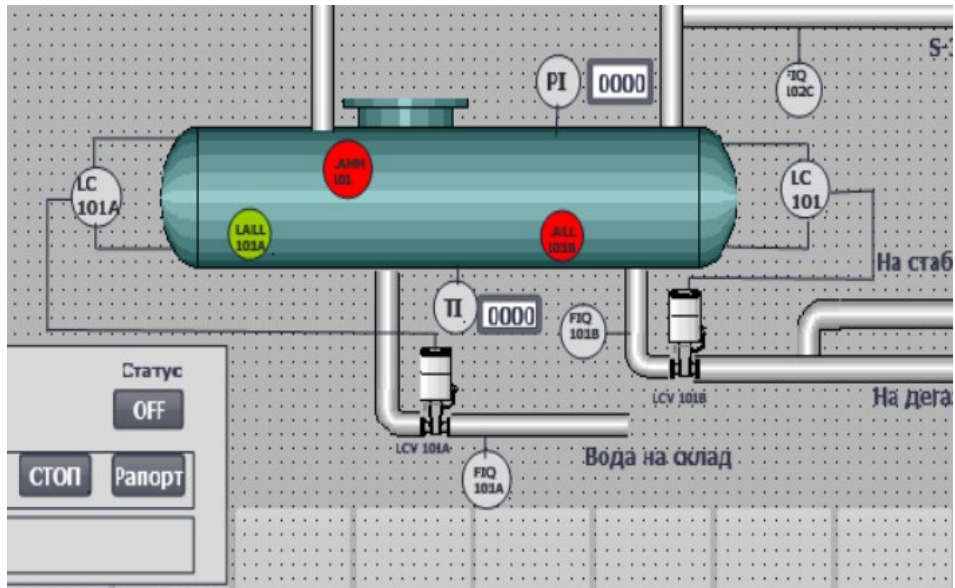


Рисунок 5.5 – Human-Machine interface

Програма управління ГРС починається з обробки аналогових та дискретних сигналів рисунок 5.6.

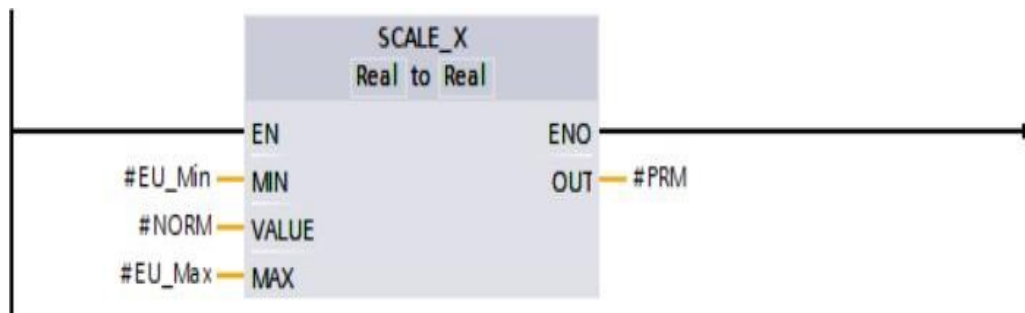


Рисунок 5.6 – Перетворення аналогового сигналу

Далі проводиться масштабування сигналу в межах вимірювання датчика і порівняння з аварійними значеннями рисунку 5.7.

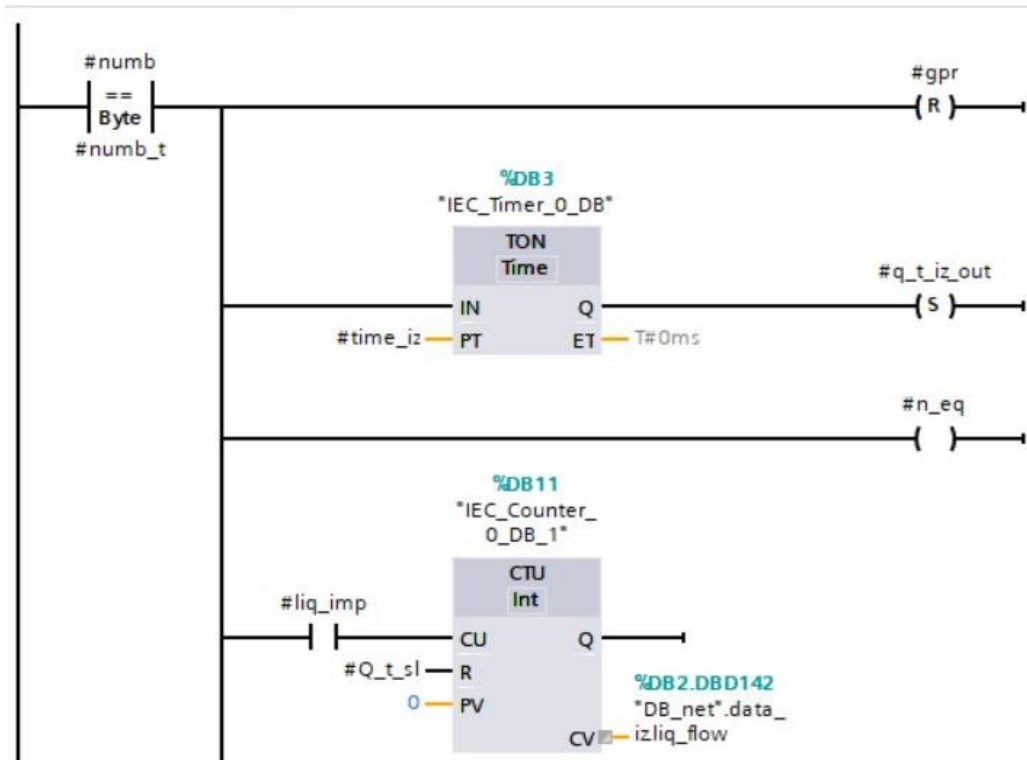


Рисунок 5.7 – Видача повідомлення про аварійні значення

Управління сепаратором та гідроприводом починається з перевірки установки ГРС в авторежим і за наявності сигналу включається гідропривід і відкриття клапанів рисунок 5.8.

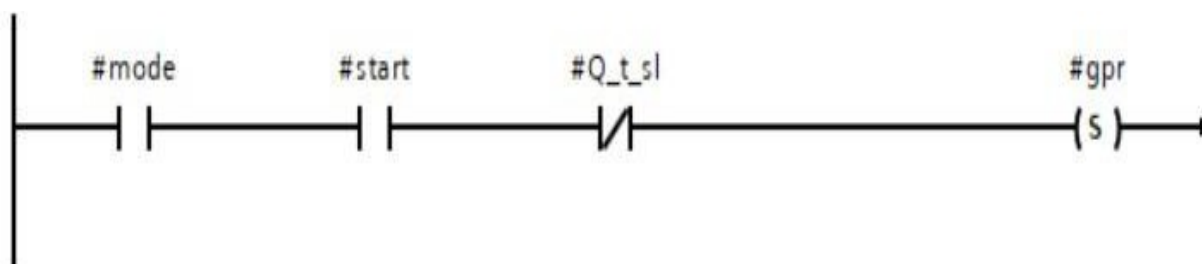


Рисунок 5.8 – Включення гідроприводу

Після закінчення часу таймера виміру включається таймер зливу рідини та відкривається регулятор рідини рисунок 5.9.

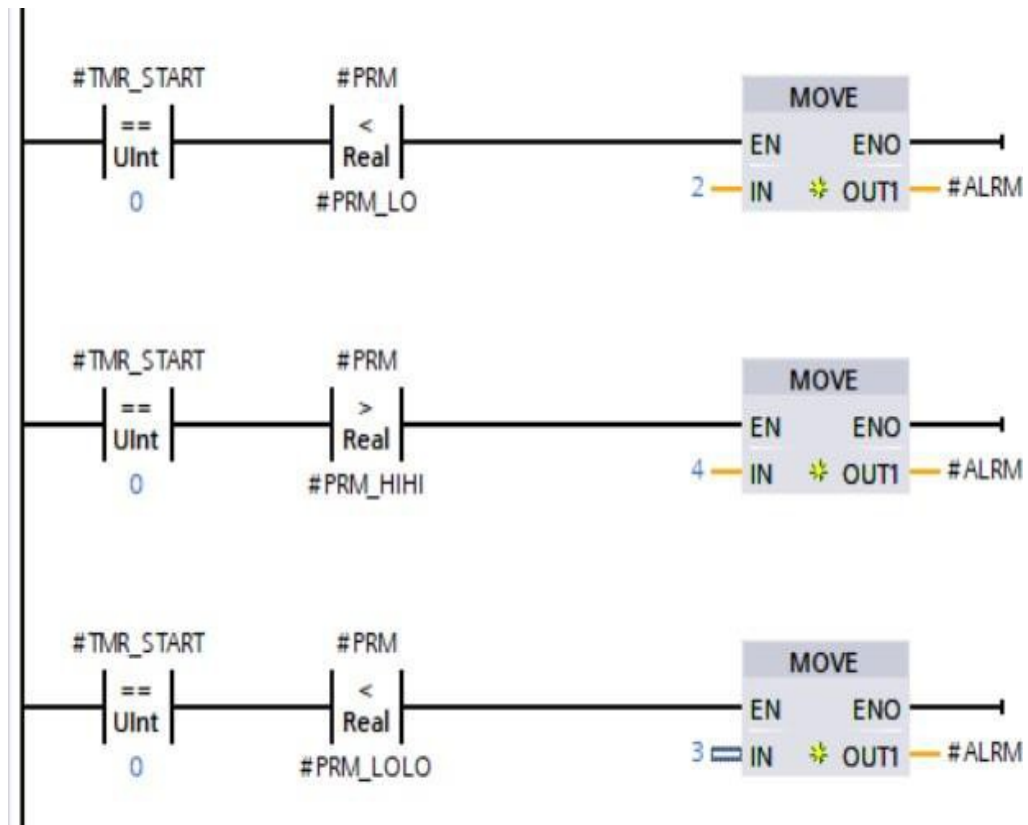


Рисунок 5.9 – Запуск таймера заміру

У процесі розробки системи управління газорозподільною станцією було реалізовано комплексний підхід, що поєднує апаратне забезпечення та програмне керування.

На першому етапі виконано детальний підбір обладнання та конфігурацію контролера, який включає необхідні модулі для обробки всіх типів сигналів - від аналогових датчиків тиску, рівня та температури до дискретних сигналів керування клапанами та гідроприводом.

Для забезпечення ефективної роботи системи розроблено детальну таблицю тегів, яка дозволяє чітко зв'язати фізичні пристрої з програмною логікою. Особливу увагу приділено створенню інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу оператора (НМІ), що надає зручні інструменти для моніторингу стану системи та ручного керування у разі необхідності.

Висновки до розділу

Програмна частина реалізована з урахуванням усіх технологічних вимог. Система починає роботу з обробки вхідних сигналів, включаючи їх масштабування та перевірку на відповідність допустимим межах. При виявленні аварійних значень автоматично генерується відповідне повідомлення для оператора.

Алгоритм керування передбачає автоматичний запуск гідроприводу та керування клапанами при активації відповідного режиму роботи, а також використання таймерів для контролю тривалості основних технологічних операцій.

Розроблена система має ряд важливих переваг, серед яких можна відзначити високу ступінь автоматизації основних процесів, гнучкість у керуванні та можливість подальшого розширення функціоналу.

Вона забезпечує надійний контроль ключових параметрів роботи ГРС та оперативне реагування на будь-які відхилення від нормального режиму.

Для подальшого вдосконалення системи рекомендується провести додаткові тестові випробування в різних режимах роботи, а також розглянути можливість резервування критично важливих компонентів.

Особливу увагу слід приділити налаштуванню параметрів регулювання для досягнення оптимальної точності керування. Запропоноване рішення повністю відповідає сучасним вимогам до автоматизації технологічних процесів і може бути успішно впроваджене на об'єкті.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено комплексне дослідження системи автоматизації газорозподільної станції, спрямоване на оптимізацію ключових технологічних процесів підготовки та розподілу природного газу. Газорозподільні станції є складними технологічними комплексами, де основним завданням є підготовка газу до подальшого транспортування та споживання, включаючи регулювання тиску, очищення від механічних домішок і вологи, одоризацію та точний облік кількості транспортуваного газу. Автоматизація цих процесів за допомогою сучасних засобів контролю, таких як програмовані логічні контролери, SCADA-системи та високоточні датчики, дозволяє значно підвищити ефективність, точність і безпеку роботи станції.

Особливу увагу приділено обґрунтуванню методів управління, зокрема регулюванню тиску газу, де запропоновано комбінований підхід із використанням електронних регуляторів і пневматичних виконавчих механізмів, що забезпечує точність підтримки заданого тиску з похибкою не більше $\pm 2\%$. Для очищення газу від домішок запропоновано двоступеневу систему сепарації, яка поєднує гравітаційний сепаратор для відділення великих частинок і коалесцентні фільтри для уловлювання дрібнодисперсних часток, що дозволяє досягти ступеня очищення до 99,8%. Важливим результатом став порівняльний аналіз методів регулювання рівня рідини в газових сепараторах, який показав переваги PID-регулятора перед традиційними PI та P-регуляторами завдяки меншому перерегулюванню (7,35% проти 15,1%) та більшій стабільності роботи.

Математичне моделювання та ідентифікація об'єкта керування дозволили розробити детальну модель сепаратора як інерційної ланки першого порядку з постійною часу 0,59 с і коефіцієнтом посилення 1,0 с/м². Отримана передавальна функція на основі реальних виробничих даних стала основою для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання. Моделювання в середовищі Matlab Simulink підтвердило ефективність запропонованого PID-регулятора, який забезпечує оптимальний контроль рівня рідини в сепараторі, запобігаючи

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надмірному перерегулюванню та забезпечуючи швидке досягнення заданого режиму.

Важливим етапом роботи стала розробка проектної документації, де запропоновано трирівневу архітектуру АСУТП, що включає нижній рівень датчиків і виконавчих механізмів, середній рівень промислових контролерів та верхній рівень SCADA-системи для візуалізації та диспетчеризації. Для реалізації системи обрано сучасні технічні засоби автоматизації, такі як витратоміри Rosemount 3051SFC з точністю $\pm 0,1\%$, датчики тиску Yokogawa EJX530A з похибкою $\pm 0,04\%$, радарні рівнеміри Rosemount 5301 для вимірювання рівня поділу газ-вода та регулюючі клапани Baumann 24000SVF із захистом від кавітації.

Програмна частина роботи включала розробку алгоритмів керування гідроприводом і вимірюванням газу з використанням PLC та HMI-інтерфейсу, що забезпечує автоматичне регулювання рівня води в сепараторі та оперативне реагування на аварійні ситуації. Запропонована система відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації та може бути успішно впроваджена на газорозподільних станціях для підвищення їх ефективності, надійності та безпеки. Перспективи подальших досліджень включають впровадження предиктивних алгоритмів управління, інтеграцію технологій промислового Інтернету речей та використання штучного інтелекту для аналізу великих даних і прогнозування відмов обладнання.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ Б В.2.5-32:2018 "Системи газопостачання. Газорозподільні станції. Вимоги до проектування та експлуатації". - Київ, 2018. - 45 с.
2. Петренко В.І., Ковальчук М.П. "Автоматизовані системи управління в газовій промисловості". - Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2019. - 312 с.
3. Шевчук В.М. "Сучасні системи контролю тиску в газорозподільних мережах". - Київ: Техніка, 2020. - 215 с.
4. Білецький В.С. "Автоматизовані системи комерційного обліку газу". - Дніпро: НГУ, 2021. - 178 с.
5. Гончаренко О.І. "Цифрові технології в управлінні газотранспортними системами". - Харків: ФОП Петров, 2022. - 264 с.
6. Мазур О.П. "Безпека автоматизованих газорозподільних систем". - Одеса: Астропринт, 2021. - 192 с.
7. Сидорук В.Г. "Автоматизація технологічних процесів нафтогазового комплексу". - Київ: Політехніка, 2020. - 278 с.
8. Мельник О.В., Шевченко Р.А. "Програмування промислових контролерів для систем автоматизації". - Харків: ХНАДУ, 2021. - 184 с.
9. Бойко І.М., Захарчук В.П. "Сучасні системи SCADA в промисловості". - Дніпро: НГУ, 2022. - 256 с.
10. Григор'єв В.С., Павленко Ю.О. "Проектування газорозподільних станцій та мереж". - Одеса: ОНАЗ, 2021. - 320 с.
11. Коваленко С.М. "Інтелектуальні системи управління газовими мережами". - Київ: КПІ, 2022. - 305 с.
12. Захарченко В.І. "Моделювання технологічних процесів газорозподільних станцій". - Львів: Українські технології, 2020. - 248 с.
13. Поліщук Р.Б. "Енергоефективні технології в газопостачанні". - Івано-Франківськ: Факел, 2021. - 194 с.

					БР.АКП-67.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		