

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ

Група АКПзд-23-2К

Роман Луців

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

Луців Роман Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація процесу осушення природного газу

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

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

(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

асистент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І.Лагойда

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПзд-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Р.І.Луців

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М.І.Когутяк

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

В.С.Борин

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ - 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ.

_____/Лагойда А.І./

«____» _____ 2025 р

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

Луціву Роману Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація процесу осушення природного газу

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

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від « 07 » травня 20 25 року № 53/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025 року

3. Вихідні дані до роботи Технологічний регламент, літературні джерела

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз процесу осушення природного газу, як об'єкта автоматизації. Синтез системи керування процесом абсорбційної дегідратації природного газу. Технічна реалізація системи керування процесом абсорбційного осушення природного газу. Розробка SCADA – системи процесу осушення природного газу

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

Лист 1 – Технологічна схема абсорбційного осушення газу – БР.АКПзд-34.00.00.000 01

Лист 2 - Синтез одноконтурної АСК – БР.АКПзд-34.00.00.000 02

Лист 3 - Синтез каскадної АСК – БР.АКПзд-34.00.00.000 03

Лист 4 - Блок-схема керування абсорбцією – БР.АКПзд-34.00.00.000 04

Лист 5 - Інтерфейс панелі керування абсорбцією газу – БР.АКПзд-34.00.00.000 05

Лист 6 - Функціональна схема автоматизації – БР.АКПзд-34.00.00.000 06

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06 листопада 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз процесу осушення природного газу, як об'єкта автоматизації	25 березня 2025	
2	Синтез системи керування процесом абсорбційної дегідратації природного газу	15 квітня 2025	
3	Технічна реалізація системи керування процесом абсорбційного осушення природного газу	05 травня 2025	
4	Розробка SCADA – системи процесу осушення природного газу	30 травня 2025	

Студент _____
(підпис)

Р.І.Луців _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

В.С.Борин _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розглядається автоматизація процесу осушення газу, що є важливим етапом у нафтогазовій, газопереробній та газовидобувній промисловості. Метою дослідження є розробка та впровадження комплексної автоматизованої системи керування, яка забезпечує стабільне й ефективне осушення газу відповідно до заданих технологічних параметрів. Основна суть проектування системи автоматизації процесу осушення газу полягає у розробці та впровадженні інтегрованої системи, яка забезпечує ефективний контроль, управління та моніторинг технологічного процесу з метою досягнення оптимальних робочих параметрів, а також гарантування безпеки й підвищення продуктивності.

У роботі виконано конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування, розроблено схему інформаційно-матеріальних потоків, а також функціональну схему автоматизації з визначенням вхідних і вихідних сигналів. Розроблені алгоритми керування та інтерфейсні панелі сприяють оптимізації процесу, підвищенню надійності й безпеки експлуатації. Запропоноване рішення дозволяє мінімізувати людський фактор, знизити енергетичні витрати та забезпечити стабільну якість кінцевого продукту.

Ключові слова: абсорбція, алгоритм, виконавчий механізм, датчик, осушення, природний газ, система керування

ABSTRACT

The bachelor's thesis considers the automation of the gas drying process, which is an important stage in the oil and gas, gas processing and gas production industries. The purpose of the research is to develop and implement a comprehensive automated control system that ensures stable and efficient gas drying in accordance with the specified technological parameters. The main essence of designing an automation system for the gas drying process is to develop and implement an integrated system that provides effective control, management, and monitoring of the technological process in order to achieve optimal operating parameters, as well as guarantee safety and increase productivity.

The work includes a structural and technological analysis of the control object, a diagram of information and material flows, as well as a functional automation diagram with the definition of input and output signals. The developed control algorithms and interface panels contribute to process optimization, increased reliability and operational safety. The proposed solution allows minimizing the human factor, reducing energy costs and ensuring stable quality of the final product.

Keywords: absorption, algorithm, actuator, sensor, dehumidification, natural gas, control system

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1. Призначення технологічної установки та принцип дії процесу абсорбції.....	10
1.2. Аналіз технологічної схеми установки осушення природного газу.....	11
Висновки до розділу.....	14
2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОЇ ДЕГІДРАТАЦІЇ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	16
2.1 Експериментальне дослідження динаміки об'єкта автоматичного керування під дією аперіодичних збуджень.....	16
2.2 Визначення динамічних параметрів керованого об'єкта на основі аналізу його експериментальних перехідних характеристик.....	17
2.3 Синтез та аналіз АСК абсорбційною осушкою газу.....	18
Висновок до розділу.....	23
3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОГО ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ.....	25
3.1 Розробка функціональної схеми абсорбційного осушення газу.....	25
3.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	26
Висновки до розділу.....	39
4 РОЗРОБКА SCADA – СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	40
4.1 Проектування алгоритму функціонування системи.....	40

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Луців Р.І			Автоматизація процесу осушення природного газу Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Борин В.С.				6	55	
Реценз.		Когутяк М.І.				ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Лагойда Л.І.				АКПзд-23-2К		
Затверд.		Лагойда А.І.						

4.2 Розробка SCADA-системи процесу абсорбції.....	47
Висновок до розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	54

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ПСГ — підземні сховища газу;
ПК — персональний комп'ютер;
ДЕГ — діетиленгліколь;
ПЛК — програмований логічний контролер;
БЖ — блок живлення;
ЧП — частотний перетворювач;
НМІ — графічний інтерфейс користувача;
ОК - об'єкт керування;
ФСА - функціональна схема автоматизації;
ВП — виконавчий пристрій;
ТЗА - технічні засоби автоматизації.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Упродовж останньої чверті ХХ століття, після нафтової кризи 1970-х років, відбулося переосмислення підходів до використання джерел вуглеводневої сировини [1]. Було усвідомлено, що запаси нафти на планеті є обмеженими та не відновлюваними. Природа сформувала значні об'єми органічної речовини ще до появи людства, законсервувавши їх у вигляді стабільних сполук у земній корі.

Енергетична криза спричинила зростання інтересу до природного газу як альтернативного джерела вуглеводневої сировини. Відомі розвідані запаси природного газу перевищують запаси нафти, а його основні компоненти — метан та етан — можуть додатково утворюватися у процесах біотрансформації біомаси рослинного й тваринного походження, а також при переробці інших видів органічної сировини. Таким чином, природний газ розглядається як перспективне джерело як енергії, так і хімічної сировини, яке має ознаки відновлюваності.

На сучасному етапі природний газ використовується переважно як енергетичне паливо. Газотурбінні та теплові електростанції, що працюють на природному газі, характеризуються високою екологічною безпекою, а пропан-бутанова фракція активно застосовується у побуті та як паливо для транспорту. У металургійній промисловості метан використовується як відновник, проте масштаби хімічної переробки природного газу залишаються вкрай недостатніми. Значна частина супутнього нафтового газу спалюється у факелах, що не лише призводить до втрат цінної сировини, але й спричиняє серйозні екологічні наслідки в регіонах видобутку.

У зв'язку з цим, нагальною є необхідність розробки та впровадження нових технологічних рішень, спрямованих на ефективну переробку легкої вуглеводневої сировини, зокрема природного газу, з отриманням високоцінних хімічних продуктів.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення технологічної установки та принцип дії процесу абсорбції

Одним із критично важливих процесів у підготовці природного газу до транспортування є осушення, яке реалізується шляхом використання абсорбційних апаратів прямоточного та протиточного типу. Метою цього процесу є зниження вмісту водяної пари до рівнів, що відповідають вимогам контрактних умов постачання газу.

Згідно з технічними регламентами, природний газ повинен відповідати наступним якісним параметрам:

1. температура точки роси за вологістю — не вище $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
2. температура точки роси за вуглеводнями — не вище $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при тиску 4,0 МПа упродовж усього року.

Присутність у газі вологи, важких вуглеводнів, кислих компонентів та механічних домішок негативно впливає на ефективність транспортної системи. Зокрема, вона знижує пропускну здатність газопроводів, спричиняє додаткові енергетичні витрати на роботу дотискувальних компресорних станцій, а також прискорює процеси корозії внутрішніх поверхонь обладнання. Особливу небезпеку становить утворення гідратів — твердих кристалічних сполук води з компонентами газу — які можуть спричинити закупорювання апаратів і трубопроводів, зменшуючи їхній ефективний переріз і підвищуючи ризик аварійних ситуацій.

Основним принципом дії установки осушення є абсорбційний процес — масообмінна операція, що полягає у поглинанні парів води з газової фази рідким абсорбентом у спеціальному масообмінному апараті (абсорбері). У даній технологічній схемі як абсорбент використовується діетиленгліколь (ДЕГ), що характеризується високою селективністю до водяної пари.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Під час проходження газової суміші через шар абсорбента водяна пара переходить з газової фази у рідку. У результаті концентрація поглиненого компоненту в газовій фазі зменшується, а в абсорбенті — зростає. Процес триває до досягнення термодинамічної рівноваги, тобто стану, при якому швидкість масопереносу водяної пари з газової фази в рідку дорівнює швидкості зворотного процесу — десорбції.

Таким чином, абсорбція є ефективним і широко застосовуваним методом видалення водяної пари з природного газу, що дозволяє досягти необхідної якості продукту для подальшого транспортування та зберігання.

1.2 Аналіз технологічної схеми установки осушення природного газу

Аналіз технологічної схеми установки осушення природного газу дозволяє виявити функціональні особливості окремих елементів системи, визначити ефективність взаємодії між технологічними вузлами та оцінити здатність системи забезпечувати стабільну якість продукту відповідно до заданих параметрів. Схема передбачає поетапне проходження природного газу через абсорбційний контур, де здійснюється масообмін з абсорбентом (зазвичай діетиленгліколем), та додаткові допоміжні процеси, спрямовані на підтримання оптимальних режимів роботи — зокрема, регенерацію абсорбенту, контроль температури, тиску та рівнів.

Технологічна схема установки осушення природного газу наведена на рисунку 1.1. Вологий газ, який надходить із вузла попередньої очистки та обліку (фільтрувально-сепараційної установки), під тиском 5,5 МПа, температурою 25 °С та витратою 3,334 млн. н.м³/год подається до абсорбційних апаратів типу К-1-1 – К-4-4.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Із вивітрювальних ємностей розчин надходить до наступної групи теплообмінників (Т-8, Т-5, Т-6, Т-7), де його температура підвищується до 115 °С. Нагрітий діетиленгліколь потім подається до випарної колони К-5. У колоні підтримується температурний режим: у верхній частині — 70 °С шляхом подачі рефлюксу, а в нижній — 160–164 °С за рахунок подачі пари з випарників В-1, які отримують тепло від перегрітої пари, що надходить з технологічної котельні (температура 190 °С, тиск 1,3 МПа, витрата 17 200 кг/год).

Очищений (регенерований) діетиленгліколь насосами типу Н-3 подається в затрубну частину теплообмінників, де проходить поступове охолодження з 160 °С до 60 °С. Після охолодження розчин надходить до проміжних ємностей Е-1, звідки насосами Н-1 подається назад до абсорберів.

Пари з верхньої частини випарної колони, що складаються з водяної пари, десорбованих газів та легких вуглеводневих фракцій, надходять у водяні холодильники Х-1 – Х-4, де охолоджуються з 70 °С до 35 °С. При цьому пари конденсуються та надходять до ємностей конденсату Е-3, у яких відбувається поділ фази на газоподібну і рідинну. Газова фаза відкачується насосами Н-4, тоді як рефлюкс розділяється на дві частини: одна повертається в якості зрошення у випарну колону за допомогою насосів Н-2, інша — спрямовується в горизонтальні розділювачі Р-1 та надалі — на очисні споруди.

2.3 Контрольовані і регульовані параметри технологічного процесу та постановка задачі на бакалаврську роботу

На ефективність процесу абсорбції суттєвий вплив мають такі технологічні параметри: концентрація та об'ємна витрата абсорбента, температура та тиск у робочій зоні абсорбера, а також питома витрата абсорбенту відносно оброблюваного газового потоку.

Для забезпечення осушення природного газу до температури точки роси – 10 °С застосовуються водні розчини гліколю з масовою концентрацією в межах 99,0–99,5 %. Рівень концентрації гліколю визначається ефективністю процесу

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

його регенерації. Зокрема, при регенерації діетиленгліколю (ДЕГ) за атмосферного тиску (0,1 МПа) досягається концентрація близько 97,5 %. Для отримання більш високих концентрацій абсорбенту в десорберах створюється вакуум, що сприяє зниженню температури кипіння і покращенню ступеня відгонки води.

Оптимальна концентрація гліколю визначається з урахуванням умов фазової рівноваги між тиском насичених парів води над розчином гліколю та вмістом вологи в газовій фазі при заданій температурі контакту. Об'ємна витрата гліколю, що подається до групи абсорберів, залежить від тиску та температури в зоні масообміну й зазвичай знаходиться в межах 25–35 м³/год.

Основними задачами удосконалення автоматизації даного технологічного процесу є:

1. Забезпечення стабільної якості осушеного газу відповідно до заданих параметрів, що гарантують належний перебіг процесу осушення;
2. Зниження ризику аварійних ситуацій і непередбачуваних подій за рахунок впровадження автоматизованої системи контролю та сигналізації;
3. Підвищення продуктивності праці операторів шляхом мінімізації їхнього безпосереднього втручання у технологічний процес;
4. Створення сучасної системи керування з оптимальним вибором засобів автоматизації;
5. Розробка графічного інтерфейсу користувача, який спрощує управління технологічним процесом.

Висновки до розділу

У даному розділі бакалаврської роботи наведено основні параметри контролю і регулювання, а також здійснено структурно-функціональний аналіз технологічної схеми установки.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Ефективність функціонування системи керування процесом осушення визначається, з одного боку, якістю досягнутого рівня дегідратації газу, а з іншого — експлуатаційними витратами, які прямо впливають на собівартість кінцевого продукту.

Проведений аналіз показує, що досягнення стабільної якості осушеного газу з параметрами, які відповідають стандартам, ускладнюється через низький рівень автоматизації існуючої установки. У зв'язку з цим у межах даної роботи запропоновано концепцію модернізації системи керування, який дозволяє ефективно підтримувати ключові параметри абсорбційного процесу на оптимальному рівні.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОЇ ДЕГІДРАТАЦІЇ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

2.1 Експериментальне дослідження динаміки об'єкта автоматичного керування під дією аперіодичних збуджень

Об'єктом регулювання є абсорбційна колона, в якій здійснюється осушення природного газу до заданого рівня. Для визначення динамічних характеристик об'єкта існує кілька методів, проте кожен з них включає три основні етапи:

На сучасному етапі вологість осушеного газу на виході з абсорбера виступає єдиним критерієм ефективності роботи даного апарату і підтримується на сталому, заданому рівні. У проєктованій системі автоматизації основна задача полягає у стабілізації вмісту вологи в осушеному газі шляхом регулювання витрати діетиленгліколю (ДЕГ), що подається в абсорбер. При цьому не враховується вплив різноманітних збурень, які викликають із значним часовим запізненням відхилення вмісту вологи в осушеному газі.

З огляду на це, динамічні характеристики керованого об'єкта доцільно визначати експериментальним шляхом.

При визначенні динамічних характеристик керованого об'єкта (КО) на його вхід подають детерміновані збурення у вигляді стрибка, в результаті чого формується перехідна характеристика [8]. Метод базується на припущеннях, що досліджуваний об'єкт є лінійним при незначних варіаціях вхідної змінної, його динамічні властивості сталі у часі, а вихідна змінна не залежить від просторових координат.

Для аналізованого об'єкта визначаються вхідна та вихідна змінні. Вхідною величиною є процент відкриття регулюючого органу (РО). Вихідною змінною для основного контуру приймається витрата діетиленгліколю (ДЕГ), для допоміжного — процентний вміст вологи в осушеному газі.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Особливістю проведення експерименту є необхідність ідентифікації та усунення можливих джерел шумів і збурень під час зняття кривих розгону.

Наступним етапом планування є підготовка апаратури для реєстрації зміни вихідної змінної. Рекомендується використовувати спеціалізовані реєструючі прилади з розтягнутою прямокутною шкалою, що забезпечує широкий діапазон швидкості руху діаграмного бланку.

При плануванні експерименту визначають вид досліджуваного впливу, його амплітуду та початкове значення вихідної змінної. В даному випадку аперіодичним впливом виступає «стрибок» подачі ДЕГ. Амплітуда вхідного впливу вибирається у межах $(0,1-0,15) \cdot \Delta X_{вх.max}$, де $\Delta X_{вх}$ — максимальна зміна вхідної змінної, у разі збурення регулюючим органом — процент переміщення РО [1].

Проведення експерименту починається з встановлення на об'єкті вибраного робочого режиму. Режим, при якому вихідна змінна $X_{вих}$ стабілізується на заданому рівні, витримується протягом 2–2,5 хв для врахування початково повільної динаміки процесу. Потім наносять збурення — відчиняють РО на 10–15 % і реєструють зміну вихідної величини. Експеримент вважається завершеним, коли вихідна змінна починаючи з певного моменту часу залишається практично сталою.

Для визначення кривих розгону було проведено три експерименти. Оскільки отримані криві містили випадкові завади, їх обробка передбачає згладжування для підвищення достовірності результатів.

2.2 Визначення динамічних параметрів керованого об'єкта на основі аналізу його експериментальних перехідних характеристик

Для згладження і усереднення кривих скористаємося методикою, яка полягає у використанні методу четвертих різниць. Суть методу в апроксимації п'ятох сусідніх точок перехідної функції параболою другого порядку, коефіцієнти якої знаходяться методом найменших квадратів.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Значення згладженої по методу четвертих різниць перехідної функції в точці “і” визначаються за формулою:

$$h(i) = h(i) - \frac{1}{12} [h(i-2) - 4h(i-1) + 6h(i) - 4h(i+1) + h(i+2)], \quad (2.1)$$

де $h(i)$ значення спотвореної перешкодами експериментальної перехідної функції в точці i ($i=2,3,\dots,n-3, n-2$).

Два перші і два останні значення згладженої перехідної функції знаходяться за наступними формулами:

$$h(0) = h(0) - \frac{1}{5} [h(0) - 3h(1) + 3h(2) - h(3)] + \frac{1}{12} [h(0) - 4h(1) + 6h(2) - 4h(3) + h(4)] \quad (2.2)$$

$$h(1) = h(1) + \frac{2}{5} [h(0) - 3h(1) + 3h(2) - h(3)] - \frac{1}{7} [h(0) - 4h(1) + 6h(2) - 4h(3) + h(4)] \quad (2.3)$$

$$h(n-1) = h(n-1) - \frac{2}{5} [h(n-3) - 3h(n-2) + 3h(n-1) - h(n)] - \frac{1}{7} [h(n-4) - 4h(n-3) + 6h(n-2) - 4h(n-1) + h(n)] \quad (2.4)$$

$$h(n) = h(n) + \frac{1}{5} [h(n-3) - 3h(n-2) + 3h(n-1) - h(n)] + \frac{1}{12} [h(n-4) - 4h(n-3) + 6h(n-2) - 4h(n-1) + h(n)] \quad (2.5)$$

В результаті згладження та усереднення експериментальних перехідних характеристик, апроксимуючи криві розгону, отримано передавальні функції по основному каналу:

$$W(p) = \frac{1}{6733.125p^2 + 140.199p + 1}, \quad (2.6)$$

та допоміжному каналу:

$$W(p) = \frac{-11,373p + 1}{5350.734p^2 + 131.852p + 1} \quad (2.7)$$

2.3 Синтез та аналіз АСК абсорбційною осушкою газу

Одноконтурна система керування.

Структурна схема одноконтурної АСР приведена на рисунку 2.1. Передавальна функція замкнутого контура має вигляд згідно [8]:

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

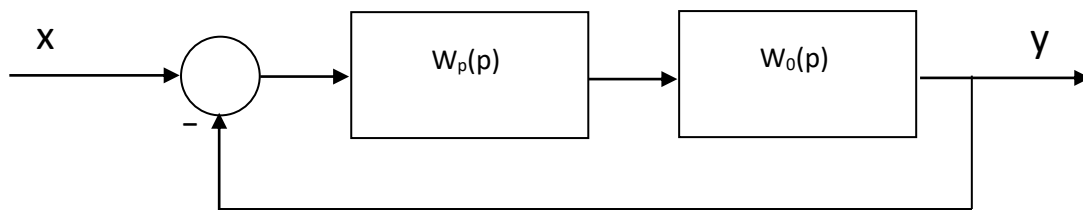


Рисунок 2.1 – Структурна схема одноконтурної АСК

$$W_{з.к}(P) = \frac{W_0(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_0(P) \cdot W_p(P)} \quad (2.8)$$

Підставивши відомі значення $W_0(P)$ і $W_p(P)$, отримуємо передавальну функцію замкнutoї системи

$$W_{з.к}(P) = \frac{\frac{1}{6495.616p^2 + 143.276p + 1} \cdot \frac{6.65p + 0.0402}{p}}{1 + \frac{1}{6495.616p^2 + 143.276p + 1} \cdot \frac{6.65p + 0.0402}{p}}$$

Після алгебраїчних перетворень отримуємо:

$$W_{з.к}(p) = \frac{6.65p + 0.0402}{6495.616p^3 + 143.276p^2 + 7.65p + 0.0402} \quad (2.9)$$

Структурна схема каскадної АСР приведена на рисунку 2.2. Отримаємо еквівалентну передавальну функцію для даної схеми

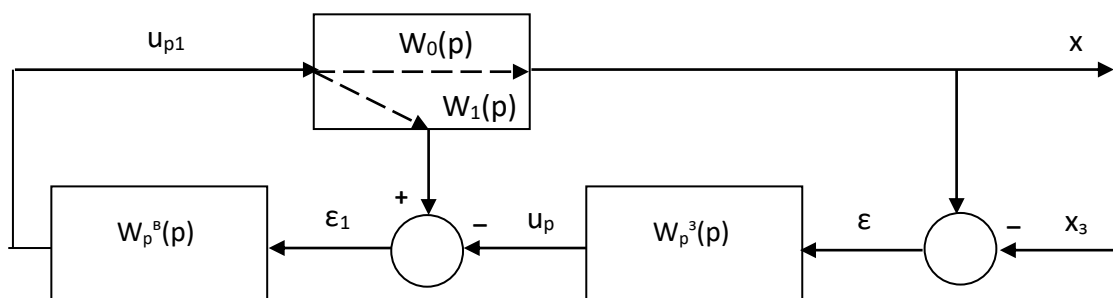


Рисунок 2.2 – Структурна схема каскадної АСР

$$W_e(P) = \frac{W_p^3(P) \cdot W_0(P) \cdot W_p^6(P)}{W_p^3(P) \cdot W_0(P) \cdot W_p^6(P) + W_1(P) \cdot W_p^6(P) + 1} \quad (2.10)$$

Підставимо у формулу (2.10) передавальні функції $W_p^3(P)$, $W_0(P)$, $W_p^6(P)$, $W_1(P)$ і отримаємо:

$$W_e(P) = \frac{\frac{2,114p+0,054}{p} \cdot \frac{1}{6733,125p^2+140,199p+1} \cdot \frac{0,126p+0,0008}{p}}{\frac{2,114p+0,054}{p} \cdot \frac{1}{6733,125p^2+140,199p+1} \cdot \frac{0,126p+0,0008}{p} + \frac{-11,373p+1}{5350,734p^2+131,852p+1} + 1}$$

Після всіх алгебраїчних перетворень і зведення доданків отримаємо:

$$W_e(P) = \frac{1423,29p^4 + 82,686p^3 + 1,706p^2 + 0,0772p + 0,000054}{36027160,86p^6 + 1628315p^5 + 32573,219p^4 + 376,207p^3 + 2,962p^2 + 0,0782p + 0,000054}$$

Стійкість системи перевіримо за критерієм Михайлова. Для цього беремо передавальну функцію замкнутого контуру, формула (2.10) і прирівнюємо знаменник цієї функції до нуля:

$$W_3(p) = \frac{6.65p + 0.0402}{6495.616p^3 + 143.276p^2 + 6.65p + 0.0402}$$

Прирівнюємо знаменник до нуля:

$$6495.616p^3 + 143.276p^2 + 6.65p + 0.0402 = 0$$

Проведемо підстановку $P=j\omega$

$$6495.616(j\omega)^3 + 143.276(j\omega)^2 + 6.65(j\omega) + 0.0402 = 0$$

Виділимо дійсну та уявну частину

$$PW(j\omega) = 0.0402 - 143.276\omega^2$$

$$QW(j\omega) = -6495.616\omega^3 + 7.65\omega$$

Змінюючи частоту ω від 0 до 1000 обчислимо значення $PW=j\omega$ і $QW=j\omega$.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Згідно результатів обчислень будемо годограф Михайлова (рисунок 2.3). З рисунку можна побачити, що за критерієм Михайлова одноконтурна АСР є стійкою, тому що годограф послідовно проходить три квадранта.

Аналогічно перевіряємо даним методом на стійкість каскадну систему керування, а отримані результати зображено на рисунку 2.4.

За критерієм Михайлова каскадна АСК є стійкою, тому що годограф послідовно проходить шість квадрантів .

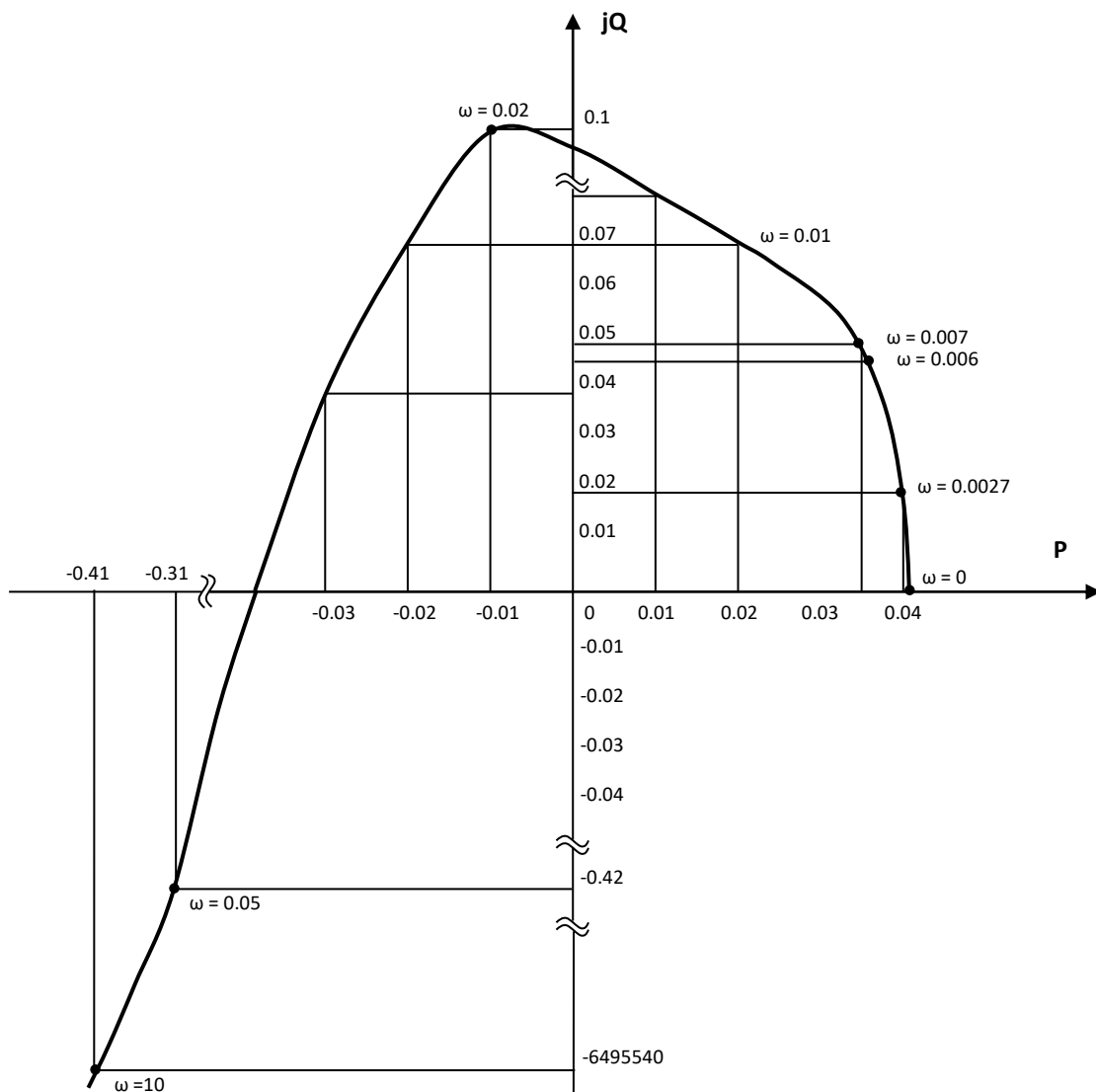


Рисунок 2.3 – Годограф Михайлова для одноконтурної АСР

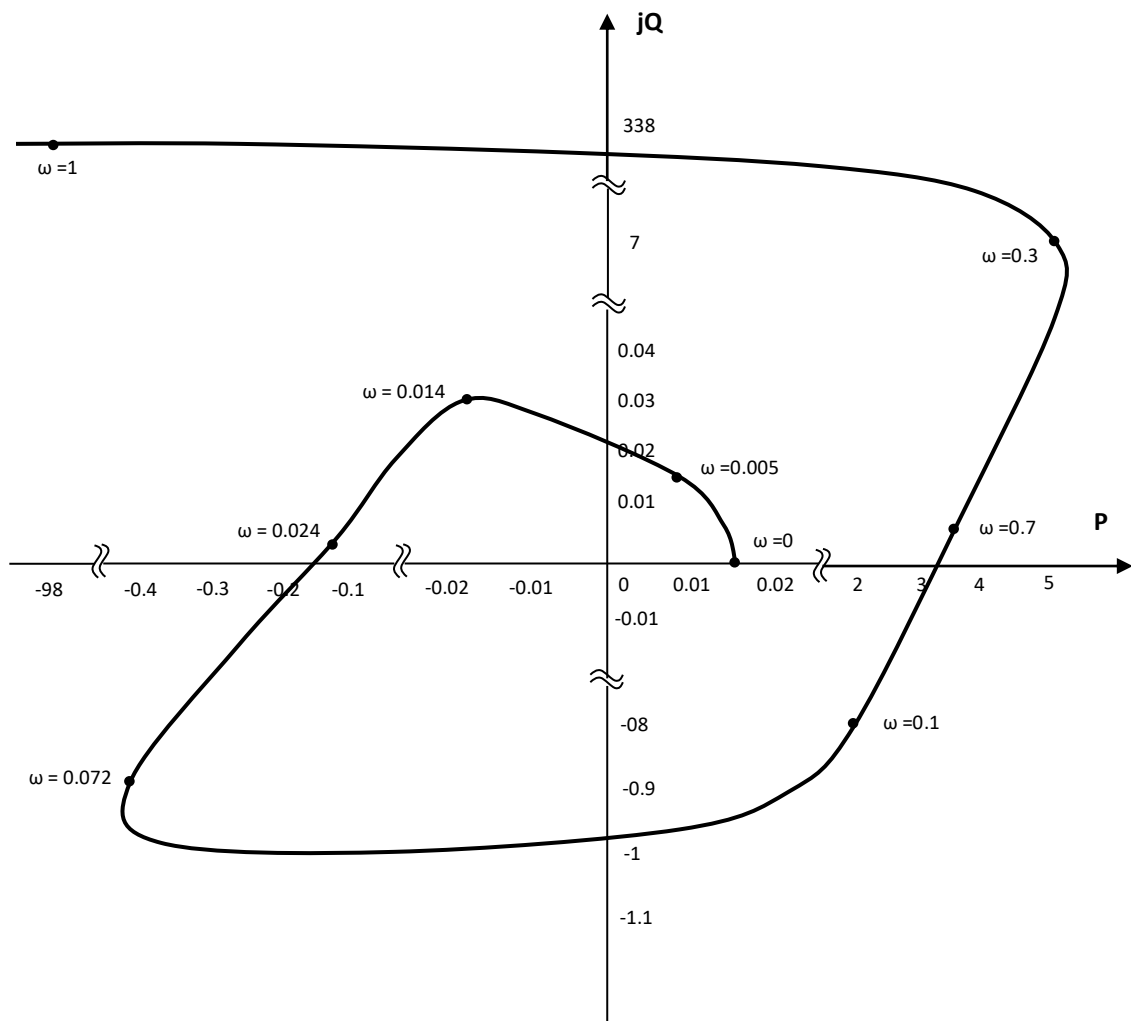


Рисунок 2.4 – Годограф Михайлова, каскадна АСК

Для визначення показників якості регулювання в одноконтурній та каскадній АСК необхідно отримати перехідні характеристики цих систем регулювання. Для цього використано ЕОМ.

Одноконтурна АСК :

1. Перерегулювання

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\sigma = \frac{X_M - X(\infty)}{X(\infty)} \cdot 100\% = \frac{1,32 - 0,9993}{0,9993} \cdot 100\% = 32\% \quad (2.11)$$

2. Ступінь затування

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,32 - 0,08}{0,32} = 0,75 \quad (2.12)$$

3. Час перехідного процесу $t_n = 403,46c$.

4. Час досягнення першого максимуму $t_m = 110c$.

Каскадна АСР :

1. Перерегулювання

$$\sigma = \frac{X_M - X(\infty)}{X(\infty)} \cdot 100\% = \frac{1,26 - 0,9995}{0,9995} \cdot 100\% = 26\% \quad (2.13)$$

2. Ступінь затування

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,26 - 0,06}{0,26} = 0,80 \quad (2.14)$$

3. Час перехідного процесу $t_n = 343,68c$.

4. Час досягнення першого максимуму $t_m = 103c$.

Отже проаналізувавши показники якості по перехідних та частотних характеристиках для одноконтурної і каскадної АСР бачимо, що для каскадної АСР показники якості є кращими за одноконтурну АСР, тому доцільніше використати в даному проекті каскадну автоматичну систему регулювання.

Висновки до розділу

У результаті проведених досліджень у межах даного розділу було здійснено синтез системи автоматичного керування процесом абсорбційного осушення природного газу. Встановлено, що ефективне керування процесом дегідратації безпосередньо впливає на стабільність технологічного режиму, якість готової продукції та економічні показники функціонування установки.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проаналізовано динамічні властивості об'єкта керування — абсорбційної колони — із застосуванням методу аперіодичних (ступінчастих) збурень, що дозволило експериментально отримати перехідні характеристики та визначити основні динамічні параметри системи. Окрему увагу приділено вибору вхідних та вихідних змінних системи керування, враховано вплив збурень та запропоновано підхід до їх компенсації шляхом регулювання витрати діетиленгліколю.

Здійснено обґрунтування вибору структури системи автоматичного керування та її адаптації до реальних умов функціонування установки. Визначено, що застосування сучасних підходів, зокрема методів нечіткого регулювання, дозволяє забезпечити підтримання оптимальних параметрів осушення навіть за наявності складних динамічних впливів та збурень, підвищуючи загальну ефективність процесу.

Отримані результати є основою для подальшої розробки програмно-апаратного комплексу автоматизованого керування та впровадження його у промислові умови експлуатації.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОГО ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

3.1 Розробка функціональної схеми абсорбційного осушення газу

Після аналізу схеми інформаційно-матеріальних потоків об'єкта керування було виокремлено чотири функціональні контури керування, які забезпечують реалізацію завдання з осушення природного газу. До них належать: контур сепарації, контур абсорбції, контур дегазації та контур регенерації. Кожен з названих контурів виконує специфічну функцію, пов'язану із забезпеченням безперервності, стабільності та ефективності відповідного етапу технологічного процесу. Така структурна декомпозиція дозволяє підвищити керованість системи в цілому та забезпечити її адаптацію до змінних виробничих умов.

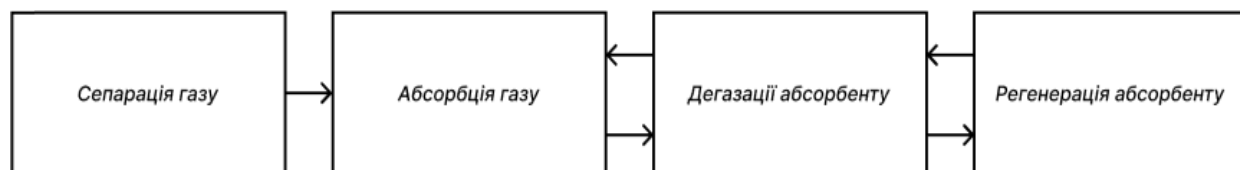


Рисунок 3.1 – Структурна схема процесу абсорбційного осушення природного газу

Контур абсорбції природного відповідає за забезпечення досягнення заданого значення температури точки роси осушеного природного газу. Контролер здійснює опитування датчиків температури та перепаду тиску, які забезпечують моніторинг умов ефективного перебігу процесу. У разі відхилення контрольованих параметрів від заданих значень активується система сигналізації.

Регулювання витрати регенованого діетиленгліколю здійснюється за допомогою датчиків витрати та точки роси, встановлених на лінії відведення осушеного газу, а також датчика витрати осушувача. Отримані дані

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

обробляються програмованим логічним контролером (ПЛК), який формує аналоговий керуючий сигнал на виконавчий механізм (кран), розташований на лінії подачі гліколю в абсорбер.

Підтримання рівня в секціях збору краплинної фази та насиченого гліколю забезпечується за допомогою рівнемірів. Згідно з інформацією, отриманою з цих датчиків, контролер керує електромагнітними клапанами на лініях відведення відповідних фаз.

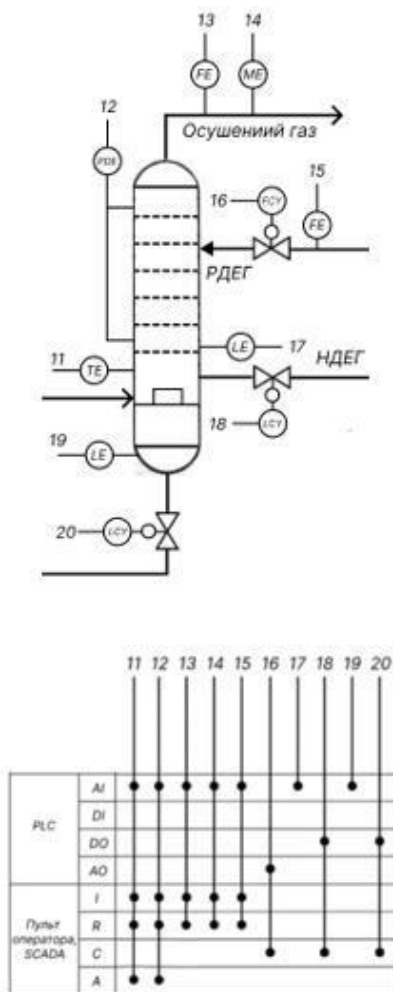


Рисунок 3.2 – Функціональна схема абсорційного осушення газу

3.2 Вибір технічних засобів автоматизації

На основі розробленої функціональної схеми та узагальнених таблиць вхідних і вихідних сигналів здійснено обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації для реалізації системи керування технологічним процесом

осушення природного газу. Система керування структурно поділяється на два рівні: нижній та верхній.

Нижній рівень автоматизованої системи є базовим функціональним рівнем, що включає первинні вимірювальні перетворювачі (датчики) та виконавчі механізми. Його основне призначення полягає у безпосередньому контролі та регулюванні параметрів процесу на технологічному об'єкті. Саме на цьому рівні здійснюється зчитування фізичних величин (температури, тиску, витрати, рівня тощо) та реалізується регулювання за допомогою керуючих впливів на виконавчі пристрої (клапани, насоси тощо).

Верхній рівень виконує функції моніторингу, аналізу та оптимізації процесу. До нього належать пристрої збору, обробки, зберігання інформації, а також засоби інтерактивної взаємодії з оператором через інтерфейс людина-машина (НМІ). У складі цього рівня функціонують програмовані логічні контролери (ПЛК), персональні комп'ютери, комунікаційні модулі та інші компоненти, що забезпечують інтеграцію системи в єдиний комплекс автоматизованого керування.

Таким чином, сформована дворівнева архітектура системи забезпечує як точне регулювання процесу на об'єкті, так і централізоване керування з можливістю аналізу та оптимізації параметрів у реальному часі.

Після порівняльного аналізу різних варіантів датчиків тиску, з урахуванням вимог до точності вимірювання та умов експлуатації, було прийнято обґрунтоване рішення щодо вибору перетворювача тиску РСЕ-28.

Обраний датчик призначений для вимірювання абсолютного та надлишкового тиску газоподібних, пароподібних і рідинних середовищ. Його конструкція базується на п'єзорезистивному чутливому елементі, виготовленому на основі монолітної кремнієвої структури, що забезпечує високу точність та стабільність роботи.

Конструктивне виконання датчика відповідає ступеню захисту IP65, що дозволяє його ефективне застосування у складних промислових умовах.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Додатковою перевагою є можливість реалізації підключення за двопровідною схемою зі стандартним аналоговим вихідним сигналом 4–20 мА, що забезпечує сумісність із більшістю сучасних систем автоматизованого керування.



Рисунок 3.3 – Давач тиску PCE-28

Під час вибору давача перепаду тиску було проаналізовано кілька технічних рішень. Серед розглянутих варіантів було **обрано** диференціальний давач тиску ФКС, який повністю відповідає вимогам до точності вимірювання та наявності стандартного аналогового вихідного сигналу 4–20 мА.

Обраний пристрій побудований на основі високоточних кремнієвих елементів, виготовлених за мікрообробленою технологією. Вбудований високошвидкісний мікропроцесор забезпечує ефективну обробку вимірювальних сигналів, що дозволяє досягти високої швидкодії, точності та стабільності показників під час експлуатації.

Таким чином, давач ФКС є оптимальним рішенням для інтеграції в систему автоматизованого контролю перепаду тиску в умовах абсорбційного осушення природного газу.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рисунок 3.4 – Давач перепаду тиску FKC

Під час вибору давача температури були враховані основні експлуатаційні параметри, зокрема діапазон вимірювання температури в межах робочого процесу та вимоги до точності вимірювань. На підставі порівняльного аналізу доступних рішень було прийнято обґрунтоване рішення обрати температурний давач MBT 3560.

Цей перетворювач температури спеціально призначений для застосування в промислових умовах і відповідає стандарту захисту IP65, що забезпечує надійність роботи в агресивному середовищі. Датчик змонтований у корпусі з нержавіючої сталі, що гарантує його стійкість до корозії та механічних впливів.

Прилад має достатній діапазон вимірювання температури, а також точність, яка відповідає вимогам проєкту. Крім того, давач підтримує двопровідну схему підключення з уніфікованим вихідним аналоговим сигналом 4–20 мА, що забезпечує його сумісність із більшістю систем автоматизації.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 3.5 – Давач температури MBT3560

Для вимірювання витрати в межах даного технологічного процесу доцільним є використання вихрового витратоміра Rosemount 8800. Обґрунтованість вибору цього приладу підтверджується його технічними характеристиками та перевагами в порівнянні з аналогічними засобами вимірювання.

Прилад має конструктивні особливості, що дозволяють ефективно функціонувати в різноманітних робочих середовищах, включаючи агресивні та високотемпературні умови. Широкий діапазон вимірювання витрати в поєднанні з низьким рівнем похибки забезпечує високу точність і надійність результатів вимірювання, що є критично важливим для підтримання стабільності технологічного процесу.

Крім того, витратомір Rosemount 8800 характеризується зручною системою діагностики та обслуговування, що значно полегшує його експлуатацію в умовах промислового виробництва.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 – Давач витрати Rosemount 8800

На основі аналізу технічних характеристик різних типів давачів рівня та оцінки доцільності їх використання в умовах заданого технологічного процесу, було прийнято рішення про застосування ультразвукового давача рівня P43.

У порівнянні з аналогічними пристроями, вибраний давач характеризується нижчим рівнем похибки, доступнішою вартістю, а також необхідним діапазоном вимірювання, що відповідає вимогам процесу. Принцип дії ультразвукового давача ґрунтується на безконтактному вимірюванні, що усуває потребу у прямому контакті з контрольованим середовищем. Це значно підвищує точність вимірювання, зменшує зношення та подовжує строк експлуатації приладу.

Наявність стандартного вихідного сигналу 4–20 мА забезпечує сумісність із більшістю промислових програмованих логічних контролерів (ПЛК), спрощуючи інтеграцію в автоматизовану систему керування та гарантує надійність передавання даних.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 3.6 – Давач рівня PIRP43

Вибір давача точки роси базувався на аналізі його основних характеристик, таких як похибка вимірювання, діапазон роботи, умови експлуатації, а також наявність необхідних інтерфейсів для інтеграції з контролером. Порівнявши параметри сенсорів різних виробників, було зроблено висновок про перевагу використання давача FA510/515.

Цей пристрій спеціально розроблений для застосування у різних установках осушення газу, що є важливою перевагою з огляду на універсальність використання. Давач має високий ступінь захисту за стандартом IP66, що гарантує надійну та стабільну роботу навіть у складних експлуатаційних умовах. Крім того, порівняно з аналогами, FA510/515 вирізняється меншою похибкою вимірювання, що робить його більш доцільним для використання в системах автоматичного контролю якості осушеного газу.

					БР.АКПзД - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Рисунок 3.7 – Давач точки роси 510/515

Для регулювання рівня та тиску планується використовувати клапан відповідного типу. Провівши аналіз різних видів клапанів із урахуванням експлуатаційних умов та економічної доцільності, було прийнято рішення застосувати електромагнітний клапан GEVAX 1901.

Цей клапан призначений для автоматичного припинення або забезпечення потоку різних середовищ, таких як рідини, повітря, пари, нафтопродукти, кислоти, гази та інші речовини. Конструкція клапана передбачає корпус із латуні та внутрішні компоненти з нержавіючої сталі, що забезпечує його довговічність і корозійну стійкість. Клапан типу «нормально закритий» автоматично закривається при відсутності електроживлення, що гарантує безпеку експлуатації. Виробником цього клапана є компанія Gevax.



Рисунок 3.8 – Електромагнітний клапан GEVAX1901

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Для регулювання витрати було прийнято рішення застосувати кульовий кран з електроприводом. Враховуючи тип вихідного сигналу та характеристики виконавчого механізму, обрано модель НК60-Q-3PS.

Даний пристрій оснащений електричним приводом, що забезпечує високий крутний момент для повного відкриття або закриття крана без витоків рідини, газу чи інших середовищ. Кран підтримує три типи приводів: двопозиційний, модулюючий та інтелектуальний, що дозволяє ефективно керувати пристроєм як локально, так і дистанційно. Електроприводи виробництва COVNA сумісні з сигналом зворотного зв'язку 4–20 мА, що забезпечує можливість регулювання кута відкриття клапана та дистанційного моніторингу його положення.



Рисунок 3.9 – Кульовий кран НК60-Q-3PS

Програмований логічний контролер (ПЛК) — це електронний пристрій, призначений для автоматизації технологічних процесів та керування промисловим обладнанням. Конструктивно ПЛК включає мікропроцесор, програмне забезпечення та вхідні/вихідні інтерфейси для підключення зовнішніх датчиків і виконавчих пристроїв.

Основна функція ПЛК полягає у прийомі сигналів від датчиків та інших вхідних пристроїв, їх обробці відповідно до закладеної програми та формуванні керуючих сигналів для виконавчих механізмів, таких як електродвигуни, клапани тощо. ПЛК здатен виконувати різноманітні логічні операції та математичні обчислення, що забезпечує точне та оперативне управління технологічними процесами.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

При виборі ПЛК необхідно враховувати його функціональні можливості, зокрема типи та кількість вхідних і вихідних каналів, які відповідають специфіці керованого процесу. Важливим критерієм також є продуктивність контролера, що визначає його здатність ефективно обробляти інформацію у реальному часі, особливо в складних системах. Не менш важливими є надійність, стійкість до експлуатаційних умов і вартість пристрою.

Аналіз технологічної системи показав, що для нашого процесу осушення газу необхідно забезпечити підключення 20 аналогових входів (AI), 0 дискретних входів (DI), 5 аналогових виходів (AO) та 7 дискретних виходів (DO). Враховуючи особливості промислового процесу, було ухвалено рішення надати перевагу ПЛК, оптимізованому для виконання відповідних завдань автоматизації.

Порівнявши доступні на ринку моделі, вибір було зроблено на користь контролера Mitsubishi FX5U-32MT/ES. Цей ПЛК від компанії Mitsubishi Electric є надійним та компактним рішенням для автоматизації різноманітних промислових процесів.



Рисунок 3.10 – ПЛК Mitsubishi FX5U-32MT/ES

Для розширення кількості аналогових входів до контролера необхідно підібрати відповідний модуль аналогового входу. Для обраного ПЛК доцільно використовувати модулі FX5-8AD, які забезпечують підключення додаткових аналогових каналів і дозволяють реалізувати вимоги щодо загальної кількості аналогових входів у системі.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



Рисунок 3.11 – Модуль Mitsubishi FX5-8AD

Розглядаємо модуль розширення кількості аналогових виходів. Для обраного ПЛК відповідним є модуль FX5-4DA-ADP, який забезпечує додаткові аналогові виходи та розширює функціональні можливості системи керування.



Рисунок 3.12 – Модуль Mitsubishi FX5-4DA-ADP

Для реалізації системи керування з можливістю відображення графічного інтерфейсу було обрано персональний комп'ютер. Такий підхід має низку переваг. По-перше, ПК забезпечує зручний та ефективний інтерфейс для оператора, що дозволяє здійснювати керування технологічним процесом у реальному часі та моніторинг параметрів процесу. По-друге, ПК дає змогу

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

збирати, аналізувати та зберігати великий обсяг даних, що сприяє підвищенню ефективності контролю та оптимізації технологічного процесу. Крім того, з використанням ПК можливо формувати різноманітні звіти та графіки для детального аналізу результатів роботи системи керування.

Для нашої системи обрано персональний комп'ютер QUBE QB у поєднанні з монітором Acer SB241YBI, що забезпечує оптимальне співвідношення вартості та технічних характеристик, необхідних для виконання поставлених завдань. Цей вибір сприятиме реалізації швидкої роботи системи та створенню комфортного робочого місця оператора.



Рисунок 3.13 – QUBEQB та Acer SB241YBI

Для живлення компонентів системи обрано блок живлення виробництва Mean Well. Вибір цього пристрою базувався на аналізі ринку з урахуванням таких ключових параметрів, як потужність, надійність та вартість.

Блок живлення Mean Well призначений для живлення різноманітних пристроїв, зокрема датчиків та елементів системи керування. Використання даного блоку живлення сприяє забезпеченню високої ефективності та стабільної роботи всієї системи. Джерело живлення гарантує стабільну вихідну напругу та оснащено вбудованими захисними механізмами від короткого замикання і перевантажень, що підвищує надійність експлуатації.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рисунок 3.14 – Блок живлення MeanWell

Для керування насосом було обрано частотний перетворювач YINGSHIDA AE-200. Цей пристрій призначений для управління асинхронними електродвигунами потужністю до 2,2 кВт. Перетворювач функціонує від напруги живлення 220 В та підтримує частотний діапазон від 0 до 600 Гц, що забезпечує широкий спектр регулювання швидкості двигуна.

YINGSHIDA AE-200 має компактний конструктив, що полегшує його монтаж на різних поверхнях. Пристрій оснащений вбудованим дисплеєм, який відображає основні параметри роботи: частоту, струм, напругу, швидкість та інші. Крім того, передбачена можливість програмування параметрів як безпосередньо через клавіатуру пристрою, так і за допомогою комп'ютера, що підвищує гнучкість у налаштуванні та експлуатації системи керування насосом.



Рисунок 3.15 – Частотний перетворювач AE-200

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Висновок до розділу

У результаті проведеного аналізу та проектування була сформована структурна схема системи керування, яка включає основні контури управління: сепарації, абсорбції, дегазації та регенерації. Такий підхід забезпечує комплексне управління технологічним процесом осушення газу.

Вибір обладнання для системи керування, зокрема датчиків, виконавчих механізмів, ПЛК та засобів збору і обробки даних, базувався на вимогах до точності вимірювань, надійності, умов експлуатації та функціональних можливостях, що гарантує ефективну та стабільну роботу установки.

Програмований логічний контролер Mitsubishi FX5U-32MT/ES та відповідні модулі розширення забезпечують достатню кількість аналогових і цифрових входів/виходів для реалізації керування всіма параметрами технологічного процесу, що підвищує гнучкість і масштабованість системи.

Використання сучасних частотних перетворювачів для керування насосним обладнанням дозволяє регулювати продуктивність установки з високою точністю, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи загальну ефективність процесу.

Впровадження персонального комп'ютера з графічним інтерфейсом забезпечує зручний моніторинг, збір і аналіз даних у реальному часі, що сприяє оперативному прийняттю управлінських рішень і оптимізації роботи системи.

Загалом технічна реалізація системи керування відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації, забезпечує надійність, точність та ефективність контролю процесу абсорбційного осушення природного газу.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4 РОЗРОБКА SCADA – СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

4.1 Проєктування алгоритму функціонування системи

Алгоритм функціонування системи керування процесом осушення газу, представлений на рисунках 4.1 (а) та 4.1 (б), структурно поділяється на основну програму та низку підпрограм.

На початковому етапі здійснюється ініціалізація системи керування, що включає:

- встановлення зв'язку з зовнішніми пристроями;
- завантаження програми керування;
- конфігурацію модулів вводу-виводу;
- встановлення початкових значень змінних, адрес та таймерів.

Перед запуском системи виконується перевірка ключових параметрів, зокрема тиску та рівня, що забезпечує коректне та безпечне введення системи в експлуатацію.

Після запуску активується виконання окремих підпрограм. Наступним функціональним етапом є моніторинг критичних параметрів перебігу процесу. У разі виявлення їх відхилення за межі допустимих значень формується попереджувальний сигнал із відповідним повідомленням для оператора. Оператор має можливість зупинити процес. Якщо ж критичне відхилення зберігається, а оператор не вживає заходів, здійснюється аварійне зупинення процесу з метою попередження надзвичайної ситуації.

Керування процесами сепарації та абсорбції здійснюється шляхом стабілізації технологічних параметрів, як показано на рисунках 4.2 та 4.3. У процесі регулювання сепарації враховується співвідношення витрати промивної води до об'єму газу. У разі виходу цього показника за допустимі межі формується керуючий вплив на відповідний виконавчий орган.

Для забезпечення регулювання витрати абсорбенту необхідно знати:

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- витрату осушувача,
- об'ємну витрату газу,
- значення точки роси.

На основі цих параметрів розраховується величина керуючого впливу. При регулюванні рівня у відповідних технологічних ємностях опитуються давачі рівня. У разі перевищення або зниження рівня порівняно із заданим значенням, система відповідно активує відкриття або закриття керуючих клапанів.

Для стабілізації параметрів дегазації та регенерації абсорбенту програмований логічний контролер (ПЛК) виконує опитування відповідних сенсорів, обробляє отримані дані і формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Постійно здійснюється моніторинг стану ключових параметрів процесу. У разі виявлення відхилень за межі норми система формує:

- повідомлення оператору з описом події;
- можливість ручного втручання або аварійного зупинення.

Якщо оператор не реагує, а параметри набувають критичних значень — система ініціює аварійну зупинку для запобігання пошкодженню обладнання чи виникненню небезпечних ситуацій.

За результатами аналізу вхідних сигналів від датчиків рівня, тиску, температури тощо система автоматично управляє виконавчими пристроями — клапанами, насосами, компресорами. Регулювання здійснюється за допомогою зворотного зв'язку та алгоритмів пропорційно-інтегрального типу (PI-регуляторів), що забезпечують плавну стабілізацію параметрів.

Загальний алгоритм функціонування системи зображено на рисунках 4.4 та 4.5.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

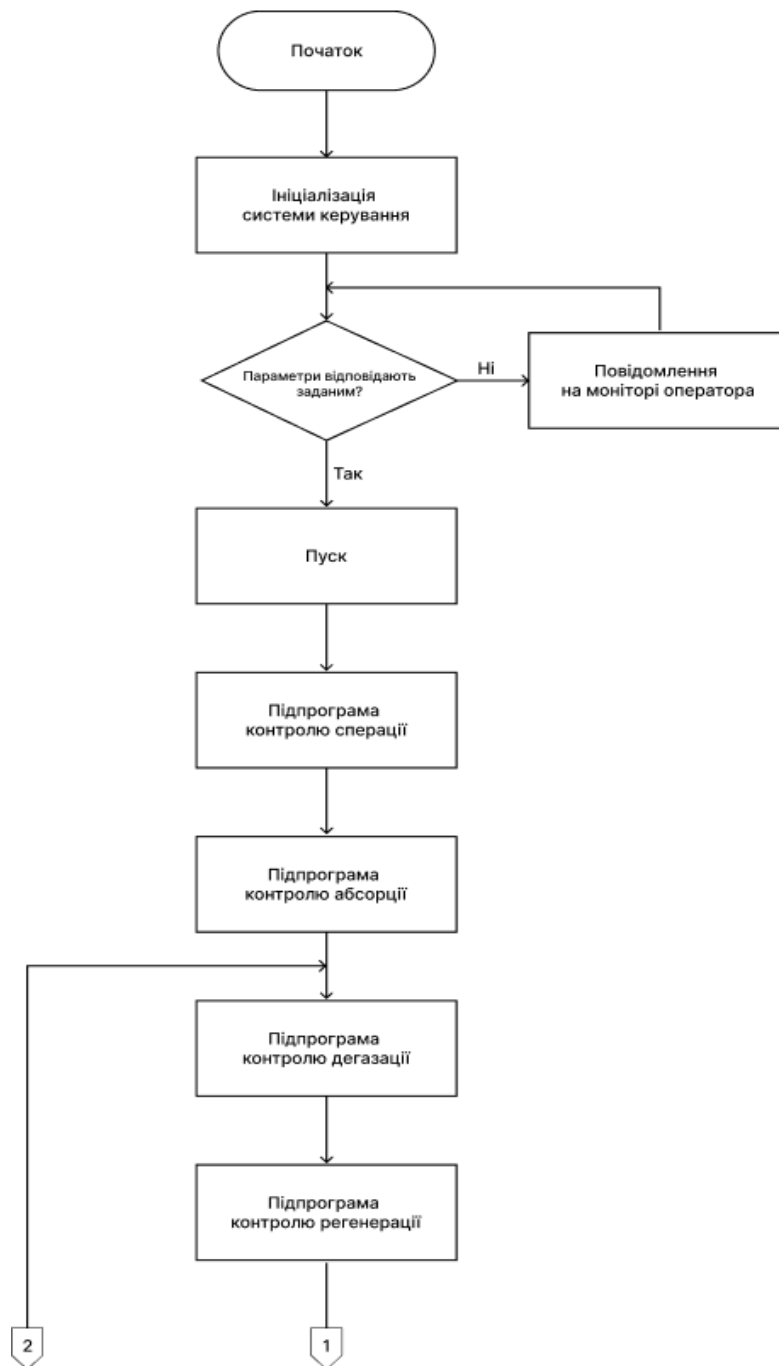


Рисунок 4.1 (а) – Структурна схема алгоритму функціонування основної програми

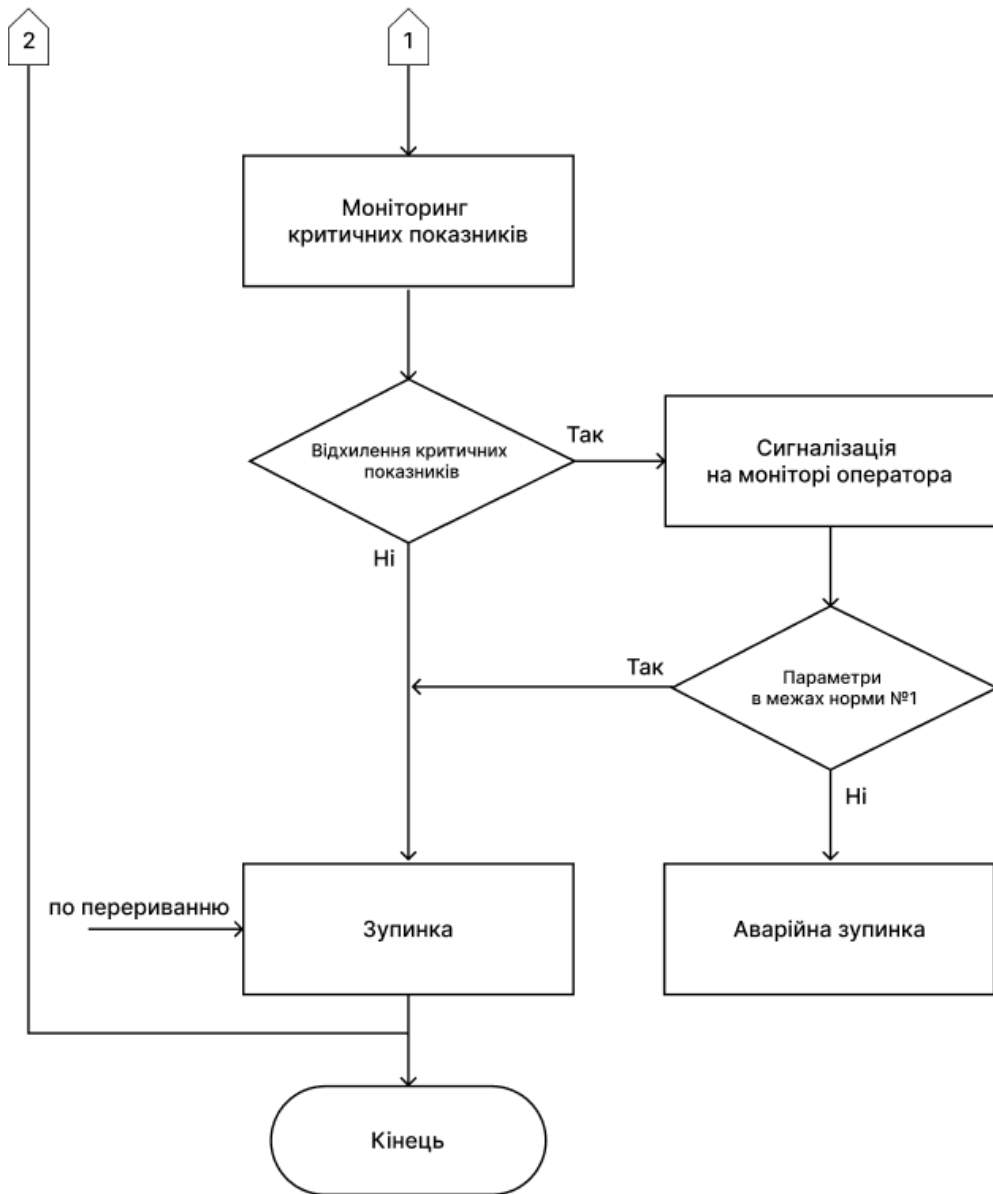


Рисунок 4.1 (б) – Алгоритмічна схема реалізації основної програми

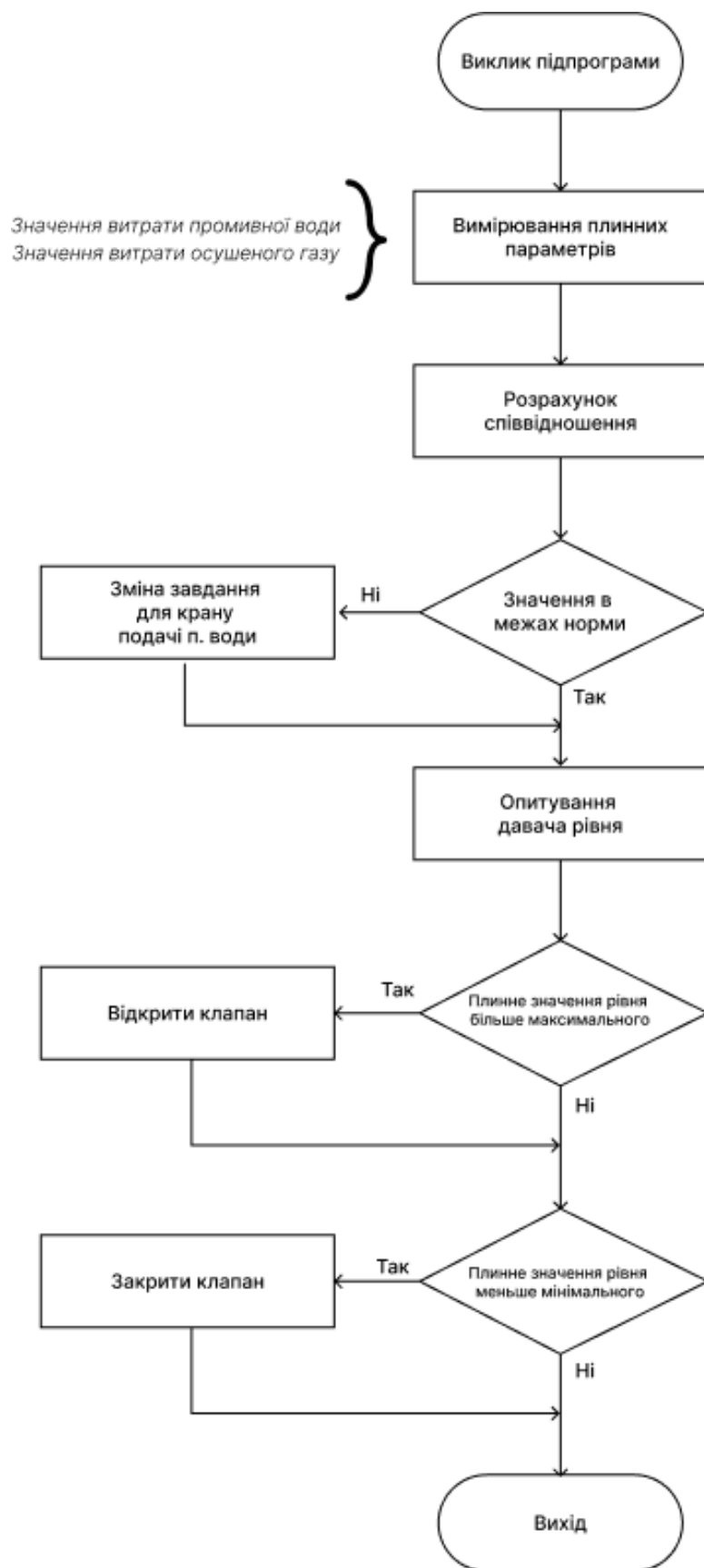


Рисунок 4.2 – Алгоритмічна схема підпрограми керування процесом сепарації



Рисунок 4.3 – Блок-схема логіки функціонування підпрограми керування абсорбцією

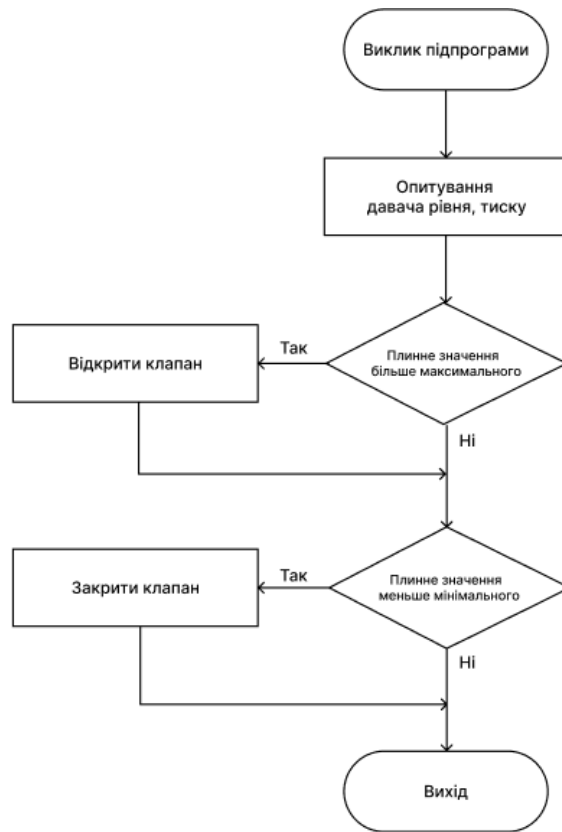


Рисунок 4.4 – Блок-схема логіки функціонування підпрограми керування дегазацією

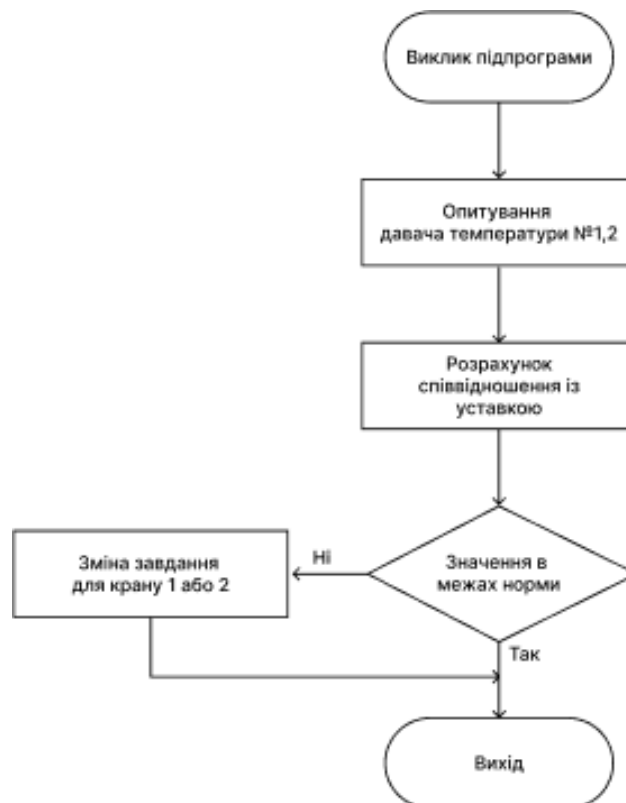


Рисунок 4.5 – Блок-схема логіки функціонування підпрограми керування регенерацією

4.2 Розробка SCADA-системи процесу абсорбції

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — це система контролю та збору даних, призначена для керування технологічними або виробничими процесами в режимі реального часу. Основною метою даної системи є забезпечення надійного та ефективного контролю над складними об'єктами управління.

Основні функціональні задачі SCADA-системи включають:

1. Збір даних, що дозволяє здійснювати подальший аналіз, формувати звітність про роботу системи, виявляти тенденції, оцінювати ефективність і планувати оптимальні стратегії управління;
2. Контроль і керування виконавчими механізмами для забезпечення належного перебігу технологічного процесу та підтримання заданих параметрів;
3. Моніторинг, який дає змогу своєчасно виявляти відхилення технологічних показників і попереджати можливі надзвичайні ситуації;
4. Візуалізація технологічного процесу, що підвищує ефективність роботи операторів і зменшує їх навантаження під час управління об'єктом.

Серед розглянутих варіантів було прийнято рішення обрати Promotic SCADA як програмне забезпечення для реалізації системи керування. Це програмне забезпечення забезпечує широкий функціонал для візуалізації даних, що дозволяє створювати гнучкі та ефективні інтерфейси для моніторингу і управління технологічними процесами. Використання Promotic SCADA дає змогу розробляти інтуїтивно зрозумілі графічні схеми, діаграми, таблиці, графіки та інші візуальні компоненти, які сприяють швидкому сприйняттю та аналізу інформації операторами.

Ключовими факторами вибору Promotic SCADA стали її безкоштовна доступність для реалізації поставлених завдань, а також підтримка широкого спектру комунікаційних протоколів, зокрема Modbus, OPC, Ethernet та інших. Наявність таких протоколів забезпечує можливість інтеграції різноманітних

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

типів програмованих логічних контролерів (ПЛК), зокрема обраного для даного проєкту.

Після завантаження та встановлення програмного забезпечення з офіційного сайту здійснюється запуск програми та створення нового проєкту (рис. 4.6).

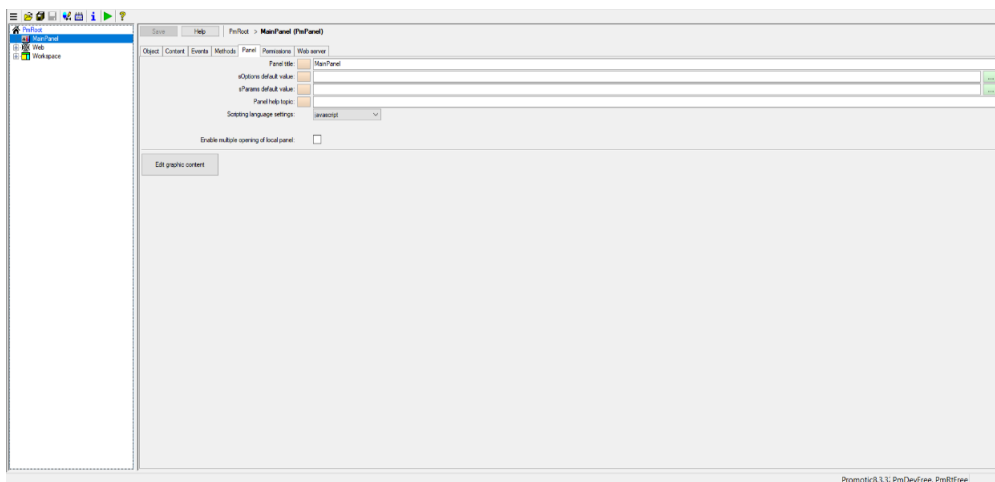


Рисунок 4.6 – Новостворений проєкт

Для покращення сприйняття процесу система була структурована у вигляді кількох підпанелей. Спершу розроблено інтерфейс головної панелі керування, яка забезпечує запуск і зупинку процесу, а також навігацію до інших панелей за допомогою чотирьох кнопок, кожна з яких відповідає певному підпроцесу керування (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – Інтерфейс головної панелі керування

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Наступним етапом створення є панель керування процесом сепарації газу. Для цього до дерева проекту додається файл для збереження змінних, пов'язаних із цією панеллю. Інтерфейс включає схематичне зображення процесу сепарації, показання датчиків та стан виконавчих механізмів. Крім того, реалізовано можливість ручного керування за допомогою кнопок і слайдера, розташованих у правій частині панелі. Також передбачено повернення до головної панелі керування (рис. 4.8).

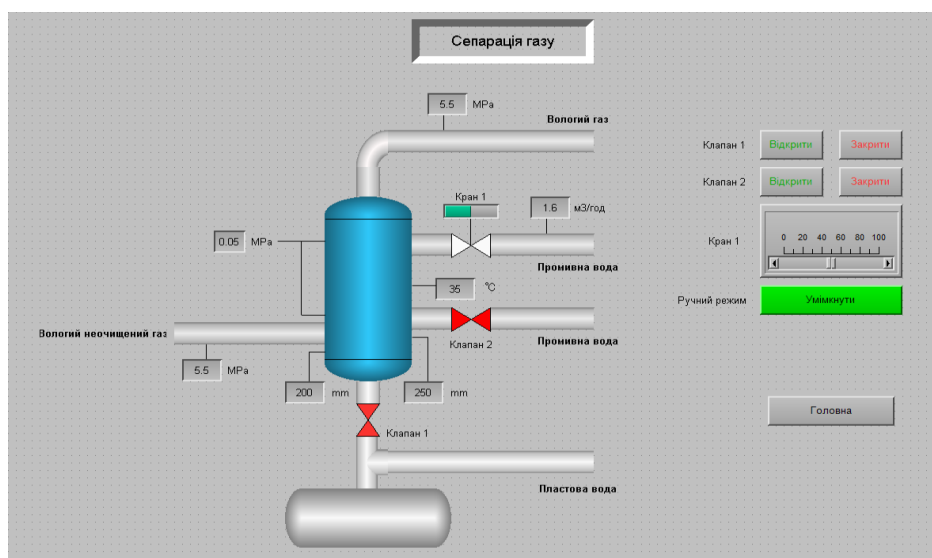


Рисунок 4.8 – Інтерфейс панелі керування сепарацією газу

Аналогічним чином створюється друга панель, що відповідає за процес абсорбції газу. Вона містить схематичне зображення трубопроводу та абсорбера, індикацію параметрів процесу та стану виконавчих механізмів з можливістю ручного управління (рис. 4.9).

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

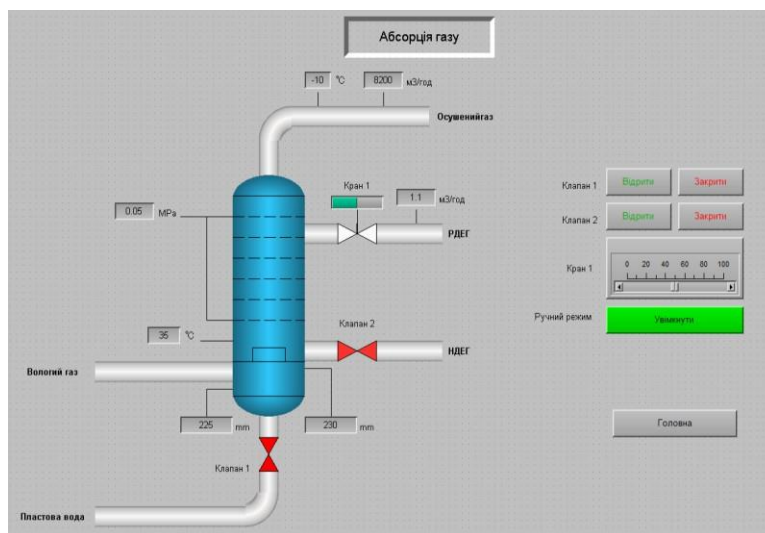


Рисунок 4.9 – Інтерфейс панелі керування абсорбцією газу

Третя панель призначена для керування процесом дегазації гліколю. Вона відображає параметри тиску та рівня у двох секціях апарату, а також забезпечує можливість відкриття або закриття трьох клапанів. Передбачена навігація до головної панелі керування (рис. 4.10).

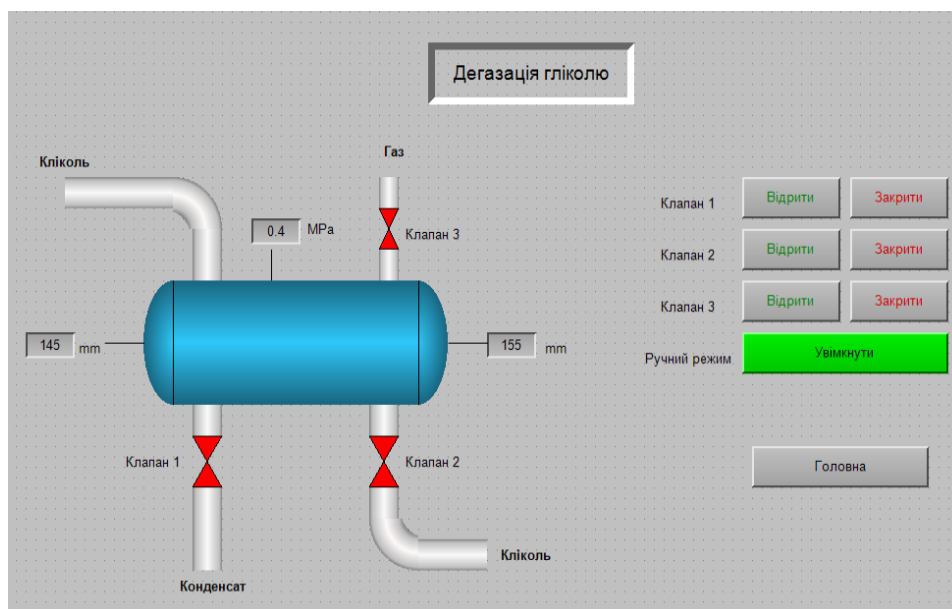


Рисунок 4.10 – Інтерфейс панелі керування дегазацією

Остання панель відповідає за регенерацію гліколю. Вона містить зображення регенераційної колони та підключеного трубопроводу, індикацію

показників тиску та температури, що вимірюються у верхній і нижній частинах колони. Оператор має змогу регулювати ступінь відкриття кранів, а також повернутися до головної панелі (рис. 4.11).

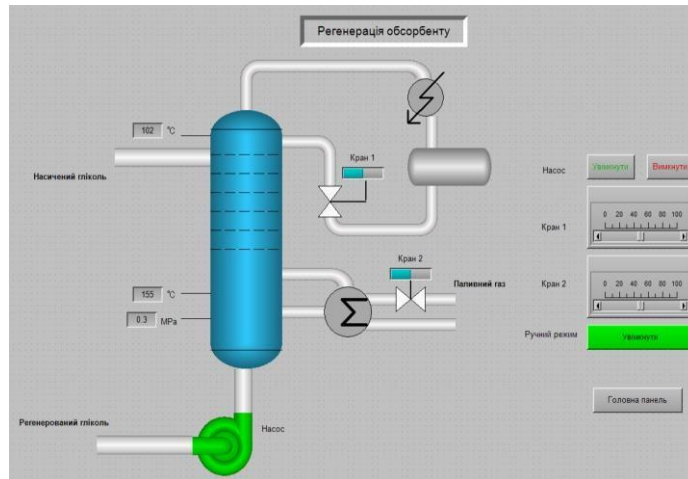


Рисунок 4.11 – Інтерфейс панелі керування регенерацією

У режимі моделювання є можливість відслідковувати всі змінні проекту, змінювати їх значення, а також спостерігати за зміною кольору виконавчих механізмів під час взаємодії з ними (рис. 4.12).

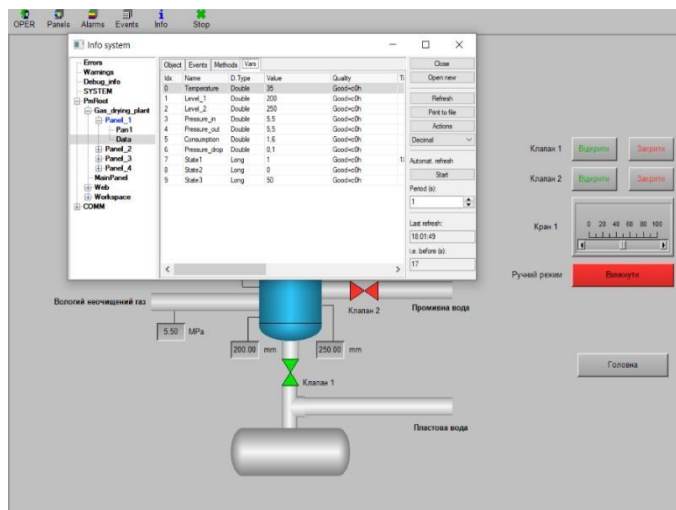


Рисунок 4.12 – Режим симуляції

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено SCADA-систему для автоматизованого керування процесом осушення природного газу, що включає в себе візуалізацію, моніторинг та контроль основних технологічних етапів — сепарації, абсорбції, дегазації та регенерації гліколю. Вибір програмного забезпечення Promotic SCADA обумовлений його функціональними можливостями, гнучкістю налаштувань, підтримкою стандартних комунікаційних протоколів та безкоштовною ліцензією для навчального і дослідницького використання.

У результаті реалізовано логічну структуру інтерфейсів із чітким розподілом на підпроцеси, що дозволяє підвищити ефективність операторського керування та оперативного реагування на зміну параметрів процесу. Систему адаптовано до симуляційного режиму роботи з можливістю налаштування змінних і візуального контролю стану виконавчих механізмів.

Розроблена SCADA-система забезпечує основу для впровадження автоматизованих рішень у промислових умовах та може бути використана як навчально-демонстраційна модель для підготовки фахівців з автоматизації технологічних процесів у газовій промисловості.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході дослідження теми автоматизації процесу осушення природного газу було проведено комплексний аналіз технологічного процесу, визначено основні етапи та параметри, що підлягають моніторингу й регулюванню, а також розроблено алгоритми функціонування системи керування. Автоматизація цього процесу дозволяє забезпечити стабільність технологічного режиму, підвищити якість осушення газу, зменшити витрати енергоносіїв та мінімізувати вплив людського чинника.

Було обґрунтовано вибір засобів автоматизації нижнього та верхнього рівнів. Підбір обладнання здійснювався з урахуванням конфігурації сигналів і умов експлуатації. До засобів нижнього рівня віднесено датчики різних типів і виконавчі механізми, що безпосередньо взаємодіють із технологічним процесом. Верхній рівень включає пристрої, які реалізують функції автоматичного керування, моніторингу та обробки інформації.

Запропоноване рішення передбачає використання програмованого логічного контролера (ПЛК) для реалізації алгоритмів керування, а також впровадження SCADA-системи для візуалізації, збору даних, сигналізації про відхилення та дистанційного керування технологічними об'єктами. Практична реалізація SCADA-системи у середовищі **Promotic** забезпечила інтуїтивно зрозумілий інтерфейс оператора, гнучкість у налаштуванні та можливість моделювання різних режимів роботи системи.

Автоматизована система керування процесом осушення природного газу є ефективним засобом оптимізації виробництва, що відповідає сучасним вимогам до надійності, безпеки та енергоефективності технологічних установок. Отримані результати можуть бути використані для впровадження в реальні виробничі об'єкти газової промисловості, а також у навчальному процесі для підготовки спеціалістів у сфері автоматизації та енергетики.

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Martinotti S., Nolten J., Steinsbø J. A. Digitizing oil and gas production. *McKinsey & Company* [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digitizing-oil-and-gas-production>
2. Мельниченко Ю. Г. Техніко-економічний аналіз сучасних методів осушення магістральних газопроводів // *Ефективна економіка*. – 2015. – № 3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3876>
3. Осушення газу рідкими поглиначами [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-2/8-28380.html>
4. Datasheet PCE-28 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.abacuskft.hu/pce-28-nyomastavado/letoltes/Aplisens/nyomastavado-PCE-28.pdf>
5. Datasheet ФКС [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <http://www.georgin.com/pdf/files/fc-fkc-en.pdf>
6. М.М. Дранчук Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. Навчальний посібник, – Івано-Франківськ: Факел, 2005 – с.448.
7. Семенцов Г.Н. Автоматичне управління: Навчальний посібник / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, М.М. Дранчук і інші. – Івано-Франківськ: Факел, 2003.
8. Семенцов Г. Н. Теорія автоматичного керування. /Г. Н. Семенцов Івано-Франківськ; //Факел, 1999 – 610 с.
9. PIL P43 Ultrasonic Sensor Analog Output Cable Connector [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.oem.ee/products/sensor-,-a-,-switches/ultrasonic-sensors/pil-p43-ultrasonic-sensor-analog-output-cable-connector-608650>
10. Дудля М. А., Ширін Л. М., Федоренко Е. А. *Процеси підземного*

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

зберігання газу: підручник. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2012. – 83 с.

11. Datasheet FA 510/515 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: https://www.cs-instruments.com/fileadmin/cs-data/Datenblaetter/Data%20sheets%20-%20EN/Data_sheet_FA510_515_desiccant_driers_EN.pdf

12. GEVAX 1901 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://prom.ua/p1175663855-gevax-elektromagnitnyj-klapan.html>

13. COVNA HK60-Q-3PS Series Electric Actuator 3PC Ball Valve [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.covnagroup.com/product/covna-hk60q-3ps-series-electric-3pc-ball-valve>

14. Контролер Mitsubishi FX5U-32MT/ESS [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/mitsubishi-fx5u-32mt-ess>

15. Модуль Mitsubishi FX5-8AD [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/mitsubishi-fx5-8ad>

16. Блок живлення Mean Well [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://artled.com.ua/meanwell-ndr-240-24>

17. Частотний перетворювач із векторним керуванням 2,2 кВт. Трифазний [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://npo-gidromash.com.ua/ua/p1690937155-chastotnyj-preobrazovatel-vektornym.html>

					БР.АКПзд - 34.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55