

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:
«Автоматизація роботи системи газоочищення на коксохімічному
виробництві»

Виконав студент гр. АКІТ-22ск _____ Харченко В.В.

Керівник _____ Тиханський М. П.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 28 » січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-22ск Харченко Владиславу Володимировичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизація роботи системи газоочищення на коксохімічному виробництві»

затверджено наказом по університету № 106с від 29.01.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 06.06.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 77с., презентація у Microsoft PowerPoint (33 слайди) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Тиханський М. П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.25</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.25</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.25</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.25</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>03.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2025р.

Керівник _____ / Тиханський М. П./

7. Запевнення: Я, Харченко Владислав Володимирович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Харченко В.В./

АНОТАЦІЯ

Автоматизація роботи системи газоочищення на коксохімічному виробництві: кваліфікаційна робота бакалавра : 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 77 с.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизації вакуум-компрессора в цеху сіркоочистки коксохімічного виробництва, вибір необхідного технологічного обладнання, керуючих приладів, датчиків, виконавчих приладів, розробка схеми підключення датчиків, схеми підключення елементів автоматизації, функціональної схеми автоматизації, схеми живлення системи автоматизації, програмування контролера та НМІ панелі.

У першому розділі розглянуто загальний стан галузі коксохімічного виробництва України, та технологічний процес цеху сіркоочистки, вибрано вакуум-компрессор, створена структура об'єкта керування, виконане математичне моделювання об'єкта.

У другому розділі розблблена структурна схема керування, вибрано датчики, виконавчі прилади, додаткове обладнання, вибрано пристрої керування, автоматизоване робоче місце оператора, розраховані потреби системи в живленні та вибрано джерела живлення, написано програму для контролера та налаштовано НМІ панель, розроблені функціональна, структурна, електрична, монтажна схеми.

Перелік ключових слів: Автоматизація, вакуум-компрессор, сіркоочистка, коксохімічне виробництво, система керування, датчики, виконавчі механізми, ПЛК.

					КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Харченко В.В.			АНОТАЦІЯ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								4	1
								КНУ АКИТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	9
1.1 Стан питання та постановка завдання.....	9
1.2 Технологічний процес	10
1.3 Об'єкт керування.....	15
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	15
1.3.2 Структура об'єкта керування.....	20
1.3.3 Побудова статичної моделі	22
1.3.4 Динамічна модель об'єкта керування	29
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	33
2.1 Розробка апаратного забезпечення системи керування	33
2.1.1 Розробка структурної схеми системи керування.....	33
2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування.....	35
2.2.1 Вибір датчиків	35
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	41
2.3 Вибір пристрою керування.....	44
2.4 Вибір автоматизованого робочого місця оператора.....	51
2.5 Структура даних системи автоматизації	52
2.6 Вибір джерел живлення.....	52
2.7 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	57
2.8 Розробка схеми електричної принципової	59
2.9 Програмування контролера та розробка інтерфейсу НМІ-панелі	60

					КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Харченко В.В.			ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								5	2
Н. Контр.		Маринич І.А.						КНУ АКІТ-22ск			
Затверд.		Маринич І.А.									

ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТКИ.....	74

					КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Харченко В.В.			ЗМІСТ			Лім.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								6	2
								КНУ АКТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

ВСТУП

Сучасна промисловість потребує ефективних та надійних систем автоматизації, особливо в критично важливих галузях, таких як коксохімічне виробництво. Цех сіркоочистки стикається з викликами, що вимагають підвищення рівня автоматизації. Це необхідно для забезпечення відповідності стандартам, оптимізації використання ресурсів та підвищення безпеки експлуатації технологічного обладнання. Ключовим етапом технологічного процесу є відсмоктування сірководню з регенератора та його подача до пічкотла, що є складним і потенційно небезпечним процесом.

Об'єктом проектування в даній роботі виступає система, що забезпечує стабільне функціонування критичних вузлів, зокрема керування роботою двигунів, рівнями води та мастила в баках, а також контроль за технологічними параметрами. Надійність цих процесів безпосередньо впливає на безпеку та ефективність всього виробництва.

Метою данної роботи є розробка сучасної системи автоматизації для відцентрового вакуум-компресора.

Досягнення сформованої мети забезпечується виконанням наступних завдань кваліфікаційної роботи:

- Опис технологічного процесу сіркоочистки та аналіз ролі вакуум-компресора:
Вивчення технологічного режиму роботи системи сіркоочистки та визначення функції вакуум-компресора в забезпеченні її ефективності.
- Створення структури керування для обраного об'єкта

					КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Харченко В.В.			ВСТУП				Літ.	Арк.	Архувів	
Перевір.		Тиханський М.П.									7	2
Н. Контр.		Маринич І.А.							КНУ АКІТ-22ск			
Затверд.		Маринич І.А.										

3. Створення математичної моделі, яка описує взаємозв'язок основних параметрів компресора, що дозволить розрахувати його ключові характеристики.
4. Розробка структурної схеми автоматизації
5. Розробка електричної схеми автоматизації
6. Вибір елементів системи автоматизації: Підбір необхідних датчиків, виконавчих пристроїв, пристроїв керування, панелі оператора (НМІ) та джерел живлення з урахуванням технічних вимог та умов експлуатації.
7. Програмування контролера та розробка інтерфейсу НМІ панелі.

Актуальність роботи зумовлена постійним зростанням промислового виробництва та посиленням вимог до екологічної безпеки та енергоефективності. В умовах сучасних викликів, підвищення рівня автоматизації технологічних процесів стає не просто бажаним, а життєво необхідним кроком для забезпечення конкурентоспроможності підприємств, та підвищення безпеки праці. Розробка нової системи автоматизації вакуум-компресора дозволить не лише оптимізувати технологічний процес, але й створити основу для подальшого розвитку виробництва.

					КНУ.КРБ.151.25.00.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Стан питання та постановка завдання

У коксохімічній промисловості України станом на 2025 рік налічується 626 підприємств, та 22,9 тис. фізичних осіб – підприємців[29, 30].

У 2022 році підприємства України виробили коксу 3,9 млн. т. , скоротили виробництво коксу 6%-ї вологості на 59% у порівнянні з попереднім роком через: консервацію та часткове руйнування виробничих потужностей , різкий спад попиту на кокс , логістичні проблеми , ракетні атаки(рис 1.1).

За підсумками січня-лютого 2025 року Металургійні підприємства України збільшили імпорт коксу й напівкоксу на 87,7% у порівнянні з аналогічним періодом 2024 року – до 155,93 тис. т. , показано на рис 1.2

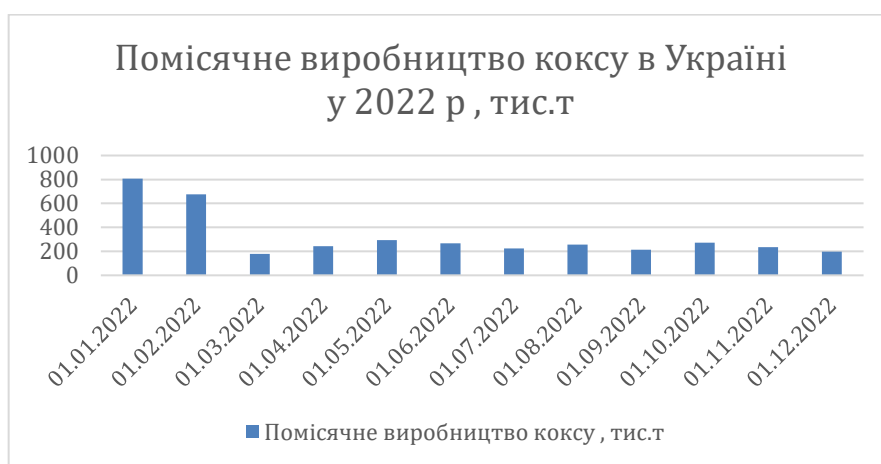


Рисунок 1.1 - Помісячне виробництво коксу в Україні

					КНУ КРБ.151.25.01.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Харченко В.В.			РОЗДІЛ 1			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								9	24
Н. Контр.		Маринич І.А.			КНУ АКІТ-22ск						
Затверд.		Маринич І.А.									

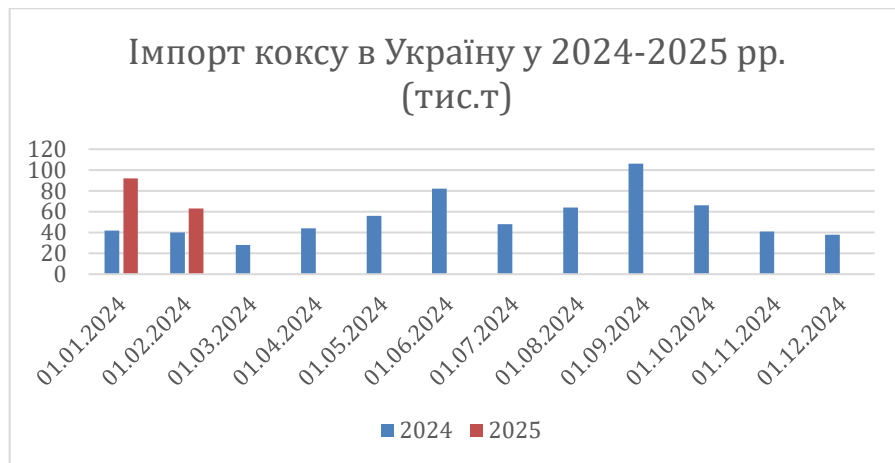


Рисунок 1.2 - Імпорт коксу в Україну

Важливість галузі полягає у тому, що її розвиток стимулює зростання суміжних секторів: машинобудування, хімічної промисловості, енергетики, транспорту та логістики. Як показує сучасний стан галузі, її повноцінне функціонування ускладнено через зовнішні загрози, застаріле обладнання, скорочення виробничих потужностей та нестачу інвестицій. Попри це, зростання імпорту коксу підтверджує наявний попит, що свідчить про потенціал галузі. Автоматизація технологічних процесів на коксохімічних підприємствах дозволяє підвищити ефективність виробництва, знизити вплив людського фактору.

1.2 Технологічний процес

Зростання потреб у переробці вугільної сировини та конкуренція на ринку металургійної і хімічної продукції в Україні обумовлюють необхідність підвищення ефективності вилучення корисних компонентів із коксового газу. Досягти цього можна шляхом удосконалення системи керування технологічним процесом сіркоочистки. Покращення керування цим процесом дозволяє не лише збільшити обсяг добутих речовин, але й забезпечити можливість очищення більших обсягів коксового газу у разі зростання навантаження на виробництво.

Розглянемо процес регенерації поглинального розчину та вилучення сірки з коксового газу.

Очищення коксового газу від сірководня виконують в два ступені в сірчаних скруберах. На першому ступені коксовий газ, після бензольного відділення з температурою не більше 35 °С, проходить очищення в двох сірчаних скруберах, встановлених послідовно, а на другому ступені газ проходить один скрубер. У ЦСО очищення коксового газу виконується двома нитками паралельно. У першому ступені коксовий газ очищається до $(2,6 \pm 0,2)$ г/м³, в другому ступені до 0,5 г/м³. Контролюються всі параметри уловлювання сірководня з коксового газу засобами вимірювальної техніки.

Для очищення коксового газу від сірководня в скрубера подається поглинальний розчин кальцинованої соди. Регенерація поглинального розчину виконується в регенераторах під вакуумом. При цьому регенератори розділені по висоті на дві частини. Верхня частина – перший ступінь, нижня частина - другий ступінь. З регенератора після першого ступеня регенований розчин проходить теплообмінники, холодильники і поступає на скрубера першого ступеня, після другого ступеня - на скрубера другого ступеня.

На першому ступені регенератора для підігріву розчину використовують циркуляційні парові підігрівачі. На другому ступені підігрів здійснюється за допомогою зовнішнього підігрівача та теплоти коксового газу, яка передається в первинних газових холодильниках. Через верхні дві секції цих холодильників розчин циркулює із другого ступеня регенератора й назад. При цьому вимірюються його витрата та температура.

Пари води, сірководня і інші кислі гази з другого ступеня регенератора поступають в перший ступінь, а з неї через конденсатор-компаблок, краплевідбійник на всас вакуум-компресора. Після вакуум-компресора регенераторний газ проходить циклон, кінцевий холодильник і поступає в топку піч-котла для спалювання. Всі параметри процесу контролюються і регулюються.

Окремо розберемо кожен агрегат використаний у процесі:

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

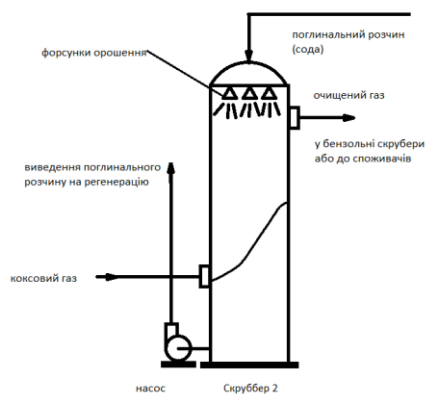


Рисунок 1.1 - Схема роботи скруббера

Коксовий газ з бензольного відділення температурою не більше 35 °С та проходить два однакових послідовно з'єднаних скруббера(рис 1.3, 1.4), а на другому ступені газ проходить один скруббер.В скруббері газ зрошується поглинальним розчином(содою 4—5 %) , розчин поглинає сірководень ціанімітний калій, двоокис углецю(формули 1.1-1.3)[20, 21].

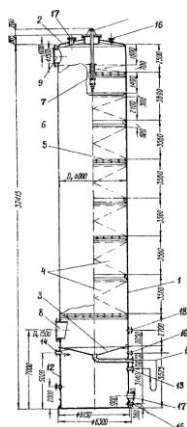
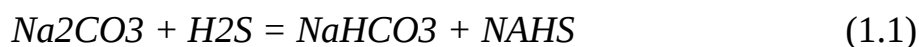


Рисунок 1.2 - Конструкція скруббера

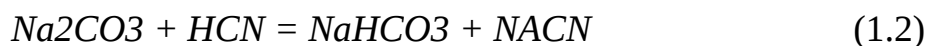
Реакції контакту коксового газу та поглинального розчину, виражаються наступними рівняннями:

Уловлювання сірководня:



Уловлювання ціаністого водню:

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Уловлювання двоокису вуглецю (вуглекислоти)



Після цього насичений сірководнем розчин відкачується насосом на регенерацію, а газ надходить до споживачів або у бензольні скруббери[20, 21].

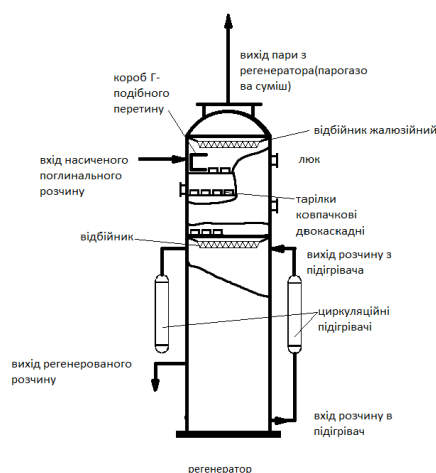


Рисунок 1.3 - Схема роботи регенератора

Насичений сірководнем розчин надходить на верхню тарілку регенератора(рис 1.5, рис 1.6), у результаті обміну з парами що виходять з регенератора розчин нагрівається до 50-60 °С, а в теплообмінниках його температура підвищується до 60-65 °С. Стікаючи вниз по тарілках, розчин продувається висхідним потоком пари води і сірководня які виділяються при скипанні нагрітого розчину другого ступеня в регенераторах другого ступеня, у результаті чого відбувається десорбція сірководня та інших кислих газів.

За допомогою вакуум-насоса який створює в регенераторі вакуум 80-82.5 кПа (600-620 мм рт.ст.), парогазова суміш відсмоктується далі по тех. процесу.

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

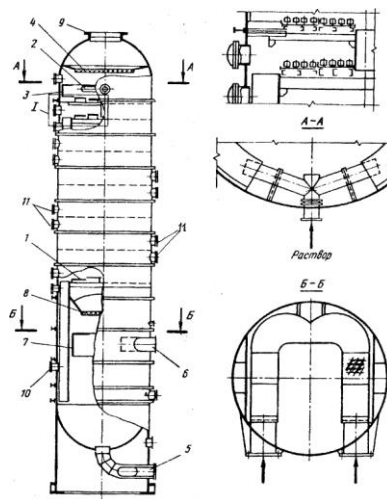


Рисунок 1.4 - Конструкція регенератора поглинального розчину

Насичений розчин після першого ступеня сірчанних скрубєрів насосами подається в перший ступінь регенераторів. Всі параметри розчину (температура, тиск і витрата) контролюються приладами.

Після першого ступеня регенераторів регенований розчин стікає в збірки, звідки насосами через теплообмінники і холодильники подається на сірчані скрубєра першого ступеня. Технологічний процес контролюється по приладах, що вимірюють тиск і температуру розчину, технічної води.

Розчин по тарілках регенераторів стікає вниз, а від низу до верху поступають пари води і сірководня, які виділяються при скипанні нагрітого розчину другого ступеня в регенераторах другого ступеня.

Після першого ступеня регенераторів регенований розчин стікає в збірки, звідки насосами через теплообмінники і холодильники подається на сірчані скрубєра першого ступеня. Технологічний процес контролюється по приладах, що вимірюють тиск і температуру розчину, технічної води.

Сірчановодневий газ компресорами через циклони, які призначені для уловлювання зважених частинок в газі, і кінцеві холодильники подається в піч-котел на спалювання.

В цеху сіркоочистки в роботі знаходяться 2 з 4-х компресорів.

Відцентрові вакуум-компресори призначені для відсмоктування сірчановодневого газу з регенераторів поглинявального розчину, забезпечення

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

вакууму в регенераторах, стиснення і подачі регенераторного газу на спалювання в піч-котел сірчаноокислотного відділення.

Створення системи керування процесом регенерації поглинального розчину в установках сіркоочистки спрямоване на підвищення ефективності вилучення сірководню з коксового газу шляхом запобігання аварійним ситуаціям, забезпечення стабільної роботи обладнання, внесення запобіжних впливів, отриманих в результаті прогнозування складу газу та властивостей розчину, а також визначення оптимальних режимів температури, вакууму та витрат реагентів в умовах нестабільності газового потоку та технічного стану системи.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Одним з найбільш енергоємних процесів при виробництві є відгонка H_2S (сірководню) з абсорбційного розчину у десорбері при зниженому тиску (вакуумі)[18].

Цей етап потребує значних витрат енергії, зокрема:

- на підтримання вакууму в регенераторі;
- на підігрів абсорбційного розчину до температури, необхідної для ефективного виділення H_2S ;
- на циркуляцію розчину через систему.

Враховуючи, що навіть незначне підвищення якості керування процесом випалювання дозволить зменшити витрати електроенергії та збільшити конкурентоспроможність підприємства, у роботі як об'єкт керування обрано відцентровий вакуум-компресор. Для досягнення цієї мети, в рамках проекту буде розроблено комплексну схему автоматизації вакуум-компресора. Вона включатиме обґрунтований вибір самого компресора, підбір необхідного додаткового обладнання, а також всіх ключових елементів системи: датчики для

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

моніторингу параметрів, прилади керування, виконавчі механізмів та панель оператора, що забезпечить ефективне та надійне управління процесом.

Відцентровий вакуум-компресор

Відцентровий компресор (рис 1.7) змушує газ обертатися з високою швидкістю за допомогою робочого колеса, так що газ отримує відцентрову силу, тим самим збільшуючи витрату та тиск газу після проходження робочого колеса[22, 23].

Після цього газ викидається з робочого колеса і потрапляє в дифузор де знижується швидкість і підвищується тиск. Повторення цього процесу кілька разів підвищує тиск стисненого газу до розрахункового.

Відцентровий компресор в основному складається з трьох частин: статор(14), підшипники(2, 10) та ротор(11).

Основний корпус (статор), що також включає ущільнення(4, 7), дифузор, впускну трубу, випускную трубу[22, 23].

Ротор встановлений на підшипнику, який приводиться в дію двигуном, змушуючи обертатися ротор з високою швидкістю.

Ротор(рис 1.8) складається з робочого колеса, балансувальної пластини та частини ущільнення валу, а на робочому колесі є лопатки.

Дифузор - це пристрій, який уповільнює високошвидкісне повітря і перетворює його кінетичну енергію на тиск. Його принцип полягає у зміні напрямку потоку газу, тим самим зменшуючи його витрату[28].

Принцип роботи відцентрового компресора полягає у використанні механічних робочих органів (високооборотних робочих коліс, що обертаються) для впливу на газ, в результаті чого під дією відцентрової сили збільшується кінетична енергія газу, а також значно збільшується його тиск. Згодом ця частина кінетичної енергії перетворюється на енергію статичного тиску в проточному каналі дифузора, що ще більше збільшує тиск газу.

Основною метою збільшення тиску газу є збільшення кількості молекул газу в одиниці об'єму, тобто є скорочення розриву між молекулами газу(рис 1.9)[21].

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

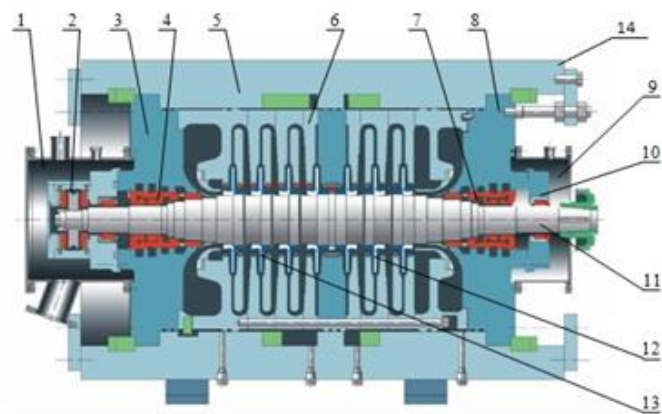


Рисунок 1.5 - Конструкція відцентрового вакуум-компресора. 1, 9 – кожух, 2 – підшипник опорно-ударний, 3, 8 - кришка, 4, 7 - ущільнення, 5 - корпус, 6 – корпус внутрішній, 10 – підшипник опорний, 11 - ротор, 12 – робочі колеса другої секції, 13 – робочі колеса першої секції, 14 - статор

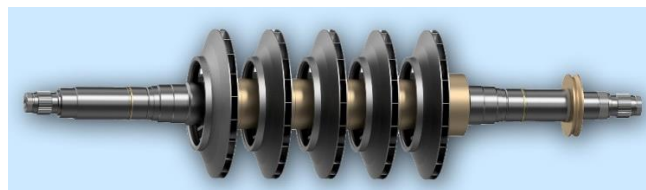


Рисунок 1.6 - Загальний вигляд ротора відцентрового вакуум-компресора

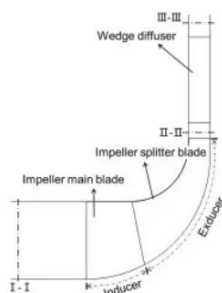


Рисунок 1.7 - Схема стиснення повітря у відцентровому вакуум-компресорі

Для досягнення цієї цілі застосовується метод газової динаміки, коли ротор (робоче колесо) всередині центрального повітряного компресора обертається з високою швидкістю, газ приводиться в рух робочим колесом з високою швидкістю, під дією центральної сили повітря отримує кінетичну енергію, а його тиск, температура і витрата збільшуються.

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Потім газ протікає через канали статорних компонентів відцентрового компресора, таких як дифузор, і швидкість повітря зменшується. Відповідно до закону збереження енергії, зменшена швидкість буде перетворена в тиск (тобто є кінетична енергія перетворюється в енергію тиску).

Вибір вакуум-компресора

Для дипломного проекту був вибраний центробіжний компресор Howden SFG(рис 1.8, табл 1.1) завдяки його високій надійності та відповідності технічним вимогам. Цей компресор підходить для роботи в умовах вакууму з необхідним рівнем близько 85 кПа, а також здатен створити вихідний тиск до 120 кПа, що повністю відповідає параметрам процесу.

Крім того, конструкція SFG розроблена з урахуванням роботи в агресивних і корозійних середовищах, характерних для коксохімічної промисловості.

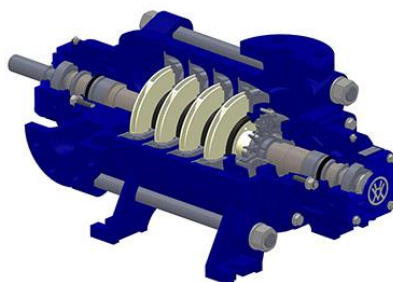


Рисунок 1.8 - Вакуум-компресор Howden SFG

Таблиця 1.1- Характеристики Howden SFG

Тиск	до 50 бар (г)
Температура	від -150°C до 500°C
Діаметр робочого колеса	900 мм
Коефіцієнт тиску	до 6,0

З урахуванням технічних параметрів компресора, було обрано електродвигун ВАО2-630L4(рис 1.9, табл 1.2).



Рисунок 1.9 - Двигун ВАО2-630L4

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики ВАО2-630L4

Найменування показника	Значення
Потужність	2000 кВт
Частота обертання	5000 об/хв
ККД	80
Напруга	6000В

Для перекачування мастила вибираю Гідронасос шестеренний Kazel UNI EHASS 43 BD(G30043UF431) (рис 1.10, табл 1.3)



Рисунок 1.10 - Гідронасос Kazel UNI EHASS 43 BD(G30043UF431)

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики Kazel UNI EHASS 43 BD(G30043UF431)

Найменування показника	Значення
Продуктивність	до 9.0 куб.час;

Насос для перекачування води EBARA 3E 32-125/0.75(рис 1.10, табл 1.4)

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Рисунок 1.11 - Насос EBARA 3E 32-125/0.75

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики EBARA 3E 32-125/0.75

Найменування показника	Значення
Тиск	0.5-2.442 бар

1.3.2 Структура об'єкта керування

Розглянемо більш детально принципи побудови системи керування відцентрового вакуум - компресора[1], який використовується на етапі перекачування сірководню з регенератора до піч-котла. (рис. 1.12).

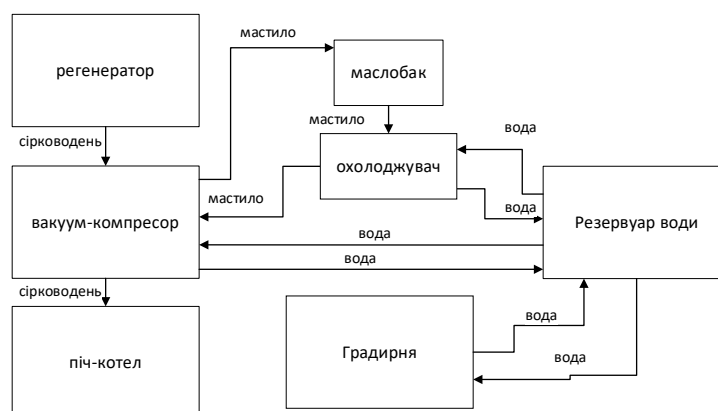


Рисунок 1.12 - Структурна схема об'єкта керування

Для ефективної роботи вакуум-насоса системи необхідно підтримувати:

- стабільний рівень розрідження на вході насоса;
- постійну подачу масла в насос (для створення водяного кільця);
- температурний режим робочих рідин;

- тиск газу після насоса;
- контроль за витратою масла, води та відкачуваного газу.

Керування вакуум-компресором можливо за рахунок зміни:

- витрати масла;
- витрати води;
- контроль частоти обертання ротора;
- вхідні клапани;

Крім того потрібно контролювати осьове зміщення валу, для попередження аварій і передаварійних станів.

Відповідно до вхідних та вихідних параметрів об'єкта керування розроблено його структурну схему, яка наведена на рисунку 1.13.

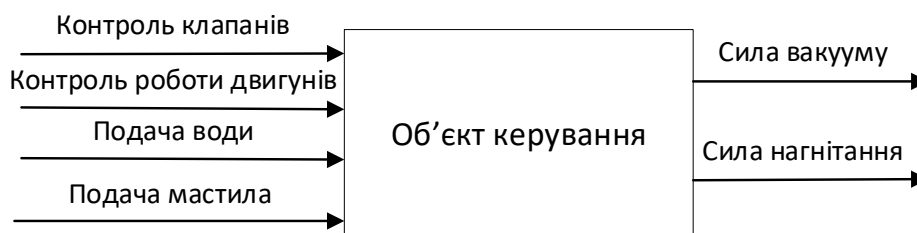


Рисунок 1.13 - Структурна схема об'єкта керування

Принцип роботи вакуумного насоса полягає в створенні розрідження в системі, що відводить молекули газу з впускної труби. Цей процес виконується через створення тиску, меншого за атмосферний, що дозволяє здійснювати контроль за рухом газів. Робота вакуумного насоса може бути розділена на кілька етапів.

Формування вакууму: Спочатку компресор всмоктує газу через всмоктувальну трубу.

Регулювання та контроль вакууму: Режим вакууму можна контролювати за допомогою клапанів, двигунів та засувки.

Охолодження та збереження ефективності: Вакуумні насоси потребують охолодження для забезпечення стабільної роботи.

Змащення підшипників: У вакуумному компресорі передбачено змащення чотирьох підшипників, що забезпечує надійну та довготривалу роботу обертових елементів. Система змащення включає масляний насос, маслобак, фільтр і охолоджувач, які подають змазки під тиском до підшипників, одночасно охолоджуючи її.

За результатами аналізу технологічного процесу обрано відцентровий вакуум-компресор Howden SFG як об'єкт керування для забезпечення ефективного видалення газів з виробничої системи.

Вакуум-компресор відноситься до безперервних об'єктів керування, для забезпечення стабільної роботи вакуумного насоса необхідно забезпечити постійний контроль параметрів вакууму, витрат води, мастила, а також налаштування роботи двигуна та інших супутніх систем.

На підставі аналізу технологічного процесу, об'єкта керування та його функціонування сформульовані наступні задачі на розробку апаратного забезпечення автоматизованої системи керування:

- Розробити структурну схему системи керування;
- На підставі структурної схеми системи керування з урахуванням вимог технологічного процесу вибрати датчики та виконавчі пристрої системи керування;
- Проаналізувати вимоги до функціонування системи керування, вибрані датчики та виконавчі пристрої, вибрати в якості пристрою керування промисловий контролер компанії Siemens серії CPU 1214C DC/DC/DC з автоматизованим робочим місцем оператора;
- Відповідно до вибраного апаратного забезпечення розробити функціональну схему автоматизації системи керування та схему електричну принципову системи керування.

1.3.3 Побудова статичної моделі

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Основна мета моделювання — кількісно описати взаємозв'язок між основними робочими параметрами компресора (обертами, тиском, температурою, продуктивністю та споживаною потужністю) у стаціонарному режимі[4].

Модель базується на наступних вхідних параметрах та припущеннях:

Діаметр робочого колеса $D = 0.9$ м, ККД компресора $\eta = 0.8$, кількість ступенів компресора $N = 4$, температура на вході $T_{вх} = 28.8\text{ }^{\circ}\text{C} = 301.95\text{ K}$.

Окружна швидкість робочого колеса:

Знайдемо лінійну швидкість точки на зовнішньому діаметрі робочого колеса, оскільки окружна швидкість визначає кінетичну енергію, яку колесо може надати газовому потоку.[26]

$$U_2 = \frac{N \cdot 2\pi}{60} * \frac{D}{2} \quad (1.4)$$

Де N - Оберти компресора(об/хв), D - Діаметр робочого колеса(м), U_2 - Окружна швидкість(м/с).

$$U_2 = \frac{5000 * 2\pi}{60} * \frac{0.9}{2} = 235,62\text{ м/с}$$

Питома робота стиснення[26]:

$$W_{\text{теор}} = U_2^2 \quad (1.5)$$

$$W_{\text{теор}} = 235.62^2 = 55516\text{ Дж/кг}$$

Реальна питома робота стиснення[27]:

$$W_{\text{реал}} = W_{\text{теор}} * \eta_k \quad (1.6)$$

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$W_{\text{реал}} = 55516 * 0.8 = 69395 \text{ Дж/кг}$$

Коефіцієнт підвищення тиску одного ступеня[26]:

$$\pi_{\text{к1}} = \left(1 + \frac{W_{\text{реал}}}{c_p * T_{\text{вх}}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (1.7)$$

Де $c_p = 2000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг*К}}$ - питома теплоємність сірчановодневого газу,

$\gamma = 1.3$ - показник адіабати сірчановодневого газу.

$$\pi_{\text{к1}} = \left(1 + \frac{69395}{2000 * 301.95}\right)^{\frac{1.3}{1.3-1}} = 1,621$$

Загальний коефіцієнт підвищення тиску компресора[26]:

$$\pi_{\text{заг}} = \pi_{\text{к}}^N \quad (1.8)$$

$$\pi_{\text{заг}} = 1,621^4 = 6,9$$

Тиск на вході[26]:

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{атм}}}{\pi_{\text{заг}}} \quad (1.9)$$

$$P_{\text{вх}} = \frac{101325}{6,9} = 14665 \text{ Па}$$

Де $P_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$ (101.325 кПа) Атмосферний тиск.

Вакуум (розрідження)[26]:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{вх}} \quad (1.10)$$

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$P_{\text{бак}} = 101325 - 14665 = 86\,660 \text{ Па}$$

Густина газу на вході[27]:

$$\rho_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{R_{\text{газу}} * T_{\text{вх}}} \quad (1.11)$$

Де $R_{\text{газу}} = 420 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{К}}$ - питома газова стала сірчановодневого газу.

$$\rho_{\text{вх}} = \frac{14665}{420 * 301.95} = 0,115 \text{ кг/м}^3$$

Об'ємна продуктивність[27]:

$$V_{\text{об}} = \lambda * U_2 * D^2 \quad (1.12)$$

Де $\lambda = 0.1$ Коефіцієнт об'ємної подачі

$$V_{\text{об}} = 0.1 * 235,62 * 0.9^2 = 19,085 \text{ м}^3/\text{с}$$

Масова продуктивність[27]:

$$m_{\text{масова}} = \rho_{\text{вх}} * V_{\text{об}} \quad (1.13)$$

$$m_{\text{масова}} = 0,115 * 19,085 = 2,2 \text{ кг/с}$$

Температура газу на виході з останнього ступеня[27]:

$$T_{\text{вих}} = T_{\text{вх}} + \frac{W_{\text{реал}}}{c_p} \quad (1.14)$$

$$T_{\text{вих}} = 301.95 + \frac{69395}{2000} = 336,65 \text{ К} = 63.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Споживана потужність компресором[27]:

$$P = W_{\text{реал}} * m_{\text{масова}} * N \quad (1.15)$$

$$P = 69395 * 2,2 * 4 = 610\,676 = 610 \text{ кВт}$$

Проведені розрахунки вношу в Matlab (рис. 1.14-1.16) та виводжу графіки , результат на рис. 1.17-1.22.

```
>> %% 1. Вхідні параметри
D = 0.9;           % Діаметр робочого колеса, м
eta_k = 0.8;       % ККД компресора
N_stages = 4;      % Кількість ступенів компресора
cp = 2000;         % Питома теплоємність при постійному тиску, Дж/(кг·К)
gamma = 1.3;        % Показник адіабати
T_in = 28.8 + 273.15; % Температура на вході, К (28.8 Цельсія)
R_gas = 420;        % Питома газова стала для коксового газу, Дж/(кг·К)
P_atm = 101325;     % Атмосферний тиск
lambda = 0.1;       % Коефіцієнт об'ємної подачі
N_rpm_range = 1500:100:6000; % Оберти за хвилину

%% 2. Створення масивів
Vacuum_kPa = zeros(size(N_rpm_range)); % Вакуум
T_out_C = zeros(size(N_rpm_range));    % Температура на виході
Rho_in = zeros(size(N_rpm_range));     % Густина газу на вході
V_volumetric = zeros(size(N_rpm_range)); % Об'ємна продуктивність
M_mass = zeros(size(N_rpm_range));     % Масова продуктивність
Power_consumed = zeros(size(N_rpm_range)); % Споживана потужність
```

Рисунок 1.14 - Створення змінних

```
%% 3. Розрахунки
for i = 1:length(N_rpm_range)
    N = N_rpm_range(i);
    % 1. U2
    U2 = (N * (2*pi/60)) * (D/2);
    % 2. W_ideal
    W_ideal = U2^2;
    % 3. W_real
    W_real = W_ideal / eta_k;
    % 4. pi_k
    bracket_term = 1 + (W_real / (cp * T_in));
    exponent = gamma / (gamma - 1);
    pi_k_single_stage = bracket_term^exponent;
    % 5. pi_k_total
    pi_k_total = pi_k_single_stage^N_stages;
    % 6. P_in_total
    P_in_total = P_atm / pi_k_total;
    % 7. Vacuum
    Vacuum_kPa(i) = (P_atm - P_in_total) / 1000;
    % 8. Rho_in
    Rho_in(i) = P_in_total / (R_gas * T_in);
    % 9. V_volumetric
    V_volumetric(i) = lambda * U2 * D^2;
    % 10. M_mass
    M_mass(i) = Rho_in(i) * V_volumetric(i);
    % 11. T_out_C
    T_out_K = T_in + (W_real / cp);
    T_out_C(i) = T_out_K - 273.15;
    % 12. Power_consumed
    Power_consumed(i) = W_real * M_mass(i) * N_stages;
end
```

Рисунок 1.15 - Проведення розрахунків

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

%% 5. Побудова графіків

figure('Name', 'Графік 1: Вакуум (P_vac), Оберти (N)', 'NumberTitle', 'off');
plot(N_rpm_range, Vacuum_kPa, 'b-', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(N_rpm_range, 85 * ones(size(N_rpm_range)), 'r--', 'LineWidth', 1);
grid on;
title('P_vac(N)');
xlabel('Оберти N, об/хв', 'Interpreter', 'latex');
ylabel('Вакуум P, kPa', 'Interpreter', 'latex');
legend('Створення вакууму', 'вакуум (85 kPa)', 'Location', 'best');

figure('Name', 'Графік 2: Температура на виході (T_out), Оберти (N)', 'NumberTitle', 'off');
plot(N_rpm_range, T_out_C, 'r-', 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('T_out(N)');
xlabel('Оберти N, об/хв', 'Interpreter', 'latex');
ylabel('Температура T, C', 'Interpreter', 'latex');
legend('Температура на виході', 'Location', 'best');

figure('Name', 'Графік 3: Густина газу на виході (rho_in), Оберти (N)', 'NumberTitle', 'off');
plot(N_rpm_range, Rho_in, 'g-', 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('rho_in(N)');
xlabel('Оберти N, об/хв', 'Interpreter', 'latex');
ylabel('Густина rho, kg/m^3', 'Interpreter', 'latex');

```

Рисунок 1.16 - Виведення результату

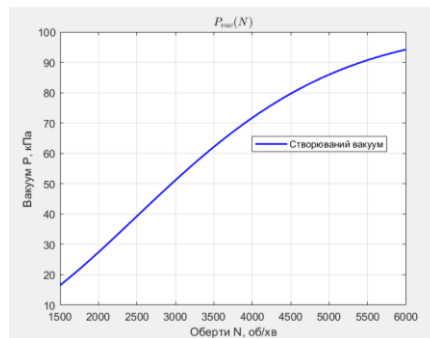


Рисунок 1.17 - Графік залежності $P_{\text{вак}}$ від N

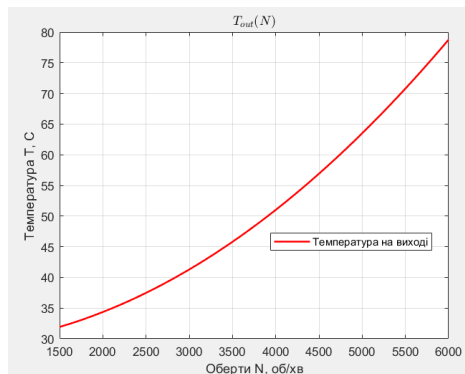


Рисунок 1.18 - Графік залежності T від N

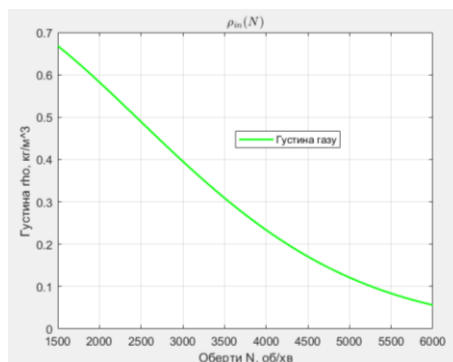


Рисунок 1.19 - Графік залежності $\rho_{\text{вх}}$ від N

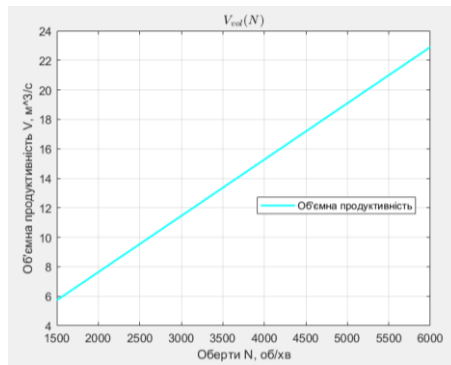


Рисунок 1.20 - Графік залежності V від N

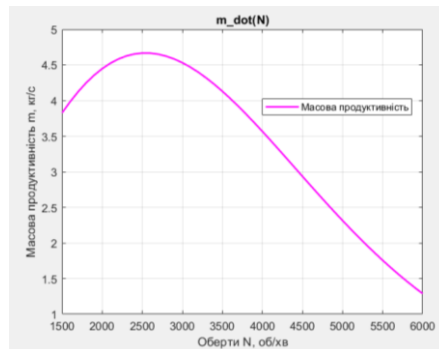


Рисунок 1.21 - Графік залежності m від N

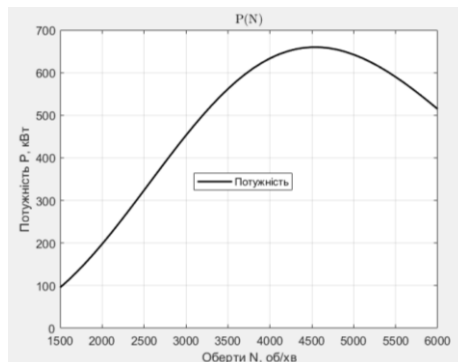


Рисунок 1.22 - Графік залежності P від N

На основі розробленої статичної математичної моделі та проведених розрахунків ми отримали ключові експлуатаційні характеристики відцентрового вакуум-компресора Howden SFG. Залежності вакууму, температури на виході, густини газу на вході, об'ємної та масової продуктивності, а також споживаної потужності від обертів компресора були розраховані та візуалізовані.

1.3.4 Динамічна модель об'єкта керування

Динамічна модель відцентрового вакуум-компресора дозволяє врахувати зміну основних параметрів у часі – тиск, температура, та споживана енергія. На основі фізичних властивостей об'єкта (формули 1.4 - 1.15) була побудована динамічна модель за допомогою Matlab Simulink, час моделювання – 60 с.

ПІД-регулятор порівнює завдання та значення з датчиків та на основі похибки регулювання контролює оберти компресора.

Динамічна модель вакуум-компресора для розрахунку тиску на вході (Рис 1.23)

На вхід моделі приходить Step4 – оберти ротора, Елементи Gain19, Gain24, Product11, Gain25, Gain26, Gain27 моделюють температуру на виході вакуум-компресора, Step5 – моделює поступове охолодження газу на виході при вимкненні вакуум-компресора, Transfer Fcn9, Rate Limiter – моделює інерційність системи, Integrator3 - виконує інтегрування розрахованого значення температури в динаміці, забезпечуючи відображення історії її змін у часі, Sum19, Constant33 – моделюють мінімальну температуру (якщо компресора вимкнено – 20 градусів за Цельсієм), Saturation обмежує вихідне значення, Random Number, Switch – моделюють випадкові коливання температури.

Модель ПІД-регулювання: Step6 – це завдання, від нього віднімається поточне значення і ПІД – регулятор виконує керуючі дії, Saturation10 – обмежує значення обертів до максимально можливих в даному двигуні і до 0, Scope32 – виводить результат (завдання і реальне значення).

Вибір коефіцієнтів ПІД-регулятора за Зіглером-Нікольсом
Інтегральна та пропорційна складові виставлені на 0.

Поступово збільшую пропорційний коефіцієнт K_p . Під час моделювання спостерігаю за реакцією системи на ступінчасту зміну завдання.

Налаштування інтегральної складової: Після вибору K_p , поступово вводжу інтегральну складову K_i . Її роль полягає в усуненні статичної похибки регулювання.

					КНУ.КРБ.151.25.01.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Налаштування диференціальної складової: K_d вводиться для покращення швидкодії системи та зменшення перерегулювання. Результат моделювання показано на рис 1.24

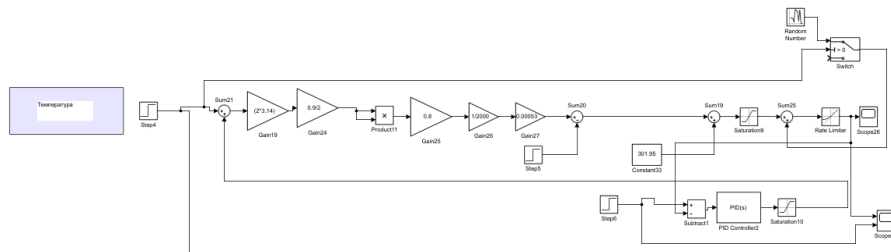


Рисунок 1.23 - Динамічна модель регулювання температури в Simulink

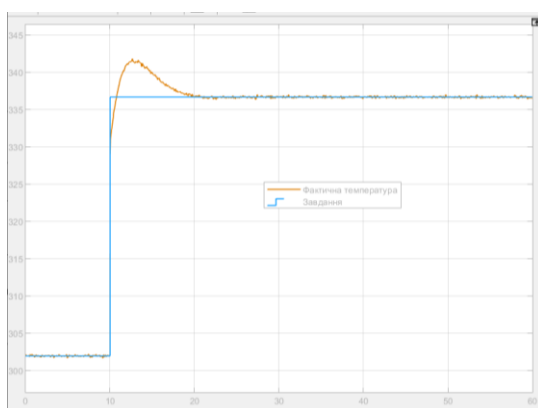


Рисунок 1.24 - Динаміка температури на вході вакуум-компресора:
синій графік – завдання, оранжевий – фактична температура

Результат підбору коефіцієнтів ПІД-регулятора: $K_p = 4.7$, $K_i = 1.5$, $K_d = 4.5$
Модель вакуум-компресора для розрахунку температури на виході вакуум-компресора(Рис 1.25)

На вхід моделі надходить Step4 – оберти ротора, Елементи Gain29, Gain28, Transfer Fcn12, Constant37, Constant38, Pow10, Sum, Pow11, Constant36, Reciporocal4, Product12, Sum23 моделюють температуру на виході вакуум-компресора, Sum19, Constant33 – моделюють мінімальний тиск(якщо компресор вимкнено – атмосферний тиск), Rate Limiter1 – моделює інерційність системи, Random Number1, Switch1 – моделюють випадкові коливання температури.

Модель ПІД-регулювання: Step7 – це завдання, від неї віднімається поточне значення і ПІД-регулятор виконує керуючі дії, Saturation11 – обмежує значення обертів до максимально можливих в даному двигуні.

Результат моделювання показано на Рис 1.26.

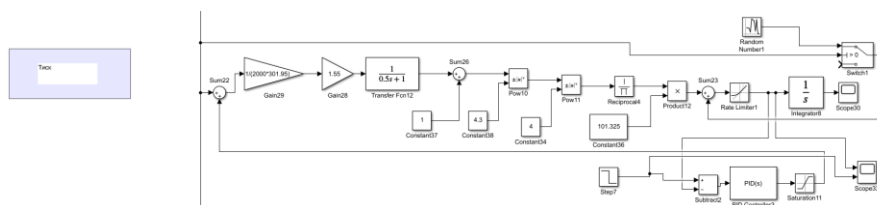


Рисунок 1.25 - Динамічна модель регулювання тиску в Simulink

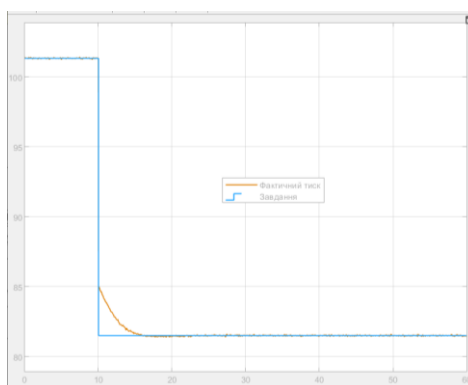


Рисунок 1.26 - Динаміка тиску на вході вакуум-компресора:

синій графік – завдання, оранжевий – фактичний тиск

Модель вакуум-компресора для розрахунку витрат енергії(Рис 1.27)

На вхід моделі приходить Step4 – оберти ротора, елементи Gain30, Gain21, Gain31, Gain20, Constant35, Pow12, Product13, Gain22, Transfer Fcn10 моделюють температуру на виході вакуум-компресора, Sum19, Constant33 – моделюють мінімальний тиск(якщо компресор вимкнено – атмосферний тиск), Integrator виконує інтегрування розрахованого значення температури в динаміці, забезпечуючи відображення історії її змін у часі, Random Number2, Switch2 – моделюють випадкові коливання.

Результат моделювання показано на рис 1.28

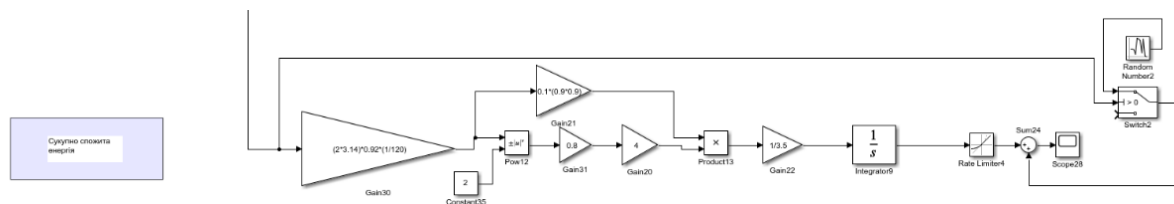


Рисунок 1.27 - Динамічна модель відображення витрати електроенергії в Simulink

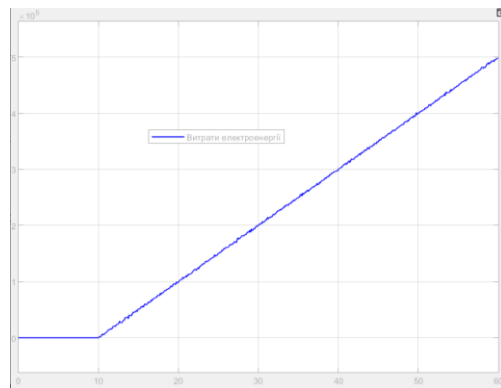


Рисунок 1.28 - Динаміка витрати електроенергії вакуум-компресора

Це моделювання дало змогу оцінити реакцію системи на зміни вхідного сигналу та стало основою для подальшого впровадження ПД-регулятора, який забезпечує стабільне регулювання обраного технологічного параметра. На основі отриманої динамічної моделі були визначені основні характеристики системи, що дозволило підібрати параметри ПД-регулятора та провести тестування його ефективності в умовах, наближених до реальних.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

2.1 Розробка апаратного забезпечення системи керування

Основними задачами на розробку апаратного забезпечення системи керування є вибір датчиків, виконавчих пристроїв при строю керування та автоматизованого робочого місця панелі керування[5].

Відповідно до вимог у якості пристрою керування повинен бути використаний контролер компанії Siemens серії сру 1214C DC/DC/DC 6ES7214-1AG40-0XB0 , та автоматизованого робочого місця оператора Siemens з HMI системою TP1500 Comfort PRO. Результатом розробки є функціональна схема автоматизації та схема електрична принципова системи керування.

2.1.1 Розробка структурної схеми системи керування

Відповідно до принципу функціонування об'єкта система повинна керувати витратою води, мастила, частотою обертання ротора, контроль клапанів.

Реєструвати рівень вакууму, температуру води, мастила, рівень в резервуарах, температуру в резервуарах, температуру газу вході, температуру газу на виході, витрату газу, осьове зміщення ротора(вертикальне і горизонтальне).

Таким чином до складу системи у якості керуючих пристроїв повинні входити 9 датчиків температури, 8 датчиків витрати, 8 датчиків тиску, 2 датчики рівня, 2 датчики осьового зміщення.

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Харченко В.В.			РОЗДІЛ 2			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								33	36
								КНУ АКІТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

За результатами проведеного аналізу структури об'єкта[7], його параметрів та вимог до системи розроблена структурна схема системи керування наведена на рисунку 2.1.

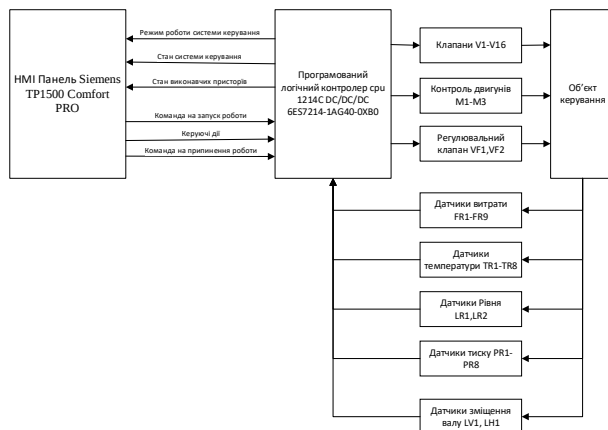


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи керування

Відповідно до вимог у якості виконавчого пристрою вказано контролер сру 1214C DC/DC/DC компанії Siemens серії 1200, та HMI панелі TP 1500 Comfort PRO.

Від контролера до SCADA системи передається інформація про режим роботи системи керування, стан системи керування, стан виконавчих пристроїв, а від системи до контролера команди на запуск, керуючі дії, припинення роботи.

На рисунках 2.2, 2.3 відповідно показані схема підключень та розміщення обладнання.

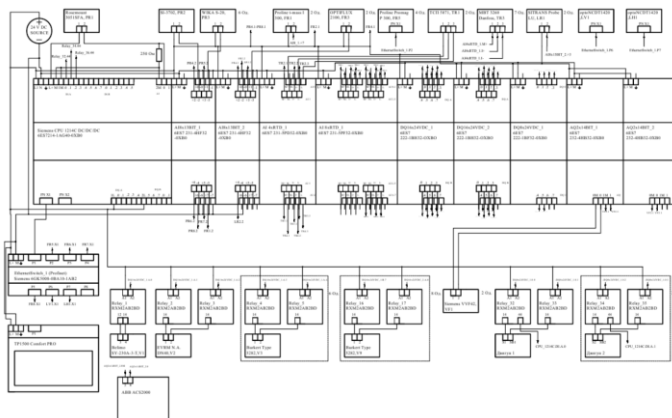


Рисунок 2.2 - Схема підключення апаратного забезпечення

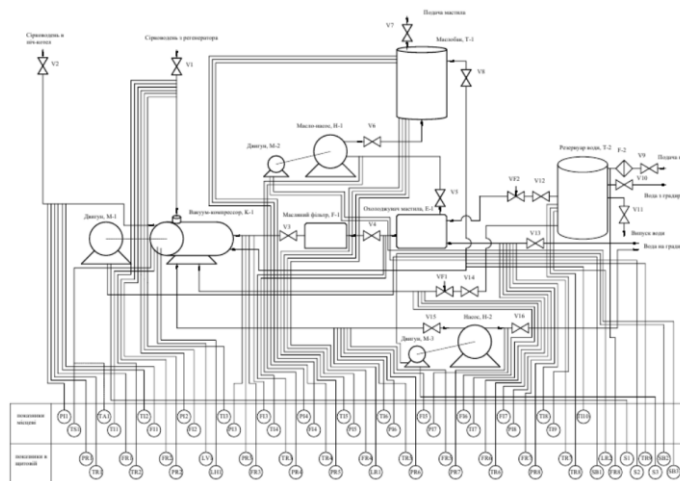


Рисунок 2.3 - Схема розміщення обладнання

2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування

2.2.1 Вибір датчиків

PR1, PI1 – тиск сірководня (min: 0,max: 160,avg: 1200(мбар)/120 кПа)

Враховуючи коефіцієнт запасу 1,3 діапазон вимірюваного тиску[19] складає 0.07-0.26 МПа(1-3 бари). Відповідно до вимог вибрано датчик Rosemount 3051SFA (рис. 2.4, табл. 2.1).



Рисунок 2.4 - Датчик тиску Rosemount 3051SFA

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики Rosemount 3051SFA

No	Параметр	Значення
1	Тиск	35бар
2	Температура	250град

PR2, PI2 – тиск сірководня(min: 0,max: 100,avg: 830(мбар)/83кПа)

Вибрано датчик тиску із трубкою Вентурі SI-3702 (рис. 2.5, табл. 2.2)

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



Рисунок 2.5 - Датчик тиску SI-3702

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики SI-3702

No	Параметр	Значення
1	Робочий діапазон вимірюваних температур	-40...850°C
2	Тиск	-0.4...40МПа

PR3, PI3, PR4, PI4, PR5, PI5, PR6, PI6, PR7, PI7, PR8, PI8 – датчики тиску
(min: 0, max: 10, avg: 4.5 (бар))

Вибрав WIKA S-20(рис. 2.6, табл. 2.3)



Рисунок 2.6 - Датчик тиску WIKA S-20

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики WIKA S-20

No	Параметр	Значення
1	Тиск	0–16 бар

FR1, FI1, FR2, FI2 – датчики витрати(min: 0,max: 3200,avg: 1152(нм3/ч))

Вибрано Витратомір Proline t-mass I 300(рис. 2.7, табл. 2.4)



Рисунок 2.7 - Датчик витрати Proline t-mass I 300

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики Proline t-mass I 300

No	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання витрати	Від 0.2 до 8500 норм. м³/год

FR3, FI3, FR4, FI4 – витрата мастила(min: 0,max:60,avg: 18(л/год)),

Вибраю витратомір OPTIFLUX 2100(рис. 2.8, табл. 2.5)



Рисунок 2.8 - Датчик витрати OPTIFLUX 2100

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики OPTIFLUX 2100

No	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання витрати	3...100 л/год

FR5, FI5,FR6, FI6,FR7, FI7,FR8, FI8 – витрата води при подачі води в резервуар(min: 0, max: 15, avg: 6.2 (м³/год)),

Відповідно до вимог вибрано Витратомір Proline Promag P 300(рис. 2.9, табл. 2.6)



Рисунок 2.9 - Витратомір Proline Promag P 300

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики Proline Promag P 300

No	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання витрати	0.24 м³/ч до 9600 м³/ч.

TS1, TI1 – датчики температури (корпус вакуум-компресора) - 0-100 °C
 Вибираю термометр опору Wika TR10-B (рис. 2.10, табл. 2.7)



Рисунок 2.10 - Датчик температури Wika TR10-B

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики TR10-B

No	Параметр	Значення
1	Робочий діапазон вимірюваних температур	-200...+600 °C

TR1, TI2, TR2, TI3 – температура газу (min: -50, max: 100, avg: 65(°C))

Відповідно до вимог вибрано термопару ТСП 5071 (рис. 2.11, табл. 2.8)



Рисунок 2.11 - Датчик температури ТСП 5071

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики ТСП 5071

No	Параметр	Значення
1	Робочий діапазон вимірюваних температур	-50...120°C

До датчика температури ТСП 5071 вибрано вбудований перетворювач який забезпечує формування стандартного аналогового вихідного сигналу 4...20 мА

TR3, TI4, TR4, TI5, TR5, TI6, TR6, TI7, TR7, TI8, TR8, TI9, TR9, TI10 – датчики температури (min: 15, max: 45, avg: 35 (°C))

Враховуючи коефіцієнт запасу 1,3 діапазон вимірюваних температур складає -13...65°C.

Відповідно до вимог вибрано датчик температури MBT 3260 Danfoss (рис. 2.12, табл. 2.9).



Рисунок 2.12 - Датчик температури MBT 3260 Danfoss

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики MBT 3260 Danfoss

No	Параметр	Значення
1	Вимірювана температура	-50...120°C

До датчика температури MBT 3260 Danfoss вибрано вбудований перетворювач компанії Danfoss який забезпечує формування стандартного аналогового вихідного сигналу 4...20 мА (рис. 2.13, табл. 2.10)



Рисунок 2.13 - Перетворювач температури Danfoss

Таблиця 2.10 - Вбудований перетворювач Danfoss

No	Параметр	Значення
1	Діапазон перетворювання	-50...200°C

LR1, LR2 - рівні води(min: 0, max: 6.0, avg: 5.1 (м))

Вибираю датчик рівня SITRANS Probe LU(рис. 2.14, табл. 2.11).



Рисунок 2.14 - Датчик рівня SITRANS Probe LU

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики SITRANS Probe LU

No	Параметр	Значення
1	Висота виміру	До 12 м (40 ft)

LV1, LH1 – датчики зміщення валу (min: -1.0, max: 1.0, avg: 0.01 (мм))

Діаметр вала насоса – 90 мм, вибираю розумний лазерний триангуляційний датчик переміщення optoNCDT1420(рис. 2.15, табл. 2.12).



Рисунок 2.15 - датчик переміщення optoNCDT1420

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.12 - Технічні характеристики optoNCDT1420

№	Параметр	Значення
1	Діапазон виміру (мм)	До 500

Відповідно до вибраних датчиків розроблено специфікацію, та представлено в додатку А.

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

V1 – вентиль сірководень з регенератора(NO)

Вибираю Belimo SY-230A-3-T(рис. 2.16, табл. 2.13)



Рисунок 2.16 - Вентиль Belimo SY-230A-3-T

Таблиця 2.13 - Технічні характеристики Belimo SY-230A-3-T

№	Параметр	Значення
1	Потужність	381 Вт
2	Час повороту	55 с

V2 - вентиль сірководень на піч-котел(NO)

Вибрав Elektrogas EVRM N.A. DN40(рис. 2.17, табл. 2.14)



Рисунок 2.17 - Вентиль Elektrogas EVRM N.A. DN40

					<i>КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 2.14 - Технічні характеристики Elektrogas EVRM N.A. DN40

No	Параметр	Значення
1	Тиск	200мбар...6 бар

Вентилі V3 – V8

Вибираю Burkert Type 5282(рис. 2.18, табл. 2.15)



Рисунок 2.18 - Вентиль Burkert Type 5282

Таблиця 2.15 - Технічні характеристики Burkert Type 5282

No	Параметр	Значення
1	Тиск	0-10бар

Вентилі V9 – V16

Вибираю VITON PN10(рис. 2.19, табл. 2.16)



Рисунок 2.19 - Вентиль M16/RM N.A.

Таблиця 2.16 - Технічні характеристики M16/RM N.A.

No	Параметр	Значення
1	Тиск	До 0 - 0,7 мПа

Регульовані вентилі води VF1 – VF2

					<i>КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Вибираю Siemens VVF42(рис. 2.20, табл. 2.17)



Рисунок 2.20 - Регульований вентиль M16/RM N.A.

Таблиця 2.17 - Технічні характеристики M16/RM N.A.

No	Параметр	Значення
1	Тиск	До 400 кПа (4 бар)

S1-3 – реле включення двигунів M1-3,

SB1-3 – реле включення двигунів M1-3

Вибираю реле schneider electric RXM2AB2BD(рис. 2.21, табл. 2.18), його внутрішня схема на Рис 2.22:



Рисунок 2.21 - реле RXM2AB2BD

Таблиця 2.18 - Технічні характеристики RXM2AB2BD

No	Параметр	Значення
1	Напруга схеми керування	24 В
2	Комутація	до 250 В

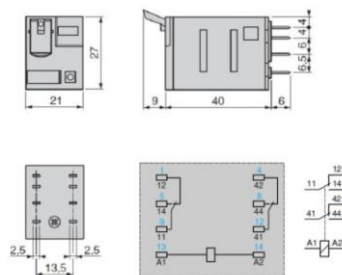


Рисунок 2.22 - Схема реле RXM2AB2BD

ТА1 – сигналізація критичної температури

Вибрав сигналізацію Multi-t.sounder EM 8 tone 24VAC/DC ВК(рис. 2.23, табл. 2.19)



Рисунок 2.23 - Сигналізація Multi-t.sounder EM 8 tone 24VAC/DC ВК

Таблиця 2.19 - Характеристики Multi-t.sounder EM 8 tone 24VAC/DC ВК

No	Параметр	Значення
1	Гучність	85 дБ

Відповідно до вибраних виконавчих пристроїв розроблено специфікацію, та наведено в додатку Б.

2.3 Вибір пристрою керування

Згідно з вимогами[2] час оновлення вхідних та вихідних параметрів для усіх датчиків та виконавчих пристроїв складає 0,1 с. Таким чином максимальна частота спектру вихідного сигналу дорівнює 10 Гц, а час дискретизації системи керування не повинен перевищувати 1:

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$T_{\text{дискр}} = \frac{1}{2 * F_{\text{max_BC}}} = \frac{1}{2 * 10 \text{ Гц}} = 0,05 \text{ с}, \quad (2.1)$$

де – $T_{\text{дискр}}$ час дискретизації системи керування (с); $F_{\text{max_BC}}$ – максимальна частота спектра вихідного сигналу (Гц).

Проаналізувавши технічні характеристики розглянутих програмованих логічних контролерів Siemens серії 1214C отримані їх основні часові параметри (табл. 2.20).

Враховуючи обмін інформацією між контролером та автоматизованим робочим місцем оператора кількість операцій з плаваючою комою, що може виконати центральний процесорний модуль за відведений час становить:

$$n_{\text{опк}} = 0,5 * \frac{T_{\text{дискр}}}{T_{\text{опк}}} = 0,5 * \frac{0,05}{2,3 * 10^{-6}} = 10869 \quad (2.2)$$

Де $n_{\text{опк}}$ - кількість операцій з плаваючою комою;

0,5– коефіцієнт враховуючий комунікаційні функції центрального процесорного модуля;

$T_{\text{опк}}$ – час виконання операції з плаваючою комою.

Таблиця 2.20 - Основні часові параметри контролерів серії 1214C

№	Параметр	Значення=
1	Час виконання бітової операції	0.08 $\mu\text{s}/\text{instruction}$
2	Час виконання операції зі словами	1.7 $\mu\text{s}/\text{instruction}$
3	Час виконання операції над числом з плаваючою комою	2.3 $\mu\text{s}/\text{instruction}$
4	Затимка виводу з “0” на “1”,min	0.2 мс
5	Затимка виводу з “0” на “1”,max	12.8 мс
6	Макс. швидкість передачі даних	100 Мбіт/с
7	Частота перемикачів для дискретних виходів	200 kHz
8	Частота перемикачів імпульсних виходів	3 по 80 kHz, 3 по 20 kHz

За результатом аналізу встановлено, що розглянуті контролери серії Siemens 1214C задовольняють вимогам до швидкодії.

Для моєї схеми потрібно 29 аналогових входів, 22 дискретних виходів, та 2 аналогових виходи.

Обираю два модулі Siemens SM 1231 AI 8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0(рис. 2.24, табл. 2.21), а їх схема на рис. 2.25.

Таблиця 2.21 - Технічні характеристики AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	8
2	Споживання струму	45 мА



Рисунок 2.24 - AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0

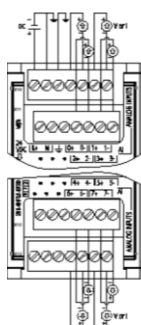


Рисунок 2.25 - Схема підключення модуля аналогових входів 6ES7 231-4HF32-0XB0

Обираю 231-5PD32-0XB0(рис. 2.26, табл. 2.22) та 231-5PF32-0XB0(рис. 2.27, табл. 2.23) для вимірювання температури. Їх схеми наведені на рис. 2.28.



Рисунок 2.26 - AI 4xRTD 6ES7 231-5PD32-0XB0

Таблиця 2.22 - Технічні характеристики AI 4xRTD 6ES7 231-5PD32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	4 аналогових входів
2	Споживання струму	80 мА



Рисунок 2.27 - AI 8xRTD 6ES7 231-5PF32-0XB0

Таблиця 2.23 - Технічні характеристики 6ES7 231-5PF32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	8 аналогових входів
2	Споживання струму	60 мА

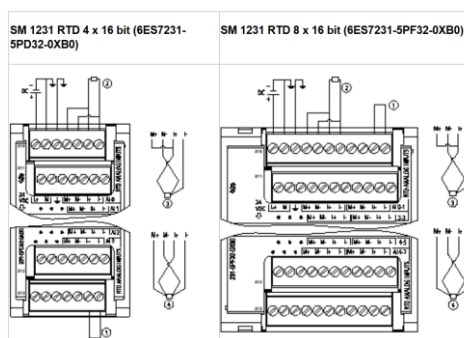


Рисунок 2.28 - Схема підключення модулів аналогових входів

AI 4xRTD 6ES7 231-5PD32-0XB0, AI 8xRTD 6ES7 231-5PF32-0XB0

Для мого проекту з автоматизації я обрав такі модулі дискретних виходів: два Siemens DQ 16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XB0(рис. 2.29, табл. 2.24) та один DQ 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0(рис. 2.30, табл. 2.25). Це рішення було зумовлене необхідністю забезпечити достатню кількість виходів для керування 22 виконавчими елементами, що відповідають каналам V1-V16, S1-S3 та SB1-SB3. Загальна кількість виходів, які надають обрані модулі, становить 40 , що дозволяє підключити всі необхідні канали та мати невеликий резерв для потенційного розширення системи в майбутньому. Їх схеми представлені на рис. 2.31.



Рисунок 2.29 - DQ16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XB0

Таблиця 2.24 - Технічні характеристики DQ16x24 VDC 6ES7 222-1BH32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	16



Рисунок 2.30 - DQ 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0

Таблиця 2.25 - Технічні характеристики DQ 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	16

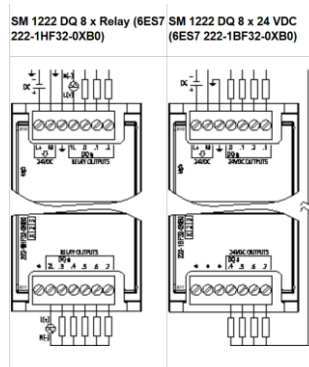


Рисунок 2.31 - Схема підключення модулів дискретних виходів

DQ16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XB0, 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0

Вибрав Siemens AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0(рис. 2.32, табл. 2.26).Для керування трьома аналоговими виходами для каналів VF1, VF2, FC1.Його схема показана на рис. 2.33.



Рисунок 2.32 - AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0

Таблиця 2.26 - Технічні характеристики AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0

No	Параметр	Значення
1	Кількість входів	2
2	Споживання струму	45 мА

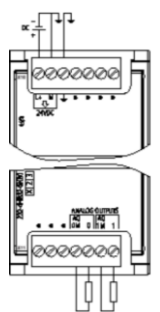


Рисунок 2.33 - Схема модуля AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0

Для з'єднання з датчиками 4 витрати та 2 датчиками рівня вибраву Siemens SCALANCE XB008 6GK5008-0BA10-1AB2(рис. 2.34, табл. 2.27) через його 8 портів Fast Ethernet для зручного підключення семи пристроїв PROFINET. Компактний, з DIN-кріпленням і пасивним охолодженням, він забезпечує надійний і швидкий обмін даними в промислових мережах



Рисунок 2.34 - Switch Siemens SCALANCE XB008 6GK5008-0BA10-1AB2

Таблиця 2.27 - Технічні характеристики 6GK5008-0BA10-1AB2

Найменування показника	Значення
Кількість портів	8
Швидкість передачі	100 Мбіт/с

Вибираю частотний перетворювач АВВ ACS2000 для керування двигуном М1(рис. 2.35, табл. 2.28).



Рисунок 2.35 - АВВ ACS2000

Таблиця 2.28 - Технічні характеристики ABB ACS2000

Найменування показника	Значення
Напруга	4,0 - 6,9 кВ

Відповідно до вибраних пристроїв керування розроблено специфікацію, та представлено в додатку В.

2.4 Вибір автоматизованого робочого місця оператора

Відповідно до вимог[1] вибрано автоматизоване робоче місце оператора на базі промислового комп'ютера компанії Siemens та HMI панелі TP1500 Comfort PRO 6AV2124-0QC24-0AX0(рис. 2.36, табл. 2.29).Для підключення обрано інтерфейс PROFINET (див. 2.1.2).



Рисунок 2.36 - TP1500 Comfort PRO

Таблиця 2.29 - Технічні характеристики TP1500 Comfort PRO

No	Параметр	Значення
1	Діагональ екрана	15
2	Інтерфейси	1× PROFINET (Ethernet), USB, SD
3	Пам'ять	24 МБ
4	Напруга	24 В DC
5	Потужність	18 Вт

2.5 Структура даних системи автоматизації

Структура даних програми є фундаментальним елементом будь-якої автоматизованої системи керування[1]. Вона визначає, як інформація про технологічний процес збирається, організовується, обробляється та використовується для ефективного моніторингу та прийняття рішень. Таблиця 2.30 описує технологічні змінні та параметри, які є важливими для контролю та регулювання роботи відцентрового вакуум-компресора.

Таблиця 2.30 - Список входів-виходів системи

№	Назва сигналу	Тип сигналу
1	PR1-PR8, FR1-FR8, TR1-TR9, LR1, LR2, LV1, LH1	AI
2	B1-B3	DI
3	VF1, VF2	AO
4	V1-V16, S1-S3, SB1-SB3	DO

2.6 Вибір джерел живлення

До складу пристрою керування входять:

Центральний процесор, 5 модулів аналогового вводу та 3 модулі дискретного виводу, один аналогового виводу, які потребують гальванічної розв'язки[1].

До модулів аналогового вводу підключаються 29 датчиків, які можуть житися від +24 В.

Промисловий комп'ютер має напругу живлення +24 В.

Таким чином загалом необхідно розрахувати споживану потужність джерела живлення з напругою +24 В.

Розрахунок споживаної потужності:

- 1) Для CPU Siemens 1214C DC/DC/DC 6ES7214-1AG40-0XB0, та модулів контролера споживання струму становить 500 мА при напрузі 24 В DC. Це

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

навантаження повинно бути забезпечене блоком живлення незалежно від додаткових модулів.

- 2) До системи також входять такі модулі, та промисловий комп'ютер Siemens SIMATIC HMI TP1500, які мають таке споживання струму:

$$\begin{aligned}
 I_M = 2 * (& AI8x13BIT\ 6ES7\ 231 - 4HF32 - 0XB0) \\
 & + (AI\ 4xRTD\ 6ES7\ 231 - 5PD32 - 0XB0) \\
 & + (AI\ 8xRTD\ 6ES7\ 231 - 5PF32 - 0XB0) + 2 \\
 & * (DQ16x24VDC\ 6ES7\ 222 - 1BH32 - 0XB0) \\
 & + (DQ\ 8x24VDC\ 6ES7\ 222 - 1BF32 - 0XB0) \quad (2.6) \\
 & + (AQ\ 2x14BIT\ 6ES7\ 232 - 4HB32 - 0XB0) \\
 & + (SCALANCE\ XB008\ 6GK5008 - 0BA10 - 1AB2) \\
 & + (6AV2124 - 0QC24 - 0AX0);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_M &= 2 * 45 + 60 + 80 + 2 * 100 + 100 + 45 + 120 + 1100 \\
 &= 1795 \text{ мА};
 \end{aligned}$$

- 3) Розрахунок струму, який споживають підключені до контролера датчики:

$$I_D = PR1...PR8 + FR1...FR8 + TR1...TR9 + LR1 + LR2 + LV1 + LH1 \quad (2.7)$$

$$I_D = 8*50 + 8*50 + 5*50 + 50 + 50 + 50 + 50 = 1\ 250 \text{ мА};$$

- 4) Енергоспоживання виконавчих пристроїв:

$$I_B = V1...V16 + VF1...VF2 + S1...S3 + SB1...SB3 \quad (2.8)$$

$$I_B = 50*16 + 20*2 + 50*3 + 50*3 = 1\ 140 \text{ мА};$$

- 5) Було визначено споживання струму усіма елементами системи (CPU, модулі, датчики, виконавчі органи), тепер необхідно розрахувати сумарне навантаження. Для забезпечення надійної роботи системи додається запас в 30%.

$$I_p = I_{CPU} + I_M + I_D + I_B = 500 + 1795 + 399 + 1140 \quad (2.9)$$

$$= 3834 \text{ мА}$$

$$I = I_p * 130\% = 4985 \text{ мА} = 5 \text{ А}$$

- 6) На підставі аналізу результатів розрахунку в якості джерела живлення вибрано 3 блока живлення – для незалежного живлення контролера, датчиків та виконавчих присторів.

- 7) Живлення пристроїв керування(G1)

Контроллер та приєднані до нього модулі(9) живляться від одного блока живлення тому сумуємо їх струуми. Додаю запас — 30%.

$$I_{G1} = 500 + 1795 = 2295 \text{ мА} = 2,3 * 130\% = 3 \text{ А}$$

Вибираю блок живлення Mean Well NDR-75-24(рис. 2.37, табл. 2.31) бо він здатен видавати струм до 3.2 А при 24 В DC.Його схема наведена на рис. 2.38.



Рисунок 2.37 - Блок живлення NDR-75-24

					<i>КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 2.31 - Технічні характеристики NDR-75-24

Найменування показника	Значення
Напруга	24 В
Струм	3.2 А

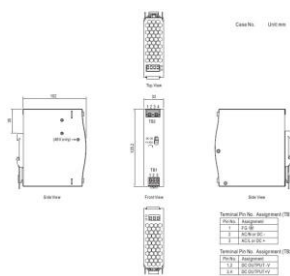


Рисунок 2.38 - Схема підключення NDR-75-24(G1)

8) Живлення датчиків (G2)

До розрахованого значення струму датчиками додається запас — 30%.

$$I_{G2} = 1250 \text{ mA} = 0,4 * 130\% = 1,62 \text{ A}$$

Вибираю блок живлення Mean Well HDR-60-24(рис. 2.39, табл. 2.32) бо він здатен видавати струм до 2.5 А при 24 В DC.Його схема показана на рис. 2.40.



Рисунок 2.39 - Блок живлення HDR-60-24

Таблиця 2.32 - Технічні характеристики HDR-60-24(G2)

Найменування показника	Значення
Напруга	24 В
Струм	2.5 А

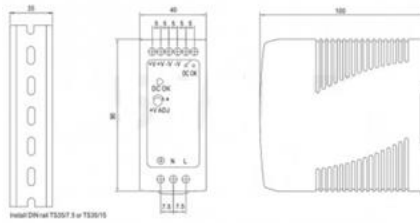


Рисунок 2.42 - Схема підключення MDR-60-24 (G3)

2.7 Розробка функціональної схеми автоматизації

Відповідно вимогам до системи керування, її структури, обраного апаратного забезпечення та стандарту [1] розроблена функціональна схема автоматизації процесу керування вакуум-компресором (рис. 2.43).

Контроль рівня мастила в баку T1

Датчик рівня LR1 передає до контролера значення рівня. В контролері його сигнал зчитується та перетворюється в величину рівня в метрах. На основі його значення програма формує вихідні сигнали:

При зменшенні рівня нижче 0.6 м відкриваються вентилі V7, V8, а при рівні 0.85 м знову закриваються, при зменшенні рівня нижче 0.6 м закривається вентиль V6, а при рівні 0.85 м знову відкривається.

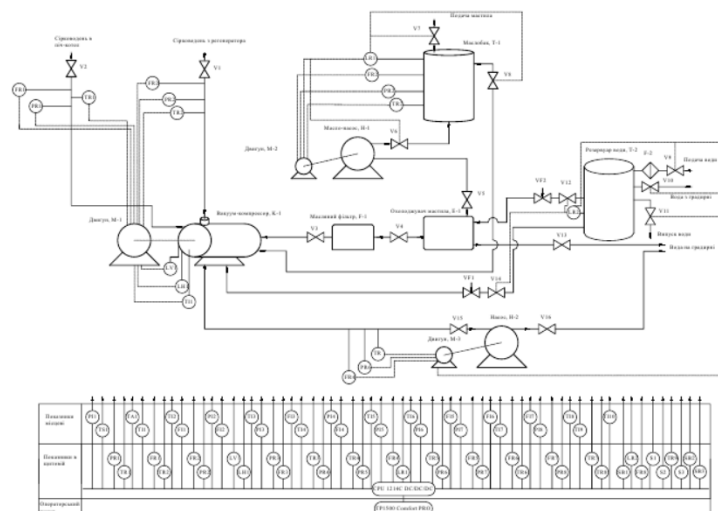


Рисунок 2.43 - Функціональна схема автоматизації системи керування

Контроль рівня мастила в баку T2

Датчик рівня LR2 передає до контролера значення рівня. В контролері його сигнал зчитується та перетворюється в величину рівня в метрах. На основі його значення програма формує вихідні сигнали:

При зменшенні рівня нижче 4.5 м відкриваються вентилі V9, V10, V11, а при рівні вище 5.0 м знову закриваються, при зменшенні рівня нижче 0.6 м закривається вентиль V6, а при рівні 0.85 м знову відкривається, при збільшенні рівня вище 5.5 м закривається вентилі V11, V12, V14, а при рівні 5.0 м знову відкриваються.

Керування двигуном M1:

Датчики LV1, LH1, PR1, TR1, FR1, PR2, TR2, FR2, та реле S1, SB1, B1 передають до контролера данні про стан об'єкта. В контролері їх сигнали зчитується та перетворюються в зручні для сприйняття величини. На основі цих значень програма формує вихідні сигнали.

Автоматичне виключення двигуна M1 відбувається при умові хоча б одної умови: зміщення валу вакуум-компресора (LV1, LH1) більш ніж на 50.8 мікрон, тиск на вході вакуум-компресора менше 50 кПа, температура газу на вході вище 50 °С, витрата газу на вході менше 600 нм³/год, тиск газу на виході вакуум-компресора вище 150 кПа, температура газу на виході вище 65 °С, витрата газу на виході менше 600 нм³/год.

Керування двигуном M2

Датчики PR6, TR5, FR5, та реле S2, SB2, B2 передають до контролера данні про стан об'єкта. В контролері їх сигнали зчитується та перетворюються в зручні для сприйняття величини. На основі цих значень програма формує вихідні сигнали.

Автоматичне виключення двигуна M2 відбувається при умові хоча б одної умови: тиск на виході маслобаку T1 більше 2 бар, температура матила на виході маслобаку T1 вище 50 °С, витрата мастила на виході маслобаку T1 менше 24 л/год.

Керування двигуном M3

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Датчики PR5, TR4, FR4, та реле S3, SB3, B3 передають до контролера данні про стан об'єкта. В контролері їх сигнали зчитуються та перетворюються в зручні для сприйняття величини. На основі цих значень програма формує вихідні сигнали.

Автоматичне виключення двигуна M3 відбувається при умові хоча б одної умови: тиск на виході вакуум-компресора K-1 більше 2 бар, температура води на виході вакуум-компресора вище 65 °C, витрата води на виході вакуум-компресора K-1 менше 4.5 л/год.

Пристрій керування CPU 1214C DC/DC/DC обмінюється з автоматизованим робочим місцем TP 1500 Comfort PRO налаштуваннями, станами обладнання, виміряними значеннями.

2.8 Розробка схеми електричної принципової

Відповідно до функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова[2] системи керування вакуум-компресором (рис. 2.44).

HMI панель TP 1500 Comfort PRO 6AV2124-0QC24-0AX0 підключається до контролера через profinet switch, а живляться з блоку G1.

Датчик тиску PR1 підключається до контролера CPU 1214C з діапазоном вихідного сигналу 4-20 мА, а PR2-PR8 підключаються до модуля аналогового вводу AI8_1.

Програмований логічний контролер Siemens CPU 1214C та модулі AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0, AI 4xRTD 6ES7 231-5PD32-0XB0, AI 8xRTD 6ES7 231-5PF32-0XB0, DQ16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XB0, DQ 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0, AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0, SCALANCE XB008 6GK5008-0BA10-1AB2 живляться від блоку G1, датчики PR1-PR8, FR1-FR8, TR1-TR9, LR1, LR2, LV1, LH1, B1-B3 живляться від блоку G2. Виконавчі прилади VF1, VF2, V1-V16, SI-S3, SB1-SB3 живляться від G3.

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики температури TR1,TR2 .підключаються до AI4_RTD_1, AI8_RTD_1 з діапазоном вихідного сигналу 78.6-164.20 Ом.

Датчики рівня LR1, LR2 підключаються до модуля AI8_2 з діапазоном вихідного сигналу 4-20 мА.



Рисунок 2.44 - Схема електрична принципова

Датчики витрати FR1, FR2 підключаються до модулів AI8_1, AI8_2 з діапазоном вихідного сигналу 4-20 мА, FR3-FR4 підключаються до модуля аналогового вводу AI8_2, FR5-FR8 підключаються до контролера через profinet switch, а живляться з блоку G2, датчики зміщення валу LV1, LH1 підключаються до контролера через profinet switch, а живляться з блоку G2, контакти реле блока керування Relay_1 - Relay_35 підключаються до DQ16_1, DQ16_2 та живляться з блоку G3.

Враховуючи вибране апаратне забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації та схема електрична принципова системи керування.

2.9 Програмування контролера та розробка інтерфейсу НМІ-панелі

Для програмування моєї системи вибираю мову LAD, створюю організаційний блок Main(Рис. 2.45) та додаю в нього функціональні блоки Input_Analog, Input_Digital, Output_Analog, Output_Digital, Programm.

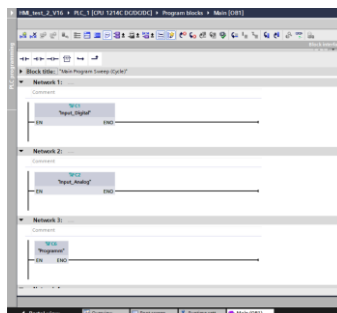


Рисунок 2.45 - Головний організаційний блок Main

В функціональних блоках Input_Analog, Input_Digital я перетворюю входи контролера в зручні для керування величини, наприклад цифровий сигнал 0...27648 в діапазон вимірюваної температури -50...120. Перетворення відбувається в блоці SCALE (Рис. 2.46) за пропорцією згідно з документацією.

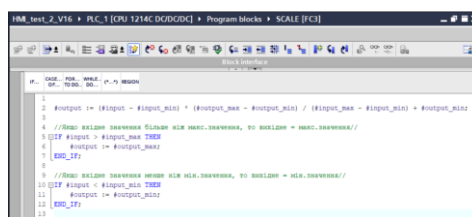


Рисунок 2.46 - Функціональний блок SCALE

Перетворені значення записуються у відповідні змінні в блоках даних Input_Analog_DB, Input_Digital_DB (Рис. 2.47).

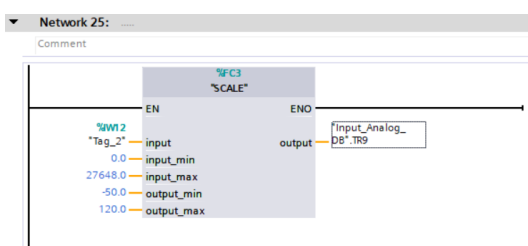


Рисунок 2.47 - Претворення сигналу з датчика

Після цього в Programm ці данні обробляються, та програма реагує на зміни вимірваних величин і виробляє керуючі впливи і зберігає їх до блоків Output_Analog_DB, Output_Digital_DB (Рис. 2.48).

В функціональних блоках Output_Analog, Output_Digital я перетворюю данні з блоків даних на сигнал для виходів контролера.

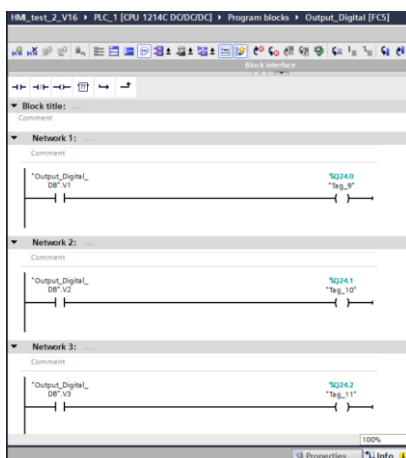


Рисунок 2.48 - Функціональний блок Output_Digital

В функціональний блок Programm додаю підпрограми T1_Control, T2_Control, M1_Control, M2_Control, M3_Control.

Контроль рівня мастила в баку T1(T1_Control)

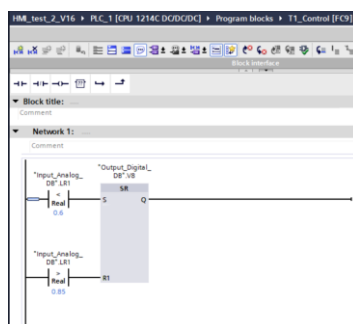


Рисунок 2.49 - Функціональний блок T1_Control

В функціональному блоці T1_Control (Рис. 2.49) датчик рівня LR1 передає до контролера значення рівня. В контролері його сигнал зчитується та перетворюється в величину рівня в метрах. На основі його значення програма формує вихідні сигнали:

При зменшенні рівня нижче 0.6 м відкриваються вентиля V7, V8, а при рівні 0.85 м знову закриваються, при зменшенні рівня нижче 0.6 м закривається вентиль V6, а при рівні 0.85 м знову відкривається.

Контроль рівня води в баку T2(T2_Control)

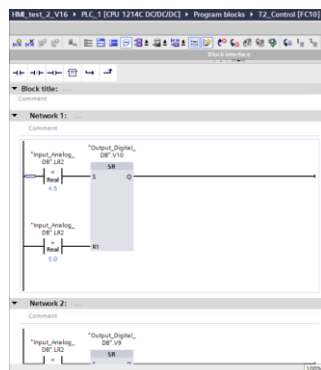


Рисунок 2.50 - Функціональний блок T2_Control

В функціональному блоці T2_Control(Рис. 2.50) датчик рівня LR2 передає до контролера значення рівня. В контролері його сигнал зчитується та перетворюється в величину рівня в метрах. На основі його значення програма формує вихідні сигнали:

При зменшенні рівня нижче 4.5 м відкриваються вентиля V9, V10, V11, а при рівні вище 5.0 м знову закриваються, при зменшенні рівня нижче 0.6 м закривається вентиль V6, а при рівні 0.85 м знову відкривається, при збільшенні рівня вище 5.5 м закривається вентиля V11, V12, V14, а при рівні 5.0 м знову відкриваються.

Керування двигуном M1(M1_Control)

В функціональному блоці M1_Control (Рис. 2.52, 2.53) Датчики LV1, LH1, PR1, TR1, FR1, PR2, TR2, FR2, та реле S1, SB1, B1 передають до контролера данні про стан об'єкта. В контролері їх сигнали зчитується та перетворюються в зручні для сприйняття величини. На основі цих значень програма формує вихідні сигнали:

Електрична схема двигуна M1 наведена на рис. 2.51.

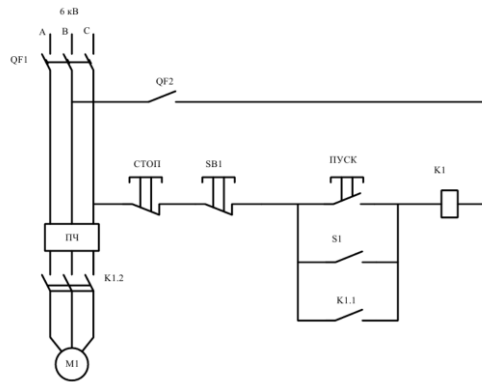


Рисунок 2.51 - Схема електрична двигуна M1

S1 – кнопка включення двигуна M1, SB1 - кнопка виключення двигуна M1, B1 – зворотній зв’язок з двигуна M1, ПЧ – перетворювач частоти.

Автоматичне виключення двигуна M1 відбувається при умові хочаб одної умови: зміщення валу вакуум-компресора(LV1, LH1) більш ніж на 50.8 мікрон, тиск на вході вакуум-компресора менше 50 кПа, температура газу на вході вище 50 °C, витрата газу на вході менше 600 нм3/год, тиск газу на виході вакуум-компресора вище 150 кПа, температура газу на виході вище 65 °C, витрата газу на виході менше 600 нм3/год.

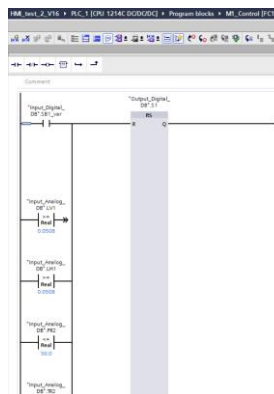


Рисунок 2.52 - Функціональний блок M1_Control

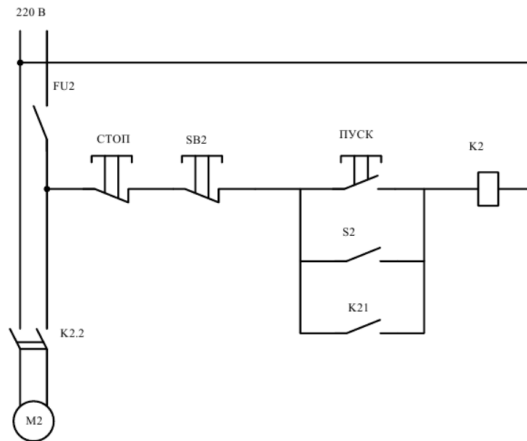


Рисунок 2.55 - Схема електрична двигуна M2

S2 – кнопка включення двигуна M2.

SB2 - кнопка виключення двигуна M2.

B2 – зворотній зв'язок з двигуна M2.

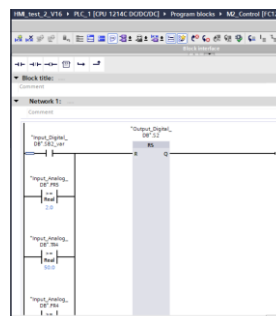


Рисунок 2.56 - Функціональний блок M2_Control

Автоматичне виключення двигуна M2 відбувається при умові хочаб одної умови: тиск на виході маслобаку T1 більше 2 бар, температура матила на виході маслобаку T1 вище 50 °C, витрата мастила на виході маслобаку T1 менше 24 л/год.

Керування двигуном M3(M3_Control)

В функціональному блоці M3_Control (Рис. 2.58) датчики PR5, TR4, FR4, та реле S3, SB3, B3 передають до контролера данні про стан об'єкта.В контролері їх сигнали зчитується та перетворюються в зручні для сприйняття велечини.На основі цих значень програма формує вихідні сигнали:

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Електрична схема двигуна М3 наведена на рис. 2.57.

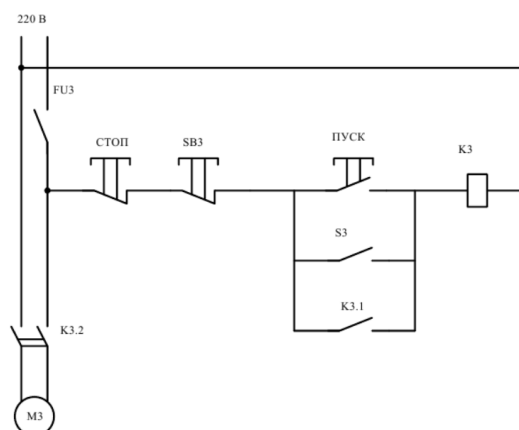


Рисунок 2.57 - Схема електрична двигуна М3

S3 – кнопка включення двигуна М3, SB3 - кнопка виключення двигуна М3, ВЗ – зворотній зв’язок з двигуна М3.

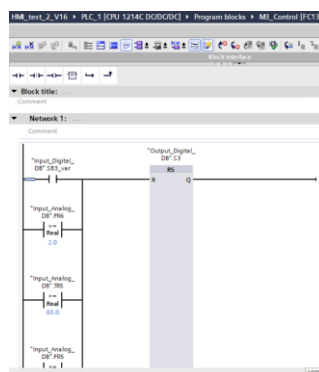


Рисунок 2.58 - Функціональний блок M3_Control

Автоматичне виключення двигуна М3 відбувається при умові хочаб одної умови: тиск на виході вакуум-компресора К-1 більше 2 бар, температура води на виході вакуум-компресора вище 65 °С, витрата води на виході вакуум-компресора К-1 менше 4.5 л/год.

Додаю в програму НМІ панель TP 1500 Comfort PRO 6AV2124-0QC24-0AX0. Додаю на екран кнопки, поля для вводу, поля для виводу інформації,

					КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

індикатори, трубопроводи, насоси, компресор, збірники та додаю їм відповідні змінні та налаштування.

Додаю індикацію критичних рівнів (жовтий – передаварійне значення, червоний – аварійне значення).

Результат показано на рис. 2.59.

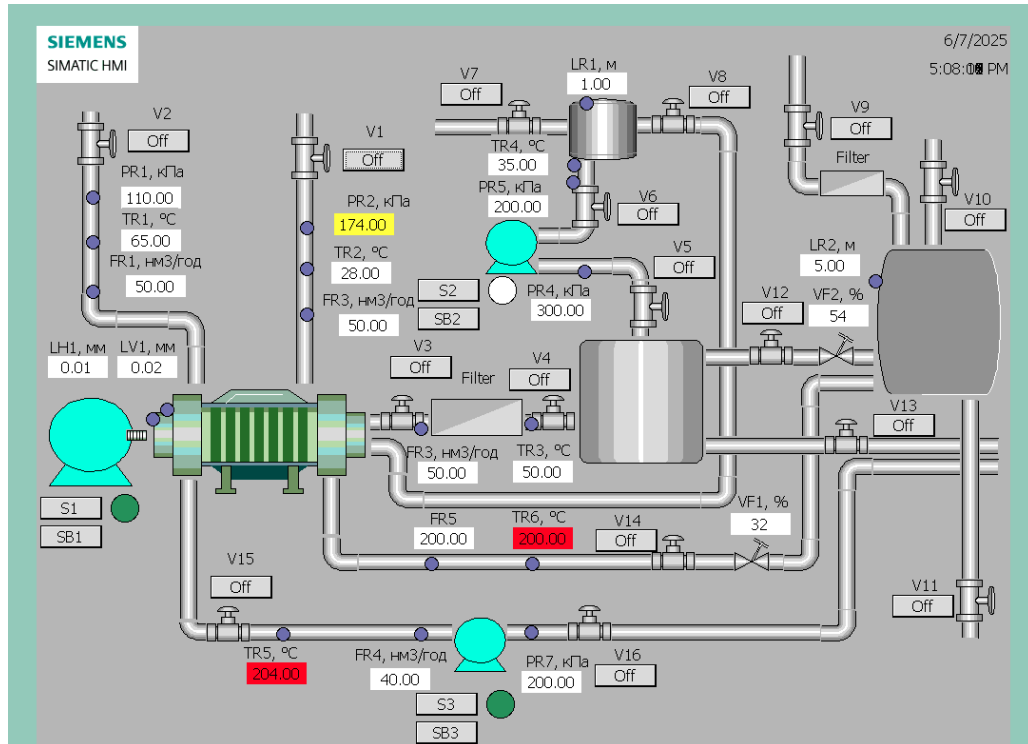


Рисунок 2.59 - Інтерфейс НМІ панелі

Автоматизоване робоче місце TP 1500 Comfort PRO обмінюється з CPU 1214C DC/DC/DC налаштуваннями, станами обладнання, вимірянними значеннями.

ВИСНОВКИ

У ході виконання цього проекту було застосовано комплексний підхід до розробки системи автоматизації відцентрового вакуум-компресора, в умовах сіркоочистки коксохімічного виробництва.

Були досягнуті поставлені цілі роботи:

1 Опис технологічного процесу:

Був проведений аналіз технологічного процесу, та обґрунтування вибору відцентрового вакуум-компресора Howden SFG.

Була створена статична модель, що дозволила кількісно і якісно описати взаємозв'язки між основними робочими параметрами процесу, та підготувати данні для проектування системи.

Також була створена динамічна модель відцентрового вакуум-компресора в середовищі MATLAB Simulink. Ця динамічна модель, побудована на основі фізичних властивостей об'єкта, вона дозволила імітувати та аналізувати зміну основних параметрів, таких як тиск, температура та споживана енергія, залежно від впливу частоти обертання ротора компресора.

2 Створення структури керування об'єктом.

Було ретельно проаналізовано вимоги до майбутньої системи автоматизації, що дозволило визначити оптимальну структуру керування об'єктом.

3 Розробка структурної схеми автоматизації,

4 Розробка електричної схеми автоматизації

Було розроблені ключові схеми: структурна, функціональна та електрична принципова, які візуалізують архітектуру та логіку роботи створеної системи автоматизації.

					<i>КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ</i>						
					<i>ВИСНОВКИ</i>						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>							
<i>Розроб.</i>		<i>Харченко В.В.</i>			<i>Літ.</i>			<i>Арк.</i>		<i>Аркушів</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Тиханський М.П.</i>									
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-22ск</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>									
								69		2	

5 Вибір елементів системи автоматизації

На основі попередніх розрахунків було обрано все необхідне апаратне забезпечення системи керування: від контролера Siemens S7-1200 та його модулів розширення до датчиків, надійних виконавчих приладів та HMI-панелі.

6 Програмування контролера та розробка інтерфейсу HMI панелі.

Написана програма керування для контролера та HMI панелі. Програма автоматично регулює двигуни, клапани, рівні рідин в баках.

HMI-панель відображає стан системи, та контролює процес роботи відцентрового вакуум-компресора, індикує аварійні та передаварійні параметри

Розроблена система автоматизації відцентрового вакуум-компресора забезпечить підвищену стабільність технологічного процесу, точне автоматичне регулювання двигунів, клапанів та рівнів рідин, а також безперервний моніторинг та індикацію аварійних і передаварійних параметрів.

Це сприятиме мінімізації ризиків, оптимізації споживання ресурсів та забезпеченню надійного функціонування відцентрового вакуум-компресора в умовах коксохімічного виробництва.

					<i>КНУ КРБ.151.25.02.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: Навч. Посібник. К.:Видавництво Ліра-К, 2019.
2. Пушкар М.С., Проценко С.М. Проектування систем автоматизації: Навч.посібник /Національний гірничий університет, 2013. 268 с.
3. Бернд Гишель. EPLAN Electric P8: Практическое пособие для пользователя. М.:EPLAN Россия, 2010.
4. Трегуб В.Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч.посібник. К.:НМК ВО, 1990
5. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навч.посібник. К.:НУХТ, 2003.
6. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч.посібник /О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М Луцька, А.П. Ладанюк. К.:Ліра-К, 2011.
7. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого керування: Навч.посібник.К.:НУХТ, 2005
8. EPLAN Electric P8 : Руководство для начинающих. EPLAN Software ServiceGmbh & Co. KG, 2014.164с. з URL:https://www.eplanrussia.ru/fileadmin/data/ru/Training/BeginnersGuide_P8_ru_RU.pdf
9. Eplan ProPanel : Руководство для начинающих. EPLAN Software ServiceGmbh & Co. KG, 2014. 44с. з URL:https://www.eplanrussia.ru/fileadmin/data/ru/Training/BeginnersGuide_ProPanel_ru_RU.pdf
10. Eplan Fluid : Руководство для начинающих. EPLAN Software ServiceGmbh & Co. KG, 2014. 152с. з URL: https://www.eplan-russia.ru/fileadmin/data/ru/Training/BeginnersGuide_Fluid_ru_RU.pdf

					<i>КНУ КРБ.151.25.00.06.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>		
Розроб.		Харченко В.В.					
Перевір.		Тиханський М.П.					
Н. Контр.		Маринич І.А.					
Затверд.		Маринич І.А.			<i>КНУ АКИТ-22ск</i>		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						71	3

11. ДСТУ Б А.2.4-1-2009. Умовні зображення і позначки трубопроводів та їх елементів.

12. ДСТУ Б А.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.

13. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовних приладів і засобів автоматизації в схемах.

14. ДСТУ Б А.2.4-10-2009. Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів.

15. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Проектування систем автоматизації”, Ч.І,ІІ, для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” усіх форм навчання. Укладачі: Маринич І.А., Сердюк О.Ю. Кривий Ріг: КНУ», 2020.

16. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Проектування систем автоматизації” для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” усіх форм навчання. Укладачі: Маринич І.А., Сердюк О.Ю. Кривий Ріг: КНУ, 2020.

17. Стаття “Вакуум-карбонатная очистка” з URL: <https://chem21.info/info/157988/>.

18. Стаття “Нормы технологического режима сероочистки коксового газа” з URL: <https://studfile.net/preview/9180245/page:5/>.

19. Стаття “Принцип работы вакуумных насосов различных типов, их особенности” з URL: <https://tek-prom.ru/princip-raboty-vakuumnyh-nasosov/>.

20. Стаття “Автоматическое управление насосными установками” з URL: <https://studfile.net/preview/9245835/page:35/>.

21. Гребенюк А.Ф., Коробчанский В.И., Власов Г.А. Улавливание химических продуктов коксования ,2001 , 229 с/

22. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

					КНУ.КРБ.151.25.00.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

23. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с.(Інформація та документація).

24. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

26. Meherwan P. Boyce, GasTurbine Engineering Handbook Second Edition , 816 p.

27. Калинкевич Н. В. Турбомашины. Основы теории : учебник
Сумы : Сумский государственный университет, 2017. – 311 с.

28. Toufik Bentaleb, Model-Based Control Techniques for Centrifugal Compressors 2015 , 136 p.

29. Дніпропетровське Інвестиційне агенство з URL: <https://dia.dp.gov.ua/virobnictvo-koksu-v-ukra%D1%97ni-vpalo-na-59-u-2022-roci/>

30. Маринич І. А., Рубан С. А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг :

31. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

32. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

33. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

34. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

					КНУ.КРБ.151.25.00.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ДОДАТКИ

Додаток А

No	Назва параметра	Назва датчика	Принцип дії	Діапазон вимірювань	Вихідне значення
1	PR1,PI1	Rosemount 3051SFA	Диференціальн ого тиску	14...280 кПа	4...20 мА
2	PR2,PI2	SI-3702	Диференціальн ого тиску	14...280 кПа	4...20 мА
3	PR3- PR8,PI3- PI8	WIKA S-20	П'єзорезистивн ий (тензорезистор)	0–16 бар	4...20 мА
4	FR1,FR2,F I1,FI2	Proline t-mass I 300	Тепловий масовий	Від 0.2 до 8500 норм. м³/год	4...20 мА
5	FR3,FR4,F I3,FI4	OPTIFLU X 2100	Електромагнітн ий витратомір	3...100 м³/год	4...20 мА
6	FR5- FR8,FI5- FI8	Proline Promag P 300	електромагнітн ий витратомір	0.24 м³/год до 9600 м³/год.	4...20 мА
7	TI1,TS1	Wika TR10-B	Термо-електричний	-200...+600 °С	4...20 мА
8	TR1,TR2,T I2,TI3	ТСП 5071	Термоперетвор ювач опору	-50...120°С	4...20 мА
9	TR3- TR9,TI4- TI10	MBT 3260 Danfoss	Термоперетвор ювач опору	-50...120°С	4...20 мА

Продовження додатку А

10	LR1,LR2	SITRANS Probe LU	Ультразвуковий рівнемір	0-12 м	4...20 мА
11	LV1,LH1	optoNCDT 1420	Лазерна триангуляція	10–500 мм	4...20 мА

Додаток Б

No	Назва параметра	Назва виконавчого пристрою	Діапазон зміни	Вхідне значення	Напруга живлення
1	V1	Belimo SY-230A-3-T	Відкриття-закриття	24 В	230 В
2	V2	Elektrogas EVRM N.A. DN40	Відкриття-закриття	24 В	230 В
3	V3-V8	Burkert Type 5282	Відкриття-закриття	24 В	230 В
4	V9-v16	VITON PN10	Відкриття-закриття	24 В	230 В
5	VF1,VF2	Siemens VVF42	від 0% до 100%	24 В	230 В
6	S1-S3,SB1-SB3	SchneiderElectric RXM2AB2BD	Пуск-Стоп	24 В	230 В
7	TA1	Multi-t.sounder EM 8	Включення-виключення	24 В	24 В

Додаток В

No	Назва модуля	Назва параметра	Пристрій	Напруга живлення
1	CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7214-1AG40-0XB0	Центральний процесорний модуль		20,4-28,8 В
		PR1	Датчик тиску Rosemount 3051SFA	12...36 В
		B1 - B3	Зворотній зв'язок з реле	24 В
2	AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0	Модуль аналогового вводу		24 В
		PR2	Датчик тиску SI-3702	12...36 В
		PR3 – PR8	Датчик тиску WIKA S-20	12...36 В
3	AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0	Модуль аналогового вводу		24 В
		FR1 – FR4	Витратомір Proline t-mass I 300	12...36 В
4	AI8x13BIT 6ES7 231-4HF32-0XB0	Модуль аналогового вводу		24 В
		LR1, LR2	Ультразвуковий рівнемір SITRANS Probe LU	12...36 В
5	Siemens SCALANCE XB008 6GK5008-0BA10-1AB2	PROFINET комутатор		24 В
		FR5-FR8	Витратомір Proline Promag P 300	12...36 В
6	AI 4xRTD 6ES7 231- 5PD32-0XB0	Модуль аналогового вводу		24 В
		TR1-TR4	Датчик температури ТСП 5071	12...36 В
7	AI 8xRTD 6ES7 231- 5PF32-0XB0	Модуль аналогового вводу		24 В
		TR5-TR9	Датчик температури MBT 3260 Danfoss	12...36 В

Продовження додатку В

8	DQ16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XBO	Модуль дискретного виводу		24 В
		V1	Привід вентиля Belimo SY-230A-3-T	230 В
		V2	Привід вентиля Elektrogas EVRM N.A. DN40	230 В
		V3-V8	Привід вентиля Burkert Type 5282	230 В
9	DQ16x24VDC 6ES7 222-1BH32-0XBO	Модуль дискретного виводу		24 В
		V9-V16	Привід вентиля VITON PN10	24 В
10	DQ 8x24VDC 6ES7 222-1BF32-0XB0	Модуль дискретного виводу		24 В
		S1 – S3, SB1 – SB3	Реле SchneiderElectric RXM2AB2BD	24 В
11	AQ 2x14BIT 6ES7 232-4HB32-0XB0	Модуль аналогового виводу		24 В
		VF1, VF2	Регульований привід вентиля Siemens VVF42	24 В