

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності

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

«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «Оптимізація автоматизованої системи керування утилізатором тепла
газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С»

Здобувача групи СУ.м-31

Чумак Артем Валерійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Артем ЧУМАК
(підпис)

Керівник ст. викладач, к.т.н., доцент Олександр ЖУРАВЛЬОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Консультант _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Чумак Артем Валерійович

(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Забезпечення енергоефективного управління процесом осушення природного газу»
затверджена наказом ректора СумДУ № № 1090 - VI від "24" жовтня 2024 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 17 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація, перелік літературних джерел.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
розробка PID регулятора, система автоматизованого керування утилізатором тепла, вибір засобів автоматизації, розробка SCADA-системи.
5. Перелік графічних матеріалів:
Схема інформаційно – матеріальних потоків, функціональна схема

6. Календарний план виконання роботи

№ етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання. Робота з літературою та першоджерелами	22.10.24 – 28.10.24
2	Утилізатор тепла як об'єкт керування	28.10.24–29.10.24
3	Розробка функціональної схеми та схеми інформаційно-матеріальних потоків	29.10.24-04.11.24
4	Розробка регулятора	04.11.24-19.11.24
5	Вибір засобів автоматизації	19.11.24-22.11.24
6	Розробка SCADA системи та протоколів	22.11.24-27.11.24
7	Оформлення роботи	27.11.24-08.12.24
8	Представлення кваліфікаційної роботи магістра керівнику і одержання відгуку	08.12.24-17.12.24

1. Дата видачі завдання “22”жовтня 2024р.

Керівник проекту:

ст. викладач, к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

_____ (підпис)

Олександр ЖУРАВЛЬОВ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:

студент гр. СУ.М-31
(шифр групи)

_____ (підпис)

Артем ЧУМАК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Оптимізація автоматизованої системи керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С.

Автор: Чумак Артем Валерійович; Сумський державний університет; 2 курс; Суми.

Керівник: Журавльов Олександр Юрійович; асистент; кандидат технічних наук; доцент.

Робота містить вступ, три розділи та висновки в основному тексті, загальним обсягом 73 сторінок, 27 рисунків, 3 таблиці, 19 джерел інформації.

У дипломній роботі розглядається актуальна проблема підвищення енергоефективності та екологічної безпеки в енергетичних системах, зокрема, у процесах утилізації тепла в газоперекачувальних агрегатах (ГПА). Одним із основних завдань є оптимізація використання теплової енергії, що сприяє зменшенню витрат енергоресурсів.

Робота базується на детальному аналізі теплових та енергетичних процесів, що відбуваються в утилізаторі тепла ГПА-Ц-16С, а також на використанні сучасних підходів до автоматизації процесів керування. У дипломній роботі розроблено математичну модель процесу утилізації тепла, що дозволяє точно прогнозувати температурні та енергетичні параметри системи в різних режимах роботи.

Для автоматизації системи керування утилізатором тепла було обрано програмоване логічне управління на базі ПЛК Emerson RX3i. Це дозволяє не тільки забезпечити високий рівень точності та надійності керування, але й реалізувати адаптивні алгоритми регулювання для підвищення енергоефективності. Особлива увага була приділена створенню та налаштуванню SCADA-системи на основі програмного забезпечення Promotic, що дозволяє здійснювати візуалізацію та моніторинг роботи системи в реальному часі. Це дає можливість забезпечити ефективний контроль за температурними та енергетичними параметрами, а також здійснювати віддалене управління та діагностику системи.

Однією з важливих частин роботи є розробка та налаштування контурів регулювання температури води в системі утилізатора тепла, що дозволяє забезпечити стабільну роботу та підтримку оптимальних температурних режимів. Для цього були використані передаточні функції та моделювання, що дозволяє ефективно оцінювати та оптимізувати роботу системи. Вибір типу регулятора, параметрів для його налаштування, а також інтеграція ПЛК з датчиками температури та тиску дозволяє досягти високої точності та ефективності регулювання.

Також було здійснено порівняння ПЛК Emerson RX3i з іншими популярними моделями, зокрема, з ПЛК Siemens S7-1200, що дозволяє зробити обґрунтований вибір для даного конкретного завдання. ПЛК Emerson RX3i, завдяки своїм технічним характеристикам, зокрема великій кількості вхідних і вихідних модулів, а також високій швидкості обробки даних, є оптимальним вибором для реалізації системи автоматизованого керування утилізатором тепла.

Визначено основні параметри ефективності автоматизованої системи керування, такі як зменшення енергетичних витрат, підвищення точності регулювання температури води, а також зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу. Крім того, розглянуті основні недоліки та можливості для вдосконалення системи, зокрема, через впровадження інтелектуальних алгоритмів керування, адаптивних методів регулювання та використання нових технологій вимірювання і контролю.

Робота також включає у себе детальну розробку математичних моделей для теплообмінника, що дозволяє передбачити його поведінку в умовах зміни температури і тиску, що має важливе значення для оптимізації теплових процесів. Використовувані моделі допомагають оцінити динаміку зміни температурних і енергетичних параметрів у різних умовах роботи агрегату.

Завдяки цьому підходу система не тільки підвищує свою енергоефективність, але й дозволяє знижувати витрати енергоресурсів, що має економічні та екологічні переваги. Практичне застосування результатів роботи може мати значний вплив на енергетичну галузь, оскільки реалізація таких автоматизованих систем дозволяє досягати значних знижок в енергоспоживанні,

зменшувати витрати на обслуговування та підвищувати стабільність і безпеку роботи енергетичних об'єктів.

Основним результатом роботи є розробка системи автоматизованого керування, що включає інтеграцію програмного забезпечення SCADA, ПЛК та сенсорних систем для забезпечення ефективного управління процесом утилізації тепла, що відповідає вимогам сучасних енергетичних систем. Це дозволяє оптимізувати роботу газоперекачувальних агрегатів, що має важливе значення для підвищення їх ефективності та екологічності.

Ключові слова: утилізатор тепла, автоматизована система керування, ПЛК Emerson RX3i, SCADA, математична модель, енергоефективність, оптимізація, теплообмінник, регулювання температури.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	7
1.1 Загальний опис газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С	7
1.2 Робота агрегату.....	7
1.3 Утилізатора тепла та його призначення.....	8
РОЗДІЛ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ	12
2.1 Схема інформаційно-матеріальних потоків.....	12
2.2 Завдання керування	13
2.3 Контур керування температурою	13
2.4 Алгоритм керування.....	16
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	22
3.1 Контур регулювання температури	23
3.2 Розрахунок математичної моделі контуру регулювання температури	24
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	29
4.1 Підбір ПЛК та модулів.....	29
4.2 Підбір давачів	47
4.3 Підбір вторинних приладів та додаткового обладнання.....	49
РОЗДІЛ 5 SCADA СИСТЕМА	59
5.2 Розробка інтерфейсу	61
5.3 Розробка протоколу для підключення до SCADA-системи.....	62
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69
ДОДАТОК А	Error! Bookmark not defined.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СУ – система управління;

САУ – система автоматичного управління;

МК – мікроконтролер;

ВМ – виконавчий механізм;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК – програмований логічний контролер;

СА – схема автоматизації;

КК – контур керування;

ТО – теплообмінник

ГТД - газотурбінний двигун

ВО - вентилятор охолодження

ЖТ - жалюзі теплообмінника утилізатора

ЖБТ - жалюзі байпаса утилізатора

PID — пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

AI — аналоговий вхід

AO — аналоговий вихід

DI — дискретний вхід

DO — дискретний вихід

ВСТУП

У сучасному світі все більшу увагу приділяють питанням енергоефективності та сталого розвитку. Постає необхідність скорочення споживання традиційних енергоресурсів, підвищення ефективності їх використання та мінімізації шкідливих викидів у довкілля. Промислові підприємства та енергетичні комплекси активно шукають новітні технології та рішення, які допоможуть оптимізувати енергоспоживання та зменшити негативний екологічний вплив.

Утилізація тепла є важливим напрямом зменшення енергетичних втрат на підприємствах газової промисловості. ГПА-Ц-16С, як і більшість газоперекачувальних агрегатів, генерує значну кількість тепла, яке може бути використане на користь. Використання теплової енергії, що генерується ГПА, дозволяє скоротити викиди в атмосферу за рахунок зменшення споживання первинного палива. Це відповідає сучасним вимогам щодо зменшення вуглецевого сліду та захисту довкілля.

Стабільна робота утилізатора тепла безпосередньо впливає на ефективність всього газотранспортного процесу. Оптимізація автоматизованої системи керування дозволяє мінімізувати ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із перевантаженням чи виходом з ладу ключових компонентів.

Для ефективного управління утилізатором тепла газоперекачувального агрегату необхідна автоматизована система керування, яка гарантуватиме точність, надійність і максимальну ефективність процесу використання відхідного тепла. У випадку з газоперекачувальним агрегатом ГПА-Ц-16С така система є особливо важливою, оскільки вона відповідає за оптимальне функціонування та моніторинг параметрів утилізації тепла.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності використання тепла, зниження енергетичних витрат і поліпшення екологічних характеристик процесу

шляхом оптимізації регулювання температури, а також реалізації контролю за параметрами системи в реальному часі.

Основним завданням дослідження є розробка та впровадження ефективної стратегії автоматизованого керування утилізатором тепла з метою підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат.

Результати даного дослідження відіграватимуть важливу роль у вдосконаленні технологій управління теплотехнічними процесами на газоперекачувальних агрегатах. Зокрема, вони дозволять підвищити енергоефективність, зменшити експлуатаційні витрати, покращити екологічні показники. Оптимізація автоматизованої системи керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С дозволить зменшити енергетичні втрати, покращити використання ресурсів та знизити негативний вплив на довкілля, що сприятиме сталому розвитку та підвищенню енергетичної ефективності промислових підприємств.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальний опис газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С

Газоперекачувальні агрегати (ГПА) середньої та великої потужності застосовуються для забезпечення стабільної подачі газу в системи транспортування природного газу. Потужність таких агрегатів коливається в межах від 6,3 до 25 МВт, і вони оснащуються як газотурбінними, так і електричними приводами. У своїй роботі я розглядаю агрегат потужністю 16 МВт — ГПА-Ц-16С.

ГПА-Ц-16С є одним з різновидів газоперекачувальних агрегатів потужністю 16 МВт, серед яких також можна виділити:

ГПА-Ц-16, оснащений авіаційним двигуном НК-16СТ,

ГПУ-16, який використовує судновий газотурбінний двигун ДЖ59Л,

ГПА-Ц-16Л з авіаційним двигуном АЛ-31СТ,

ГПА-Ц-16П з авіаційним двигуном ПС-90ГП-2.

Однак для дослідження я обрав саме ГПА-Ц-16С, що працює на судновому газотурбінному двигуні ДГ90. Цей агрегат є частиною енергетичних установок, що забезпечують подачу газу для потреб промислових підприємств і газотранспортних систем, а його ефективне використання безпосередньо залежить від належного керування теплотехнічними процесами, включаючи утилізацію відхідного тепла.

1.2 Робота агрегату

Газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-16С працює на основі газотурбінного двигуна ДГ90, який використовує природний газ як паливо для генерації енергії. Ця енергія передається на компресор, що стискає газ і підвищує його тиск для

подальшого транспортування по газопроводах. Агрегат здатний забезпечити стабільний потік газу на великі відстані, підтримуючи необхідний тиск у трубопроводах.

Під час роботи агрегату виділяється значна кількість тепла, що є побічним продуктом процесу спалювання палива. Це тепло не зникає, а утилізується за допомогою спеціальних систем, що дозволяє підвищити загальну енергоефективність. Відхідне тепло може бути використане для підігріву технологічних рідин або інших потреб, що сприяє зниженню витрат на паливо.

Автоматизована система керування постійно моніторить основні параметри роботи агрегату, такі як тиск, температура, витрати палива, і на основі отриманих даних оптимізує роботу системи для досягнення максимальної ефективності. Вона також відповідає за коригування режимів роботи, забезпечуючи стабільність і безпеку роботи агрегату.

1.3 Утилізатора тепла та його призначення

Утилізатор тепла – це спеціалізоване обладнання, призначене для ефективного використання теплової енергії, що викидається в навколишнє середовище у вигляді відпрацьованих газів або рідин. Основним завданням утилізатора є зменшення втрат тепла та підвищення загальної енергоефективності технологічного процесу, зокрема у газоперекачувальних агрегатах.

Утилізатор тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С виконує функцію відбору теплової енергії з відпрацьованих газів, які утворюються під час роботи газотурбінного двигуна. Це тепло використовується для нагріву води, виробництва пари або інших потреб, пов'язаних із забезпеченням роботи технологічних процесів. Таким чином, утилізатор сприяє не лише зниженню енергетичних витрат, але й мінімізації впливу на навколишнє середовище шляхом зменшення температури викидів.

Завдяки застосуванню утилізатора тепла можна досягти більш ефективного використання паливної енергії, яка витрачається на роботу агрегату. Утилізатор дозволяє перетворити частину втраченої енергії у корисну, тим самим підвищуючи загальну продуктивність і екологічність системи. Крім того, зменшення втрат тепла сприяє економії енергоресурсів, що є важливим фактором у сучасних умовах енергозбереження та сталого розвитку.

В автоматизованій системі керування утилізатором тепла важливу роль відіграють точні вимірювання, регулювання температури та тиску теплоносія, що дозволяє забезпечити оптимальний режим його роботи та максимальну ефективність використання теплової енергії.

Таблиця 1.1

Найменування показників	Величина
Розрахункові параметри гріючого середовища (температура димових газів)	322(595) °С (К)
Температура води на вході	70 (343) °С (К)
Температура води на виході	115 (388) °С (К)
Теплова потужність	3 МВт
Кількість теплообмінників	2
Розрахункові витрати води	58 м ³ /год
Маса установки утилізатора тепла, у складі, кг	31850

Основні переваги утилізації теплоти:

- Утилізація тепла від відпрацьованих газів дозволяє зменшити потребу в додаткових енергоресурсах для забезпечення теплових процесів. Це значно знижує витрати на паливо та енергію, підвищуючи економічну ефективність роботи газоперекачувального агрегату (ГПА).

- Використання тепла відпрацьованих газів для нагріву теплоносіїв або виробництва пари дозволяє значно підвищити загальну енергоефективність системи. Це забезпечує більш раціональне використання енергії, зменшуючи теплові втрати і збільшуючи загальну продуктивність агрегату.
- Витягування тепла з відпрацьованих газів дозволяє знизити температуру викидів, що сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища. Це є важливою перевагою у рамках сталого розвитку та дотримання екологічних стандартів.
- Завдяки ефективному використанню відпрацьованого тепла зменшується потреба в додатковому споживанні енергії для інших технологічних процесів, таких як підігрів води або пароводяних систем. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати і підвищити загальну економічну вигоду.
- Завдяки регулюванню теплових параметрів, таких як температура теплоносія, можна стабільно підтримувати оптимальні умови роботи агрегату. Це дозволяє досягти більш точного контролю процесів, забезпечуючи надійність і безпеку роботи системи.
- Відпрацьоване тепло може бути використане не лише для підтримки температури в самому агрегаті, а й для інших потреб підприємства, наприклад, у процесах нагріву води, паро генерації або у виробничих циклах, що також підвищує ефективність і економічність всього комплексу.

Основні недоліки утилізації теплоти:

- Система утилізації теплоти вимагає наявності додаткового обладнання, такого як теплообмінники, насосні станції та регулюючі механізми, що може призвести до значних капітальних витрат на її впровадження та обслуговування. Це може бути економічно недоцільним для деяких підприємств, особливо за умови низьких обсягів експлуатації.

- Інтеграція системи утилізації теплоти в уже працюючі газоперекачувальні агрегати може бути складним і потребувати додаткових налаштувань, що може викликати труднощі у процесі проектування та налаштування. Це може потребувати більше часу та зусиль на етапі запуску і налагодження.
- Якщо температура відпрацьованих газів є занадто низькою, ефективність системи утилізації теплоти може значно знижуватися. Це особливо стосується тих випадків, коли потік газу не відповідає необхідним параметрам для ефективного відбору тепла.
- Теплообмінники, які працюють з відпрацьованими газами, можуть бути піддані корозії або накопиченню шкідливих залишків, що знижує їх ефективність і вимагає частого технічного обслуговування. Це особливо стосується систем, які працюють з агресивними або забрудненими відпрацьованими газами.
- У деяких випадках система утилізації теплоти може бути обмежена температурними режимами газоперекачувального агрегату. Якщо температура відпрацьованих газів або теплоносія знаходиться за межами ефективної роботи системи, це може призвести до зниження ефективності утилізації теплоти.
- Впровадження системи утилізації теплоти вимагає додаткового контролю за роботою агрегату та постійного моніторингу параметрів, таких як температура і тиск. Це збільшує складність і вимоги до автоматизованої системи керування, що може потребувати додаткових витрат на програмне забезпечення та навчання персоналу.

РОЗДІЛ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ

2.1 Схема інформаційно-матеріальних потоків

Схема інформаційно-матеріальних потоків (ІМП) – це графічне відображення руху матеріальних і інформаційних потоків у системі. Вона показує взаємозв'язок між компонентами, як ресурси (матеріали, енергія) та дані (сигнали, інформація) переміщуються і обробляються для забезпечення роботи системи.

Під час виконання дипломної роботи було розроблено схему ІМП, яка дозволяє наочно представити складні процеси в системі. Схема відображає послідовність кроків, взаємозв'язки між компонентами та їхню взаємодію, що полегшує розуміння структури та принципів роботи системи.

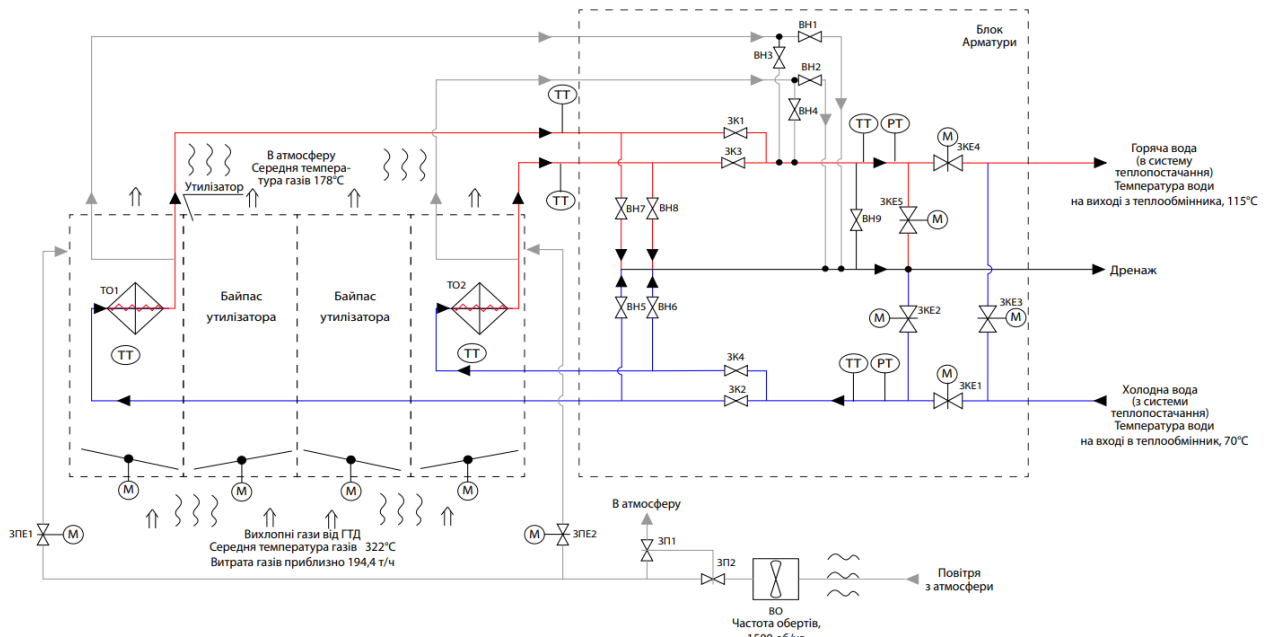


Рисунок 2.1 Схема ІМП

Контури управління утилізатором тепла можна визначити після створення схеми інформаційно-матеріальних потоків. У моїй системі реалізовано контур регулювання температури.

2.2 Завдання керування

Керування утилізатором тепла є важливим етапом забезпечення ефективної роботи газоперекачувального агрегату. Основним завданням системи є підтримка заданих параметрів роботи, зокрема стабільної температури теплоносія на виході та регулювання тиску води і пари в системі. Це дозволяє максимально ефективно використовувати теплову енергію, що утворюється під час роботи агрегату, та зменшити втрати енергії.

Не менш важливим завданням є забезпечення безпеки роботи системи. Це включає захист від аварійних ситуацій, таких як перегрів чи надлишковий тиск, а також своєчасне реагування на відхилення в роботі. Постійний моніторинг і діагностика параметрів, таких як температура, тиск і витрати теплоносія, дозволяють виявляти можливі відхилення та інформувати оператора.

Автоматизація процесу керування утилізатором тепла спрямована на зменшення впливу людського фактора, а також оптимізацію роботи завдяки використанню сучасних інструментів, таких як PID-регулятори та SCADA-системи. Крім того, система повинна мати здатність адаптуватися до змін умов роботи, наприклад, до зміни тиску чи витрати теплоносія, забезпечуючи стабільність і ефективність процесу навіть при змінних навантаженнях.

2.3 Контур керування температурою

Контур керування температурою є важливим елементом автоматизованої системи керування утилізатором тепла, який відповідає за підтримання стабільної температури теплоносія на виході. Головна мета цього контуру – забезпечити точне регулювання температури, незважаючи на можливі зміни зовнішніх умов або режимів роботи газоперекачувального агрегату.

У складі такого контуру передбачено використання датчиків температури, а саме термопар та терморезисторів, які забезпечують безперервний моніторинг температури теплоносія. Вимірні значення передаються на програмований логічний контролер (ПЛК), такий як Emerson RX3i, який виконує обробку сигналу та порівняння з заданим значенням. У разі виявлення відхилень контролер формує керуючий сигнал, який передається на регулюючий елемент.

Регулюючим елементом у контурі, є клапани з електроприводом, що змінюють інтенсивність подачі теплоносія. Додатково інтеграція програмного забезпечення SCADA, такого як Promotic SCADA, дозволяє візуалізувати процес у реальному часі, здійснювати контроль параметрів оператором і забезпечувати збереження даних для подальшого аналізу.

Робота контуру керування температурою базується на принципі зворотного зв'язку. Це дозволяє швидко та точно реагувати на зміни в системі, коригуючи параметри таким чином, щоб забезпечити стабільність і ефективність роботи утилізатора тепла. Завдяки цьому контур відіграє ключову роль у забезпеченні оптимального теплового режиму, ефективному використанні енергії та запобіганні аварійним ситуаціям.

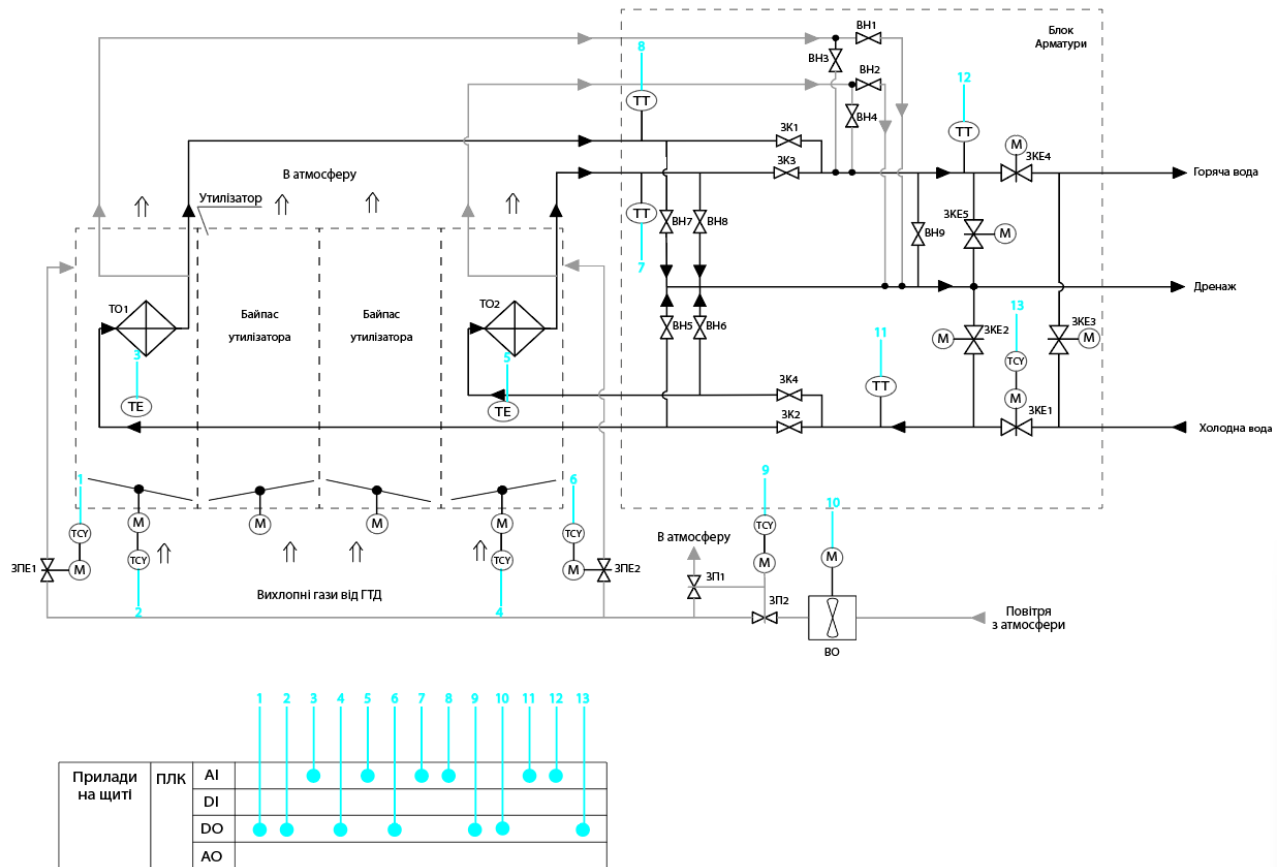


Рисунок 2.2 – Контур керування температурою

У контурі керування температурою передбачені такі підключення:

Таблиця 2.1

1	Положення засувки поворотної .
2	Положення жалюзей TO1.
3	Температура TO1.
4	Положення жалюзей TO.
5	Температура TO2.
6	Положення засувки поворотної .
7	Температура води після TO2.
8	Температура води після TO1.
9	Положення засувки поворотної .
10	Вентилятор охолодження.

11	Температура води на вході в утилізатор.
12	Температура води на виході з утилізатора.
13	Положення засувки клинної.

2.4 Алгоритм керування

Система автоматизованого управління утилізатором тепла (УТ) вбудована в САК і Р ГПА й виконує повний спектр функцій контролю, сигналізації, а також ручного та дистанційного керування роботою УТ. До складу УТ входять теплообмінні секції ТО1 та ТО2.

САК УТ забезпечує:

- автоматичне регулювання температурного режиму води на виході з УТ згідно з операторськими налаштуваннями;
- автоматизоване керування поворотними заслінками для підтримання встановленої оператором температури;
- вимірювання та передавання на монітор САК актуальних значень ключових технологічних параметрів (температури й тиску теплоносія на вході та виході УТ, температури теплоносія на виході з кожної теплообмінної секції УТ, а також температури поверхонь секцій ТО1 і ТО2);
- сигналізацію про відхилення технологічних параметрів від допустимих меж.

Залежно від потреби в тепловій енергії, утилізатор може працювати у двох режимах:

- I – задіяна лише одна теплообмінна секція (ТО1 або ТО2);
- II – одночасно працюють обидві теплообмінні секції (ТО1 і ТО2).

Заповнення УТ теплоносієм може відбуватися як під час активної роботи агрегату, так і коли він перебуває в резерві.

Пуск УТ на агрегаті, що перебуває у резервному стані (I режим, задіяна секція ТО1):

- Вихідна конфігурація засувок: заслінки секцій ТО1 і ТО2 – повністю закриті; заслінки байпасної секції – відчинені; вся запірна арматура – зачинена, за винятком запірних клапанів ВН1, ВН2, ВН5, ВН6, ВН7, ВН8, ВН9, через які відбувається слив води у дренаж.
- Виконати заповнення секції ТО1 водою. Для цього з операторського пульта дистанційно відкрити ЗКЕ1, вручну перекрити ВН5, ВН7, ВН9 та вручну відкрити ЗК1, ЗК2. Після повного видалення повітря з теплообмінної секції ТО1 вручну зачинити ВН1 і проконтролювати тиск та температуру води. З операторського пульта дистанційно відкрити засувку ЗКЕ4, а також дистанційно зачинити ЗКЕ3.
- Запустити агрегат: відкрити заслінки під секцією ТО1, одночасно зачиняючи заслінки під байпасною секцією; заслінки під ТО2 залишаються закритими. Перевести роботу системи заслінок у режим автоматичного керування. Оператор встановлює необхідну температуру води на виході з УТ.

На I режимі при задіяній секції ТО2:

- Виконати заповнення секції ТО2 водою. Для цього з пульта оператора дистанційно відкрити ЗКЕ1, вручну закрити ВН6, ВН8, ВН9, а також вручну відкрити ЗК3 і ЗК4. Після повного видалення повітря з теплообмінної секції ТО2 вручну зачинити ВН2 і проконтролювати тиск та температуру води. З пульта дистанційно відкрити ЗКЕ4 та зачинити ЗКЕ3.
- Запустити агрегат: відкрити заслінки під секцією ТО2, одночасно зачиняючи заслінки під байпасною секцією. Під секцією ТО1 заслінки лишаються закритими. Перевести роботу жалюзі в автоматичний режим. Оператор встановлює необхідну температуру води на виході з УТ.

На II режимі, задіяно одночасно секції ТО1 та ТО2:

- Виконати заповнення обох секцій ТО1 і ТО2 водою. Для цього з операційного пульта дистанційно відкрити ЗКЕ1, вручну закрити ВН5, ВН6, ВН7, ВН8, ВН9 та вручну відкрити ЗК4, ЗК2, ЗК3, ЗК1. Після повного видалення повітря з теплообмінних секцій ТО1 і ТО2 вручну зачинити ВН1 та ВН2, а потім перевірити тиск і температуру води. З пульта дистанційно відкрити засувку ЗКЕ4 та закрити ЗКЕ3.
- Запустити агрегат: відчинити заслінки під секціями ТО1 і ТО2, одночасно зачиняючи заслінки під байпасною секцією. Перевести жалюзі в режим автоматичного керування. Оператор встановлює необхідну температуру води на виході з УТ.

Пуск УТ під час роботи агрегату (I режим, задіяна секція ТО1):

- Перевести двигун у режим холостого ходу.
- Охолодити теплообмінну секцію ТО1: для цього дистанційно відкрити з пульта ЗП2 (Ду800), при цьому ЗП1 (Ду400) автоматично зачиняється (вихлоп в атмосферу). Увімкнути вентилятор ВО. Дистанційно відкрити з пульта ЗПЕ1 (ЗПЕ2 лишається закритою) та протягом 20 хвилин подавати холодне повітря у теплообмінну камеру. В цей час контролювати температуру в секції ТО1 за допомогою терморпарі. Після зниження температури до 100°C або нижче перейти до наступного кроку.
- Заповнити секцію ТО1 водою. Для цього з пульта дистанційно відкрити ЗКЕ1 і ЗКЕ5, вручну закрити ВН5, вручну відкрити ЗК1 і ЗК2. Після повного видалення повітря з теплообмінної секції ТО1 вручну зачинити ВН1, ВН7 і ВН9. Потім дистанційно зачинити ЗКЕ5 і відкрити ЗКЕ4. Перевірити тиск і температуру води. Дистанційно зачинити ЗКЕ3.
- Дистанційно зачинити з пульта ЗПЕ1 і ЗП2, при цьому ЗП1 автоматично відкривається, відключити вентилятор ВО.
- Відкрити заслінки під секцією ТО1, одночасно зачиняючи заслінки під байпасною секцією. Заслінки під секцією ТО2 залишити закритими.

Перевести роботу жалюзі в автоматичний режим. Оператор встановлює необхідну температуру води на виході з УТ.

На I режимі при задіяній секції TO2:

- Перевести двигун у режим холостого ходу.
- Охолодити теплообмінну секцію TO2: для цього з пульта дистанційно відкрити ЗП2 (Ду800), при цьому ЗП1 (Ду400), що відповідає за вихлоп в атмосферу, буде зачинено. Увімкнути вентилятор ВО. Дистанційно відкрити з пульта ЗПЕ2 (при цьому ЗПЕ1 залишається закритою) та протягом 20 хвилин подавати холодне повітря до теплообмінної камери, паралельно контролюючи температуру в секції TO2 термопарою. Коли температура знизиться до 100°C або нижче, перейти до заповнення секції теплоносієм.
- Виконати заповнення секції TO2 водою. Для цього з пульта дистанційно відкрити ЗКЕ1 і ЗКЕ5, вручну закрити ВН6 та відкрити ЗК4, ЗК3. Після повного видалення повітря з теплообмінної секції TO2 вручну закрити ВН2, ВН8 і ВН9. Потім дистанційно зачинити ЗКЕ5 і відкрити ЗКЕ4, перевірити тиск і температуру води, а далі дистанційно зачинити ЗКЕ3.
- Дистанційно зачинити з пульта ЗПЕ2 заслінку ЗП2, при цьому ЗП1 відкриється, після чого вимкнути вентилятор ВО.
- Відчинити заслінки під секцією TO2, одночасно зачиняючи заслінки байпасної секції, при цьому заслінки TO1 лишаються закритими. Перевести систему жалюзі в автоматичний режим. Оператор встановлює необхідну температуру води на виході з УТ.

На II режимі, коли одночасно задіяно секції TO1 і TO2:

- Перевести двигун у режим холостого ходу.
- Виконати заповнення секції TO1 водою за раніше описаною процедурою.
- Охолодити секцію TO2: для цього дистанційно відкрити з пульта ЗП2 (Ду800), у цей час ЗП1 (Ду400), що відповідає за вихлоп в атмосферу,

автоматично зачиняється. Увімкнути вентилятор ВО. Дистанційно відкрити з пульта ЗПЕ2 (при цьому ЗПЕ1 закрита) та протягом 20 хвилин подавати холодне повітря до теплообмінної камери ТО2, одночасно контролюючи температуру термопарою. Коли температура в секції опуститься до 100°C і нижче, можна переходити до заповнення теплоносієм.

- Заповнити секцію ТО2 водою: для цього вручну закрити ВН6, вручну відкрити ЗК4 та ЗК3. Після повного видалення повітря з теплообмінної секції ТО2 вручну зачинити ВН2, ВН8 і ВН9. Перевірити тиск і температуру води.
- Дистанційно зачинити з пульта ЗПЕ2 заслінку ЗП2, унаслідок чого ЗП1 відчиниться. Вимкнути вентилятор ВО.

Відкрити заслінки під секцією ТО2, водночас заслінки байпасної секції зачиняються. Роботу жалюзі перевести в автоматичний режим. Оператор задає бажану температуру води на виході з УТ.

Контрольовані параметри роботи УТ

Таблиця 2.2

Найменування параметра	Межі вимірювання параметра за технологією	Сигналізація	
		Попереджувальна (ПС)	Аварійна (АС)
1 Температура води, °C			
1.1 перед ЗК2, ЗК4	+ 60°...+ 70°	<+ 60°	
1.2 після ТО1	+95°...+ 115°	> + 115°	
1.3 після ТО2	+ 95°..+ 115°	> + 115°	
2 Тиск води, МПа			
2.1 на вході в УТ	0,6...0,8	< 0,6 > 0,8	

2.2 на виході з УТ	0,6...0,92	< 0,4 > 0,8	
--------------------	------------	----------------	--

Зупинка УТ:

Зупинка УТ з I режиму роботи (активна секція ТО1) необхідно виконувати в такій послідовності:

- Дистанційно з пульта відкрити ЗКЕ3, забезпечуючи циркуляцію теплоносія по системі теплопостачання.
- Дистанційно з пульта закрити ЗКЕ1 і ЗКЕ4.
- Дистанційно відкрити ЗКЕ2 і ЗКЕ5.
- Вручну відкрити ВН5, ВН7, ВН1, ВН9 та злити теплоносій з УТ.;

Зупинка УТ з I режиму роботи (активна секція ТО2) необхідно виконувати в такій послідовності:

- Дистанційно з пульта відкрити ЗКЕ3, забезпечуючи циркуляцію теплоносія по системі теплопостачання.
- Дистанційно з пульта закрити ЗКЕ1 і ЗКЕ4.
- Вручну відкрити ВН6, ВН8, ВН1, ВН9 та злити теплоносій з УТ.
- Відкриття ЗКЕ5 здійснюється за рішенням оператора.

Зупинка УТ з II режиму роботи (активні секції ТО1 і ТО2) необхідно виконувати в такій послідовності:

- Дистанційно з пульта закрити ЗКЕ1 і ЗКЕ4.
- Дистанційно з пульта відкрити ЗКЕ3, забезпечуючи циркуляцію теплоносія по системі теплопостачання.
- Дистанційно відкрити ЗКЕ2 і ЗКЕ5.
- Вручну відкрити ВН5, ВН6, ВН7, ВН8, ВН1, ВН9 та злити теплоносій з УТ.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Автоматичний регулятор — це система пристроїв, підключених до об'єкта керування для регулювання його вихідного параметра. Вихід об'єкта з'єднаний з вимірювальним пристроєм, який контролює цей параметр, а регулюючий орган підключений до виконавчого елемента. У разі відхилення регульованого параметра від заданого значення, згідно з обраним законом регулювання, регулятор здійснює коригуючу дію на регулюючий орган, щоб зменшити це відхилення.

Автоматичний регулятор складається з:

- Вимірювального елемента — зчитує значення регульованого параметра (наприклад, температури, тиску).
- Порівняльного пристрою — визначає відхилення від заданого значення.
- Керуючого елемента — генерує сигнал для впливу на об'єкт керування.

У системі автоматизованого керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С можуть бути використані такі види регуляторів:

Р-регулятори (Пропорційні регулятори)

Пропорційні регулятори можуть бути використані для керування параметрами, де потрібно мінімізувати похибку між заданою і поточною температурою, але без необхідності інтегрувати або диференціювати похибку. Вони простіші за PID-регулятори, але не завжди здатні забезпечити таку ж стабільність і точність, особливо в умовах збурень або змін зовнішніх факторів.

I-регулятори (Інтегральні регулятори)

I-регулятори можуть бути корисними в системах, де постійно виникає відхилення від заданого значення, яке потрібно усунути. Вони застосовуються в тих випадках, коли важливо виключити сталу похибку, що може виникати через

зміну параметрів або вплив ззовні. Наприклад, при різких змін температура води, I-регулятор допоможе зменшити відхилення від встановленого значення.

D-регулятори (Диференціальні регулятори)

Вони менш поширені у моїй системі, оскільки для керування температурою важливіше мати корекцію від поточної похибки, а не від швидкості її зміни. Однак D-регулятори можуть бути корисними для запобігання коливань температури, якщо в системі спостерігаються значні зміни параметрів, які можуть привести до нестабільності.

PID-регулятори

Це найбільш підходящий вибір для моєї системи, оскільки вони дозволяють точно контролювати температуру води в системі утилізації тепла, мінімізувати коливання та забезпечити стабільну роботу. PID-регулятор, який поєднує пропорційну, інтегральну та диференціальну складові, може забезпечити оптимальний баланс між швидкою реакцією на зміни та стабільністю системи.

У моєму випадку PID-регулятор буде необхідний для підтримки заданої температури води на вході та виході з утилізатора тепла.

3.1 Контур регулювання температури

Контур регулювання температури води в системі утилізації тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С забезпечує підтримку стабільної температури води на виході з утилізатора тепла шляхом регулювання параметрів, таких як витрата теплоносія та потужність нагріву. Схема та принцип роботи цього контуру:

Вхідна температура води – визначається за допомогою датчика температури на вході в утилізатор. Це значення є одним із важливих параметрів для регулювання температури води в системі.

Температурний датчик на виході – вимірює температуру води, що виходить з утилізатора тепла. Це значення є критичним для порівняння з заданою температурою і для визначення необхідних коригувальних дій.

PID-регулятор – визначає різницю між заданою температурою та фактичною температурою води на виході, використовуючи принципи пропорційної, інтегральної та диференціальної корекції. Регулятор дає сигнал на корекцію витрати води або потужності, щоб досягти заданої температури.

Витрата теплоносія – за допомогою клапанів та насосів регулюється потік води через систему. Якщо температура на виході з утилізатора відхиляється від бажаного значення, регулятор коригує витрату води для досягнення стабільної температури.

Теплообмінник (утилізатор тепла) – процес теплообміну в утилізаторі контролюється за допомогою системи вентиляції та інших механізмів, що допомагає ефективно передавати теплоту від гарячих газів до води. Зміна витрати або інші параметри системи дозволяють досягти потрібного температурного режиму.

Весь контур регулювання підтримується зворотним зв'язком, де зміни в температурі води на виході сигналізують про необхідність коригувальних дій для стабілізації параметрів.

Основне завдання цього контуру — забезпечити підтримку стабільної та оптимальної температури води в межах заданого діапазону для підвищення ефективності утилізації тепла і забезпечення безперебійної роботи газоперекачувального агрегату.

3.2 Розрахунок математичної моделі контуру регулювання температури

Для розрахунку передаточної функції теплообмінника у вигляді $\frac{k}{T_p+1}$, де

T_p – час затримки системи, а k — коефіцієнт посилення, потрібно врахувати теплові характеристики системи та параметри теплообмінника.

Коефіцієнт посилення k можна розрахувати через теплову потужність та теплові характеристики води. Теплова потужність визначається як:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Де:

Q — теплове навантаження (потужність), в даному випадку 3 МВт (3000 кВт)

m — масова витрата води (кг/с)

c — питома теплоємність води (приблизно 4.18 кДж/кг·°С)

ΔT — різниця температур $T_{\text{вих}} - T_{\text{вхід}} = 115^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C} = 45^\circ\text{C}$

Розрахунок витрат води в масових одиницях (кг/год) з даних витрат в об'ємних одиницях:

$$m = 58 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot \rho_{\text{вода}} \text{ де } \rho_{\text{вода}} \approx 1000 \text{ кг/м}^3$$

Отже:

$$m = 58 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 58000 \text{ кг/год} \approx 16.11 \text{ кг/с}$$

Тепер, враховуючи теплову потужність:

$$Q = 16.11 \cdot 4.18 \cdot 45 = 3030 \text{ кВт}$$

Теплова потужність Q виходить рівною 3030 кВт, що відповідає зазначеній потужності у задачі.

Оцінка часу затримки T_p

Щоб розрахувати час затримки T_p , потрібно оцінити об'єм та площу теплообмінника.

Об'єм V теплообмінника можна оцінити за допомогою його розмірів.

Теплообмінник має розміри:

Довжина $L = 6340 \text{ мм} = 6.34 \text{ м}$

Ширина $W = 4933 \text{ мм} = 4.933 \text{ м}$

Висота $H = 2631 \text{ мм} = 2.631 \text{ м}$

Об'єм теплообмінника:

$$V = L \cdot W \cdot H = 6.34\text{м} \cdot 4.933\text{м} \cdot 2.631\text{м} \approx 97.6\text{м}^3$$

Площа поверхні теплообміну

Площа поверхні теплообміну залежить від геометрії теплообмінника. Якщо вважати, що це прямокутний корпус, то площа поверхні $A=122\text{ м}^2$

Тепер можна оцінити час затримки:

$$T_p = \frac{V}{A} \cdot \frac{\rho \cdot c}{Q}$$

Де:

$\rho = 1000\text{кг/м}^3$ — густина води

$c = 4.18\text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$ — питома теплоємність води.

$$T_p = \frac{97.6}{122} \cdot \frac{1000 \cdot 4.18}{3030} \approx 0.8 \cdot 1.38 \approx 1.104\text{с}$$

Визначення коефіцієнта k

Коефіцієнт k можна наблизити через рівняння теплової потужності, зокрема:

$$Q = k \cdot \Delta T$$

Де:

Q — тепла потужність, яка була розрахована як 3030 кВт

ΔT — різниця температур між вхідною та вихідною температурою, яка складає $45\text{ }^\circ\text{С}$

Тепер можемо знайти k :

$$k = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{3030}{45} = 67.33$$

Передаточна функція для теплообмінника у вигляді $\frac{k}{T_p s + 1}$ має вигляд:

$$G(s) = \frac{67.33}{1.1s + 1}$$

На основі отриманої передаточної функції, в MATLAB було реалізовано контур регулювання температури за допомогою PID-регулятора, що забезпечує підтримку заданої температури в заданих межах. Моделювання дозволяє

проаналізувати ефективність регулювання та налаштувати параметри PID-регулятора для досягнення оптимальних характеристик системи.

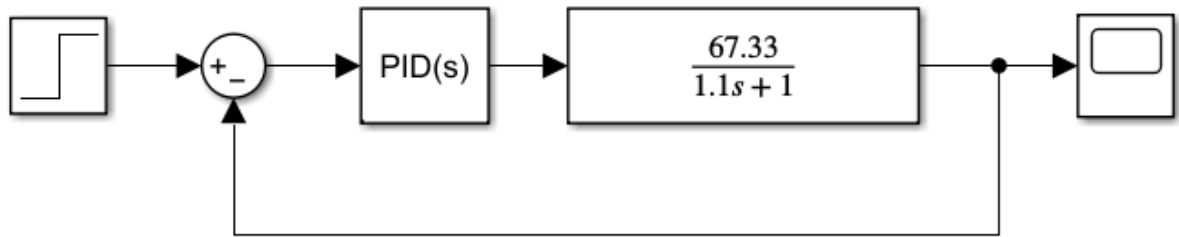


Рисунок 3.1 - Контур регулювання температури

Для налаштування параметрів PID-регулятора в рамках цієї роботи був використаний метод Циглера-Нікольса, який є класичним підходом для визначення коефіцієнтів регулятора на основі тестування системи в замкнутому контурі.

Визначення параметрів PID-регулятора:

- Для пропорційного (P) регулятора: 0.01986
- Для інтегрального (I) регулятора: 0.03609
- Для диференціального (D) регулятора: 0.0007

Після налаштування параметрів PID-регулятора для досягнення мінімального перехідного процесу, було проведено моделювання, в результаті якого отримано графік зміни температури в системі. Графік демонструє швидке досягнення встановленого значення температури з мінімальними коливаннями та без суттєвих перекосів, що свідчить про стабільну роботу системи при оптимальних налаштуваннях регулятора. Це дозволяє забезпечити точне підтримання температури, що є критично важливим для ефективної роботи утилізатора тепла газоперекачувального агрегату.

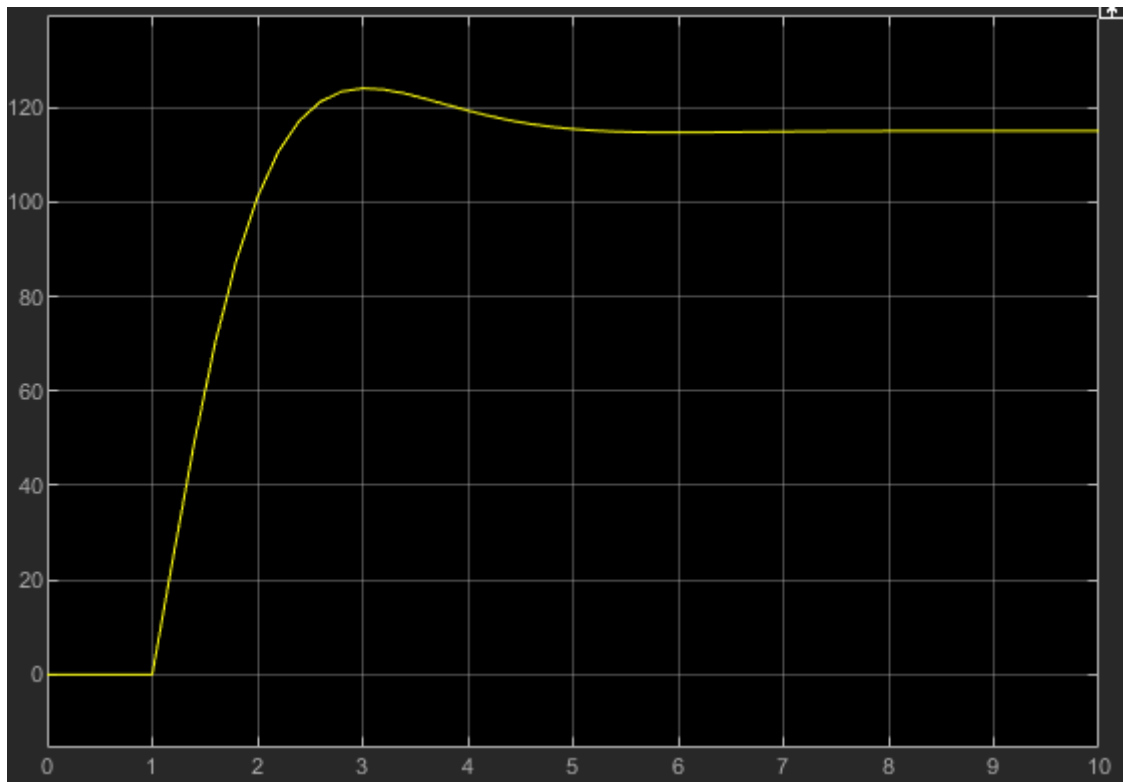


Рисунок 3.2 - Перехідний процес регулятора температури

На графіку видно:

- Швидке досягнення (6 с) встановленої температури (115°C), що є цільовим значенням.
- Відсутність суттєвих коливань або перекосів після стабілізації температури, що свідчить про високу ефективність налаштувань регулятора.
- Короткий час переходу до стійкого стану, що дозволяє оптимізувати роботу системи.

РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для коректного вибору засобів автоматизації слід орієнтуватися на технічні вимоги, сумісність з існуючими системами, експлуатаційні умови, функціональні можливості, економічні фактори, безпеку, надійність та можливість масштабування системи. Особливу увагу треба приділити умовам роботи давачів та їх технічні характеристики.

4.1 Підбір ПЛК та модулів

ПЛК — це спеціалізований мікрокомп'ютер, який використовується для автоматизації технологічних процесів. Він виконує функції збору даних із датчиків, обробки інформації, керування обладнанням (в моєму випадку клапанами) та забезпечення стабільної роботи системи. ПЛК є надійним і широко застосовується в промисловості завдяки можливості програмування та адаптації до різних задач.

Програмований логічний контролер призначений для автоматизації технологічних процесів. Він керує роботою обладнання, обробляючи сигнали від датчиків і подаючи команди на виконавчі механізми. ПЛК складається з процесорного модуля, за допомогою якого обробляє дані та виконує програму, пам'яті для збереження програми та даних, вхідних/вихідних модулів, які використовуються для підключення датчиків і механізмів, комунікаційних портів для передачі даних, блоку живлення та корпусу.

Найголовніша перевага ПЛК — **гнучкість програмування**, яка дозволяє швидко змінювати або адаптувати алгоритми керування без заміни обладнання, забезпечуючи універсальність та ефективність в автоматизації різних процесів.

Особливості ПЛК

- Простота взаємодії з користувачем

- Гнучке програмування
- Надійність
- Модульність
- Швидкодія
- Сумісність
- Компактність

Модулі вводу/виводу — це ключові компоненти ПЛК, які забезпечують взаємодію з обладнанням і технологічними процесами. Модулі вводу/виводу бувають 4 типів: модулі аналогового і дискретного введення / виводу.

Модулі аналогового вводу (AI): Приймають аналогові сигнали від датчиків, які вимірюють безперервні параметри (температура, тиск). Перетворюють їх у цифрові дані для обробки ПЛК

Модулі дискретного вводу (DI). Отримують сигнали від пристроїв з двома станами (включено(1)/вимкнено(2)), таких як кнопки, кінцеві вимикачі, датчики положення.

Модулі дискретного виводу (DO). Передають команди "включити(1) /вимкнути(2)" до виконавчих механізмів, таких як реле, електромагнітні клапани, та отримують з них напругу 24 В.

Модулі аналогового виводу (AO). Генерують аналогові сигнали для управління пристроями, що потребують плавного регулювання, як-от приводи, клапани.

Порівнявши декілька аналогів, а саме Siemens S7-1500, Schneider Electric Modicon M580, Rockwell Automation ControlLogix та Emerson Rx3i. Я обрав саме ПЛК Emerson Rx3i, бо він є потужним і надійним рішенням для автоматизації складних технологічних процесів, таких як керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату. Rx3i забезпечує високу продуктивність, гнучкість та надійність, що робить його ідеальним вибором для таких задач. Його аналоги є також не поганими варіантами, але мають певні недоліки: Siemens S7-1500 -

дорожчий за Emerson Rx3i, та має більшу складність у налаштуванні для специфічних вимог. Schneider Electric Modicon M580 - менш потужний у обробці великих обсягів даних порівняно з Emerson Rx3i, особливо при великих системах. Rockwell Automation ControlLogix - більш складний у налаштуванні і належить до більш дорогих рішень у порівнянні з Emerson Rx3i.

1. Контролер RX3i (Процесор центральний - IC695CPK330)



Рисунок 4.1 - Контролер RX3i

Технічні характеристики:

Форм-фактор	Базова плата
Обсяг користувацької пам'яті	64 МБ
Ввід-вивід	32 тис. для дискретного та аналогового вводу-виводу
Energy Pack	Доступний IC695ACC402
Підтримка резервування	Резервування каналів передачі (MRP), системне резервування PROFINET (PNSR)
Ethernet-порти	3 порти 10/100/1000
Протоколи Ethernet	SRTP (клієнт-сервер), Modbus TCP/IP, OPC-UA сервер, EGD, PROFINET,

	наскрізна передача HART
Протоколи послідовної передачі даних	ASCII Serial, Modbus/RTU
Віддалені пристрої вводу-виводу	64 із одностороннім зв'язком, 64 резервні
Інтерфейс USB	1 USB-A 2.0
Карта пам'яті	1 CFast
Характеристики температури довкілля	0–60°C
Сертифікати агентств	UL, cUL, RoHS, FCC, Reach, UL HazLoc C1D2, ATEX Zone 2
Швидкодія	1,6 ГГц

Можливості, які надає процесор IC695CPK330:

- Швидка обробка даних і виконання програм у реальному часі (цикл до 1 мс).
- Ethernet, RS-232, підтримка протоколів Modbus TCP/IP, Ethernet/IP, OPC-UA.
- Підтримка до 128 модулів вводу/виводу, гнучке налаштування системи.
- Сумісність із SCADA-системами та іншими пристроями для моніторингу й управління.
- Вбудовані інструменти для самодіагностики й швидкого виявлення несправностей.
- Робота в екстремальних умовах, енергонезалежна пам'ять.
- Захист даних і системи від несанкціонованого доступу.
- PID-регуляція, оптимізація процесів.

2. Вхідний аналоговий модуль IC695ALG616



Рисунок 4.2 - Аналоговий вхідний модуль IC695ALG616

Технічні характеристики:

Тип модулю	16-канальний модуль аналогового вводу
Напруга	± 10 В, 0-10 В, 0-5 В
Струм	4-20 мА, 0-20 мА
Роздільна здатність	± 10 В пост. струму: 15,9 біт, від 0 до 10 В пост. струму: 14,9 біт, від 0 до 20 мА: 15,9 біт, від 4 до 20 мА: 15,6 біт
Параметри фільтра	8 Гц, 12 Гц, 16 Гц, 40 Гц, 200 Гц, 500 Гц
Швидкість обробки	До 8 мс
Електрична ізоляція	Гальванічна ізоляція між каналами та системними шинами

Температурний діапазон	25°C до +70°C
Робочі умови	Стійкість до вібрацій і електромагнітних завад
Живлення	Від внутрішньої шини живлення ПЛК
Сумісність	Інтегрується в систему RX3i, легко конфігурується через програмне забезпечення Proficy Machine Edition

Особливості:

- Підтримка різних типів аналогових сигналів на кожному каналі.
- Висока точність і стабільність вимірювань завдяки 16-бітній роздільній здатності.
- Захист від перешкод і ізоляція, що забезпечує надійну роботу в промислових умовах.
- Легка конфігурація параметрів через програмне забезпечення.

З'єднання в режимі диференціального вводу

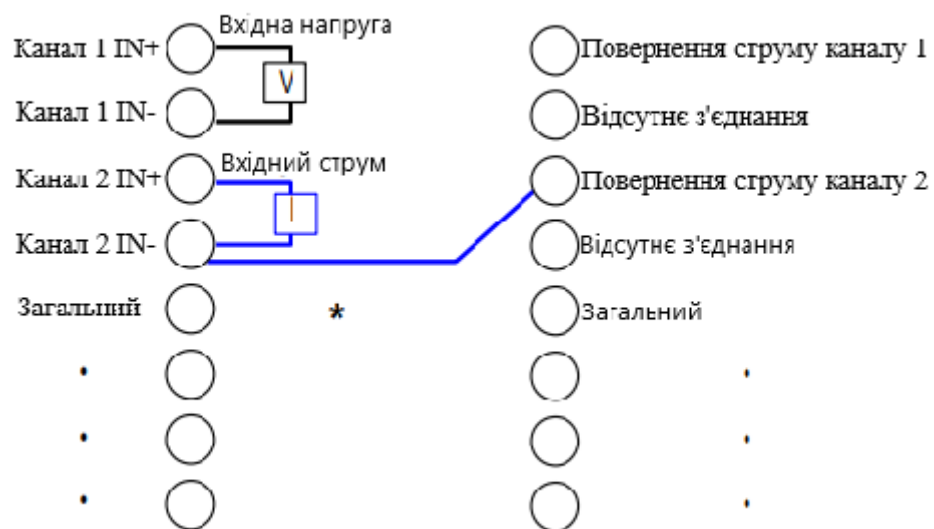


Рисунок 4.3 – З'єднання в режимі диференціального вводу

Для диференціальних входів два суміжні термінали з'єднуються як один канал. Термінал з нижчим номером виступає як високий бік.

Вхідна напруга підключається між двома суміжними терміналами Канал IN, як показано зліва.

Вхідний струм підключається між терміналами канал 1 IN+ і повернення струму каналу каналу. Крім того, перемичка повинна бути підключена між терміналом повернення струму каналу 2 IN- і відповідним терміналом повернення струму каналу.

З'єднайте загальний провід із сигналом заземлення для покращення захисту від перехресних наводок між каналами.

* Тримайте цей перемичний провід максимально коротким, щоб звести до мінімуму похибку, викликану додатковим опором дроту. Цей опір має бути 25 або менше.

3. Вихідний аналоговий модуль IC695ALG708

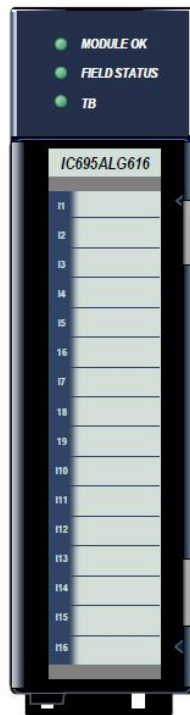


Рисунок 4.4 - Вихідний аналоговий модуль IC695ALG708

Технічні характеристики:

Кількість каналів	8 аналогових виходів
Виходи	0-10 В, 0-20 мА, 4-20 мА
Роздільна здатність	16 біт (висока точність)
Час оновлення	>1 мс на канал
Гальванічна ізоляція	Ізоляція між каналами та системною шиною для захисту від електричних перешкод
Робоче напруження	24 В постійного струму (DC)
Споживана потужність	10 Вт максимум
Температурний діапазон	-25°C до +70°C
Вологість	до 95% без конденсації
Калібрування	Автоматичне калібрування виходів для забезпечення точних і стабільних сигналів
Підключення	Використовуються знімні клеми для зручного монтажу і обслуговування

Особливості:

- Модуль забезпечує точне керування виконавчими механізмами, такими як клапани, приводи, насосні установки.
- Підходить для промислових застосувань, де необхідне точне управління аналоговими пристроями.
- Має високу надійність завдяки гальванічній ізоляції і здатності працювати в складних промислових умовах.

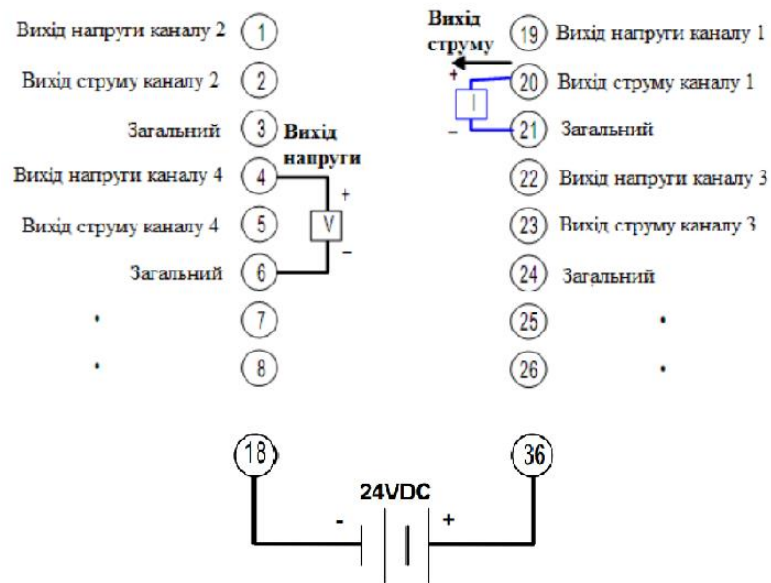


Рисунок 4.5 – Схема підключення IC695ALG708

4. Модуль дискретного входу IC694MDL660



Рисунок 4.6 - Модуль дискретного входу IC694MDL660

Технічні характеристики:

Кількість каналів	16 каналів дискретного вводу
Напруга	24 В постійного струму (DC)

Напруга вхідного сигналу	10–30 В DC
Тип контактів	Вхідні контакти релейного типу (відкриті або замкнуті контакти)
Тип підключення	Знімні клеми
Швидкість обробки сигналів	до 10 мс на канал
Ізоляція	Гальванічна ізоляція між каналами вводу і системними компонентами для захисту від перешкод і високовольтних імпульсів
Робоча температура	від -25°C до +70°C
Вологість	до 95% при 40°C без конденсації
Споживана потужність	5 Вт
Час спрацьовування	0,5-100 мс залежно від фільтру

Особливості:

- Підходить для зчитування стану кінцевих вимикачів, сигналів від кнопок, термостатів, аварійних вимикачів та інших дискретних датчиків.
- Ідеальний для використання в промислових системах автоматизації, де необхідна надійність і швидка обробка дискретних сигналів.
- Висока надійність завдяки гальванічній ізоляції і захисту від перешкод.

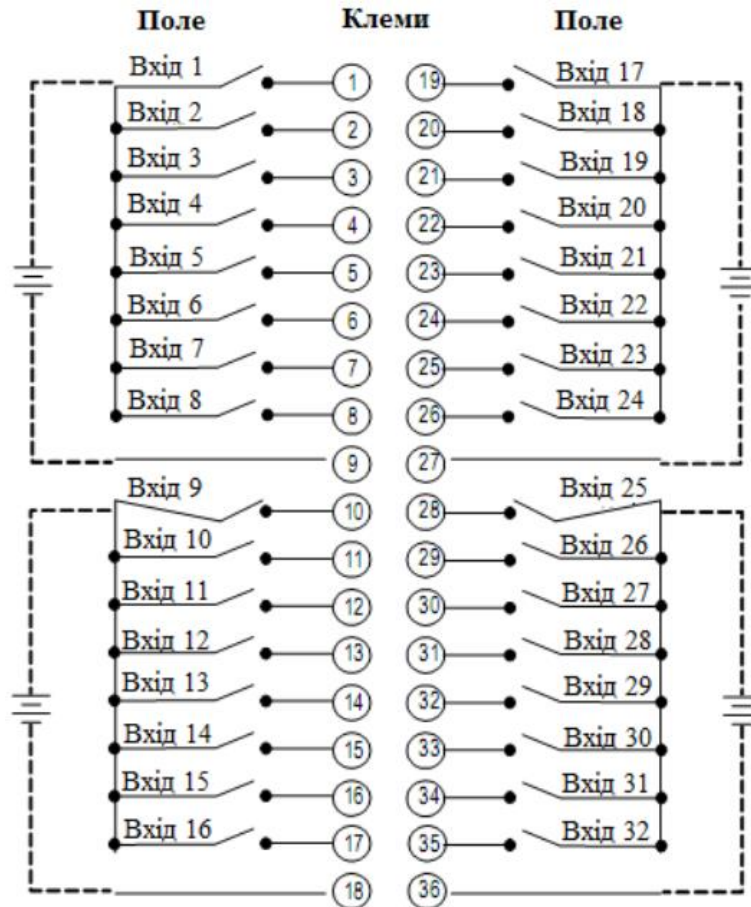


Рисунок 4.7 - Підключення IC695MDL660

5. Модуль дискретного виходу IC694MDL754



Рисунок 4.8 - Модуль дискретного виходу IC694MDL754

Технічні характеристики:

Кількість каналів	16 каналів дискретного виходу
Тип сигналу	24 В постійного струму (DC)
Тип контактів	Релейні виходи для управління зовнішніми пристроями
Тип виходів	Окремі виходи релейного типу (NC/NO)
Максимальний струм на канал	2 А на канал при підключенні до 24 В DC. 5 А на модуль в цілому (максимальна розподілена потужність)
Робоча температура	від -25°C до +70°C
Вологість	до 95% при 40°C без конденсації
Гальванічна ізоляція	Ізоляція між каналами і системними компонентами для захисту від електричних перешкод та перенапруги
Споживана потужність	5 Вт
Час спрацьовування	0,5 мс

Особливості:

- Модуль забезпечує управління дискретними навантаженнями, такими як приводи, реле, сигнальні лампи, електромагнітні клапани та інші пристрої, що працюють від 24 В DC.
- Має високу надійність завдяки наявності гальванічної ізоляції і захисту від перенапруг.
- LED-індикатори на кожному каналі дозволяють швидко перевіряти стан кожного виходу.

- Підходить для промислових автоматизованих систем, де необхідне точне керування зовнішніми пристроями за допомогою дискретних сигналів.

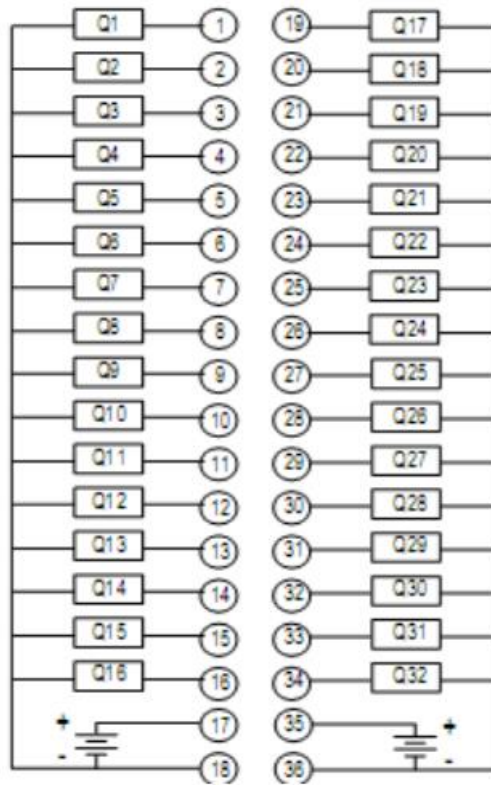


Рисунок 4.9 - Підключення IC695MDL660

6. Модуль живлення IC695PSD140



Рисунок 4.10 - Модуль живлення IC695PSD140

Технічні характеристики:

Номінальна напруга	24 В постійного струму
Потужність навантаження	40 Вт (максимум для всього контролера)
Вихідний струм	1.67 А при 24 В DC (максимум)
Вхідна потужність	60 Вт
Діапазон вхідної напруги	Від 18 до 30 В постійного струму
Тип модуля	Блок живлення

Особливості:

- Універсальний пристрій: підходить для застосувань з резервуванням та розподілом навантаження.
- Вихідні точки: мають три вихідні точки, що працюють при 5,1 В постійного струму, реле вихід при 24 В постійного струму та вихід 3,3 В постійного струму для внутрішнього використання, усі сумісні з модулями RX3i.

- Монтаж: встановлюється в універсальний зворотний план RX3i PACSystems, займаючи один слот. Може бути поєднаний з до трьох додаткових модулів.
- Індикатори LED: оснащений LED-індикаторами для оновлення статусу, які надають інформацію про робочий стан джерела живлення.
- Діапазон напруги: вхідна напруга варіюється від 18 до 30 В постійного струму, номінальне значення складає 24 В постійного струму.
- Вихідна потужність: забезпечує максимальну вихідну потужність 40 Вт для трьох виходів.

7. Базова плата розширення IC694CHS392



Рисунок 4.11 - IC694CHS392

Технічні характеристики:

Тип модуля	Стандартний ввід/вивід
Зворотня підтримка	Підтримує лише високошвидкісний послідовний інтерфейс Підтримка PCI відсутня
Вид базової плати	Розширення
Відстань	до 50 футів
Кількість слотів	10
Розміри в мм	443 x 130 x 142
Внутрішня потужність	150 мА при 5 В постійного струму

IC694CHS392 — це базовий модульний шасі для контролерів серії Emerson RX3i. Він слугує основою для встановлення та підключення модулів ПЛК, забезпечуючи їхнє механічне кріплення та електричне з'єднання через внутрішню шину.

Особливості:

- Шасі IC694CHS392 дозволяє створювати розширені системи автоматизації на базі Emerson RX3i, забезпечуючи модульність і гнучкість конфігурації.
- Підтримує просту інтеграцію модулів вводу/виводу, процесорів, інтерфейсів та інших компонентів.
- Ідеально підходить для систем, які потребують масштабованості, наприклад, вашої системи керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату.

8. Комунікаційний модуль IC695PNC001



Рисунок 4.12 - Комунікаційний модуль IC695PNC001

Технічні характеристики:

Підтримка PROFINET	
Вимоги до живлення	5 В: 1.5 А максимум
Діапазон робочих температур	Від 0 до 60°C без вентилятора
Кількість роз'ємів портів	два RJ-45 та два гнізда SFP
Роз'єм Micro USB	Один, для зв'язку з комп'ютером через інтерфейс командного рядка
Пам'ять для вводу/виводу	128 Кбайт загальної пам'яті вводу/виводу на кожен PROFINET контролер

Біти стану процесора	32
Біти керування	32
Швидкість оновлення даних	Налаштовувані: 1 мс, 2 мс, 4 мс, 8 мс, 16 мс, 32 мс, 64 мс, 128 мс, 256 мс та 512 мс.
Кількість IP-адрес	1
Кількість MAC-адрес	5, одна для кожного зовнішнього порту та одна для внутрішнього порту
Обмеження програмування	Кількість I/O-контролерів: 128 (32 цільових процесорів RX3i × 4 I/O-контролери на кожен процесор RX3i) Кількість I/O-пристроїв: 2048 (128 на мережу × 16 мереж PROFINET)

Максимальні обмеження системи:

PROFINET контролери на процесор RX3i: 4. Повинні бути розміщені в основній рамі. Не можуть бути розміщені в віддаленому вузлі.

I/O-пристрої на один I/O-контролер: 64 на PROFINET контролер.

I/O-пристрої на мережу: 128 на мережу, розподілені між до 8 I/O-контролерами.

I/O-пристрої на процесор RX3i: 128 на процесор RX3i, розподілені між до 4 PROFINET контролерами.

I/O-контролери на мережу: 8.

Кількість слотів PROFINET на пристрій: 256.

Кількість підслотів PROFINET на слот: 256.

Особливості:

- IC695PNC001 забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування ПЛК через Ethernet, що дуже зручно для великих промислових систем або коли потрібно інтегрувати різні пристрої та контролери в одну мережу.

- Чотири порти Ethernet з перемикачем - два 8-провідні RJ-45 екранировані кручений пар та два гнізда для Small Form-factor Pluggable (SFP) пристроїв для користувачів.
- Надає можливість швидкої передачі даних на великі відстані, що є важливим для системи, де необхідна висока швидкість комунікації.

4.2 Підбір датчиків

В даній системі залучимо Siemens SITRANS TS500 добре підходить для вимірювання температури газів, таких як повітря, природний газ або інші технічні гази, що використовуються в газоперекачувальних системах. Завдяки своїй конструкції, цей датчик також можна використовувати для вимірювання температури води яка проходить через блок арматури.



Рисунок 4.13 – датчик температури SITRANS TS500

Технічні характеристики:

Вихід	Прямий сигнал датчика 4...20 мА
Максимальна робоча температура	Pt100 базового виконання: -50 ... +400 °С

	Pt100 з розширеним діапазоном: –196 ... +600 °С
Ступінь захисту	IP68
Сертифікації	Загального призначення (FM, CSA) для використання в небезпечних зонах: ATEX, IECEx, cCSAus, NEPSI, EAC, KOSHA для використання в морських застосунках: DNV

Для реалізації контролю тиску було обрано датчик Siemens SITRANS P320

Siemens SITRANS P320 — це інтелектуальний датчик тиску, призначений для вимірювання абсолютного і надлишкового тиску в рідких та газоподібних середовищах. Цей датчик підходить для реалізації в управлінні утилізатором тепла, бо має високу точність, широкий діапазон вимірювання тиску, стійкий до умов середовища.



Рисунок 4.14 – датчик тиску Siemens SITRANS P320

Технічні характеристики:

Точність	0,065 % SITRANS P320
Час відгуку	від 105 мс
Довготривала стабільність	≤ 0.125 % за 5 років
Вимірювальні осередки	від 20 до 700 бар
Максимальна глибина перебудови	100:1
Температура вимірюваного середовища	від -40 ° С до + 125 ° С
Сертифікація вибухозахисту	ATEX, IEC EX, FM, CSA, NEPSI і інші
Сертифікація SIL2/3	Розроблено відповідно до стандарту IEC 61508 Комунікація Hart7
Комунікація	4 ... 20 мА
Матеріал мембрани	Нержавіюча сталь, Hastelloy, тантал, монель, золото
Захист корпусу	IP67/IP68

Термоелектричні перетворювачі



Рисунок 4.15 - TXA-002.10-(Exi)

Технічні характеристики:

Діапазон температур	Від -40 до +600°C
Тип середовища застосування	Пари, газу, рідини, вода та інші агресивні середовища

4.3 Підбір вторинних приладів та додаткового обладнання

Перетворювач АСТ20М-АІ-АО-S



Рисунок 4.16 - Перетворювач АСТ20М-АІ-АО-S

АСТ20М-АІ-АО-S поділяє та перетворює звичайні аналогові сигнали. Вхідний аналоговий сигнал лінійно перетворюється на вихідний аналоговий сигнал із забезпеченням гальванічної розв'язки. Вхід також може працювати як активний струмовий контур (струм контуру забезпечується пристроєм). Джерело живлення гальванічно розв'язане від входу та виходу (3-канальна розв'язка) за допомогою прямого провідного з'єднання або шини рейки Weidmüller.

Технічні характеристики:

Глибина	114,3 мм
Висота	112,5 мм
Ширина	6,1 мм
Маса нетто	80 g
Робоча температура	-25 °С...70 °С
Вологість при робочій температурі	0...95% (без появи конденсату)
Вхідний опір, напруга	>500 ком
Вхідний опір, струм	70 Ом

Вхідний струм	можливість конфігурування, 0...20 mA, 4... 20mA
Кількість входів	1
Напруга	можливість конфігурування, 0(2)...10 V, 0(1)...5 V
Падіння напруги, струмовий вхід	<1,5 V
Живлення датчика	> 17 DC при 20 mA
Вихідна напруга	можливість конфігурування, 0(2)...10 V, 0(1)...5 V
Вихідний струм	можливість конфігурування, 0...20 mA, 4...20 mA
Кількість виходів	1
Гранична частота (-3 дБ)	100 Гц

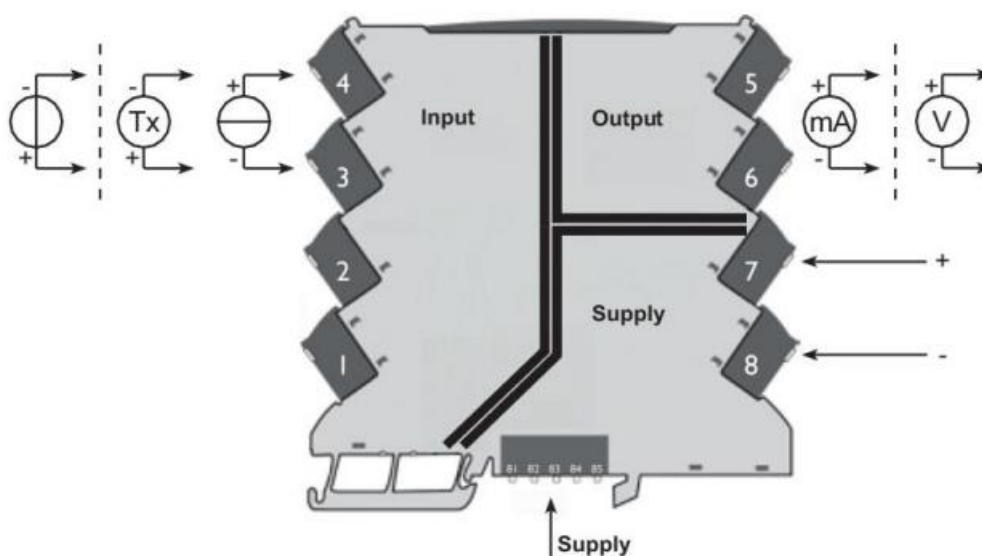


Рисунок 4.17 - схема підключення АСТ20М-АІ-АО-С

Модуль релейний TRS 24VDC 1CO

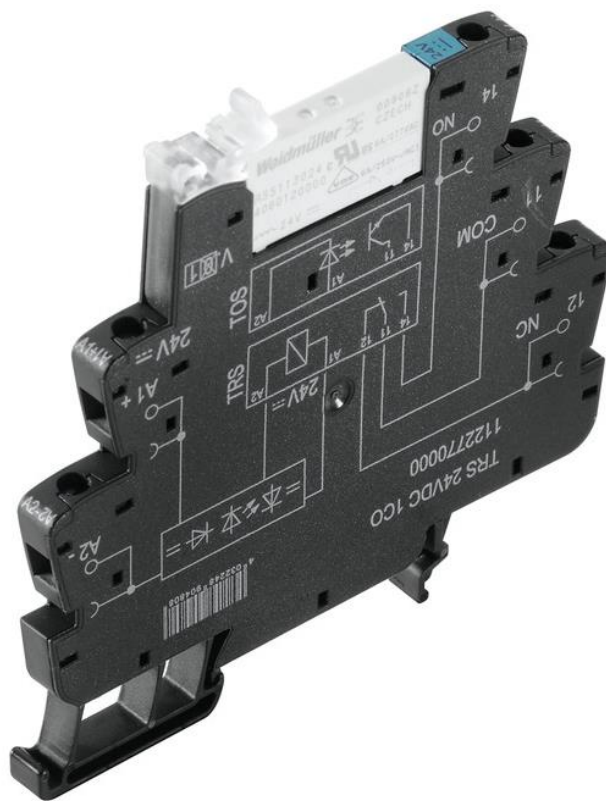


Рисунок 4.18 - Модуль релейний TRS 24VDC 1CO

TRS 24VDC 1CO — це електромеханічне реле з котушкою на 24 В постійного струму (DC) та одним контактним виходом (1CO - 1 Change Over, тобто одна група перемикальних контактів). Це реле використовується для комутації електричних сигналів в автоматизованій системі.

Технічні характеристики

Глибина	87,8 мм
Висота	89,6 мм
Ширина	6,4 мм
Маса нетто	33 g
Робоча температура	-40 °C...60 °C
Вологість	0...95% (без появи конденсату)

Номінальна напруга	24 (DC) \pm 20 %
Номінальний струм, DC	11,5 mA
Номінальна напруга перемикання	250 V AC
Безперервний струм	6 A
Макс. частота комутації при номінальному навантаженні	0,1 Hz
Затримка увімкнення	\leq 6 мс
Затримка вимкнення	\leq 16 мс
Тип контакту	1 Перемикаючий контакт (AgNi)
мін. комутаційна здатність	1 mA @ 24 V, 10 mA @ 12 V, 100 mA @ 5 V

Модуль релейний TRS 24VDC 2CO

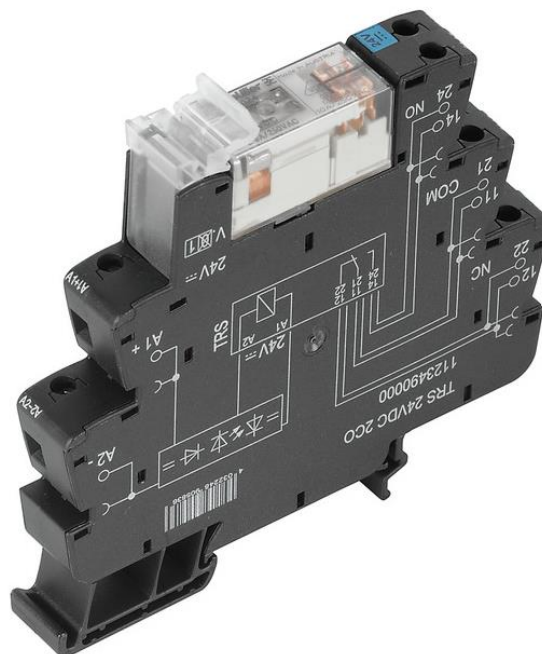


Рисунок 4.19 - Модуль релейний TRS 24VDC 2CO

TRS 24VDC 2CO — це електромеханічне реле з котушкою на 24 В постійного струму (DC) і двома перемикальними контактами (2CO — 2 Change Over, дві групи перемикальних контактів)

Технічні характеристики:

Глибина	87,8 мм
Висота	89,6 мм
Ширина	12,8 мм
Маса нетто	56 g
Робоча температура	-40 °С...60 °С
Вологість	0...95% (без появи конденсату)
Номінальна напруга перемикавання	250 V AC
Безперервний струм	8 A
Макс. частота комутації при номінальному навантаженні	0,1 Hz
Макс. комутувана напруга, AC	250 V
Пусковий струм	15 A/4 c
Затримка увімкнення	≤ 6 мс
Затримка вимкнення	<18 ms
Тип контакту	2 Перемикаючий контакт (AgNi)
мін. комутаційна здатність	1 mA @ 24 V, 10 mA @ 10 V, 100 mA @ 5 V

Блок живлення 24В

Weidmueller PRO MAX 960W 24V 40A — це промисловий блок живлення, що підходить для забезпечення стабільного живлення системи, що потребує постійної напруги 24 В і струму до 40 А. Його загальна потужність становить 960 Вт, і він відноситься до серії високопродуктивних джерел живлення, які використовуються в складних промислових умовах.



Рисунок 4.20 - Блок живлення PRO MAX 960W 24V 40A

Технічні характеристики

Вихідна потужність	960 W
Вихідна напруга	24 V
Вихідний струм	40 A
робоча температура	-25...+70
Споживаний струм	1.3 A
Релейний Вх/Вих	Вихідна напруга > 21,6 пост. струму / < 20,4 У пост. струму, перевантаження
Сигналізація	Світлодіод червоний/зелений та реле ($\geq 21,6$ В пост. струму світлодіод зелений, реле вкл./ $\leq 20,6$ В пост. струму світлодіод червоний, реле вимк.)
Число фаз на вході	3
Ступінь захисту IP	20

Поворотна засувка

Дискові поворотні засувки призначені для використання в якості запірної арматури і для дроселювання рідин в системах: гарячого і холодного водопостачання, опалення, тепло та холодопостачання (вентиляції та кондиціонування повітря)



Рисунок 4.21 - SYLAX Ду 800

Технічні характеристики:

Номінальний діаметр Ду	800 мм
Максимальний робочий тиск P_u	10 бар
Максимальна робоча температура	90 °C

Засувка клинова з електроприводом

Засувка 30с941нж Ду150 P_u 16 зі сталевим корпусом, фланцевим з'єднанням та клиновим запірним елементом — це надійне рішення для роботи у високотемпературних та високонавантажених системах. Завдяки електроприводу, засувка легко інтегрується в автоматизовану систему керування. Підходить для води, пари, газів, нафти та інших середовищ.



Рисунок 4.22 - Засувка 30с941нж Ду150 Ру16

Технічні характеристики:

Тип приводу	Електропривід
Тип	Клинова сталева
Діаметр умовного проходу Ду(Dn), мм	150
Максимальний тиск $P_u \max$, бар	16
Мінімальний тиск $P_u \min$, бар	1
Габаритні розміри LxDxH, мм	280x280x1204
Тип приєднання	Фланець
Робоча $t \min$, °C	-25
Робоча $t \max$, °C	+425
Робоче середовище	Вода, пара
вага, кг	102

Вентилятор охолодження



Рисунок 4.23 - ВО-25-188-8-В11

Технічні характеристики:

Продуктивність по повітрю, м3/год	Не менше 28500
Повний тиск, Па(кгс/ м2)	Не менше 450 (46)
Максимальна ККД	0,7
Потужність електродвигуна, кВт	11
Напруга мережі, В	380
Частота струму мережі, Гц	50
Частота обертів двигуна, об/хв	1443
Сумарний рівень звукової потужності, дБ	Не більше 110

РОЗДІЛ 5 SCADA СИСТЕМА

SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition) — це комплекс програмного та апаратного забезпечення, розроблений для моніторингу та управління різноманітними процесами й системами в режимі реального часу. Вона об'єднує такі елементи, як датчики, контролери, мережі зв'язку та інтерфейси користувача, забезпечуючи операторам і інженерам можливість дистанційного контролю та керування розподіленими виробничими або інфраструктурними об'єктами.

Призначення SCADA системи:

- Збір даних із сенсорів, датчиків, контролерів та інших пристроїв у реальному часі.
- Візуалізація інформації на екранах операторів у вигляді графіків, схем, таблиць тощо.
- Надання можливості керувати процесами (вмикання/вимикання обладнання, зміна налаштувань параметрів) через централізований інтерфейс.
- Збереження історичних даних для аналізу роботи системи, оптимізації процесів та пошуку помилок.
- Оповіщення про порушення роботи системи через звукові, візуальні або інші сигнали.
- Підвищення ефективності та надійності роботи обладнання.

5.1 Програмне забезпечення

Існує багато програмних продуктів для створення SCADA-систем, які відрізняються функціоналом, масштабованістю, сумісністю з обладнанням і зручністю використання. Ось список найбільш популярних програмних забезпечень для SCADA-систем:

- Siemens WinCC (SIMATIC WinCC)
- Wonderware (AVEVA) InTouch
- GE iFIX (GE Digital)
- Citect SCADA (AVEVA)
- MasterSCADA
- Ignition
- Citect SCADA
- Promotic Scada

Для розробки автоматизованої системи керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С було обрано програму Promotic SCADA. Promotic є потужним і гнучким програмним забезпеченням для створення і налаштування SCADA-систем, яке дозволяє реалізувати рішення для моніторингу та керування промисловими процесами.

Програма підтримує інтеграцію з різними типами обладнання через популярні протоколи зв'язку, такі як Modbus, OPC, і TCP/IP, що дозволяє ефективно взаємодіяти з ПЛК, датчиками та іншими пристроями в реальному часі. Вона надає зручний інтерфейс для створення графічних інтерфейсів користувача, моніторингу станів і збору даних.

Основними перевагами Promotic SCADA є:

- Можливість адаптації системи під конкретні вимоги об'єкта, що дозволяє інтегрувати різні типи обладнання та пристроїв.
- Користувачі можуть легко створювати візуалізації, графіки і діаграми для моніторингу процесів, що значно спрощує роботу операторів і інженерів.
- Підтримка різних протоколів зв'язку, що дає змогу з'єднувати програму з різними типами контролерів, датчиками та іншими пристроями в реальному часі.

- Система може бути використана для автоматизації як малих, так і великих об'єктів, з можливістю підключення кількох серверів і клієнтів.
- Можливість збереження історичних даних для подальшого аналізу та звітності, що допомагає в оптимізації процесів.
- Завдяки веб-інтерфейсу, Promotic SCADA дозволяє здійснювати моніторинг і управління системою з будь-якого місця через Інтернет.
- Програма працює на різних операційних системах, таких як Windows, що робить її універсальним інструментом для автоматизації.

5.2 Розробка інтерфейсу

На панелі системи присутній інтерфейс, який забезпечує дистанційне керування різними компонентами установки утилізатора тепла, зокрема є розташовані кнопки, які дозволяють оператору здійснювати дистанційне керування утилізатором. Це включає вибір теплообмінника, що активується за допомогою кнопок TO1, TO2 або одночасно. Крім того, є можливість зупинити або запустити роботу утилізатора за допомогою кнопок «Зупинити УТ» та «Пуск УТ». Оператор може вибирати між ручним та автоматичним режимами керування. Також є функція дистанційного регулювання заслінок та жалюзі, для чого передбачені спеціальні кнопки біля них.

Для забезпечення ефективної роботи система відображає реальні значення температури і тиску, дозволяючи здійснювати необхідні налаштування вручну або автоматично через вибір відповідного режиму.

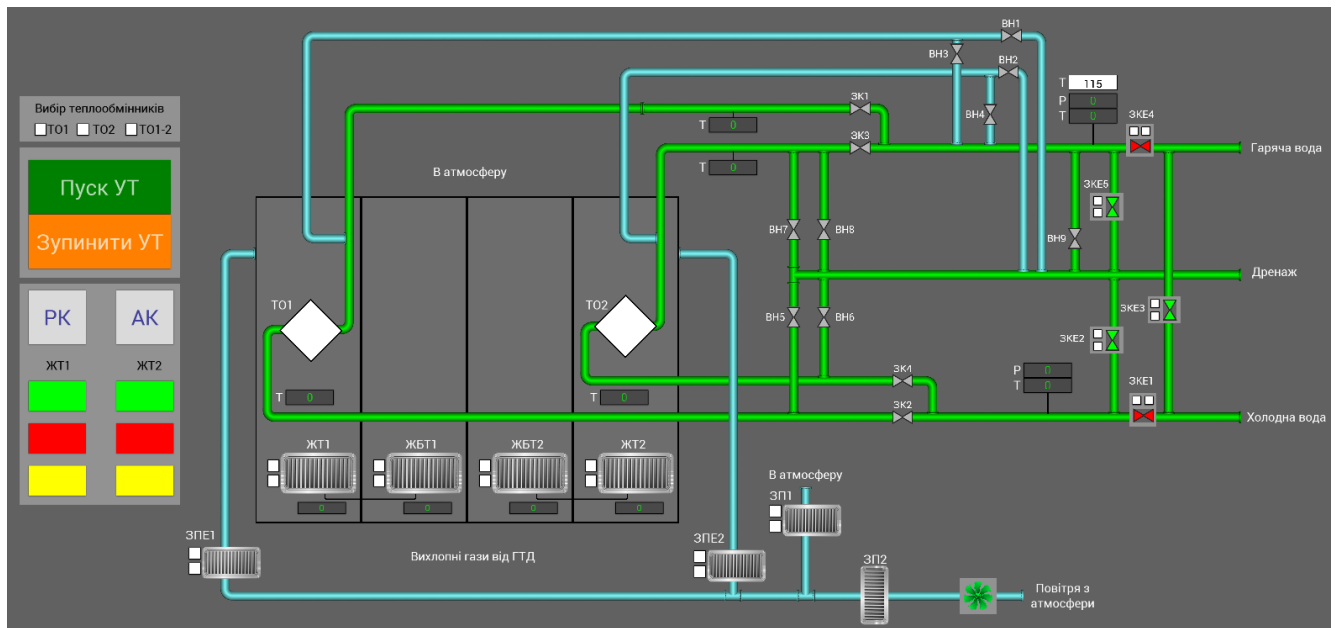


Рисунок 5.2 – Інтерфейс управління системою утилізації тепла

5.3 Розробка протоколу для підключення до SCADA-системи

PROFINET (Process Field Net) — це промисловий стандарт для організації високошвидкісної комунікації в автоматизованих системах керування. Це протокол передачі даних, який базується на Ethernet-технології та призначений для обміну інформацією між пристроями в реальному часі.

Швидкість передачі даних у PROFINET залежить від типу комунікації та конкретного використання:

- PROFINET RT (Real Time): Забезпечує передачу даних із мінімальними затримками для стандартних задач автоматизації, що не перевищують затримку в 10 мс.
- PROFINET IRT (Isochronous Real Time): Використовується для високоточних і синхронізованих процесів, наприклад, у системах, де важливий точний контроль у реальному часі і має затримку менше ніж 1 мс.

Основні переваги PROFINET:

Робота в реальному часі (RT і IRT):

- Забезпечує передачу даних із мінімальною затримкою, що необхідно для системи керування.

Висока сумісність:

- PROFINET підтримується багатьма виробниками обладнання, зокрема Emerson RX3i, що дозволяє легко інтегрувати різні пристрої (датчики, модулі, виконавчі механізми).

Масштабованість:

- Можливість розширення системи без втрати продуктивності. Це корисно, якщо в майбутньому система потребуватиме додаткових вузлів або функцій.

Гнучкість у конфігурації:

- Протокол дозволяє працювати як із простими локальними мережами, так і зі складними розподіленими системами.

Висока пропускна здатність:

- Використання Ethernet забезпечує швидкий обмін великими обсягами даних.

Підтримка інтеграції IoT:

- Забезпечує легке підключення систем до Інтернету речей, що дозволяє реалізувати віддалений моніторинг і керування.

Можливість резервування:

- Забезпечує безперебійність роботи навіть у разі пошкодження одного з каналів зв'язку.

Простота інтеграції:

- Підтримка відкритих стандартів та простий процес конфігурації роблять PROFINET зручним у використанні.

Високий рівень безпеки:

- Забезпечує надійний захист даних і мінімізує ризик збоїв завдяки вбудованим функціям безпеки.

Енергоефективність:

- Підтримує функції економії енергії, що важливо для систем із високим навантаженням.

Пакет Profinet: передача даних для утилізатора тепла

Байти	Опис	Примітки
0-5	MAC-адреса призначення	Адреса фізичного пристрою
6-11	MAC-адреса джерела	Адреса джерела (наприклад, контролера)
12-13	EtherType	Тип протоколу (0x8892 для Profinet)
14-15	Frame ID	Ідентифікатор кадру (наприклад, RT-дані)
16-17	Cycle Counter	Лічильник циклів для синхронізації
18-19	Length	Довжина даних
20-21	Slot 1 (Датчик температури на вході)	Слот для модуля датчика температури на вході
22-23	Index 1 (Канал температури на вході)	Ідентифікатор каналу для температури
24-27	Дані температури (4 байти)	Значення температури
28-29	Slot 2 (Датчик тиску на вході)	Слот для модуля датчика тиску
30-31	Index 2 (Канал тиску на вході)	Ідентифікатор каналу для тиску
32-35	Дані тиску (4 байти)	Значення тиску

36-37	Slot 3 (Датчик температури на виході)	Слот для модуля датчика температури
38-39	Index 3 (Канал температури на виході)	Ідентифікатор каналу для температури
40-43	Дані температури (4 байти)	Значення температури
44-45	Slot 4 (Датчик температури та тиску на виході)	Слот для модуля комбінованого датчика температури та тиску
46-47	Index 4 (Канал температури та тиску на виході)	Ідентифікатор каналу для температури та тиску
48-51	Дані температури та тиску (4 байти)	Значення температури та тиску
52-53	Slot 5 (Датчики температури на теплообмінниках 1)	Слот для модуля датчика на теплообміннику
54-55	Index 5 (Канал температури на теплообміннику 1)	Ідентифікатор каналу для температури
56-59	Дані температури на теплообміннику 1 (4 байти)	Значення температури
60-61	Slot 6 (Датчики температури на теплообмінниках 2)	Слот для модуля датчика на теплообміннику
62-63	Index 6 (Канал температури на теплообміннику 2)	Ідентифікатор каналу для температури
64-67	Дані температури на теплообміннику 2 (4 байти)	Значення температури
68-69	Slot 7 (Датчик температури після теплообмінників)	Слот для модуля датчика температури після теплообмінника
70-71	Index 7 (Канал температури після теплообмінників)	Ідентифікатор каналу для температури

72-75	Дані температури після теплообмінників (4 байти)	Значення температури
76-77	Slot 8 (Вентилятор охолодження)	Слот для модуля вентилятора
78-79	Index 8 (Канал керування вентилятором)	Ідентифікатор каналу для керування вентилятором
80-84	Дані вентилятора (4 байти)	Значення швидкості або стан вентилятора
85-86	Статус даних	Інформація про стан даних
87-88	Контрольна сума	Перевірка на помилки в повідомленні

Profinet Пакет: Передача Даних для Керування Засувками та Клапанами

Байти	Опис	Примітки
0-5	MAC-адреса призначення	Адреса фізичного пристрою
6-11	MAC-адреса джерела	Адреса джерела (контролер)
12-13	EtherType	Тип протоколу (0x8892 для Profinet)
14-15	Frame ID	Ідентифікатор кадру (RT-дані)
16-17	Cycle Counter	Лічильник циклів для синхронізації
18-19	Length	Довжина даних
20-21	Slot 1 (Клинова засувка з електроприводом 1)	Слот для модуля засувки з електроприводом
22-23	Index 1 (Канал керування клиновою засувкою 1)	Ідентифікатор каналу для керування засувкою
24-27	Статус клинової засувки 1 (відкрита/закрита)	Дані стану засувки
28-29	Slot 2 (Клинова засувка з електроприводом 2)	Слот для модуля засувки з електроприводом
30-31	Index 2 (Канал керування клиновою засувкою 2)	Ідентифікатор каналу для керування засувкою

	засувкою 2)	засувкою
32-35	Статус клинової засувки 2 (відкрита/закрита)	Дані стану засувки
36-37	Slot 3 (Клапан запірний 1)	Слот для модуля запірного клапана
38-39	Index 3 (Канал керування запірним клапаном 1)	Ідентифікатор каналу для керування клапаном
40-43	Статус запірного клапана 1 (відкритий/закритий)	Дані стану клапана
44-45	Slot 4 (Запірний клапан 2)	Слот для модуля запірного клапана
46-47	Index 4 (Канал керування запірним клапаном 2)	Ідентифікатор каналу для керування клапаном
48-51	Статус запірного клапана 2 (відкритий/закритий)	Дані стану клапана
52-53	Slot 5 (Поворотна засувка з електроприводом 1)	Слот для модуля поворотної засувки з електроприводом
54-55	Index 5 (Канал керування поворотною засувкою 1)	Ідентифікатор каналу для керування засувкою
56-59	Статус поворотної засувки 1 (відкрита/закрита)	Дані стану засувки
60-61	Slot 6 (Поворотна	

ВИСНОВКИ

У рамках виконання дипломної роботи на тему "Оптимізація автоматизованої системи керування утилізатором тепла газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С" було проведено детальне дослідження існуючих підходів до управління тепловими процесами в, а також розроблено і впроваджено методи оптимізації цих процесів з метою підвищення ефективності та зменшення енергетичних витрат.

Робота включала опис принципу роботи контуру керування температурою та розробку математичних моделей для процесу утилізації тепла, що дозволило точно прогнозувати температурні зміни і витрати теплової енергії в системі. На основі цих моделей було запропоновано налаштування для автоматизованої системи керування, що дозволяють адаптувати параметри роботи утилізатора тепла до змінних умов і зовнішніх впливів, таких як коливання температури.

Важливим етапом роботи став вибір технічних засобів автоматизації та застосування сучасних засобів автоматизації, таких як ПЛК Emerson RX3i, що забезпечили стабільність і високу точність регулювання процесів в реальному часі. Для побудови SCADA-системи для моніторингу та управління було обрано програмне забезпечення Promotic SCADA, яке дозволяє здійснювати збір даних, контроль та візуалізацію параметрів роботи системи в зручному для оператора форматі.

Результатом дипломної роботи є Розробка та впровадження математичної моделі процесу утилізації тепла та реалізація SCADA-системи на базі програмного забезпечення Promotic, що забезпечує візуалізацію та моніторинг роботи системи в реальному часі, з можливістю віддаленого управління та збору даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегат газоперекачувальний ГПА-Ц-16С/57-1,7М1 Настанова щодо експлуатування 227с.
2. Vernon L. Eriksen, J. M. Serth Heat Recovery Steam Generator Technology. 2017. 480 с.
3. A. V Smirnov, V. M. Chobenko, O. M. Shcherbakov, S. M. Ushakov, V. P. Parafiynyk, and R. M. Sereda, “The results of pre-design studies on the development of a new design of gas turbine compressor package of GPA-C-16 type,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 233, p. 012022, Aug. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/233/1/012022
4. Z. Haibo and W. Kun, “Annual performance analysis of heat pump drying system with waste heat recovery,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102625, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102625.
5. Y. Chen, P. Standl, S. Weiker, and M. Gaderer, “A general approach to integrating compression heat pumps into biomass heating networks for heat recovery,” *Appl Energy*, vol. 310, p. 118559, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.APENERGY.2022.118559.
6. Z. Yu, A. McKeown, Z. Hajabdollahi Ouderji, and M. Essadik, “A flexible heat pump cycle for heat recovery,” *Communications Engineering 2022 1:1*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, Aug. 2022, doi: 10.1038/s44172-022-00018-3.
7. J. Wang, J. Hua, L. Fu, Z. Wang, and S. Zhang, “A theoretical fundamental investigation on boilers equipped with vapor-pump system for Flue-Gas Heat and Moisture Recovery,” *Energy*, vol. 171, pp. 956–970, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.01.062.

8. S. R. Jamil, L. Wang, and D. Che, “Techno-economic analysis of a novel hybrid heat pump system to recover waste heat and condensate from the low-temperature boiler exhaust gas,” *Int J Energy Res*, vol. 44, no. 5, pp. 3821–3838, Apr. 2020, doi: 10.1002/ER.5172.
9. P. Kowalski, P. Szałański, and W. Cepiński, “Waste heat recovery by air-to-water heat pump from exhausted ventilating air for heating of multi-family residential buildings,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 23, p. 7985, Dec. 2021, doi: 10.3390/EN14237985/S1.
10. S. Liu, G. Ma, S. Xu, X. Jia, and G. Wu, “Experimental study of ventilation system with heat recovery integrated by pump-driven loop heat pipe and heat pump,” *Journal of Building Engineering*, vol. 52, p. 104404, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104404
11. X. Wang, H. Zhang, L. Cui, J. Wang, C. Lee, and Y. Dong, “Simulation study of an open compression absorption heat pump in water and heat recovery of low-temperature and high-humidity flue gas,” *Energy Convers Manag*, vol. 269, p. 116180, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2022.116180.
12. B. Yang, W. Yuan, L. Fu, S. Zhang, M. Wei, and D. Guo, “Techno-economic study of full-open absorption heat pump applied to flue gas total heat recovery,” *Energy*, vol. 190, p. 116429, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.116429.
13. B. El Fil and S. Garimella, “Heat recovery, adsorption thermal storage, and heat pumping to augment gas-fired tumble dryer efficiency,” *J Energy Storage*, vol. 48, p. 103949, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.EST.2021.103949.
14. A. Hadidi, “A novel energy recovery and storage approach based on turbo-pump for a natural gas pressure reduction station,” *J Clean Prod*, vol. 449, p. 141625, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2024.141625.
15. B. Dehghan B., “Performance assessment of ground source heat pump system integrated with micro gas turbine: Waste heat recovery,” *Energy Convers Manag*, vol. 152, pp. 328–341, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2017.09.058.

- 16.X. Wang, J. Zhuo, J. Liu, and S. Li, “Synergetic process of condensing heat exchanger and absorption heat pump for waste heat and water recovery from flue gas,” *Appl Energy*, vol. 261, p. 114401, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114401.
- 17.D. A. Reay, “A review of gas-gas heat recovery systems,” *Journal of Heat Recovery Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 3–41, Jan. 1981, doi: 10.1016/0198-7593(81)90003-5.
- 18.C. A. Roulet, F. D. Heidt, F. Foradini, and M. C. Pibiri, “Real heat recovery with air handling units,” *Energy Build*, vol. 33, no. 5, pp. 495–502, May 2001, doi: 10.1016/S0378-7788(00)00104-3.
- 19.S. Ushakov, A. Y. Karutsky, O. Shcherbakov, and S. Shukov, “RESULTS OF PRE-DESIGN STUDIES ON THE DEVELOPMENT OF A NEW DESIGN OF THE EXHAUST DUCT OF THE GAS TURBINE COMPRESSOR PACKAGE GPA-C-16S TYPE,” *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*.
Серія: Енергетичні та теплотехнічні