

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 бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт»

Здобувача(ки) групи СУ-01

Владислав ГАМОЛІН

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

(підпис)

Керівник: Доцент кафедри КСУ, к.ф.-м.н., Сергій СОКОЛОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Суми – 2024

Ном. поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість арку	№ екз.	Прим.
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1			Завдання кафедри	1		
			<u>Новорозроблена</u>			
2		ТЗ	Технічне завдання	2		
3			Реферат	1		
4	A4	СУ-01 6.151.00 ПЗ	Пояснювальна записка	50		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A4	СУ-01 6.151.00 А2	Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт. Функціональна схема автоматизації	1		
6	A4	СУ-01 6.151.00 ПЕ	Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт. Перелік елементів	1		
7	A4	СУ-01 6.151.00 Е3	Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт. Схема принципово-електрична	3		
8	A4	СУ-01 6.151.00 С	Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт. Схема структурна інформаційно-матеріальних потоків	1		

					<i>СУ-01. 6.151.04.ДП</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Гамолін				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Соколов					1	2
Реценз.					СумДУ, 2024		
Н. Контр.							
Затверд.	Леонтьєв						
					Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт Перелік документації		

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Владиславу Гамоліну

1. Тема проєкту: Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт
2. Затверджено наказом ректора університету. № 0312-VI від "29" березня 2024р.
3. Термін здавання студентом закінченого проєкту " __ " _____ 20__р.
4. Вихідні дані до проєкту: звіт з переддипломної практики, публікації, статті.
5. Зміст пояснювальної записки:
6. Перелік графічних матеріалів: 45 рисунків, 14 таблиць, 3 додатка.
7. Календарний план проєктування

Номер етапу	Зміст етапу проєктування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	10.05.24 - 13.05.24
2	Аналіз предметної області. Область застосування. Призначення	13.05.24 - 15.05.24
3	Розробка технічної документації на автоматизовану газотурбінну установку потужністю 16МВт	15.05.24 - 19.05.24

4	Розробка основних схем автоматизації.	19.05.24 - 23.05.24
5	Розробка інтерфейсу оператора	23.05.24 - 27.05.24
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	27.05.24 - 30.05.24

8. Дата видачі завдання “29” березня 2024р.

Керівник проекту:

доцент кафедри КСУ,

к.ф.-м.н.,

Сергій СОКОЛОВ

Здобувач:

студента гр. СУ-01

Владислава ГАМОЛІНА

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизованої газотурбінної установки
потужністю 16МВт

Розробник:
студент групи СУ-01

Владислав ГАМОЛІН

Погоджено:
доцент кафедри КСУ,
к.ф.-м.н.,

Сергій СОКОЛОВ

Суми – 2024

1. **Назва і галузь застосування:** автоматизація газотурбінної установки потужністю 16МВт; енергетика, виробництво електроенергії.
2. **Підстави для проектування:** Наказ ректора Сумського державного університету № _____ від _____, інші договори або замовлення.
3. **Загальний опис об'єкта автоматизації:**
 - a) система призначена для виробництва електричної енергії ГТУ-16 обладнана електричним генератором і може використовуватись як автономний або резервний джерело живлення для промислових та цивільних об'єктів.
4. **Основні частини системи та структурна схема:**
 - a) описує основні частини системи, дає опис про їх функції та взаємозв'язки, повинен мати графічне зображення структури системи;
 - b) повинна містити не лише блоки пов'язані із технологічним процесом а ще й блоки електрошафи та пультів керування;
 - c) показує читачеві загальний план вашої системи з віддаленого ракурсу, як наприклад карта земної кулі на якій ми бачимо розміщення частин світу;
5. **Опис блоків системи керування :**
 - a) розділ повинен мати підрозділи, у кожному підрозділі описується окремий блок;
 - b) опис блока повинен містити список функцій які повинен виконувати блок, після списку потрібно описати як саме буде реалізована кожна функція;
 - c) підрозділ детально описує елементи блока до найменших деталей включаючи моделі виконавчих механізмів та давачів, при необхідності повинен мати графічні зображення для кращого розуміння;
 - d) кожен підрозділ показує читачеві конкретну частину системи великим планом, наче знімок військової бази з супутника.
6. **Опис алгоритмів та режимів роботи системи:**
 - a) повинен описувати алгоритм роботи системи у тому числі алгоритм взаємодії з оператором;
 - b) опис алгоритму повинен бути чітким та не повинен мати непередбачений результат при виникненні нештатних ситуацій;
 - c) при необхідності може бути доповнений графічними елементами, наприклад блок-схемою;
 - d) даний розділ дає розуміння про алгоритм роботи системи в цілому.

7. Умови експлуатації системи керування:

Умови експлуатації технічних засобів, що встановлюються в приміщенні на щитах керування:

- а) температура навколишнього середовища – від плюс 5 до 50°C
- б) відносна вологість до 80% при температурі до 25°C;
- в) атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.);
- г) живлення БЖ для шафи управління – 380В; частота – 50 Гц; живлення ПЛК – 24В; живлення панелі оператора – 24В.

8. Технічні вимоги:

Склад технічних засобів системи:

- а) первинні перетворювачі (давачі);
- б) вимірювачі, що встановлюються безпосередньо на обладнанні;
- в) мікропроцесорний контролер;
- г) засоби відображення і представлення інформації;
- д) засоби введення оперативної і керуючої інформації;
- е) виконавчі механізми;
- є) регулюючі органи;
- ж) перетворювачі сигналів

ДСТУ 21.404 – 85 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

9. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	10.05.24 - 13.05.24
2	Аналіз предметної області. Область застосування. Призначення	13.05.24 - 15.05.24
3	Розробка технічної документації на автоматизовану газотурбінну установку потужністю 16МВт	15.05.24 - 19.05.24
4	Розробка основних схем автоматизації.	19.05.24 - 23.05.24
5	Розробка інтерфейсу оператора	23.05.24 - 27.05.24
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	27.05.24 - 30.05.24

10. Додатки:

Додаток А. Конструкторська документація:

- СУ-01 6.151.10 С1 Структурна схема інформаційно-матеріальних потоків автоматизації газотурбінної установки потужністю 16МВт.
- СУ-01 6.151.00 А2 Функціональна схема автоматизації газотурбінної установки потужністю 16МВт.
- СУ-01 6.151.00 Е3 Схема принципова електрична автоматизації газотурбінної установки потужністю 16МВт.

Додаток Б. Алгоритм

Додаток В. Лістинг програми

АНОТАЦІЯ

Гамолін Владислав Володимирович. Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16 МВт. Дипломний проект. Сумський державний університет. Суми - 2024 р.

Дипломний проект містить 75 аркушів пояснювальної записки, 45 рисунків, 14 таблиць, 3 додатки, 5 схем. При виконанні дипломного проекту було використано 11 літературних джерел.

ГТУ-16 обладнана електричним генератором і може використовуватись як автономний або резервний джерело живлення для промислових та цивільних об'єктів. Установа здатна генерувати змінний струм потужністю до 16 МВт.

Газотурбінні установки широко використовуються в енергетиці, нафтогазовій промисловості, суднобудуванні та інших галузях завдяки перевагам, таким як компактність, маневреність, можливість роботи на різних видах палива, відносно низькі капітальні та експлуатаційні витрати. ГТУ-16 є потужною газотурбінною установкою вітчизняного виробництва, що знайшла застосування як автономне джерело електроенергії, привід компресорних та насосних агрегатів, а також для комбінованого вироблення електричної та теплової енергії.

У роботі розкриваються такі теми, як аналіз та огляд системи, автоматизація газотурбінної установки потужністю 16 МВт, підбір технічних засобів автоматизації, розробка схеми електрично принципової та розробка інтерфейсу оператора, розробка ПЗ.

Ключові слова: система керування, газотурбінна установка, газ, електроенергія.

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту
«Автоматизація газотурбінної установки потужністю 16 МВт»

Керівник проєкту:
доцент кафедри КСУ,
к. ф.-м. н.

Сергій СОКОЛОВ

Здобувач:
Студент групи СУ-01

Владислав ГАМОЛІН

Суми-2024

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	6
1.1. Огляд та призначення.....	6
1.2. Складові системи	9
1.3. Характеристики та умови експлуатації системи	12
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ ПОТУЖНІСТЮ 16МВт	14
2.1 Аналіз роботи ГТУ 16.....	14
2.2 Функціональні задачі автоматизації.....	15
2.3 Контури керування.....	15
2.3.1 Контур подачі пускового та паливного газу	16
2.3.2 Контур подачі мастила	17
2.3.3 Контур забору повітря	18
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	21
3.1 Вибір електроніки та логічного контролера.....	21
3.2 Вибір давачів.....	26
3.3 Вибір виконавчих механізмів	31
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ ГТУ-16.....	36
4.1. Загальні поняття	36
4.2. Вибір програмного забезпечення	38
4.3. Розробка SCADA.....	39
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПЗ	45
5.1. Загальні поняття	45
5.2. Розробка алгоритму системи.....	46
5.3 Вибір ПЗ	48

					СУ-01. 6.151.04ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Гамолін				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Соколов				2	48	
Реценз.					СумДУ, СУ-01		
Н. Контр.							
Затверд.	.Леонтьєв						
					<i>Автоматизація процесу виготовлення макаронних виробів Пояснювальна записка</i>		

ВИСНОВОК.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТОК А.....	55
ДОДАТОК Б.....	61
ДОДАТОК В.....	65

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

ТВД - турбіна низького тиску;

ОК - осьовий компресор;

КС - камера згорання;

СТ - вільна турбіна;

ПСГ - підземне сховище газу;

ВМ – виконуючий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	<i>Лист</i>
						4
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Актуальність теми: Газотурбінні установки (ГТУ) широко використовуються в енергетиці завдяки своїм високим екологічним показникам, високій ефективності та можливості швидкого запуску. Автоматизація ГТУ є важливою задачею, яка дозволяє підвищити їхню надійність, економність та безпеку експлуатації.

Мета дослідження:

Підвищити надійність та ефективність експлуатації ГТУ шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації, що дозволить централізовано керувати процесами та своєчасно реагувати на відхилення.

Завдання дослідження:

- Розглянути принципи роботи ГТУ та основні етапи її автоматизації.
- Розробити структурну схему САК ГТУ 16 МВт.
- Розробити алгоритми функціонування САК ГТУ 16 МВт.
- Розробити ФСА САУ ГТУ 16 МВт.
- Провести підбір нових засобів автоматизації.
- Розробити SCADA систему

Очікувані результати:

Підвищення ефективності роботи ГТУ, покращення експлуатаційних характеристик, оптимізація технічного обслуговування і ремонтів, підвищення рівня безпеки і надійності, оновлення технічних засобів автоматизації.

Методи дослідження:

- Аналіз літературних джерел
- Розробка схем
- Розробка алгоритмів

Практична значимість:

Розроблена САУ ГТУ 16 МВт може бути використана для автоматизації ГТУ 16 МВт на електростанціях, промислових підприємствах та інших об'єктах.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Огляд та призначення

Електроенергія – це те без чого ми не змогли б уявити наш світ зараз. Кожен день люди використовують електроенергію у себе вдома, на вулиці, на підприємствах, у кінотеатрах, кафе, ресторанах – усюди. Зазвичай генеруванням електричної енергії займаються потужні атомні електростанції, теплоелектростанції та гідроелектростанції. Оскільки таких станцій досить багато в Україні, вони спокійно могли працювати, та надавати електроенергію споживачу без будь-яких проблем. Але на превеликий жаль в Україні почалася війна, під час якої у тому числі знищується наша енергетична інфраструктура. Через знищення значної кількості енергетичних об'єктів, було введено графіки погодинних відключень, що було необхідним кроком для подолання дефіциту електроенергії.

Для виробництва електроенергії можна використувати також ГТУ 16. ГТУ-16, або газотурбінна установка потужністю 16 МВт, являє собою енергетичну систему, що використовує енергію спалювання природного газу для генерації електричної енергії. ГТУ-16 можна побачити на рисунку 1.1. [1]



Рисунок 1.1 – ГТУ 16

Переваги ГТУ-16:

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

- Висока ефективність: ГТУ-16 мають значно вищий ККД (коефіцієнт корисної дії) порівняно з традиційними паровими турбінами, що робить їх більш економними.
- Швидкий запуск: ГТУ-16 можуть бути запущені за лічені хвилини, що робить їх ідеальними для резервного живлення та пікових навантажень.
- Екологічність: ГТУ-16 викидають менше шкідливих речовин в атмосферу, ніж традиційні електростанції, що робить їх більш екологічними.
- Широкий спектр застосування: ГТУ-16 можуть використовуватися на електростанціях, промислових підприємствах, на транспорті (наприклад, кораблі, літаки) та в інших сферах.

Призначення ГТУ-16:

- Генерація електричної енергії: ГТУ-16 є основним джерелом електроенергії для багатьох країн світу.
- Когенерація: ГТУ-16 можуть використовуватися не лише для виробництва електроенергії, але й для виробництва тепла, яке може використовуватися для опалення, гарячого водопостачання та промислових цілей.
- Пікове навантаження: ГТУ-16 можуть використовуватися для покриття пікових навантажень на електромережу, коли споживання електроенергії різко зростає.
- Резервне живлення: ГТУ-16 можуть використовуватися як резервне джерело живлення на випадок перебоїв в електропостачанні.

ГТУ-16 є важливим компонентом сучасної енергетики, що пропонує ряд переваг, таких як висока ефективність, швидкий запуск, екологічність та широкий спектр застосування. [1]

Важливо зазначити, що ГТУ-16 також мають деякі недоліки, такі як висока вартість, шум та викиди оксидів азоту (NOx).

Установка може видати цілих 16 МВт електроенергії. Тобто таким чином можна надати електрику тим, у кого вона відсутня.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ГТУ-16 випускається в декількох модифікаціях, що відрізняються за потужністю, комплектацією та призначенням. Найпоширеніші модифікації:

- **ГТУ-16П:** Базова модифікація, призначена для генерації електроенергії (див. рис.1.2).

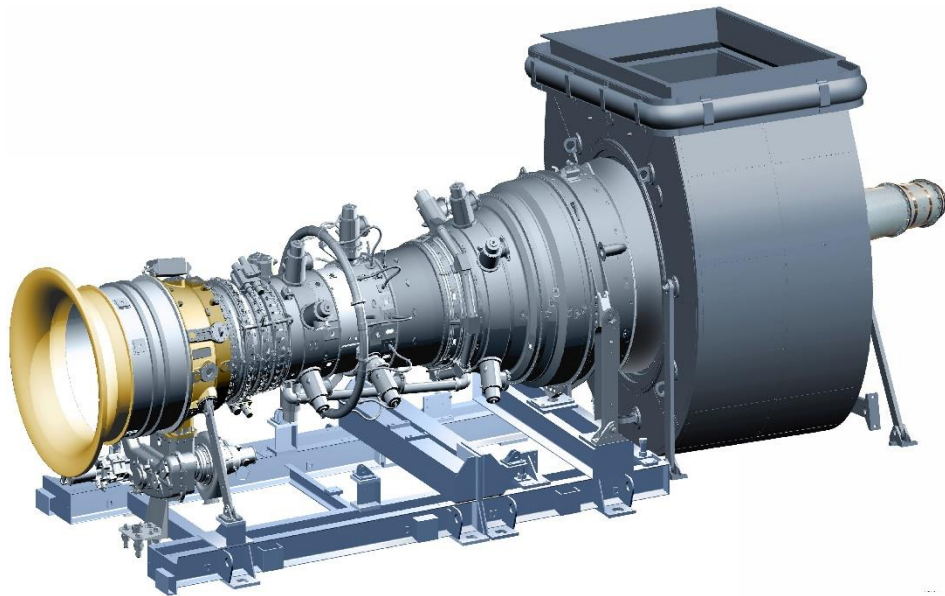


Рисунок 1.2 – ГТУ 16П

- **ГТУ-16ПР:** Модифікація з регенерацією тепла, що використовується для когенерації.
- **ГТУ-16А:** Авіаційна модифікація, що використовується як допоміжна силова установка на літаках.



Рисунок 1.3 – ГТУ 16А

- **ГТУ-16Г:** Модифікація для газоперекачування.

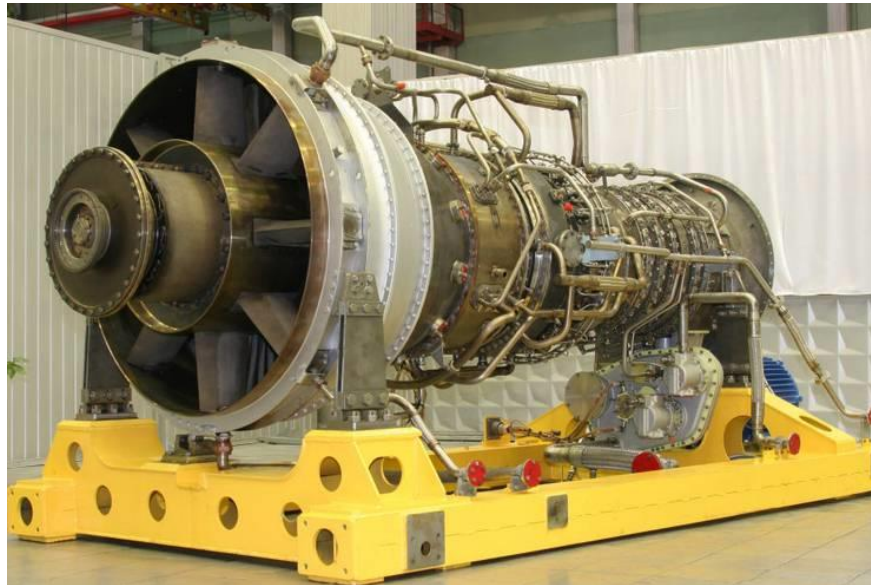


Рисунок 1.4 – ГТУ 16А

ГТУ-16 широко використовуються в різних галузях:

Енергетика: Основне застосування ГТУ-16 - генерація електроенергії на електростанціях.

Промисловість: ГТУ-16 використовуються для приводу насосів, компресорів та інших механізмів на промислових підприємствах.

Транспорт: ГТУ-16 використовуються як допоміжні силові установки на літаках та кораблях.

Нафтогазова промисловість: ГТУ-16 використовуються для газоперекачування та нагнітання газу в пласт.

1.2. Складові системи

Розглянемо ГТУ-16 на прикладі електростанції. Вона складається з наступних блоків:

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1. Газотурбінний двигун:

Вхідний пристрій: Забезпечує забір та очистку повітря, що надходить до компресора.

Осьовий компресор: Стискає повітря до необхідного тиску та температури.

Камера згоряння: Змішує стиснене повітря з паливом (природним газом) і підпалює суміш, створюючи високотемпературні гази.

Газова турбіна: Розширює високотемпературні гази, що генерує механічну енергію, яка використовується для обертання генератора.

2. Система подачі палива:

Паливний насос: Подає паливо до камери згоряння.

Система регулювання подачі палива: Контролює кількість палива, що подається до камери згоряння, залежно від режиму роботи ГТУ.

3. Система мастила:

Масляний насос: Подає масло для змащування підшипників та інших деталей газотурбінного двигуна.

Масляний радіатор: Охолоджує масло.

Система фільтрації масла: Очищає масло від домішок.

4. Система охолодження:

Повітряне охолодження: Використовує повітря для охолодження корпусу газотурбінного двигуна, генератора та інших компонентів.

Водяне охолодження: Використовує воду для охолодження підшипників та інших деталей газотурбінного двигуна.

5. Система контролю та управління:

Датчики: Збирають дані про параметри роботи ГТУ, такі як тиск, температура, швидкість обертання.

Контролери: Аналізують дані датчиків та генерують сигнали управління для виконавчих механізмів.

Виконавчі механізми: Регулюють роботу ГТУ відповідно до команд контролерів.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

6. Генератор:

Перетворює механічну енергію, що генерується газотурбіною, в електричну.

[2]



Рисунок 1.5 – Блоки ГТУ 16

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СУ-01. 6.151.04.ПЗ

Лист

11

1.3. Характеристики та умови експлуатації системи

Характеристики установки подано у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри ГПА-Ц-16.

Назва параметра, одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	16 МВт
Політропний ККД нагнітача, %	83
Розрахункове підвищення температури газу в нагнітачі: на номінальному режимі, *С	31
Номінальна потужність на муфті нагнітача, МВт	16
Тиск газу, МПа	паливного..... $2,5 \pm 0,2$ пускового..... $0,3 \pm 0,45$
Час запуску ДПА без урахування передпускової підготовки, с (хв) не більше	900(15)
Безповоротні втрати мастила, трохи більше, кг/год	по двигуну1,0 по нагнітачу.....0,5

Умови експлуатації автоматизованої системи ГТУ-16 (САУ ГТУ-16) визначаються наступними факторами:

1. Навколишнє середовище:

Температура: САУ ГТУ-16 повинна працювати в діапазоні температур від -40°С до +50°С.

Вологість: Допустима вологість навколишнього середовища становить до 95%.

Вібрація: Рівень вібрації не повинен перевищувати 0,05 g.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Електромагнітні перешкоди: САУ ГТУ-16 повинна бути стійкою до електромагнітних перешкод, що відповідають стандарту ГОСТ 25904-85.

2. Надійність:

Час безвідмовного напрацювання: САУ ГТУ-16 повинна працювати без відмов не менше 2000 годин.

Середній час ремонту: Ремонт САУ ГТУ-16 не повинен займати більше 8 годин.

3. Безпека:

Відповідність стандартам: САУ ГТУ-16 повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007-83 з безпеки праці.

Сертифікація: САУ ГТУ-16 повинна мати сертифікат відповідності, що підтверджує її безпеку.

4. Додаткові умови:

Захист від пилу та вологи: САУ ГТУ-16 повинна бути захищена від пилу та вологи відповідно до ступеня захисту IP44.

Захист від корозії: САУ ГТУ-16 повинна бути стійкою до корозії в атмосфері з підвищеною вологістю.

Електробезпека: САУ ГТУ-16 повинна відповідати вимогам електробезпеки. [3]

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ ПОТУЖНІСТЮ 16МВт

2.1 Аналіз роботи ГТУ 16

ГТУ – 16 побудована на основі авіаційного двигуна НК16-СТ. У ролі палива виступає газ. Газ, попередньо змішаний з повітрям, потрапляє до камери згорання, після чого згорає і тим самим виникає теплова енергія, яка перетворюється у механічну енергію (обертання валу ротора). Вал ротора під'єднано через редуктор до генератора, який в свою чергу перетворює механічну енергію в електричну. Для того, щоб краще зрозуміти процеси, які протікають в установці ГТУ-16 пропонуємо розглянути схему інформаційно – матеріальних потоків, зображену на рисунку 2.1, а також структурної схеми процесу генерації електроенергії, зображеного на рисунку 2.2. [4]

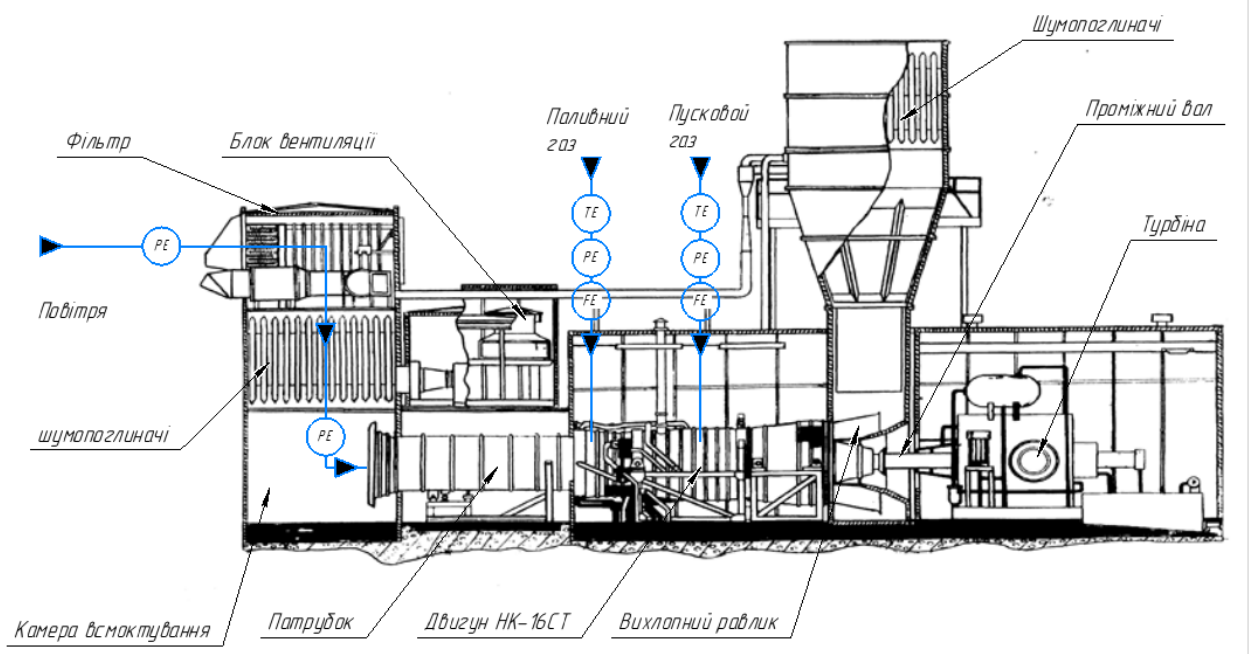


Рисунок 2.1 – Схема інформаційно-матеріальних потоків

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СУ-01. 6.151.04.ПЗ

Лист

14

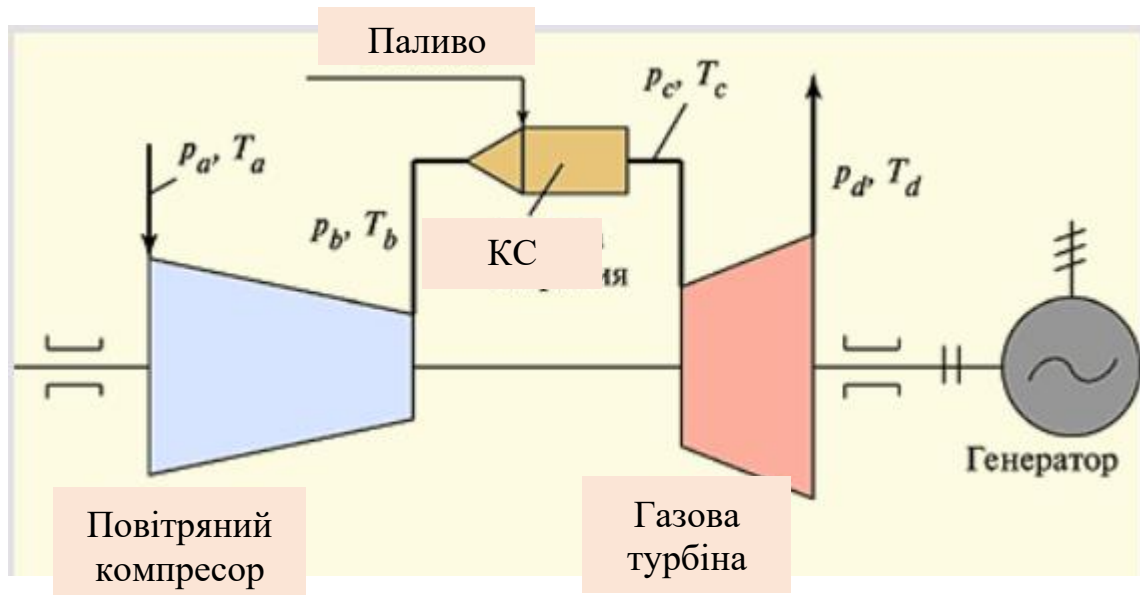


Рисунок 2.2 – Структурна схема ГТУ-16

2.2 Функціональні задачі автоматизації

На основі структурної схеми представленої вище та схеми інформаційно-матеріальних потоків формуємо список функціональних задач автоматизації:

1. Регулювання та контроль палива
2. Регулювання та контроль мастила
3. Регулювання та контроль забору повітря
4. Контроль параметрів двигуна
5. Контроль виробництва електроенергії

2.3 Контури керування

Проаналізувавши та описавши роботу ГТУ-16, представивши схему інформаційно-матеріальних потоків та сформувавши функціональні задачі автоматизації можемо розглянути систему детальніше розбивши її на контури керування. [4]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.3.1 Контур подачі пускового та паливного газу

Пусковий газ, пройшовши етапи фільтрації, потрапляє до блоку редукування БР1, де встановлюється значення тиску у межах 1,0...1,5 МПа. Потім він надходить до ТС ГТУ, відповідно через датчик витрат та крани. Коли газ розширюється в ТС, ротор ОК починає розкручуватися і відповідно ТВД під час запуску ГТУ.

На рисунку 2.3 зображено контур подачі пускового газу

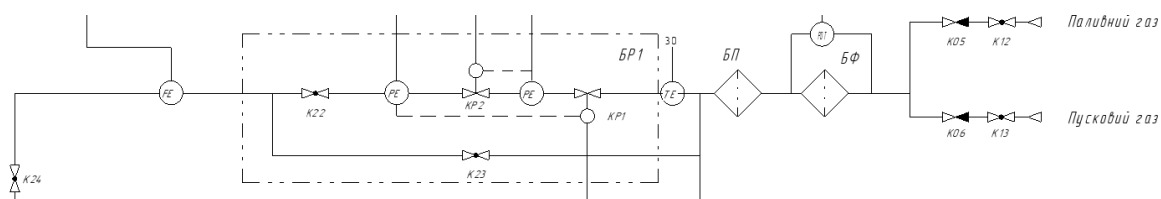


Рисунок 2.3 - Контур подачі пускового газу

Паливний газ використовується для горіння в камері згорання газотурбінної установки (ГТУ). Перед тим, як надійти до камери згорання, тиск паливного газу знижується в блоці редукування БР2 до рівня 0,6-2,5 МПа, залежно від тиску в самій камері згорання. Цей відредукований тиск має підтримуватися з точністю $\pm 0,05$ МПа.

Для надійності в системі редукування тиску передбачені резервні лінії регуляторів тиску (РД2 та РД3) та автоматичне переключення між робочою та резервною лініями. Блок захисту БЗ відключає робочу нитку при перевищенні тиску та вмикає резервну.

Крім того, є обвідні лінії для регуляторів РД2, РД3 та РД1 в системах паливного та пускового газів. Після редукування газ проходить через вимірювальний вузол, очищається від конденсату та надходить до паливного колектора.

Підготовлений паливний газ має відповідати певним вимогам, перш ніж надійти до камери згорання через кран К12, стопорний СК та регулюючий клапан

РК. Крани К14 і К15 використовуються для подачі газу до запального та чергового пальників під час пуску та роботи ДПА.

На рисунку 2.4 зображено контур подачі паливного газу

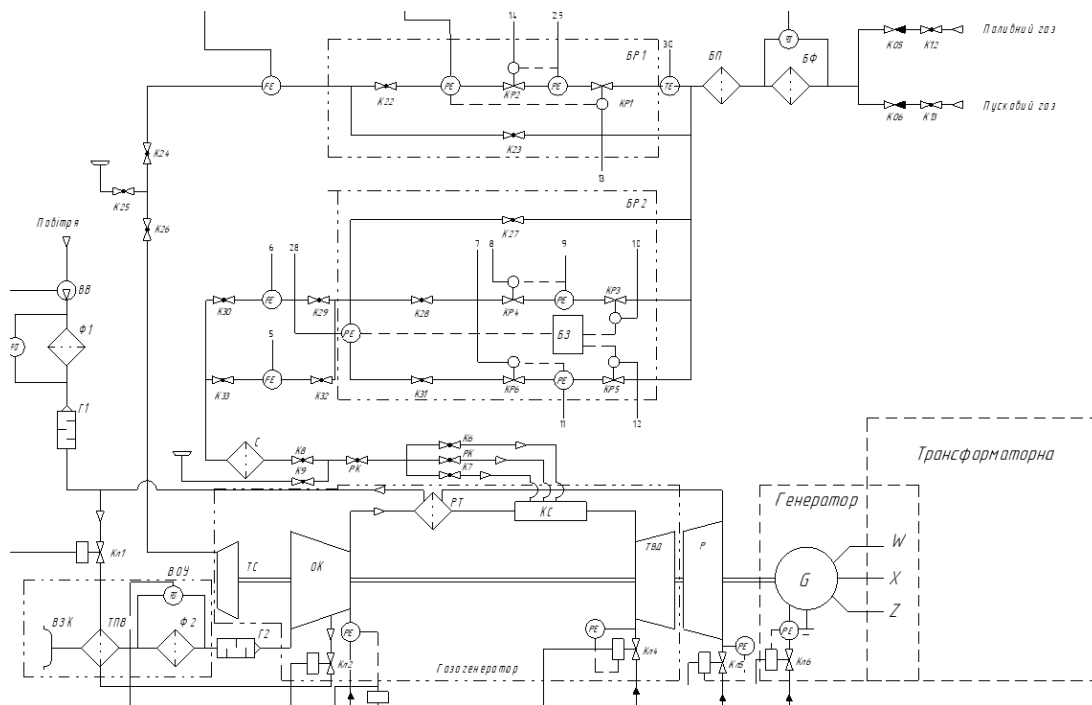


Рисунок 2.3 - Контур подачі паливного газу

2.3.2 Контур подачі мастила

Система подачі мастила необхідна для змащення підшипників, шліцьових з'єднань, та інших вузлів агрегатів, які потребують змащення. У нашій системі змащення потребують двигун, редуктор, генератор. [5]

На рисунку 2.4 зображено контур подачі мастила.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

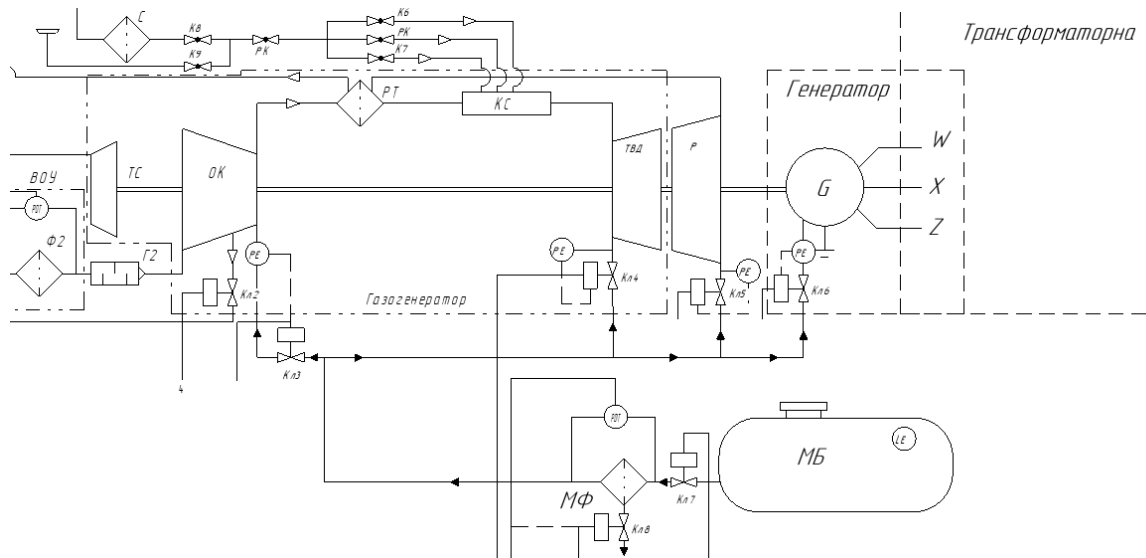


Рисунок 2.4 - Контур подачі мастила

Масло заливається у маслобак, який обладнаний датчиком рівня рідини. Далі по лінії знаходиться клапан, при відкритті якого масло фільтрується у МФ, після чого масло направляється до ОК, ТВД, Р та генератора для змащення вузлів тертя агрегатів.

2.3.3 Контур забору повітря

Контур забору повітря складається з відцентрованого вентилятора, фільтрів, глушника шуму. Повітря під тиском, необхідне для створення суміші повітря-газ, в оптимальних пропорціях, для згорання к КС. Отже, повітря проходить попереднє очищення від фізичних часток, які не потрібні камері згорання. [5]

На рисунку 2.5 зображено контур забору повітря

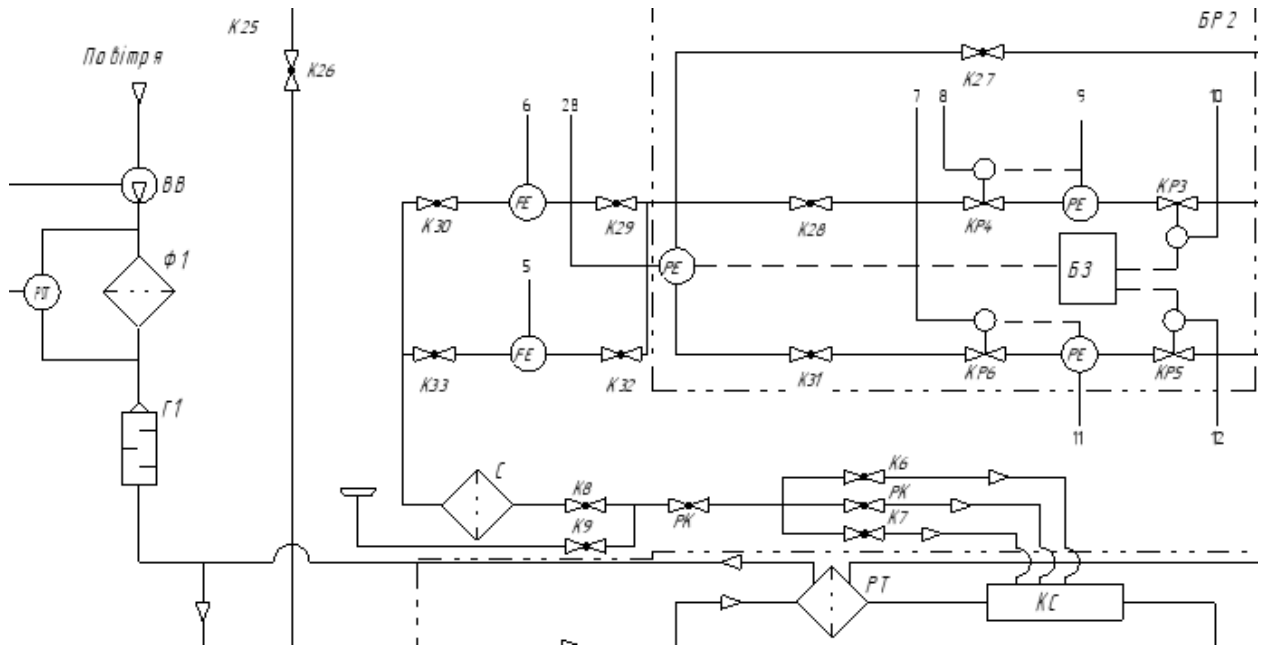


Рисунок 2.5 - Контур забору повітря

Розробляємо таблиці вхідних та вихідних сигналів (табл. 2.1 та табл. 2.2 відповідно).

Таблиця 2.1 – Таблиця вхідних сигналів

Таблиця вхідних сигналів			
№	Назва сигналу	Діапазон вим.	Тип сигналу
1	Температура	0...650 С*	4...20мА
2	Тиск	0...5МПа	4...20мА
3	Розхід	0...100 л\хв	4...20мА
4	Рівень	0...100%	4...20мА
5	Давачі струму		4...20мА

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

СУ-01. 6.151.04.ПЗ

Лист

19

Таблиця 2.2 – Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів			
№	Назва сигналу	Тип сигналу	ВМ
1	Електромагнітний клапан	DO	електромагнітний кппан 220 В 50 Гц
2	Відцентрований вентилятор	DO	електродвигун 380 В 50 Гц
3	Крани	АО	Крани з приводом 220 В 50 Гц

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для реалізації системи автоматичного управління (САУ) на ГТУ-16 необхідно обрати та закупити відповідне обладнання автоматизації. Зокрема, потрібно придбати наступне [6]

- Програмований логічний контролер (ПЛК) - центральний елемент САУ, який буде виконувати логіку керування.
- Модулі розширення вводу/виводу для ПЛК - для під'єднання датчиків та виконавчих механізмів.
- Датчики для вимірювання різних технологічних параметрів, наприклад, тиску, температури, витрати та ін.
- Виконавчі механізми, такі як регулюючі клапани, приводи, насоси тощо, які будуть виконувати команди ПЛК.
- Система людино-машинного інтерфейсу (НМІ) для візуалізації процесу та взаємодії оператора з САУ.

Саме за допомогою цього комплексу обладнання автоматизації можна реалізувати поставлені завдання керування, зазначені в другому розділі роботи. ПЛК буде збирати сигнали від датчиків, виконувати логіку управління та видавати команди на виконавчі механізми відповідно до заданого алгоритму. Оператор зможе контролювати процес та взаємодіяти з САУ через систему НМІ.

3.1 Вибір електроніки та логічного контролера

Для початку хотілося б почати підбір ТЗА з автоматичних вимикачів. Вони призначені як для комутації напруги так і як захисний пристрій від перенавантаження і КЗ. Для забезпечення якості, надійності та економічної ефективності рекомендується вибрати автоматичні вимикачі від провідного виробника Schneider Electric. Зокрема, модель автоматичного вимикача іС60Н є оптимальним рішенням для даного проекту. Необхідно придбати триполюсні та двополюсні автомати з характеристикою спрацювання за кривою С, що

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

забезпечить належний захист електричних кіл від перевантажень та коротких замикань відповідно до вимог проекту. На рисунку 3.1 зображено автоматичні вимикачі.[6]



Рисунок 3.1 - Автоматичні вимикачі SE iC60H

З характеристиками можна ознайомитися у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристики автоматичного вимикача iC60H

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	2P, 3P.
Крива	C
Номінальний струм	10A, 20A
Тип мережі	AC/DC

Для забезпечення комутації високої напруги 220 В змінного струму малою напругою 24 В постійного струму доцільно використати реле PLC-RSC-24DC/21-21 від компанії Phenix Contact - надійного виробника високоякісних компонентів автоматизації. На рисунку 3.2 зображено реле комутації.



Рисунок 3.2 - Реле Phenix Contact PLC-RSC- 24DC/21-21

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики реле

Характеристики	Значення
Вхідна напруга	24 VDC
Вихідна напруга	5...250 V AC/DC
Час спрацювання	8 мс
Час відпускання	10 мс
Макс. струм тривалого навантаження	6А
Максимальний пусковий струм	15А (300мс)
Мінімальний комутаційний струм	10мА (5В)

Для забезпечення живлення датчиків, контролерів та іншої електроніки було обрано блок живлення Weidmuller PRO MAX 120W 24 V 5 A після ретельного аналізу ринку та пропозицій виробників. Зазначена модель являє собою надійне і потужне джерело живлення, технічні характеристики якого представлені у вигляді таблиці 3.3, а його зовнішній вигляд можна розглянути на рисунку 3.3. Це джерело живлення забезпечить стабільне і безперебійне живлення всіх компонентів системи напругою 24 В постійного струму.[7]



Рисунок 3.3 - Блок живлення Weidmuller PRO MAX 120W 24 V 5 A

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики реле

Характеристики	Значення
Живлення блоку	85...277 VAC 45...65 Гц
Вихідна напруга/струм	24 VDC/5A
Енерговитрати	134,8 VA
Струм	1 A при 230VAC
Пусковий струм	15A

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер, який виконує функції прийому, обробки та видачі інформації у вигляді сигналів. Для забезпечення належної роботи контролер повинен мати оперативну та постійну пам'ять, процесор, інтерфейси для комунікації та клемні колодки для під'єднання вхідних і вихідних сигналів. Після аналізу ринкових пропозицій було обрано контролер TM221CE40R від компанії Schneider Electric, який ідеально відповідає вимогам проекту щодо кількості необхідних вхідних та вихідних сигналів, зовнішній вигляд контролера наведений на рисунку 3.4. [8]



Рисунок 3.4 - Контролер TM221CE40R

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики M221CE40R

Характеристики	Значення
Живлення, В	220В 50 Гц
Кількість входів, DI	24;
Кількість виходів, DO	16.
Пам'ять	256 kB для програми 256 kB для system memory RAM
Вбудовані інтерфейси	serial з RJ45 роз'ємом и RS232/RS485 Порт USB з mini B USB 2.0 роз'ємом Ethernet з RJ45 роз'ємом

Вхідні та вихідні дискретні сигнали будуть підключені безпосередньо до програмованого логічного контролера. Для підключення вхідних аналогових уніфікованих сигналів від давачів з виходом 4...20мА, яких налічується 20 штук, необхідно додатково придбати модулі розширення ТМ3АІ8 в кількості 3 штук. Кожен такий модуль розрахований на 8 каналів введення аналогових сигналів, тому для забезпечення необхідної кількості каналів потрібно використати 3 модулі. Зовнішній вигляд модуля ТМ3АІ8 представлений на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Модуль розширення ТМ3АІ8

Для формування вихідних аналогових керуючих сигналів в уніфікованому діапазоні 4...20 мА необхідно додатково придбати модулі розширення ТМ3АQ4. Кількість таких модулів становить 2 штуки, оскільки всього потрібно забезпечити 6 каналів вихідних аналогових сигналів, а кожен модуль ТМ3АQ4 має 4 канали.



Рисунок 3.6 - Модуль розширення ТМ3АQ4

3.2 Вибір давачів

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Для забезпечення необхідних вимірювань на польовому рівні було ретельно вивчено ринкові пропозиції та підібрано відповідні датчики згідно з вхідними сигналами, наведеними в таблиці 2.1, та робочими параметрами технологічних середовищ.

В якості диференціального датчика тиску для вимірювання перепаду тиску перед теплообмінниками та після них обрано модель ВFT 210 виробництва компанії Atek, технічні характеристики якого представлені в таблиці 3.7. Цей диференціальний датчик підходить для використання у всіх контурах керування.

[7]



Рисунок 3.7 – Диференціальний датчик тиску ВFT 210

Таблиця 3.5 – Характеристики ВFT 210

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювального середовища	0...2,5 МПа
Клас точності	0.5 % від шкали
Характеристика	Лінійна
Електричне з'єднання	4..20мА
Схема підключення	2-х дротова
Клас захисту корпусу	IP65

Давач тиску нам гарно підійде MBS 3000 DANFOSS, а саме оглянемо - 060G1106. Технічні характеристики в таблиці 3.6.



Рисунок 3.8 – Давач тиску MBS 3000 060G1106

Таблиця 3.6 – Характеристика давача тиску MBS 3000 DANFOSS

Характеристика	Значення
Вид робочого середовища	рідина, газ
Діапазони вимірювань	0 – 6 МПа
Час реакції	4 мс
Граничний тиск перевантаження	до 1500 бар
Характеристика	Значення
Тиск розриву чутливого елемента	до 2000 бар
Технологічне з'єднання	G 1/4, G 1/2
Матеріал контактуючих частин	нержавіюча сталь
Вага	0,25 кг
Тип вихідного сигналу	4 – 20 мА
Захист від неправильного включення полярності	є
Напруга живлення	9 – 32 В
Граничний струм	28 мА

Цей датчик є перетворювачем тиску з вихідним сигналом 4-20 мА для вимірювання надлишкового тиску. Він виготовлений компанією Danfoss і належить до серії MBT 5252.

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: п'єзорезистивний
- Діапазон вимірювання: 0-25 бар
- Максимальний тиск: 50 бар
- Вихідний сигнал: 4-20 мА з двопровідним під'єднанням
- Корпус: Нержавіюча сталь 316
- Ступінь захисту: IP65
- Точність: $\pm 0,5\%$ діапазону
- Температура навколишнього середовища: $-40...+85^{\circ}\text{C}$

Цей датчик призначений для вимірювання надлишкового тиску рідин та газів у різних галузях промисловості. Він відрізняється високою точністю, міцним антикорозійним корпусом та здатністю працювати у широкому діапазоні температур. [7]



Рисунок 3.9 – Давач MBT 5252 084Z6178

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики MBT 5252

Характеристика	Значення
Середовище	повітря, пара, вода, масла тощо

Робоча температура	-50...400*С
Тип сигналу	4...20мА
Макс. Температура навколишнього середовища	85*С
Характеристика	Значення
Макс. Тиск середовища	5 МПа
Захист	IP 65
Електричне з'єднання	2-х проводне

Це ультразвуковий рівнемір для безконтактного вимірювання рівня рідких та сипучих речовин. Він випускається компанією Endress+Hauser і належить до серії Prosonic M.



Рисунок 3.10 – Ультразвуковий рівнемір Prosonic M FMU40

Основні технічні характеристики:

- Принцип дії: безконтактний ультразвуковий імпульсний метод вимірювання часу пробігу сигналу
- Діапазон вимірювання: від 0,6 до 30 м
- Точність вимірювання: ± 3 мм
- Вихідний сигнал: 4-20 мА з HART, Profibus PA або Foundation Fieldbus

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

- Матеріал корпусу: Полівінілхлорид або Алюмінієвий сплав з полімерним покриттям
- Ступінь захисту: IP67
- Температура процесу: -40...+80°C
- Тиск процесу: від -0,2 до 2 бар (abs)

Цей рівнемір підходить для вимірювання рівня різноманітних рідин, бункерів, силосів тощо в різних галузях промисловості. Він не контактує з вимірюваним середовищем, що запобігає впливу агресивних речовин. Компактний дизайн та різні типи вихідних сигналів полегшують інтеграцію в системи автоматизації.

Для вимірювання витрати на відповідних лініях, зазначених у другому розділі, було обрано витратомір моделі H250H M40 від компанії KRONE. Зовнішній вигляд цього витратоміра можна розглянути на рисунку 3.11, а його технічні характеристики представлені у вигляді таблиці 3.10. Витратомір даної моделі підходить для використання у цьому проекті завдяки своїм показникам і відповідає вимогам щодо вимірювання витрати на зазначених лініях.



Рисунок 3.11 - Датчик витрат H250H M40

3.3 Вибір виконавчих механізмів

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31



Рисунок 3.12 – Електромагнітний клапан GAMMA GF-40F

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики GAMMA GF-40F

Характеристика	Значення
Тип	електромагнітний
З'єднання	фланцеве
Напруга	24, 220В 50 Гц
Температура	-5...400*С
Захист	IP 65
Робочий тиск	0...1,6 МПа
Витрати	400 л/м
Матеріал	Чугун
Кінцевий вимикач	так

Після аналізу ринкових пропозицій для забезпечення плавного регулювання за допомогою аналогового вихідного сигналу 4...20 мА було обрано двоходовий шаровий кран з електроприводом та фланцевим з'єднанням за стандартом ISO 5211 від компанії IVR. Ця модель крана з електроприводом повністю відповідає вимогам проекту щодо регулювання потоку та дозволить реалізувати необхідні функції плавного керування. [9]

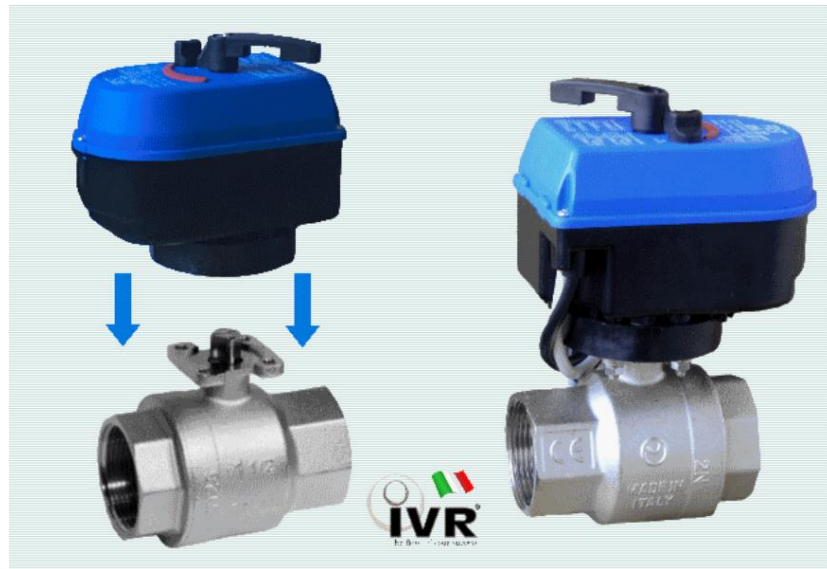


Рисунок 3.13 - Шаровий кран з електроприводом 4...20 мА

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики шарового крана IVR.

Характеристика	Значення
З'єднання	Фланець
Керуючий сигнал	4...20мА
Живлення	220В 50Гц
Робочий тиск	До 3,2 МПа
Робоча температура	-10...100*С
Струм доп. вимикача	1 А
Час закриття / відкриття	48 сек
Потужність живлення	5...9 ВА
Клас захисту	IP 44

Для вирішення завдання з вибору відцентрованого вентилятора було обрано модель Турбовент НЖВ 200, що цілком задовольняє вимоги проекту. Зовнішній вигляд цього вентилятора представлений на рисунку 3.14, а його технічні характеристики детально описані в таблиці 3.11. Вентилятор Турбовент НЖВ 200

є оптимальним рішенням для даного застосування завдяки своїм конструктивним особливостям та експлуатаційним параметрам.[9]



Рисунок 3.14 - Турбовент НЖВ 200

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики НЖВ 200

Характеристика	Значення
Потужність	750Вт
Кількість фаз	3
Тип двигуна	Асинхронний
Продуктивність	2500 м3/год
Тиск	850 Па
Оберти	2800 об/хв
Напруга живлення	380 В 50 Гц
Тип вентилятора	відцентрований
Клас захисту	IP 54

Після ретельного розгляду широкого спектру пропозицій частотних перетворювачів від провідних виробників, таких як SIEMENS, BOSCH, Schneider Electric, FANUC та інших, було прийнято рішення встановити частотний перетворювач моделі VFC3210-0K75-3P4-MNA-7P-NNNNN-NNNN німецького

виробництва компанії BOSCH REXROTH. Цей перетворювач поєднує оптимальне співвідношення ціни та якості, не поступаючись більш дорогим аналогам за своїми технічними характеристиками, що робить його привабливим вибором для даного проекту. [9]



Рисунок 3.16 - Частотний перетворювач

Таблиця 3.14 - Технічні характеристики пристрою

Характеристика	Значення
Номінальний струм	2.3 А
Живлення	380 В 50Гц
Потужність	0,75 кВт
Перенавантаження (1 хв)	150%
Вихідна частота	0...400 Гц
ПІД регулятор	так
Пульт керування	вбудовано
Клас захисту	IP 20

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ ГТУ-16

4.1. Загальні поняття

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) - це система, яка використовується для збору даних та керування технологічними процесами в реальному часі. Вона складається з польових пристроїв (датчиків та виконавчих механізмів), встановлених на технологічному обладнанні, промислових контролерів (PLC, RTU), які обробляють сигнали датчиків і видають команди на виконавчі механізми, системи людино-машинного інтерфейсу (HMI) для візуалізації та керування процесом, комунікаційної мережі для обміну даними та серверної частини з базами даних для обробки, архівування та надання доступу до даних. [10]

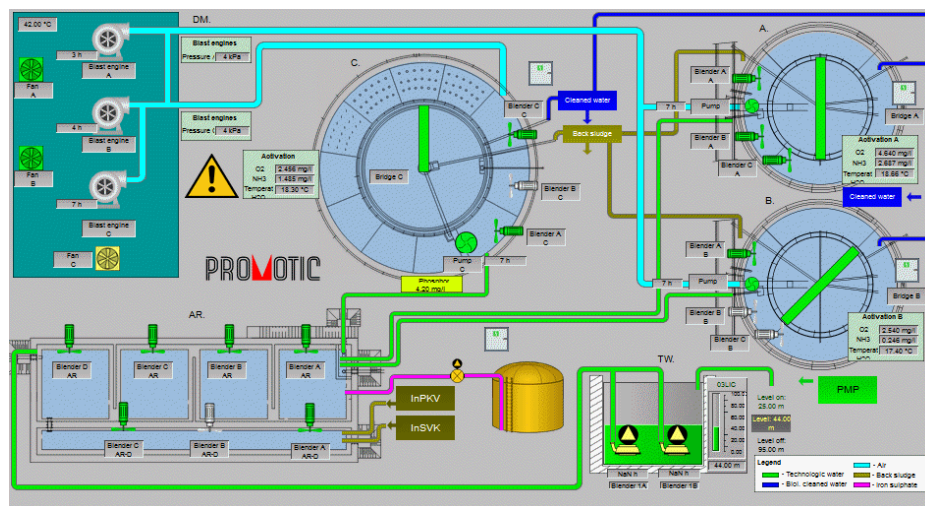


Рисунок 4.1 – Приклад SCADA

Основні функції SCADA-системи включають моніторинг стану процесу в реальному часі, генерування сигналів тривоги, автоматизоване керування обладнанням, збір та архівацію даних, а також віддалений доступ та контроль системи. SCADA-системи широко застосовуються в енергетиці, нафтогазовій галузі, водопостачанні, транспорті та багатьох інших галузях для підвищення ефективності, безпеки та контролю виробничих процесів.

Призначення SCADA - забезпечити централізований моніторинг та автоматизоване керування розподіленими технологічними процесами в реальному часі.

Поняття HMI (Human-Machine Interface) - це система людино-машинного інтерфейсу, яка представляє собою програмне забезпечення для візуалізації стану технологічного процесу, взаємодії оператора з системою та керування нею в інтерактивному режимі.

Для створення систем людино-машинного інтерфейсу (HMI) використовуються спеціалізовані програмні пакети та середовища розробки. Ось деякі поширені програми для створення HMI:

1. InduSoft Web Studio - потужне середовище розробки HMI/SCADA для Windows, яке підтримує різні промислові протоколи зв'язку та бази даних.
2. Wonderware InTouch - популярний пакет від Schneider Electric для створення розподілених HMI/SCADA-систем.
3. Siemens WinCC - інтегрована система візуалізації процесів від Siemens для SIMATIC PLC.
4. GE iFIX - рішення HMI/SCADA від GE Digital для візуалізації, моніторингу та керування процесами.
5. Rockwell Software FactoryTalk View - платформа HMI від Rockwell Automation для промислової автоматизації.
6. Iconics Genesis64 - набір інструментів для розробки HMI/SCADA, SDPM (управління виробничими операціями) та аналітики.
7. Vijeo Citect - набір програмного забезпечення від Schneider Electric для HMI, SCADA, MES та виробничих операцій.
8. NI LabVIEW - середовище графічного програмування від National Instruments, яке також використовується для створення HMI.
9. Qt - крос-платформний інструментарій для розробки графічних інтерфейсів користувача, який підтримується багатьма виробниками HMI/SCADA.

10.PromoticSCADA - це масштабована SCADA/НМІ система для збору даних та візуалізації технологічних процесів у реальному часі. [10] Вона забезпечує:

- Розробку НМІ з анімованими мнемосхемами, трендами та аварійною сигналізацією
- Підтримку широкого спектру промислових протоколів передачі даних
- Інтеграцію з різними СУБД та OPC серверами
- Веб-доступ до НМІ через вбудований веб-сервер
- Розподілену клієнт-серверну архітектуру
- Відкритий доступ до коду за допомогою скриптів

Ці програми надають розробникам широкі можливості для створення сучасних, інтуїтивних та зручних для користувача НМІ-інтерфейсів для різних галузей промисловості.

4.2. Вибір програмного забезпечення

При виборі PromoticSCADA як платформи для розробки системи диспетчерського керування та збору даних у дипломній роботі можна навести наступні аргументи.

Функціональність та масштабованість системи - PromoticSCADA надає повний набір інструментів для створення повнофункціональної SCADA/НМІ системи з підтримкою віддаленого доступу, резервування, алармів та архівації даних, що легко масштабується для застосування на підприємствах різного розміру.

Кросплатформеність забезпечує гнучкість та незалежність від конкретної апаратної платформи.

Відкритість та інтеграція - система підтримує велику кількість промислових протоколів зв'язку та має відкритий протокол обміну даними, що полегшує інтеграцію з іншими корпоративними системами підприємства.[10]

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

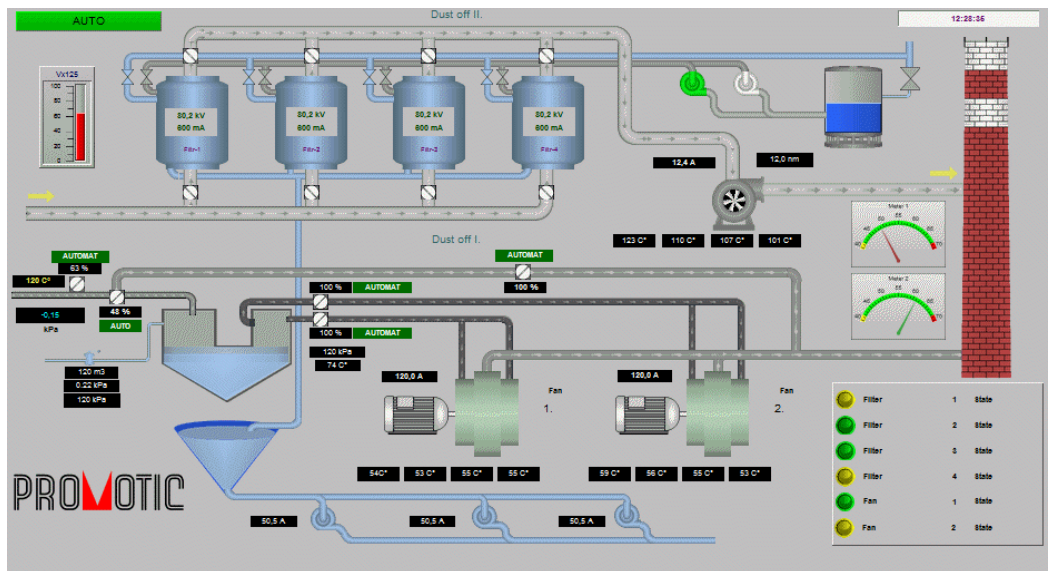


Рисунок 4.2 – Приклад SCADA розробленої за допомогою Promotic

Зручний інструментарій розробки середовища promotic забезпечує графічний інтерфейс для створення НМІ проекту, налаштування зв'язку та програмування користувацької логіки. Система чеського походження від компанії РМ, що забезпечує якісну технічну підтримку та документацію. Досвід використання в Україні - PromoticSCADA широко використовується на вітчизняних підприємствах різних галузей, що свідчить про її надійність та ефективність. Гнучка ліцензійна політика дозволяє оптимізувати витрати при впровадженні системи. [10]

Такі переваги як функціональність, інтеграційні можливості, підтримка від розробника та досвід успішного використання в Україні роблять PromoticSCADA вдалим вибором для розробки SCADA системи у дипломному проекті.

4.3. Розробка SCADA

Щоб розробити SCADA систему автоматизованої газотурбінної установки ГТУ – 16 було проаналізовано схему інформаційно-матеріальних потоків, функціональну схему автоматизації, та установку загалом.

Розробка SCADA системи у середовищі PromoticSCADA зазвичай включає кілька основних етапів.

Створення проекту та налаштування комунікацій. На цьому етапі визначаються обладнання та протоколи зв'язку, з якими буде взаємодіяти система. Конфігурується підключення до контролерів, OPC-серверів, баз даних тощо за допомогою відповідного менеджера.

Розробка НМІ інтерфейсу в середовищі PromoticScada. Це графічне середовище дозволяє створювати вікна візуалізації з мнемосхемами, трендами, аварійною сигналізацією, графіками. Інтерфейс може бути анімований та інтерактивний.

Налаштування серверної частини Promotic для обробки даних, генерації алармів, архівації історії у вбудованій базі даних.

Програмування користувацької логіки за допомогою скриптів на мові Promotic Script. Скрипти можуть виконуватися циклічно або запускатися від певних подій. [11]

Налаштування безпеки та обмежень доступу користувачів до різних компонентів системи.

Конфігурування серверів резервного копіювання та віддаленого доступу, якщо ці функції потрібні.

Тестування розробленої системи та налагодження її роботи.

Впровадження системи на виробництві, навчання персоналу роботі з PromoticSCADA.

Розробка може також включати імпорт/експорт даних, створення звітів, підключення зовнішніх скриптів та програм і інші спеціалізовані завдання. Середовище Promotic надає зручні інструменти візуального програмування та налаштування для різних компонентів SCADA системи.

Для початку створимо головний екран SCADA системи, його зображено на рисунку 4.3. [11]

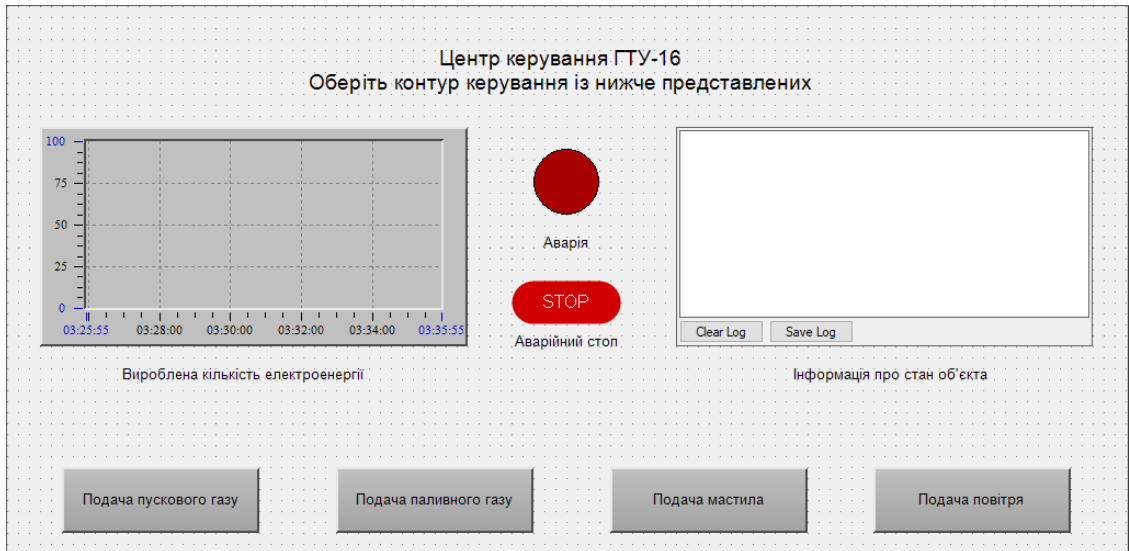


Рисунок 4.3 – Головна сторінка SCADA

На ній відображатимуться графіки потужності виробництва електроенергії, логи, які повідомлятимуть про стану об'єкта, кнопки для перемикання між контурами керування, кнопка аварійної зупинки та індикатор про аварію.

Оператору надається можливість обирати будь який із контурів, за яким необхідно вести контроль або втрутитися у процес керування. Тож переходимо до першого контура. [11]

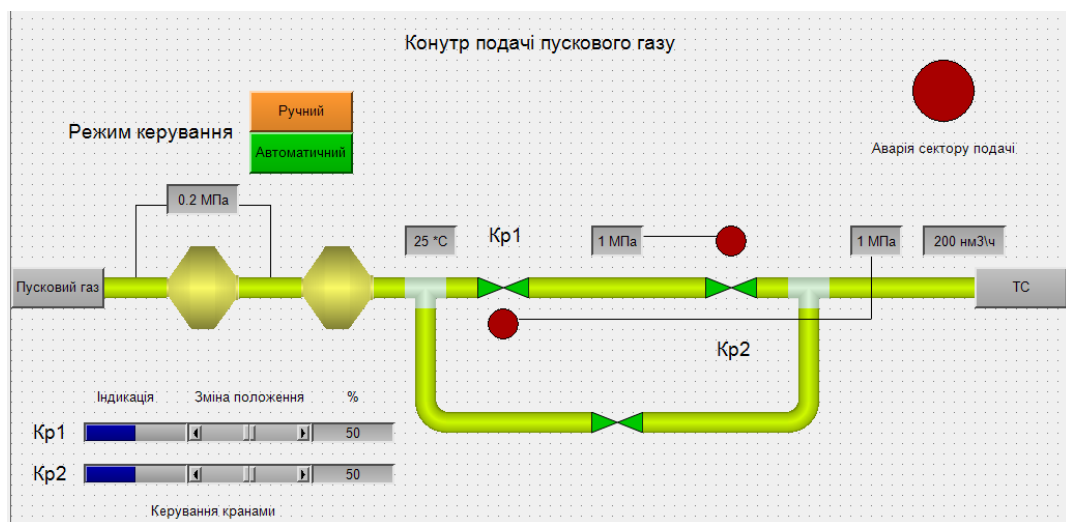


Рисунок 4.4 – Подача пускового газу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Даний контур відображає процес подачі пускового газу до ТС. Відображено 2 фільтра, значення з давачів, крани, а також органи керування кранами.

Оператору також надається можливість обрати режими керування: ручний або автоматичний. Під час автоматичного режиму, виконуватиметься програма по заданому алгоритму. [10]

Наступний контур - подача паливного газу. Цей контур керування відображено на рисунку 4.5.

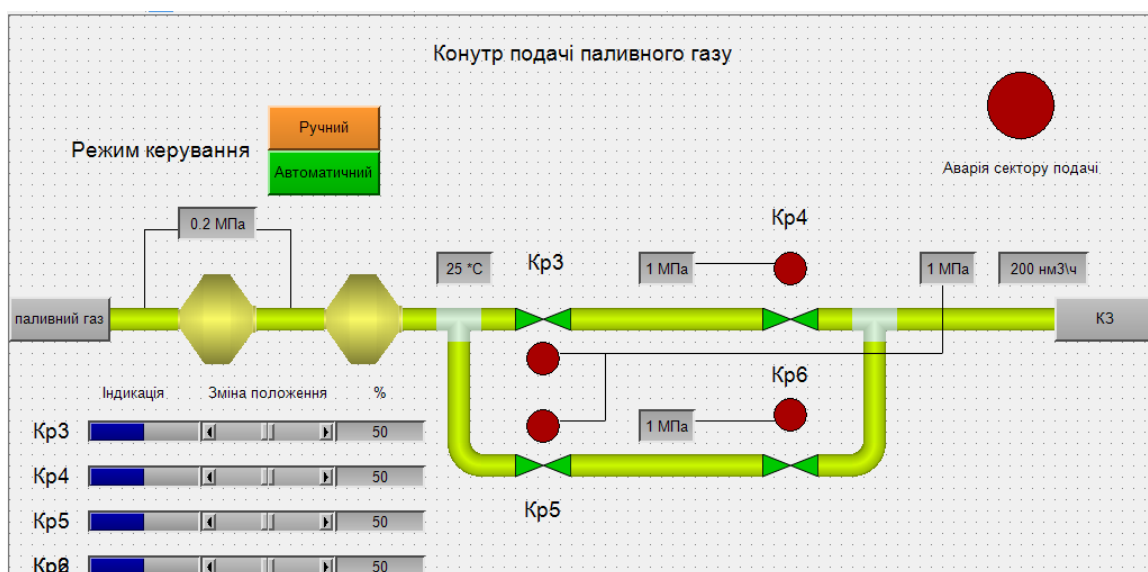


Рисунок 4.5 – Подача паливного газу

Оператору надається можливість обрати режим керування, у випадку потреби втрутитися в процес керування. Також на мнемосхемі відображається контроль параметрів з датчиків, індикатор аварії на лінії. Також відображено диференціальний давач тиску, за допомогою якого можна дізнатися про засміченість фільтра. [10]

Наступний контур керування – подача повітря у систему. Зображено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Подача повітря до ОК

На цьому контурів відображаємо теплообмінник, фільтр, глушник, клапани, відцентрований вентилятор, а також органи керування клапанами та ВВ, перемикання режиму роботи, а також індикатор повідомлення про аварію. [11]

Наступний контур керування – масло подача. Його зображено на рисунку 4.7.

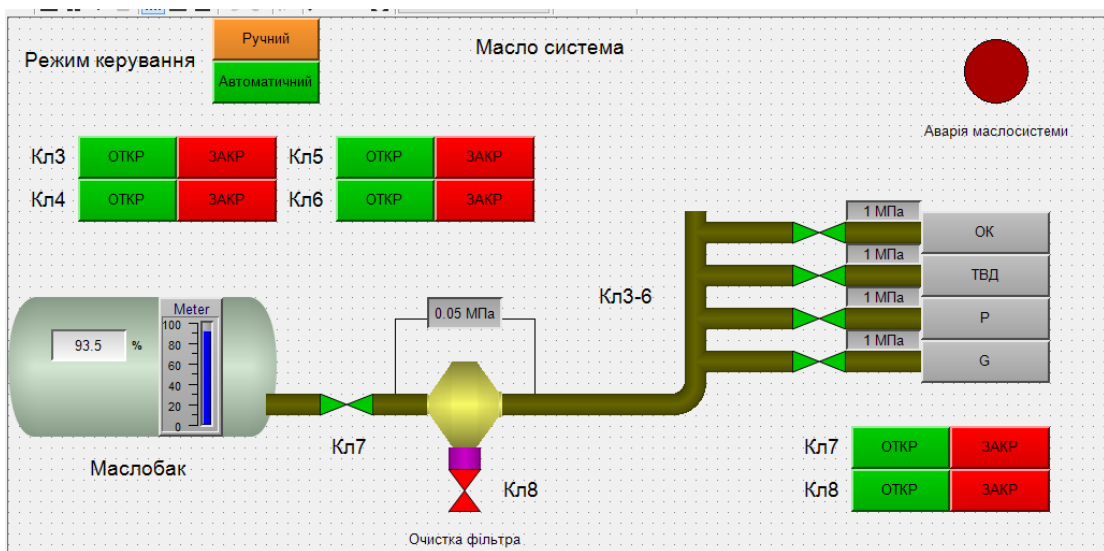


Рисунок 4.7 – Масло подача до системи

Необхідно контролювати рівень масла в маслобаку, керувати клапанами на подачу мастила на кожен із рухомих блоків. Керування можна робити як в автоматичному так і в ручному режимах. Є можливість керувати кожним клапаном окремо. Також є індикатор, який сповіщає про аварію. [11]

					<i>СУ-01. 6.151.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПЗ

5.1. Загальні поняття

Розробка програмного забезпечення для систем автоматизації є важливим етапом при створенні промислових систем керування та моніторингу технологічних процесів. Вона включає кілька ключових аспектів.

Вибір апаратної платформи та операційної системи, на яких буде працювати програмне забезпечення. Це можуть бути промислові ПК, вбудовані системи, програмовані логічні контролери (ПЛК) тощо.

Визначення архітектури програмного забезпечення та вибір відповідних технологій і мов програмування. Часто використовуються об'єктно-орієнтовані підходи, багатонитеве програмування, бібліотеки для обробки сигналів та зв'язку. [10]

Розробка користувацького інтерфейсу (НМІ) для візуалізації процесів, відображення даних та взаємодії з оператором. Застосовуються спеціалізовані інструменти для створення мнемосхем, графіків, аварійної сигналізації.

Програмування логіки керування та алгоритмів обробки даних. Це може включати ПІД-регулювання, логічні операції, фільтрацію сигналів, розрахунки тощо.

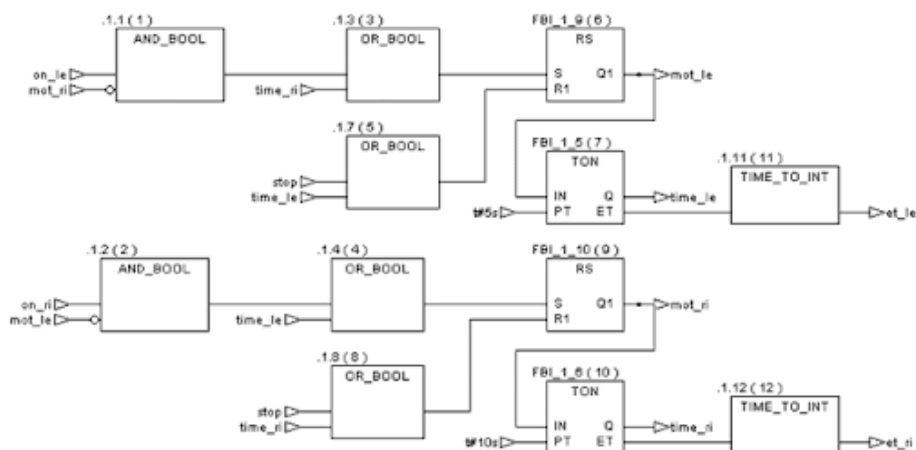


Рисунок 5.1 – Приклад програми на FBD

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Реалізація комунікаційних протоколів та драйверів для взаємодії з промисловими контролерами, датчиками, виконавчими механізмами різних виробників.

Інтеграція з базами даних та системами збору/архівації даних для зберігання історичної інформації та генерації звітів.

Забезпечення безпеки, надійності та відмовостійкості програмного забезпечення через резервування, контроль доступу, обробку виключень тощо.

Тестування розробленого програмного забезпечення на відповідність функціональним вимогам та коректність роботи в різних режимах.

Впровадження, налаштування та супровід програмного забезпечення на промислових об'єктах. [5]

Документування програмного забезпечення та підготовка технічної документації для підтримки та подальшого вдосконалення системи.

Розробка ПЗ для автоматизації вимагає глибоких знань у галузі управління технологічними процесами, програмування, промислових комунікацій та врахування специфічних вимог безпечної та надійної роботи на виробництві.

Розробку можна поділити на 2 етапи. Першим є – розробка алгоритму роботи. Другим – самого ПЗ.

5.2. Розробка алгоритму системи

Для розробки алгоритму системи, було задіяно онлайн ресурс Draw.io. За допомогою нього можна легко і швидко побудувати алгоритм. [10]

Розглянемо типовий алгоритм роботи газотурбінної установки ГТУ-16:

1. Запуск

- Перевірка готовності систем (паливо, мастило, охолодження)
- Розкручування ротора стартером до певної швидкості
- Запалювання та підведення палива в камеру згоряння
- Вихід на режим холостого ходу

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

2. Розгін до номінальних обертів

- Поступове збільшення подачі палива до камери згоряння
- Контроль температури вихлопних газів та протипомпажних обертів
- Вихід на номінальну частоту обертання ротора

3. Набір навантаження

- Синхронізація з мережею і підключення генератора (при вироблянні електроенергії)
- Поступове збільшення навантаження до необхідного значення
- Регулювання паливної системи та систем охолодження

4. Робота на заданому навантаженні

- Підтримання заданих параметрів (частота обертів, температура, тиски)
- Контроль показників та стабільної роботи

5. Зняття/зміна навантаження

- Регулювання подачі палива відповідно до зміни навантаження
- Утримання допустимих границь температур і тисків

6. Зупинка

- Поступове зниження навантаження до холостого ходу
- Відключення подачі палива до камери згоряння
- Вибіг ротора до зупинки
- Охолодження гарячих вузлів після зупинки

Весь час роботи відбувається контроль безпечних границь параметрів. При виході за допустимі межі або в аварійних ситуаціях автоматика зупиняє подачу палива та здійснює екстрену зупинку ГТУ. Управління здійснюється автоматичною системою керування з можливістю ручного втручання оператора.

[7]

Для створення алгоритмів керування, я використав онлайн редактор Draw.io. У ньому велика та зручна бібліотека, простий інтерфейс, розширений функціонал. Перед створенням алгоритмів, я їх поділив на кожен контур керування. Усі алгоритми керування знаходяться у додатку В.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

5.3 Вибір ПЗ

Вибір асемблера як мови програмування для створення програмного забезпечення керування критично важливими системами, такими як газотурбінні установки, може бути обґрунтований наступними причинами:

Продуктивність та ефективність

Асемблер дозволяє писати код на найнижчому рівні, безпосередньо взаємодіючи з апаратним забезпеченням. Це забезпечує максимальну швидкодію та ефективність використання обчислювальних ресурсів, що є критичним для систем керування в реальному часі.

Точний контроль над апаратним забезпеченням

Програмування на асемблері надає повний контроль над регістрами, пам'яттю та периферійними пристроями мікроконтролера чи процесора. Це дозволяє створювати оптимальні та надійні алгоритми керування без залежності від компіляторів та абстракцій вищого рівня.

Передбачуваність

Коли програма написана на асемблері, легко передбачити, які інструкції будуть виконуватися та яким чином програма буде використовувати ресурси системи. Це забезпечує високий рівень детермінованості та повторюваності роботи, що є критично важливим для систем керування в промислових умовах.

Компактність та мінімалізм

Асемблерний код, як правило, більш компактний порівняно з високорівневими мовами, що дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси пам'яті та енергоспоживання, характерні для вбудованих систем.

Низькорівневий доступ до апаратних засобів

В певних ситуаціях необхідний безпосередній доступ до регістрів та спеціалізованих функцій апаратного забезпечення, наприклад, для керування таймерами, переривання, функціями криптографії тощо. Асемблер надає такі можливості. [10]

Віддалене налагодження та зневадження

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

Програми на асемблері легше відстежувати та налагоджувати на віддалених пристроях через послідовні інтерфейси, що є критичним для промислових систем.

Однак програмування на асемблері є більш складним та трудомістким, ніж на високорівневих мовах. Тому на практиці часто застосовується гібридний підхід, коли критичні частини програмного забезпечення пишуться на асемблері, а решта - на мовах вищого рівня.

```
; Визначення змінних і констант
.equ FUEL_VALVE, 0x20 ; Адреса регістра керування паливним клапаном
.equ TEMP_REG, 0x22 ; Адреса регістра зчитування температури
.equ MAX_TEMP, 0x9C ; Максимальна допустима температура (в шістнадцятковому форматі)

.section .text ; Секція коду

.globl _start ; Точка входу

_start:
; Ініціалізація
mov r16, FUEL_VALVE ; Адреса регістра керування паливним клапаном
ldi r17, 0x00 ; Закрити паливний клапан

; Основний цикл
loop:
; Зчитати поточну температуру
ld r18, TEMP_REG ; Зчитати температуру в регістр r18

; Перевірити температуру
cmp r18, MAX_TEMP ; Порівняти з максимальною температурою
brsh shut_down ; Перейти до shut_down, якщо температура перевищена
```

Рисунок 5.2 – Розроблена програма

```

; Регулювання подачі палива
cp r17, r18      ; Порівняти поточне положення клапана з необхідним
breq loop       ; Якщо положення клапана збігається з необхідним, перейти до loop
brlo increase_fuel ; Якщо положення клапана менше за необхідне, збільшити подачу палива
rjmp decrease_fuel ; Інакше, зменшити подачу палива

increase_fuel:
inc r17         ; Збільшити положення клапана (більша подача палива)
st r16, r17    ; Записати нове положення клапана в регістр керування
rjmp loop      ; Перейти до основного циклу

decrease_fuel:
dec r17         ; Зменшити положення клапана (менша подача палива)
st r16, r17    ; Записати нове положення клапана в регістр керування
rjmp loop      ; Перейти до основного циклу

shut_down:
; Аварійна зупинка
ldi r17, 0x00  ; Закрити паливний клапан
st r16, r17    ; Записати положення клапана в регістр керування
; Додаткові дії зупинки...
rjmp shut_down ; Зациклитись в стані зупинки

```

Рисунок 5.3 – Продовження програми

Вибір асемблера як мови програмування для створення програмного забезпечення керування критично важливими системами, такими як газотурбінні установки, може бути обґрунтований наступними причинами:

Продуктивність та ефективність

Асемблер дозволяє писати код на найнижчому рівні, безпосередньо взаємодіючи з апаратним забезпеченням. Це забезпечує максимальну швидкодію та ефективність використання обчислювальних ресурсів, що є критичним для систем керування в реальному часі.

Точний контроль над апаратним забезпеченням

Програмування на асемблері надає повний контроль над регістрами, пам'яттю та периферійними пристроями мікроконтролера чи процесора. Це

					<i>СУ-01. 6.151.04.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

дозволяє створювати оптимальні та надійні алгоритми керування без залежності від компіляторів та абстракцій вищого рівня.

Передбачуваність

Коли програма написана на асемблері, легко передбачити, які інструкції будуть виконуватися та яким чином програма буде використовувати ресурси системи. Це забезпечує високий рівень детермінованості та повторюваності роботи, що є критично важливим для систем керування в промислових умовах.

Компактність та мінімалізм

Асемблерний код, як правило, більш компактний порівняно з високорівневими мовами, що дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси пам'яті та енергоспоживання, характерні для вбудованих систем.

Низькорівневий доступ до апаратних засобів

В певних ситуаціях необхідний безпосередній доступ до регістрів та спеціалізованих функцій апаратного забезпечення, наприклад, для керування таймерами, переривання, функціями криптографії тощо. Асемблер надає такі можливості.

Віддалене налагодження та зневадження

Програми на асемблері легше відстежувати та налагоджувати на віддалених пристроях через послідовні інтерфейси, що є критичним для промислових систем.

.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВОК

У дипломній роботі було здійснено огляд автоматизованої установки ГТУ 16, яка націлена на виробництво електроенергії.

У першому розділі було розглянуто систему, її призначення, з яких функціональних блоків вона складається, описано її характеристики та експлуатаційні умови.

У другому розділі розроблено схему інформаційно-матеріальних потоків, структурну схему, схему ФСА, було сформовано функціональні задачі автоматизації та розглянуто контури керування автоматизованою системою керування ГТУ – 16.

У третьому розділі було здійснено вибір технічних засобів автоматизації, а саме електроніка, призначення для ШК, датчики та виконавчі механізми.

У четвертому розділі було розроблено SCADA систему, а саме 4 контури керування, подачу паливного та пускового газу, а також подачу повітря та масла.

У п'ятому було розглянуто загальні поняття про програмні забезпечення, розроблено алгоритм керування на кожний контур, а також написана програма на мові програмування ASEMBLER.

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cohen H., Rogers G.F.C., Saravanamuttoo H.I.H. "Gas Turbine Theory" - 6th Edition, Pearson Education Limited, 2019.
2. Boyce M.P. "Gas Turbine Engineering Handbook" - 4th Edition, Butterworth-Heinemann, 2020.
3. Giampaolo T. "Gas Turbine Handbook: Principles and Practice" - 5th Edition, The Fairmont Press, Inc., 2018.
4. Meher-Homji C.B., Bromley A.F. "Gas Turbine Axial Compressor Fouling and Washing" - Proceedings of the 37th Turbomachinery Symposium, 2020.
5. Kurz R., Brun K. "Degradation in Gas Turbine Systems" - Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 123, 2021.
6. Ghafir M.F.A., Muhad R.M., Husain N.A. "Performance Analysis on Gas Turbine Power Plant" - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 469, 2019.
7. 1. Ванін В. В. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб./ А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. – К. : Каравела, 2016. – 200 с. 2. В. В. Ванін,
8. Петров С.В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций. Учебное пособие / С.В. Петров, И.Н. Бирилло. — Ухта: УГТУ, 2014. — 115 с. 4. Рабочий проект. Парогазовая энергетическая установка ПГУ-20. Общая пояснительная записка. Книга 2. Разработчик ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе».
9. Грищенко О.В., Ковалевський С.М. Сучасні системи автоматичного керування і захисту газотурбінних установок // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні". - Дніпро, 2019. - С. 124-129.
10. Бондаренко О.В., Радієвський Л.О. Модернізація системи автоматичного регулювання газотурбінної установки // Вісник Кременчуцького

					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

національного університету імені Михайла Остроградського. - 2019. - № 5.
- С. 23-29.

11.Лавриненко А.В., Семеренко А.О. Удосконалення системи автоматичного регулювання частоти обертання газотурбінної установки // Технологічний аудит та резерви виробництва. - 2019. - № 6(38). - С. 42-48.

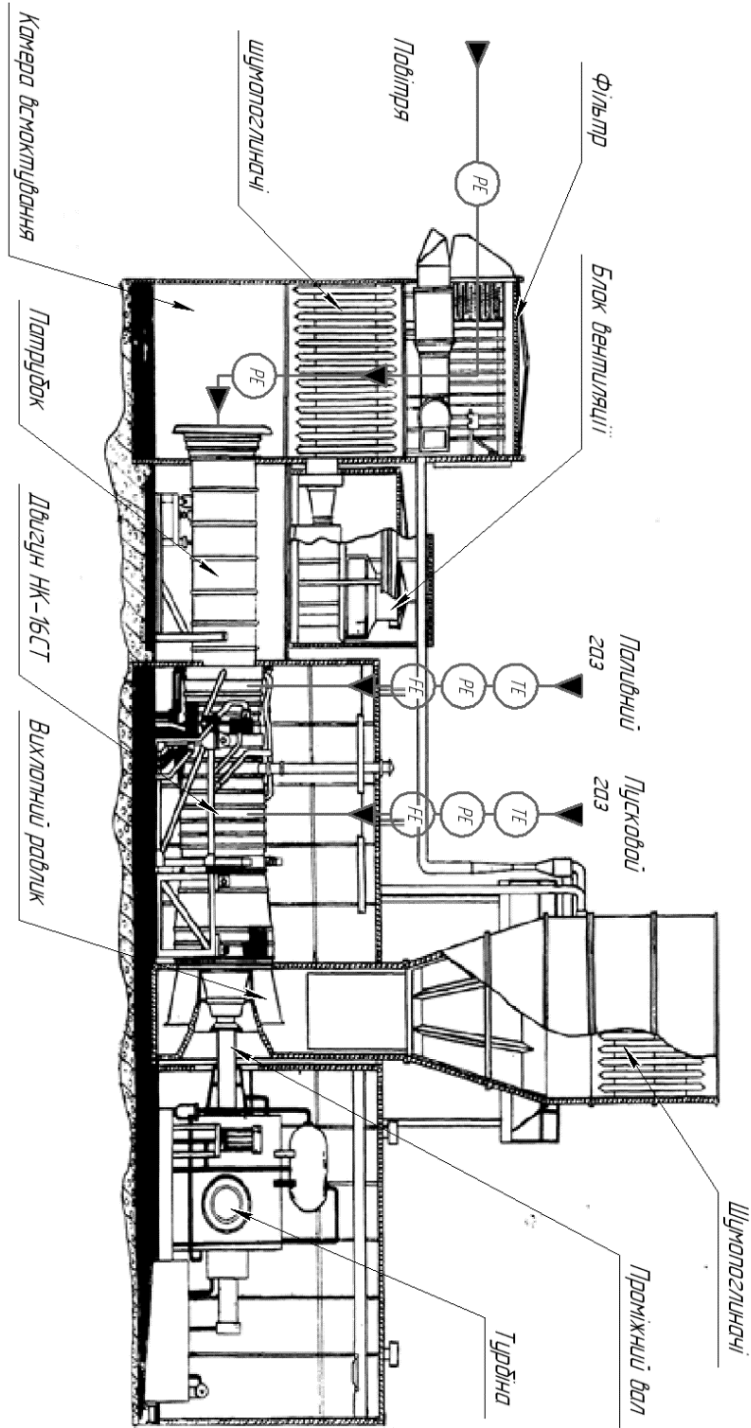
					СУ-01. 6.151.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Структурна схема інформаційно-матеріальних потоків

13 70151.9.10-57
СУ-01.6.15104

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Справ. №	Перв. примен.



Мзм/Лист	№ док-м	Подп	Дата
Розроб	Сторон		
Дроб	Скороб		
Тюандр			
Нюандр			
Ум'я	Лвент'в		

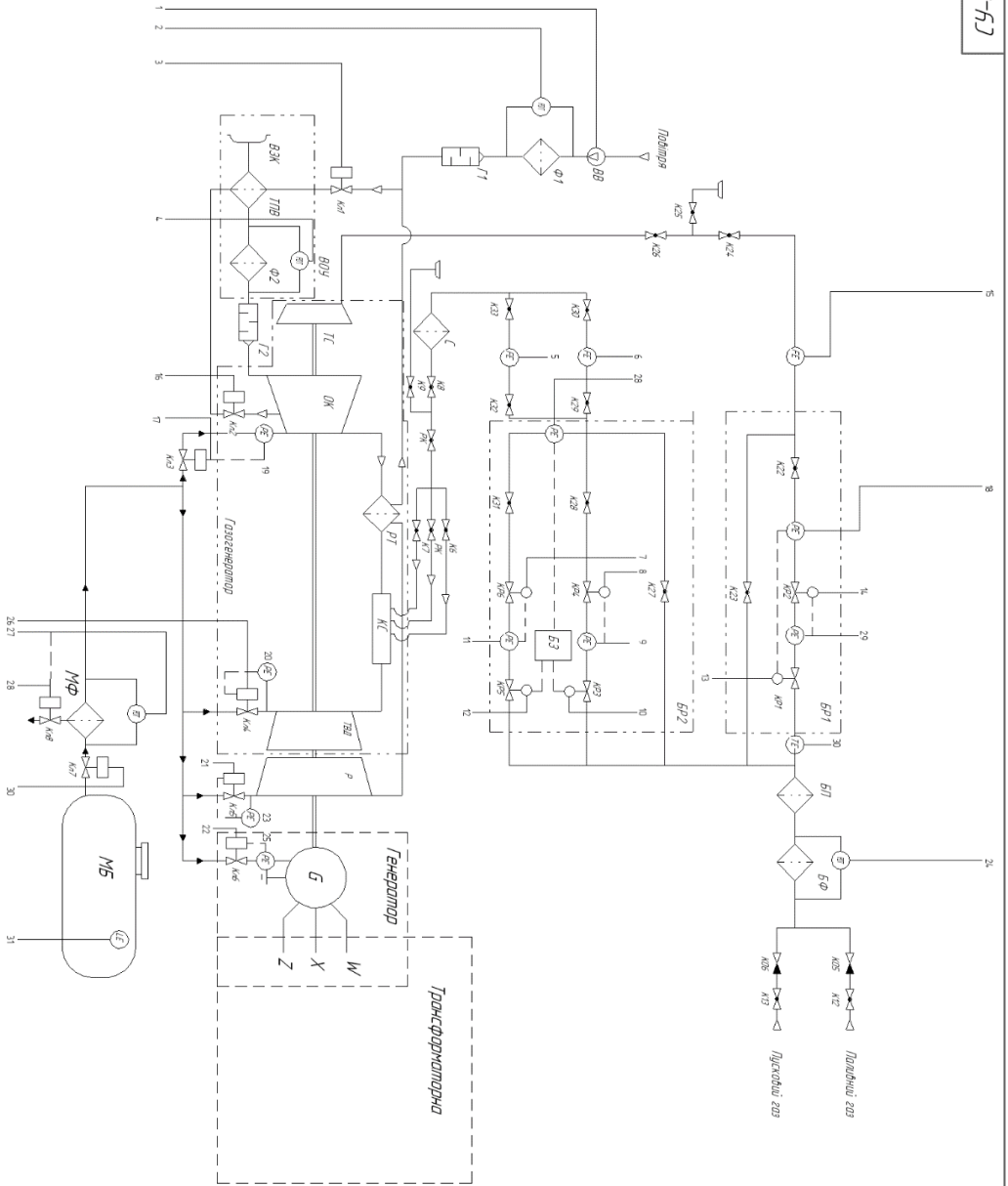
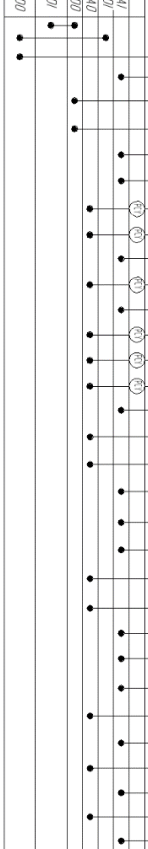
СУ-01.6.15104 С1			
ГТУ-16			
Лист	Масштаб	Листів	Масштаб
		11	
Схема інформаційно-матеріальних потоків		Лист	Листів
Капіроради			1
Формат А3		СумДУ 2024	

Функціональна схема автоматизації

2A 401016.15104 A2

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------	---------------

Прилади на щиті	З'язки
РС	АІ
ДІ	ДІ
ДІ	ДІ
ДІ	ДІ
ДІ	ДІ

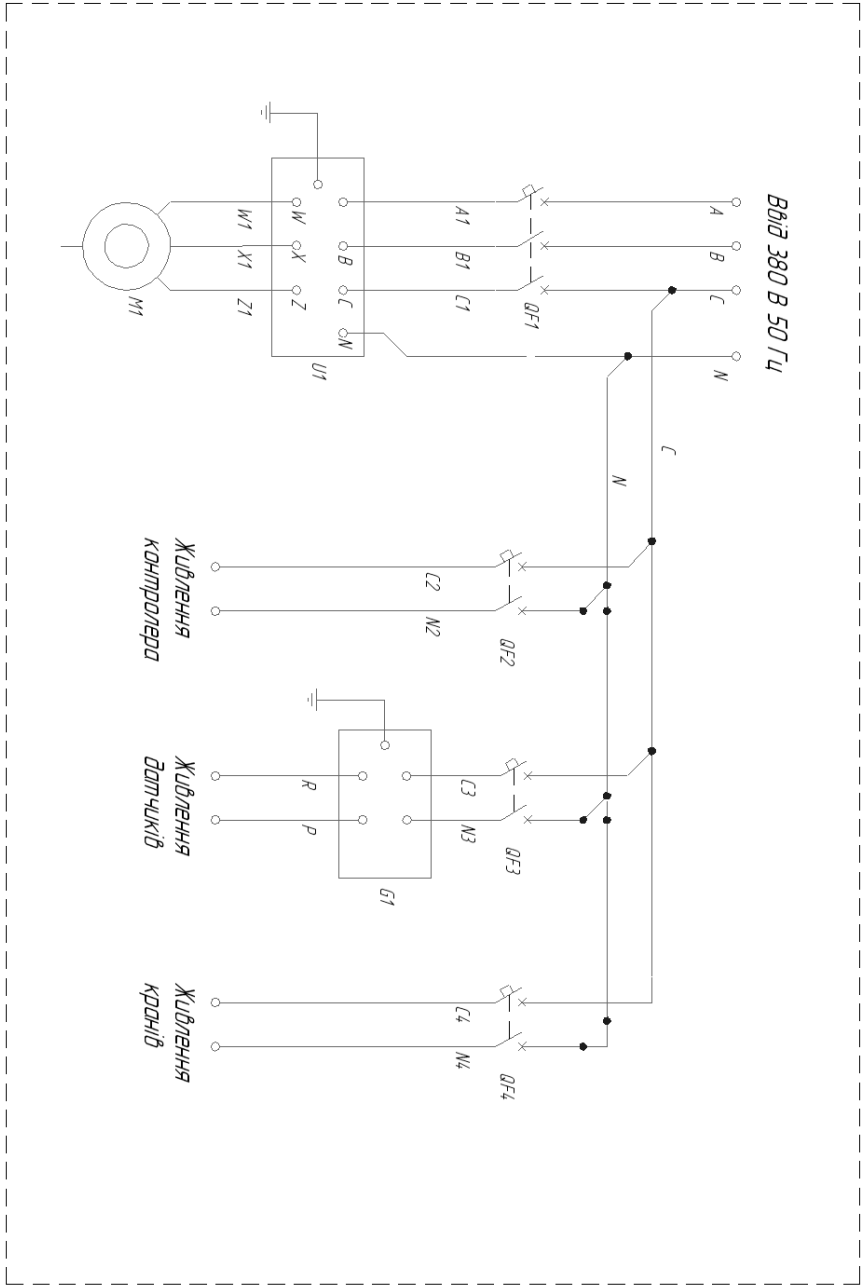


1. Г - генератор
2. МБ - мастилобак
3. МФ - масляний фільтр
4. БП - бак підігрівання
5. БФ - бак фільтра
6. БР 1,2 - рекультивація
7. Ф 1,2 - фільтр
8. БЗ - бак захисту
9. ВВ - відцентровий насос
10. Г 1,2 - турбінні шупи
11. ВДУ - підтримувальний пристрій
12. ВЗК - підтримувальна камера
13. ТТВ - теплообмінник - підігрівач
14. ТС - турбостартер
15. ОК - ротор осьового компресора
16. ТВД - турбодвигун висхідного тиску
17. Р - Редуктор
18. ВК - відцентровий компресор
19. С - генератор
20. РТ - реверсуючий теплообмінник
21. КС - камера згорання
22. ККС - камерний компресорний станції
23. К 1,3,3 - кран шаровий з РП
24. Кп 1,8 - електричний кран
25. КР 1,6 - кран регулюючий 4...20 мА

Контракт	№ докум.	Лист	Кількість
ГТУ-16	11	1	1
Функціональна схема автоматизації	СумДУ СУ-01	Формат А2	Кількість

Електрично-принципова схема

СУ-01 6.151.000.04 ЭЗ



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------	---------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.	Гоголин			
Проект.	Сохолов			
Техническая				
Наименование				
Умд				

СУ-01 6.151.000.04 ЭЗ

ГТУ-16

Схема электрическая принципиальная

СумДУ 2024

Лист 1 из 2

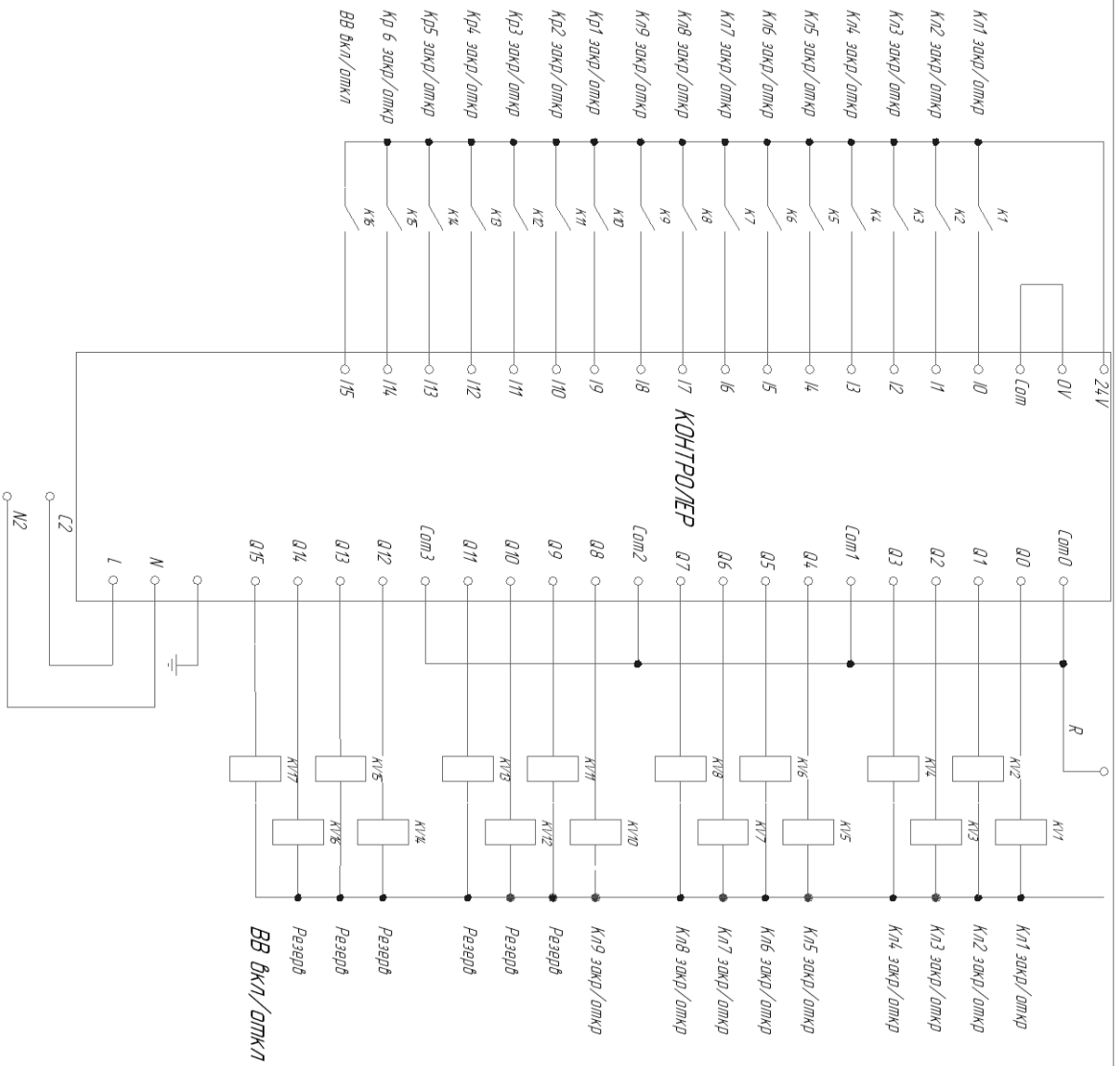
Масштаб 1:1

Формат А3

Копировать

СЧ-01 6.151000.04 ЭЗ

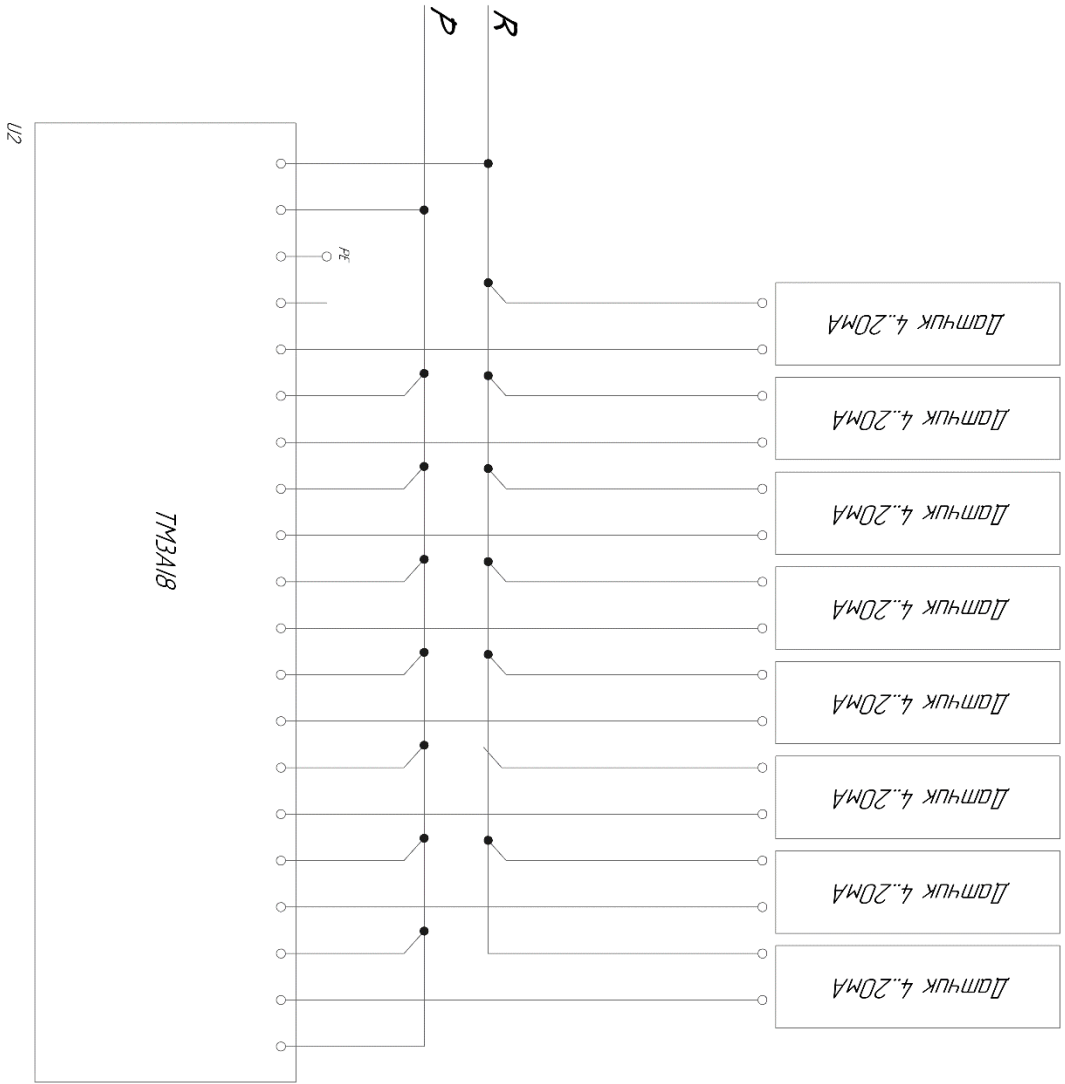
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата



Инв. лист	№ докум.	Подп.	Дата	СЧ-01 6.151000.04 ЭЗ	лист
				Контроль	2
				Формат А3	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

СУ-01 6.151.00 33



Изм.	Исполн.	№ докум.	Подп.	Дата

СУ-01 6.151.000004 33

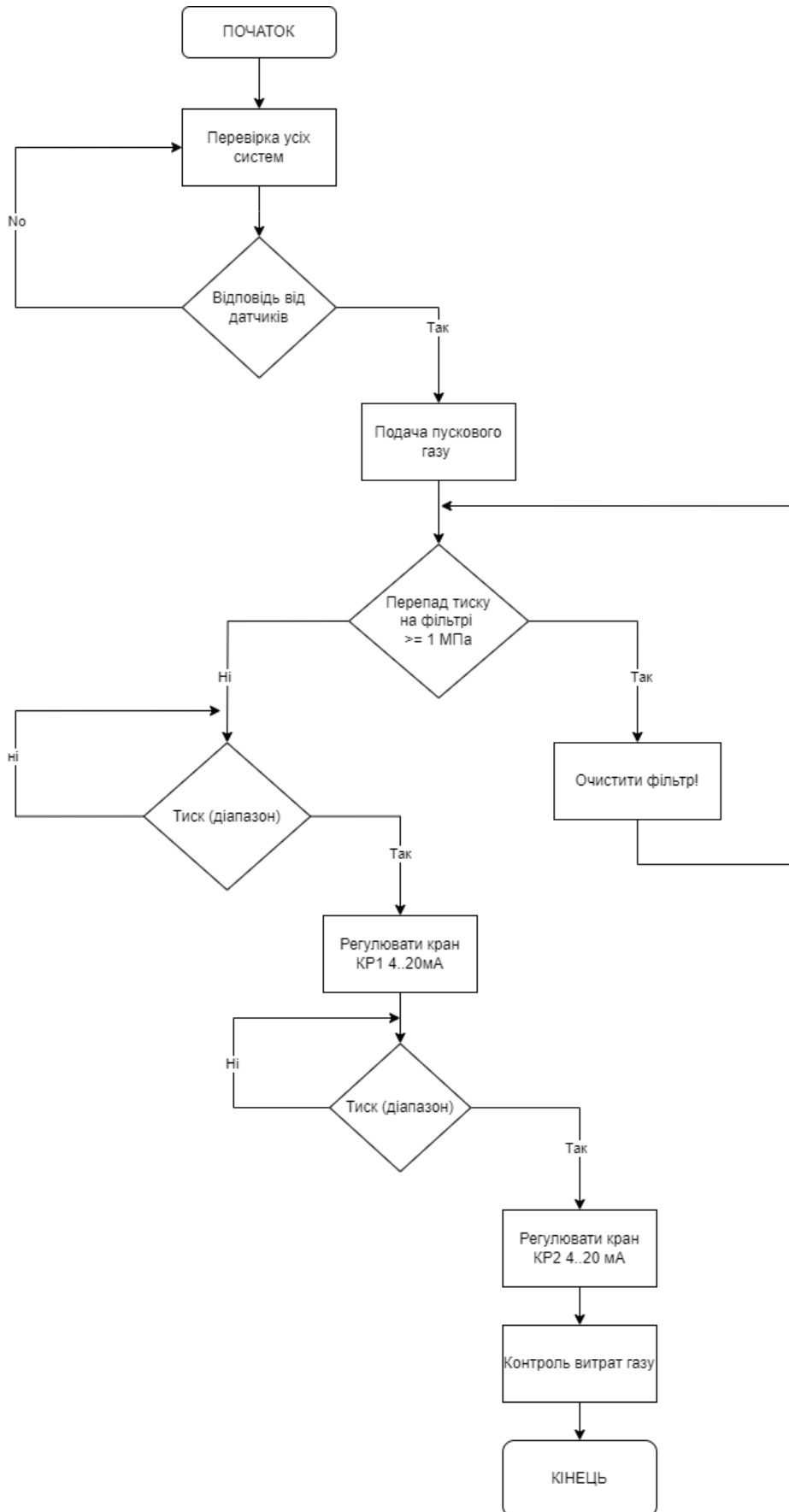
Копировать

Формат А3

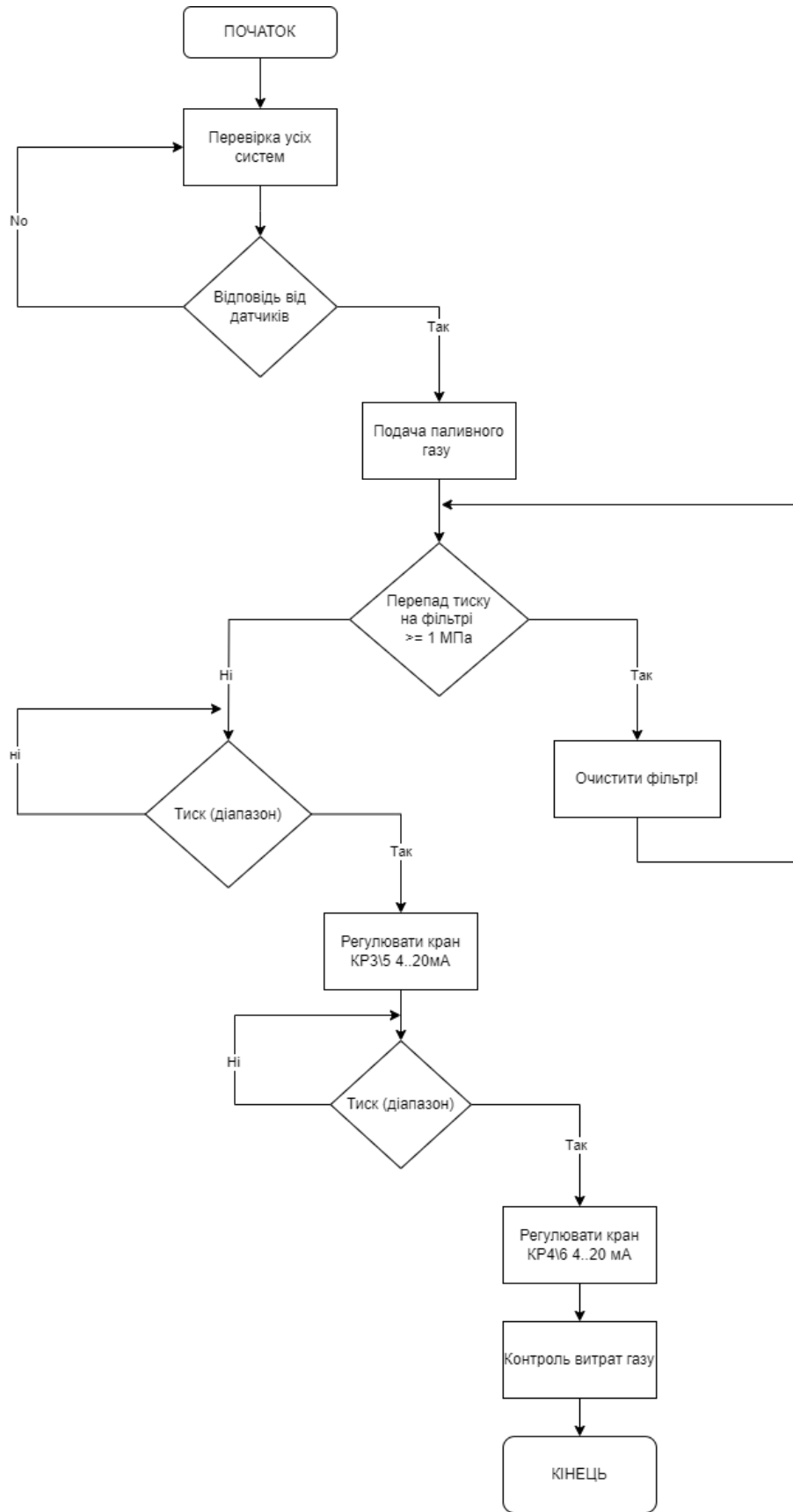
Лист 3

ДОДАТОК Б

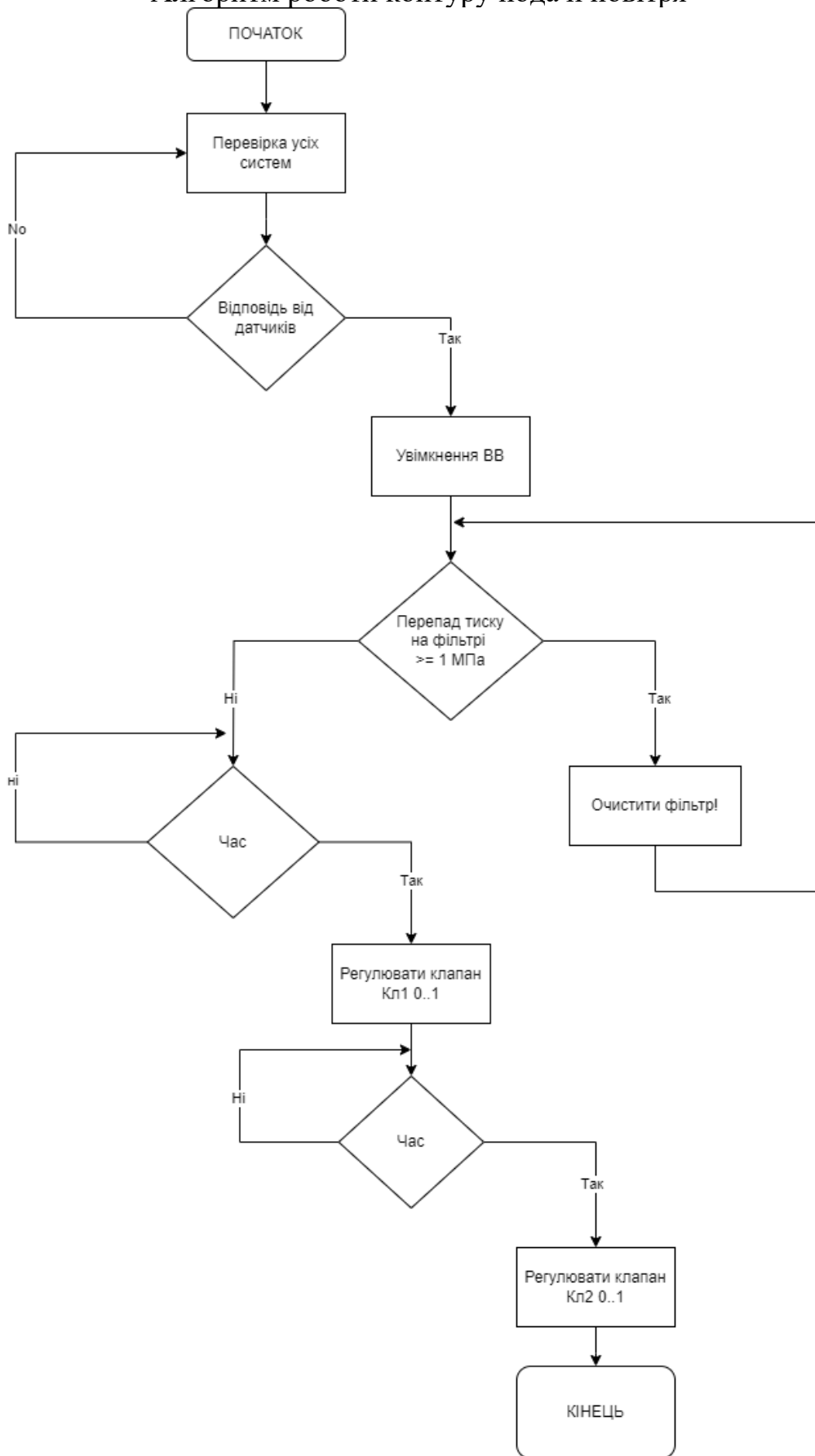
Алгоритм роботи контура пускового газу



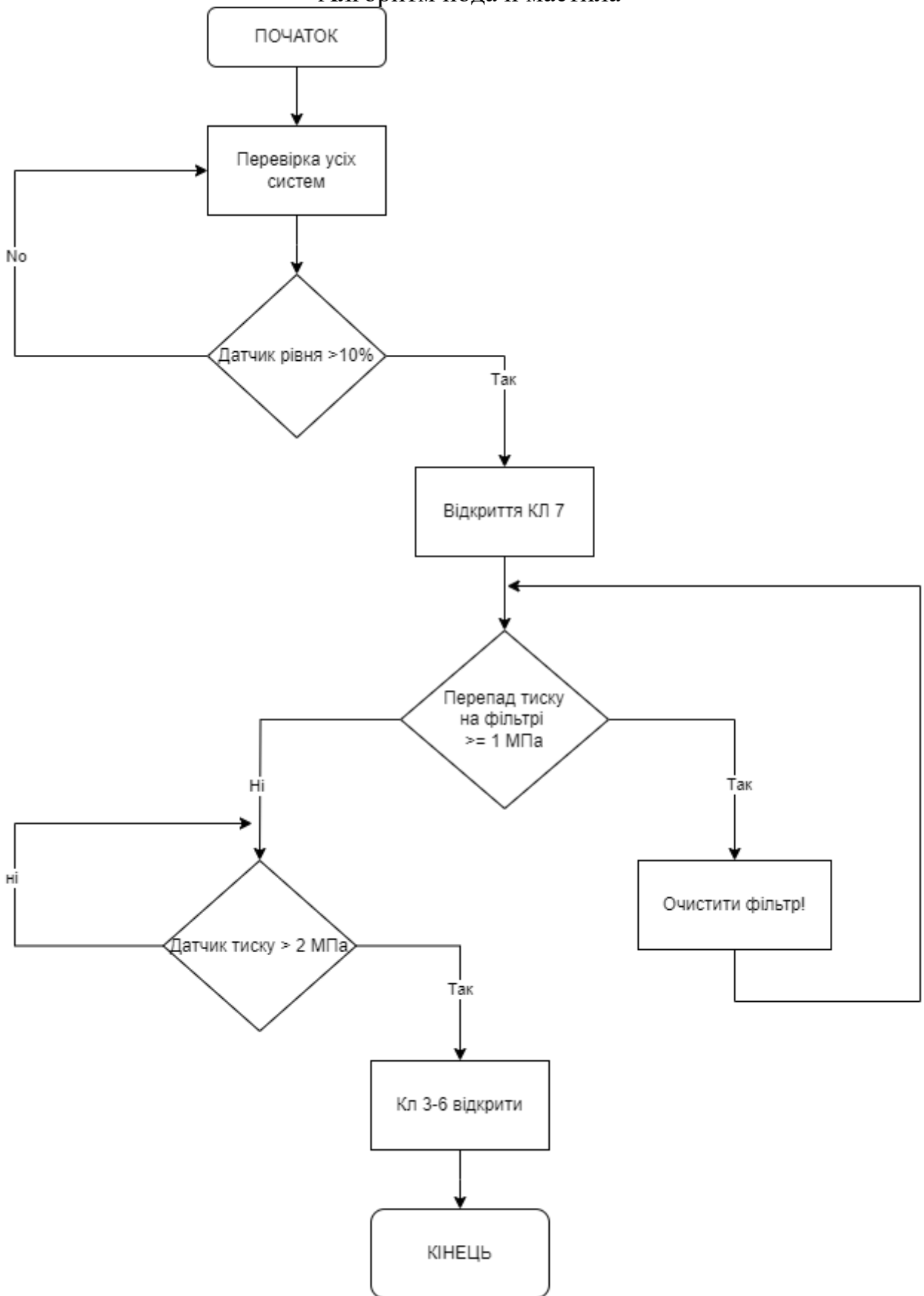
Алгоритм роботи контура паливного газу



Алгоритм роботи контуру подачі повітря



Алгоритм подачі мастила



ДОДАТОК В

Лістинг програми:

; Визначення змінних і констант

.equ FUEL_VALVE, 0x20 ; Адреса регістра керування паливним клапаном

.equ TEMP_REG, 0x22 ; Адреса регістра зчитування температури

.equ MAX_TEMP, 0x9C ; Максимальна допустима температура (в шістнадцятковому форматі)

.section .text ; Секція коду

.globl _start ; Точка входу

_start:

; Ініціалізація

mov r16, FUEL_VALVE ; Адреса регістра керування паливним клапаном

ldi r17, 0x00 ; Закрити паливний клапан

; Основний цикл

loop:

; Зчитати поточну температуру

ld r18, TEMP_REG ; Зчитати температуру в регістр r18

; Перевірити температуру

cp r18, MAX_TEMP ; Порівняти з максимальною температурою

brsh shut_down ; Перейти до shut_down, якщо температура перевищена

; Регулювання подачі палива

cp r17, r16 ; Порівняти поточне положення клапана з необхідним

breq loop ; Якщо положення клапана збігається з необхідним, перейти до loop

brlo increase_fuel ; Якщо положення клапана менше за необхідне, збільшити

подачу палива

rjmp decrease_fuel ; Інакше, зменшити подачу палива

increase_fuel:

inc r17 ; Збільшити положення клапана (більша подача палива)

st r16, r17 ; Записати нове положення клапана в регістр керування

rjmp loop ; Перейти до основного циклу

decrease_fuel:

```
dec r17      ; Зменшити положення клапана (менша подача палива)
st r16, r17  ; Записати нове положення клапана в регістр керування
rjmp loop    ; Перейти до основного циклу
```

shut_down:

; Аварійна зупинка

```
ldi r17, 0x00 ; Закрити паливний клапан
```

```
st r16, r17    ; Записати положення клапана в регістр керування
```

; Додаткові дії зупинки...

```
rjmp shut_down ; Зациклитись в стані зупинки
```