

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____Леонт'єв П.В.
_____2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

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

на тему: «Автоматизація детандер-генераторної установки»

(Дипломний проект)

Керівник проекту:

к.ф.-м.н., доцент

Соколов С.В.

Дипломник:

студент групи СУ-81

Юдін Г.І.

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<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-81 6.151.25 ПЗ	Пояснювальна записка	50		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A4	СУ-81 6.151.25 А2	Автоматизація детандер-генераторної установки. Функціональна схема автоматизації	1		
7	A4	СУ-81 6.151.25 А6	Автоматизація детандер-генераторної установки. Схема інформаційно-матеріальних потоків	1		

					СУ-81 6.151.25.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Юдін Г.І.			Автоматизація детандер-генераторної установки. Відомість проекту	Літ.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.						
Реценз.					СумДУ, СУ-81			
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьев П.В						

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____Леонтєв П.В.

_____2022 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Юдіну Геннадію Ігоровичу

1. Тема проекту: Автоматизація детандер-генераторної установки.
Затверджено наказом ректора університету. №0360-VІ від "17" травня 2022р.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту "12" червня 2022 р.
3. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація тощо.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз предметної області, система автоматизованого керування станції рекуперації етилацетату, вибір засобів автоматизації, розробка SCADA.
5. Перелік графічних матеріалів: 31 рисуноків, 19 таблиць, 2 додатків.
6. Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	17.05.2022 – 19.05.2022
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	20.05.2022 – 25.05.2022
3	Система автоматизованого керування детандер-генераторної установки.	26.05.2022 – 01.06.2022
4	Розробка основних схем автоматизації.	02.06.2022 – 05.06.2022
5	Створення SCADA системи.	05.06.2022 – 08.06.2022
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	08.06.2022 – 12.06.2022

7. Дата видачі завдання "17" травня 2022р.

Керівник проекту:

Доцент:

Соколов С.В.

До виконання прийняв:

студент групи СУ-81

Юдін Г.І.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизації детандер-генераторної установки.

Розробник:

студент групи СУ-81

Юдін Г.І.

Погоджено:

Доцент:

Соколов С.В.

1. Назва і галузь застосування: система автоматизованого керування детандер-генераторної установки; газорозподільчі станції.

2. Підстави для проектування: Наказ ректора Сумського державного університету № 0360-VI від 17.05.2022;

3. Мета і призначення проекту: Оглянути систему, розробити функціональні схеми автоматизації; Створити систему автоматизованого керування детандер-генераторної установки.

4. Джерела розроблення: конструкторська та технічна документація отримана під час проходження переддипломної практики.

5. Режим роботи об'єкта: режим роботи за графіком, з щоденними технічними роботами та регулярним плановим технічним обслуговуванням.

6. Умови експлуатації СК: живлення блоку живлення для шафи управління – 220В; частота – 50 Гц; живлення ПЛК – 24В; живлення промислового комп'ютера – 220В; 50Гц; Ступінь захисту складових частин обладнання автоматизації – не нижче IP 20.

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

8. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	17.05.2022 – 19.05.2022
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	20.05.2022 – 25.05.2022
3	Система автоматизованого керування детандер-генераторної установки.	26.05.2022 – 01.06.2022
4	Розробка основних схем автоматизації.	02.06.2022 – 05.06.2022
5	Створення SCADA системи.	05.06.2022 – 08.06.2022
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	08.06.2022 – 12.06.2022

9. Додатки: Додаток А - Функціональна схема автоматизації. Додаток Б - Схема інформаційно-матеріальних потоків.

РЕФЕРАТ

Юдін Геннадій Ігорович. Автоматизація детандер-генераторної установки. Дипломний проект. Сумський державний університет. Суми, 2022 р.

Дипломний проект містить 50 аркушів пояснювальної записки, 31 рисуноків, 19 таблиць, 2 додатки.

Даний дипломний проект спрямований на створення і опис системи автоматизованого керування детандер-генераторної установки. Розроблено технічне завдання. Розроблено основні технічні креслення та алгоритми роботи. В ході проекту була розроблена система автоматизованого керування детандер-генераторної установки, призначена для газорозподільчих станцій.

Ключові слова: система керування, детандер, детандер-генератор.

ABSTRACT

Yudin Gennady Igorovich. Automation of expander-generator installation. Degree project. Sumy State University. Sumy, 2022

The diploma project contains 50 sheets of explanatory note, 31 figures, 19 tables, 2 appendices.

This diploma project is aimed at creating and describing the system of automated control of the expander-generator set. The technical task is developed. The basic technical drawings and algorithms of work are developed. During the project, an automated control system for the expander-generator set was developed, designed for gas distribution stations.

Key words: control system, expander, expander-generator.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту
Автоматизація детандер-генераторної установки

Керівник проекту:

Доцент:

Соколов С.В.

Виконав:

студент групи СУ-81

Юдін Г.І.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРІВ.....	6
1.1 Аналіз існуючих способів редуціювання та утилізації енергії в точках пониження тиску газу природного	6
1.2 Автономне електропостачання в газовій промисловості	7
1.3 Области застосування детандер-генераторних установок	8
1.4 Типи об'ємних детандерів	13
1.5 Кріогенні турбодетандери	14
РОЗДІЛ 2 АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ	16
2.1 Аналіз технологічного процесу системи автоматизації детандер-генераторної установки.	16
2.2 Опис алгоритму автоматизації детандер-генераторної установки	16
2.3 Задачі керування.	17
2.4 Конттури керування	17
2.4.1 Контур підігріву газу.	17
2.4.2 Контур підтримання обертів детандера.....	18
2.4.3 Контур підтримання постійного тиску на виході.	20
2.4.4 Контур припинення подачі газу у детандер.....	21
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТА ОПИС АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ	23
3.1 Вибір програмованого логічного контролера.....	23
3.2 Вибір давачів.....	31
3.3 Вибір виконавчих приладів	36

					СУ-81 6.151.25.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
		Юдін Г.І.			Літ.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.					
Реценз.					СумДУ, СУ-81		
Н. Контр.							
Затверд.		Леонтьев П.В.					
					Автоматизація детандер-генераторної установки. Пояснювальна записка		

РОЗДІЛ 4 SCADA СИСТЕМА ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ	47
4.1 SCADA.....	47
4.2 Вибір програмного забезпечення.....	47
4.3 Схема системи SCADA	49
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47
ДОДАТОК А.....	49
ДОДАТОК Б	50

					СУ-81 6.151.25.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Юдін Г.І.			Автоматизація детандер-генераторної установки. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.						
Реценз.						СумДУ, СУ-81		
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьев П.В.						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

ВМ – виконуючий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – промисловий комп'ютер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації.

ГРС – Газорозподільча станція

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В даний час до виробів енергомашинобудівної промисловості все більше вимог пред'являється до покращення енергоефективності та екологічності, розробки обладнання з більш високими технічними параметрами ККД, надійності, функціональності, простоті конструкції, що досягається застосуванням нових технологічних і технічних рішень, використанням нових матеріалів і технологій. Зростає попит на нетрадиційну енергомашинобудівну продукцію, енергозберігаючі та ресурсозберігаючі прилади і альтернативні джерела енергії,

Детандер-генераторний агрегат - агрегат для використання надмірного тиску газу в газопроводі для отримання електроенергії. Він складається з електричного-генератора, детандера, запірної арматура автоматики та теплообмінних пристроїв.

Світовий досвід показує, що використання ДГА призводить до позитивних результатів, і необхідність використання в промисловості сумнівів не викликає. Однак для організації широкого впровадження ДГА, безумовно, перспективних і високоефективних установок в газовій промисловості України - слід вирішити ряд технічних і організаційних завдань.

Основною проблемою є те, що Україна та в інших країнах СНД не засвоєний серійний випуск турбодетандерів. У відомих розробках пропонуються для використання в якості турбодетандерів авіаційні і суднові газові турбіни. Ці турбіни призначені для роботи в умовах, що значно відрізняються від умов роботи турбодетандерів, які є складовими частинами ДГА. Так, наприклад, в газових авіаційних і суднових турбінах, а температура газу в турбодетандері знаходиться в межах від -10 до +120° С. Для номінальної роботи турбіни при високих температурах слід застосовувати матеріали, що володіють опором перед високими температурами. Безсумнівно, існуючі газові турбіни після незначного доопрацювання технічно можуть бути використані в якості детандерів, проте їх вартість дуже висока.

Слід зазначити, що поряд із переліком завдань керування устаткуванням ДГА, виникають завдання, які можна вирішити лише при застосуванні сучасних технологій. Результати досліджень, що отримуються при експериментах з керування режимами генерації ДГА, можуть використовуватися при розбудові електростанцій малої електроенергетики. Отримання досвіду керування генерацією ДГА, як об'єкту малої енергетики, дозволяють вважати цю роботу більш актуальною.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРІВ

1.1 Аналіз існуючих способів редуціювання та утилізації енергії в точках пониження тиску газу природного

Газ природний зазвичай транспортується під високим тиском, але для локального його використання, необхідно суттєво його знизити. В даний час часто використовуються станції з розширювальними клапанами, для зниження тиску. Коли немає передачі тепла до навколишнього середовища, або з неї і якщо не виконується ніякої роботи, процес перекриття потоку природного газу, є ізентальпічним процесом. У замкнутому потоці при постійній температурі, температура газу змінюється. Ця зміна температури після зниження тиску, пов'язана з так званим ефектом Джоуля-Томсона, який має від'ємне значення для природного газу, через те що основну його частину складає метан .[1]

Природний газ з високим вмістом метану, можна з достатньою точністю припустити, що падіння температури становить приблизно $0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{бар}$ зниження тиску. У той час як газ проходить через станцію, знижена температура природного газу може призвести до утворення гідратів всередині газопроводу, утворення крижаних пробок (особливо в пультах дистанційного керування для регуляторів) і обмерзання фітингів, або сприяти нестабільному функціонуванню роботи регулятора та інші.

Якщо регулятор тиску замінений розширювальними пристроями (розширювальною машиною), процес буде ізентропійним (тобто система буде виконувати зовнішню роботу, так що значна частина механічної роботи буде відновлена). Однак в цьому випадку перепад температури більше. Тому потрібно додаткове нагрівання природного газу, що призводить до додаткових витрат. Передбачається, що для генерації одного кВт*год енергії, детандером необхідно подати $1,15 \text{ кВт*год}$ тепла.

1.2 Автономне електропостачання в газовій промисловості

Зараз електропостачання необхідне у всіх областях. Можливо бути так що системи центрального електропостачання, проблемо підключитись, тому використовують пристрої автономного електропостачання. Вони можуть використовувати відновлювальні джерела, або ж невідновлювальні. Із тих що досить часто застосовують: сонячні та вітро-генератори, також генератори на базі ДВЗ (двигуна внутрішнього згорання). Також використовують менш розповсюджені прилади, до них входять детандер-генераторні агрегати, термоелектрогенератори, паливні елементи та інші.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1 - Існуючі автономні джерела електропостачання в газовій промисловості.[2]

Зрозуміло, що в системах передачі газу до автономних джерел електроенергії є деякі вимоги: висока надійність, висока ремонтпридатність, мінімальність технічного обслуговування, стабільні значення у великому діапазоні навантаженні.

Також необхідно визначитись з критеріями вибору автономних джерел електроенергії. До них входить: потужність, тип палива, час автономної роботи, можливість дистанційного керування, стійкість до умов навколишнього середовища. Можуть бути і додаткові критерії, до них, наприклад, можна віднести: екологічність, ККД та інші.

1.3 Області застосування детандер-генераторних установок

Про застосування детандер-генераторних установок написано чимало теоретичних і практичних робіт.

Взагалі їх використання не дуже розповсюджена практика, скоріше за всього через необхідних критеріїв для їх експлуатації. Взагалі до країн що їх використовують відносять: Великобританію, Німеччину, Швецію, Італію, Бельгію, Чехію, Угорщину, Словаччину, Нідерланди. Із закордонних виробників, досить відомі Rotoflow (США), АВВ (Швеція, Швейцарія), RMG (Німеччина), Atlas Copco (Швеція).

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовувати ДГА можна не тільки для вироблення електроенергії, також можна використовувати для зниження температури, через фізичних ефектів можна зріджувати природний газ і не тільки. В основі своїй ДГА експлуатуються при високих перепадах тиску та об'ємних витрат а також знаходяться в діапазоні потужності 1 – 12 МВт.

Дослідження, проведені в Газпроменерго, показали, що на ГРС ПАТ «Газпром» можуть бути встановлені турбогенератори сумарною потужністю близько 550 МВт. При цьому середньорічна потужність майже 80% від загального числа установок знаходиться в межах від 0,3 до 4,0 МВт, 15% – від 4,0 до 9,0 МВт і 5% – від 10,0 до 17,0 МВт.[2]

До переваг детандер-генераторних агрегатів високої потужності відносять: високе ККД проточної частини від 70% до 80%, економія газу на один КВт енергії, екологічність, швидка окупність.

До недоліків можна віднести високу витрату живлення більше 20000 нм/год, значне зниження температури газу на виході з детандеру, через коливання тисків та витрати необхідно стабілізувати частоту електроенергії на виході..

Зазначені особливості роблять ефективним застосування ДГА на промислах, де температури газу що надходить із свердловини, досить висока, а переохолодження газу в ДГА використовується як одна з операцій низькотемпературної сепарації, або на теплових електростанціях, де споживання газу досить стабільне і є джерела дешевого тепла для його підігріву.

В даний час ведуться розробки турбодетандерів потужністю до 50 кВт, як найбільш доцільних для живлення пристроїв ГРС, однак, приклади їх широкого використання практично відсутні.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

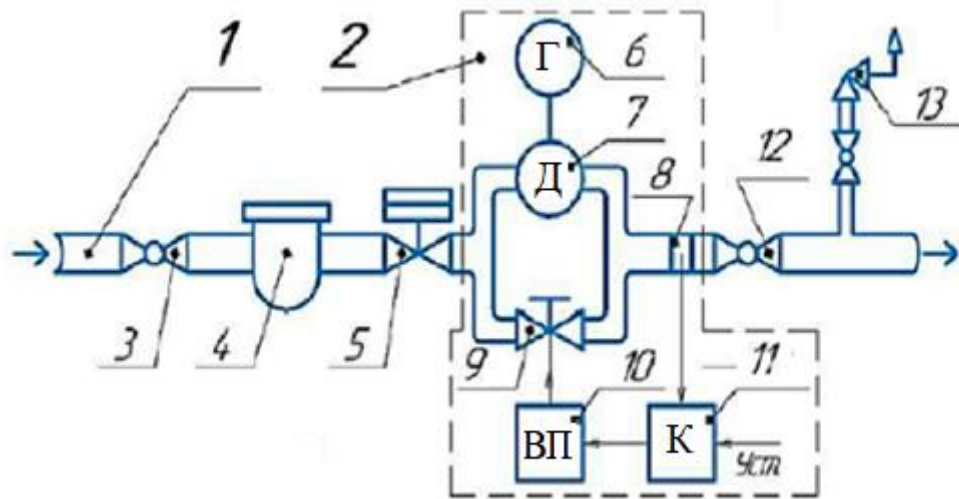


Рисунок2 – Структурна схема лінії редуціювання

Елементи: 1) лінія редуціювання; 2) ДГА; 3) запірна входна арматура; 4) пристрій очищення; 5) запобіжний запірний клапан; 6) електрогенератор; 7) об'ємний детандер; 8) давач тиску; 9) клапан регулюючий; 10) виконавчий пристрій регулюючого клапану; 11) контролер; 12) запірна вихідна арматура; 13) скидний запобіжний клапан.

В якості резервного джерела енергії для ГРС використовувати передбачається турбодетандери до 8 кВт. Через те що ступінь редуціювання незначна, підігрівати газ не має необхідності. Без підігріву ККД значно зменшиться, і буде складати приблизно 30%. Основні розробники, а також дослідних зразках детандер-генераторів наведена у таблиці.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інформація про розробки і дослідних зразках детандер генераторів малої потужності зведена в таблицю 1.[2]

Найменування установки	ТДГУ-5/230	ДЕА-1	ТДА	ДГА-8-380-Г	ТДУ-1,-2,-5	ДГА-К-0,3
Розробник	«Газпром ВНИИГАЗ»	«Газпром ВНИИГАЗ»	НПП «Газелектроприбор»	ПАО «Турбогаз»	НПК «НТЛ»	АО «Турбохолод»
Потужність, кВт	5,0	2,5	0,01...30	8	1,0/2,0/5,0	0,3
Вид детандера	Турбінний	Шестерний	Турбінний з редуктором	Турбінний	Турбінний	турбінний
Частота обертання	3000	5000	8000 (3000)	3000	15000	20000
Вхідний тиск газу МПа	-	8,5...0,6	1,6...7,5	2,5...7,5	8,0	0,1...0,3
Вихідний тиск газу МПа	-	1,2...0,1	0,03...6,3	0,6...1,2	1,0	0,002...0,005
Витрата газу, нм/год	2000	150...230	-	1800	>600	50...70
Питома газу витрата, нм/(год×кВт)	4000	60...95	-	230	>600	166...233
ККД, %	45	20	70	15	<10	-
Питома вага, кілограм/кВт	50	30	-	150	25	40

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

СУ-81 6.151.25.ПЗ

Арк.

10

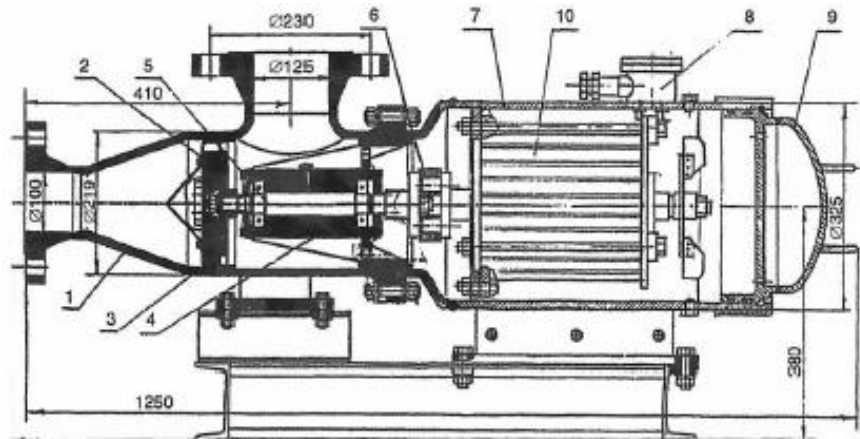


Рисунок3 – Турбодетандерна генераторна установка ТДГУ-5/230-В

Елементи: 1) корпус детандера; 2) сопловий апарат; 3) робоче колесо; 4) корпус підшипників; 5) вал турбіни; 6) муфти; 7) корпус генератора; 8) вступна коробка; 9) кришка корпусу генератора; 10) електрогенератор.

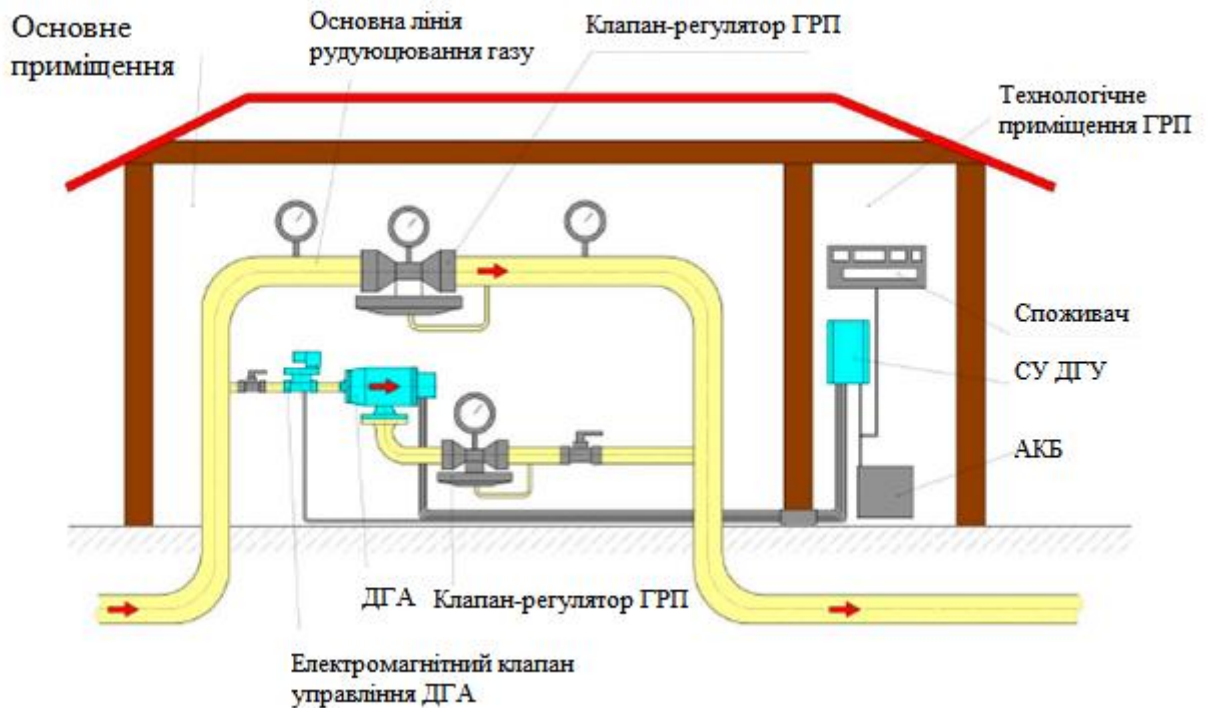


Рисунок4 – Схема розміщення детандер генераторного агрегату ДГА-К-0,3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.25.ПЗ

Арк.

11

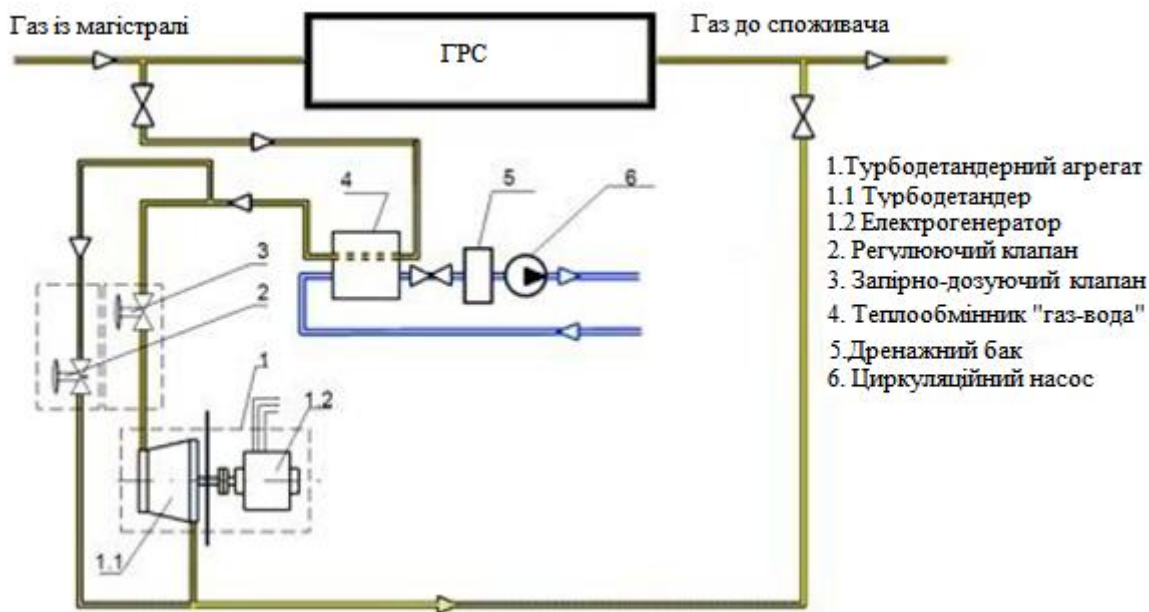


Рисунок5 – Схема ДГА-8-380-Т ПАО «Турбогаз»

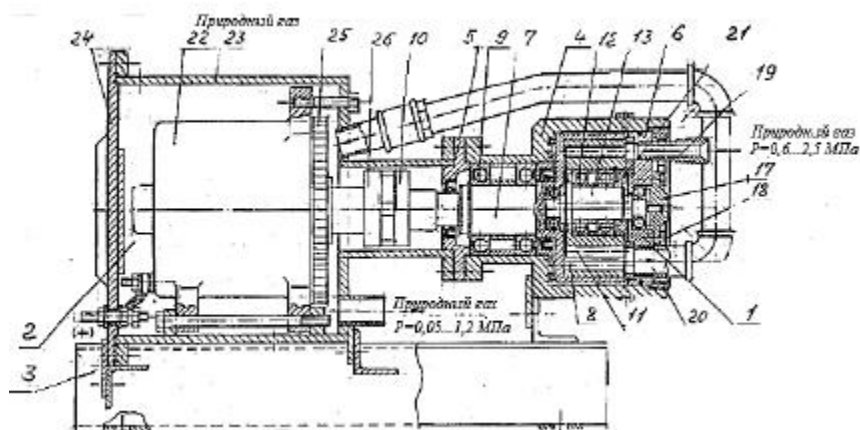


Рисунок6 – Шестерний електроагрегат постійного струму

Елементи: 1) шестерний детандер; 2) генераторний блок; 3) установочна рама; 4) корпус циліндричний; 5) кришка ліва; 6) кришка торцева права; 7) вал; 8) вінець зубчастий з внутрішнім зачепленням; 9,12) підшипник; 10) полумуфта детандера; 11) шестерня із зовнішніми зубами; 13) вал ексцентриковий; 15) підшипник опорний; 17) кришка поворотна; 18) фіксуєчий болт; 19) патрубок підведення стисненого газу; 20) патрубок відводу розширеного газу; 21) кільце упору; 2.2) генератор струму; 2.3) корпус генератора; 2.4) кришка корпусу генератора; 25) вентилятор генератора; 26) полумуфта генератора.

Недоліками турбодетандерів потужністю до 50 кВт є: відносно високі вартість і складність конструкцій; високі частоти обертання роторів; чутливість до можливого випадання конденсату; необхідність стабільного витрати через детандер і високого тиску.

						СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			12

В умовах газорозподілу при діапазонах потужностей до 1,5 кВт і тисків до 0,3 МПа альтернативою можуть бути детандер-генераторні агрегати на основі більш ширших машин об'ємного типу, позбавлені вищевказаних недоліків.

Розглянуті приклади мають пріоритетне використання розширювальних машин об'ємного типу в якості утилізаційних установок на ГРС і не припускають їх застосування в ГРП системи газорозподілу, як регулятори тиску з попутною утилізацією.

1.4 Типи об'ємних детандерів

Також розділяють декілька видів об'ємних детандерів: гвинтові, пластинчаті, лопатевий, шестеренні, поршневі та інші.

Порівняння характеристик типів детандерів наведена у таблиці 2.

Таблиця 2 - Порівняння характеристик різних типів детандерів[2]

Характеристики	Тип об'ємного детандеру				
	Шестеренні		Поршневі	Пластинчаті	Турбінні
	Прямозубі та косозубі	Шевронні			
Потужністю, к Вт	3-40		5-15	0,05-3	0,03-2
Оберти у хвилину	2100-3000		400-2100	2100-25000	20000-75000
Витрати вільн. газу на 1кВт потужності, М ³ /хвилину	1,3	1,1	1,1	1,1	1,2
Коефіцієнт розширення	-	1,1	1,1	1,3-2,0	-
Відношення маси до потужності	8-12		5-9	1-2	2-5
Відношення моменту пускового до номінального	1,3	1,6	1,8	1,6	1,5

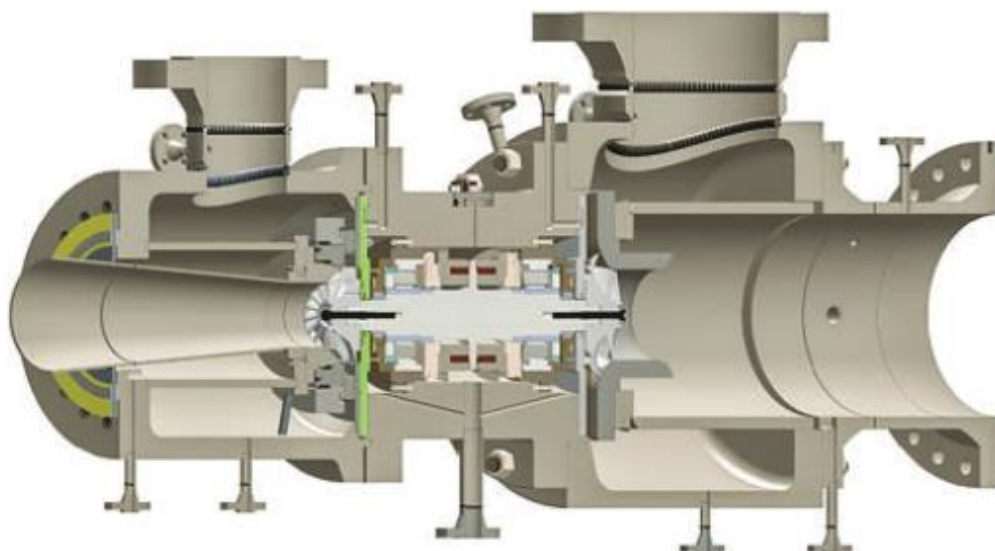


Рисунок7 - Типова конструкція кріо-детандеру

Розширювальна ступінь (ліва сторона зображення) складається з радіальної припливної турбіни, часто зі змінними по положенню вхідними напрямними лопатками. Типовий турбодетандер спроектований як 50%-ва реактивна турбіна. Це означає, що половина зміни статичної ентальпії відбувається через статор або вхідні напрямні лопатки, а інша половина - через ротор або розширювальне колесо.

Діапазон процентного ККД, який може бути досягнутий турбіною, знаходиться між серединою 80-х і початком 90.

Криогенні турбодетандери простіше за своєю конструкцією, ніж більш складні турбомашини, такі як багатоступінчасті компресори або газові турбіни.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Аналіз технологічного процесу системи автоматизації детандер-генераторної установки.

Технологічний процес поданий у вигляді схем: функціональної, інформаційних потоків та інформаційно-матеріальних потоків.

Функціональна схема наведена у додатку А.

Схема інформаційно-матеріальних потоків наведена у додатку Б.

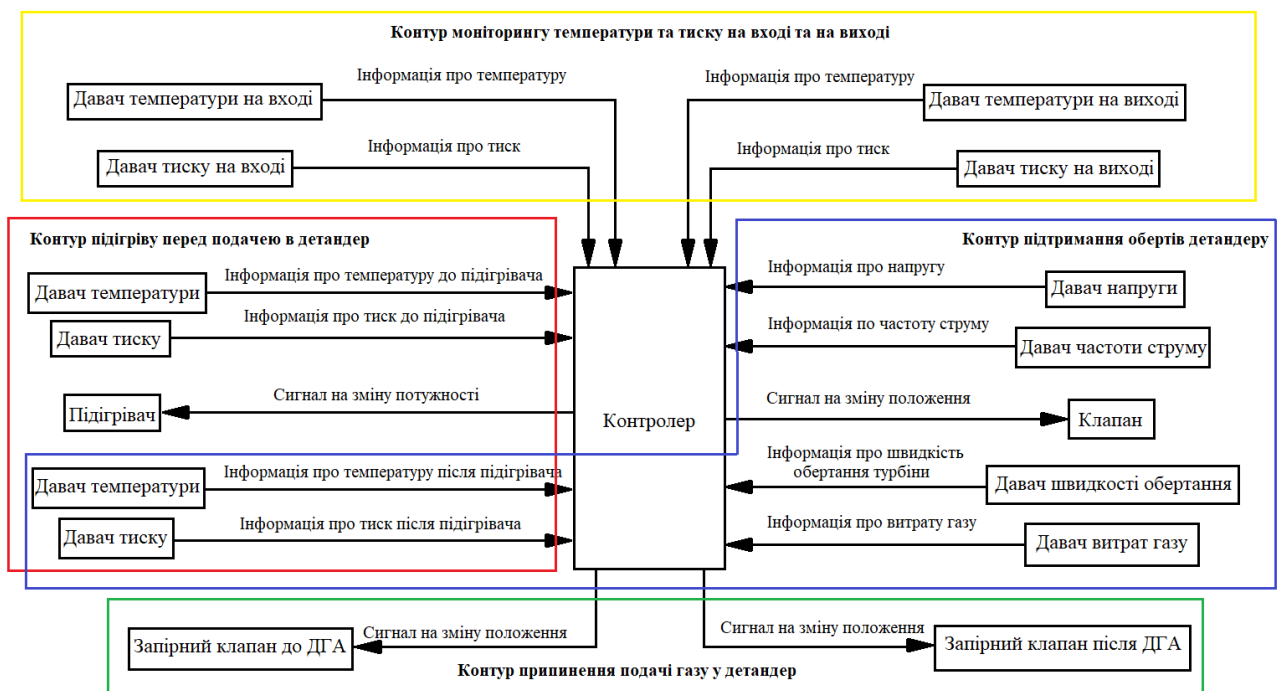


Рисунок 8 - Схема матеріальних потоків

2.2 Опис алгоритму автоматизації детандер-генераторної установки

На початку та в кінці схемі автоматизації установлені датчики температури та тиску, які дозволяють відстежувати зниження температури та тиску газу після проходження через газорозподільчу станцію. Для роботи детандеру при високому ККД, необхідно підігрівати природний газ до надходження у детандер. Для цього можна використовувати різні способи обігріву. В нашому випадку використаємо електричний нагрівач, частина вироблюваної енергії буде використовуватись у ньому.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для вироблення електроенергії, природний газ високого обертає турбіну, яка зв'язана з генератором, за рахунок цього знижується тиск природного газу. Для контролю обертів детандеру, перед ним установлений регулюючий клапан, який регулює подачу газу. Надлишковий тиск з детандеру, знижується за допомогою регулятора тиску. В іншій вітці, більш масивний регулятор тиску, виконує левову частину роботи, знижуючи тиск основної частини газу. Також для можливості обслуговування або заміни, передбачена можливість перекрити надходження газу у детандер, у вигляді двох запірних клапанів.

2.3 Задачі керування.

Використовуючи схему інформаційно-матеріальних потоків складаємо перелік функціональних задач керування системи автоматизації детандер-генераторної установки.

До задач входить:

- Підігрів газу перед подачею у детандер;
- Підтримання обертів детандера, через подачу газу на нього;
- Моніторинг тиску газу на вході та виході;
- Припинення подачі газу.

2.4 Контури керування

2.4.1 Контур підігріву газу.

Через те що для кращої роботи детандеру, необхідно перед подачею у турбіну підігрівати природний газ, використовуємо нагрівач. Контур складається з нагрівача, а також різних давачів, для моніторингу і регулювання. Давач тиску та температури перед нагрівачем, та давач тиску та температури після.

Контур включає в себе:

- Давачі температури;
- Давачі тиску;
- Нагрівача.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

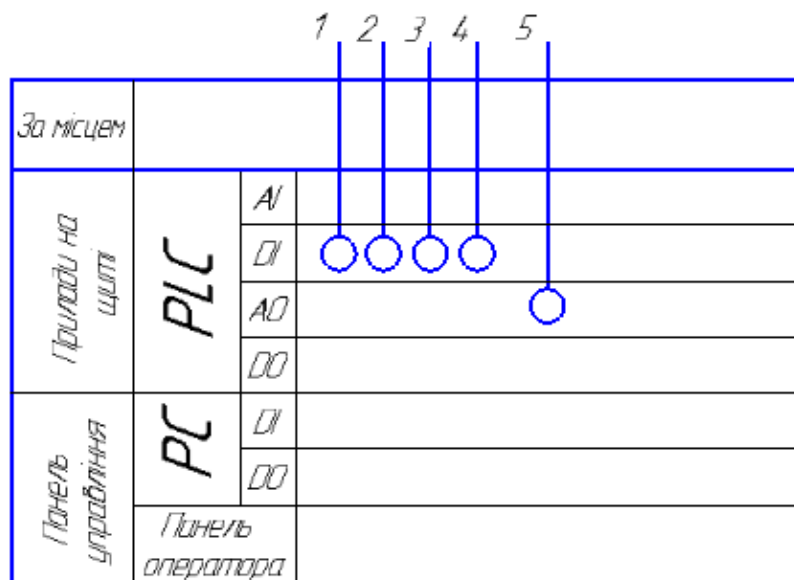
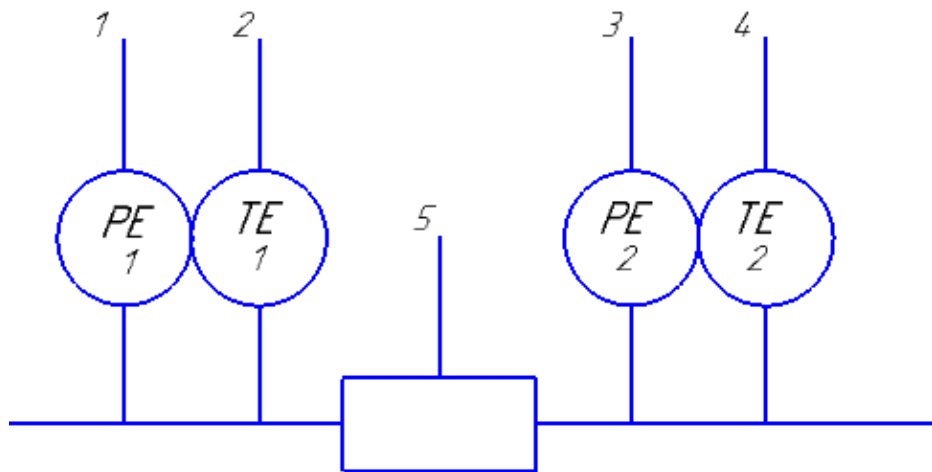


Рисунок9 - Контур підігріву газу

2.4.2 Контур підтримання обертів детандера.

Під різним навантаженням, зусилля яке необхідно для прокручення валу генератору змінюється, то необхідно зміною потоку газу регулювати оберти турбіни. Також, для продуктивної необхідно підтримувати оберти генератора в оптимальному діапазоні.

Контур включає в себе:

- Давач температури;
- Давач тиску;
- Давач витрати;
- Давач швидкості обертання турбіни;

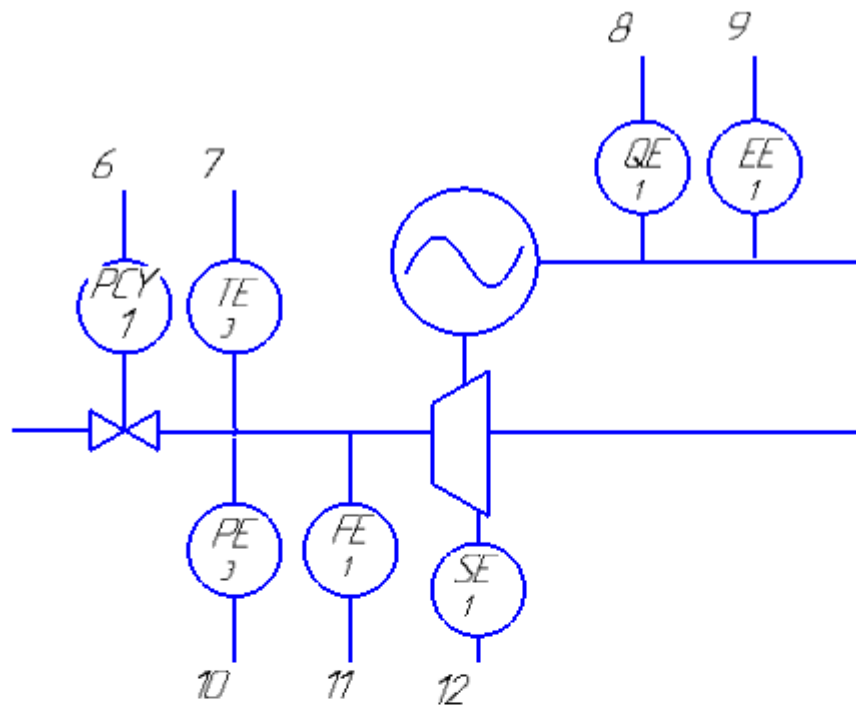
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81 6.151.25.ПЗ

Арк.

18

- Давач частоти струму;
- Давач напруги;
- Клапан;
- Детандер-генератор;



За місцем			7	8	9	10	11	12	6
Прилади на щиті	ПЛС	AI	○	○	○	○			
		DI	○			○	○		
		AO							
		DO							○
Панель управління	РС	DI							
		DO							
	Панель оператора								

Рисунок10 - Контур підтримання обертів детандера

2.4.3 Контур підтримання постійного тиску на виході.

Споживання газу протягом доби не однакове, тому необхідно мати можливість підтримувати постійний тиск у трубопроводі.

Контур включає в себе:

- Давачі температури;
- Давачі тиску;
- Давач витрати;
- Давач швидкості обертання турбіни;
- Детандер-генератор.

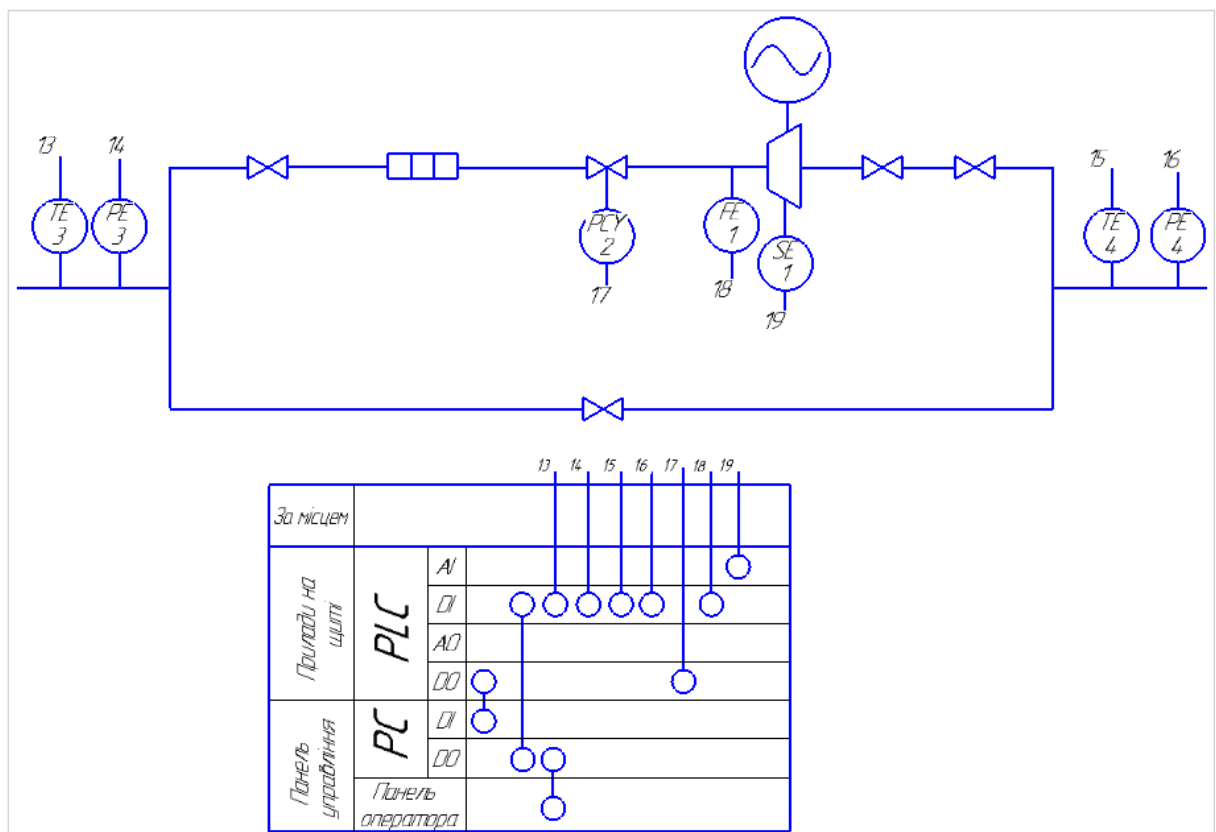


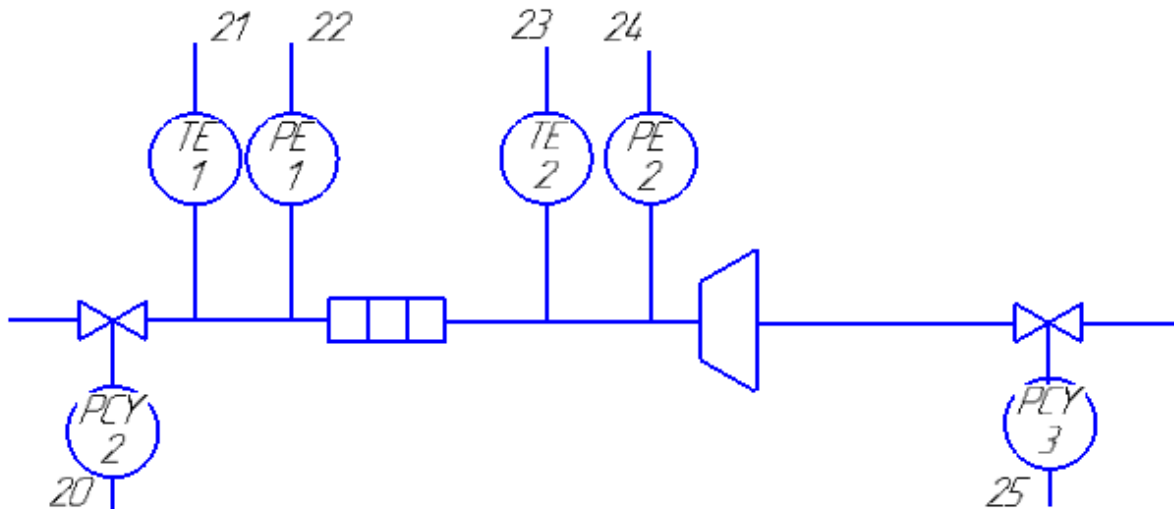
Рисунок 11 - Контур підтримання постійного тиску на виході.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

2.4.4 Контур припинення подачі газу у детандер

Інколи для технічного обслуговування, необхідно мати можливість вилучити зі схеми редукції тиску газу детандер генератор. Для цього використаємо запірні клапани.

Контур складається із запірних клапанів.



За місцем			20	21	22	23	24	25
Прилади на щиті	PLC	AI						
		DI			○	○	○	○
		AO						
		DO	○	○				
Панель управління	PC	DI						
		DO						
	Панель оператора							

Рисунок12 - Контур припинення подачі газу у детандер

В результаті аналізу контурів керування, складемо таблицю вхідних та вихідних сигналів.

Таблиця 3 – Таблиця вхідних сигналів

Таблиця вхідних сигналів			
№	Сигнал	Позначення	Тип сигналу
1	Температура	TE	4 - 20мА
2	Тиск	PE	4 - 20мА
3	Витрата газу	FE	4 - 20мА
4	Швидкість обертання	SE	Аналоговий (RS-485)
5	Частота струму	QE	Аналоговий (RS-485)
6	Напруга	EE	Аналоговий (RS-485)

Таблиця 4 – Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів			
№	Сигнал	Прилад	Тип сигналу
1	Зміна потужності нагрівача	Нагрівач	Аналоговий
2	Керування обертами турбіни	Регулюючий клапан	Дискретний
3	Перекриття доступу газу	Запірний клапан з електроприводом	Дискретний

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТА ОПИС АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ

3.1 Вибір програмованого логічного контролера.

Для автоматизації технологічного процесу, можна використовувати електронний пристрій ПЛК (програмований логічний контролер). Він також дозволяє працювати у режимі реального часу.

До його складу входить:

- Процесор;
- Пам'ять (ПЗП, ОЗП);
- Інтерфейс зв'язку;
- Порт входу/виходу;
- Периферійні пристрої.

Використовують спеціальні програми, які завантажують у пам'ять контролера, для забезпечення роботи і взаємодії складових частин і пристроїв ПЛК.

Також необхідно запрограмувати ПЛК, використовують промисловий міжнародний стандарт ІЕС 61131-3, який містить такі мови програмування:

- FBD – використовує функціональні блоки;
- SFC – використовує послідовні функціональні діаграми;
- LD – використовує контактні релейні схеми;
- ST – подібний до Pascal;
- IL – подібний до Assembler.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок13 - ПЛК SIEMENS S7 – 300.

Для керування системою автоматизованого керування детандер-генераторної установкою, я вирішив обрати ПЛК SIEMENS S7 – 300. Даного ПЛК для наших потреб більш ніж достатню, також має необхідну надійність для автономного використання у газорозподільчих станціях.

SIEMENS S7 – 300 має такі характеристики:

Ізоляція

Ізоляція розроблена відповідно до вимог EN 61131-2.

Ступінь забруднення/категорія перенапруги згідно IEC 61131-2: 2007

Доказ діелектричної міцності повинен бути представлений при типовому випробуванні при випробувальній напрузі відповідно до:

- Ступеню забруднення 2
- Категорії перенапруги: II

Клас захисту відповідно до IEC 61131-2: 2007

Система автоматизації SIEMENS S7 - 300 відповідає класу захисту I і містить декілька елементів класів захисту II і III.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь захисту IP20

Ступінь захисту IP20 відповідно до IEC 60529 для всіх модулів системи SIEMENS S7-300.

Номінальні робочі напруги

Модулі SIEMENS S7-300 можуть працювати при різних напругах. Номінальні напруги і відповідні допуски наведені.

Номінальна напруга	Діапазон напруги
24V DC	20,4V DC до 28,8V DC
120V DC	93V AC до 132V AC
230V DC	187V AC до 264V AC

Кліматичні умови навколишнього середовища

SIEMENS S7-300 може експлуатуватися в наступних умовах навколишнього середовища:

Температура	Від 0°C до 60°C
Вологість	Від 10% до 95%
Тиск	Від 1140 до 795 ГПа

SIEMENS S7-300 має модульну структуру, та сам по собі не має вбудованих входів та виходів. Для їх використання необхідно використовувати модулі входу-виходу.[4]

Використаємо дискретний вхідний модуль SM 321(рис14).

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок14 - Модуль вхідних дискретних сигналів SM 321

Технічні характеристики модулю вхідних дискретних сигналів наведені у таблиці5.

Характеристика	Значення
Напруга живлення, В	24
Кількість входів, DI	16
Затримка, мс	3
Потужність, Вт	3,5
Температура навколишнього середовища для номінальної роботи, °С	Від -20 до 60

Також нам потрібен модуль виводу дискретних сигналів.

Вирішив використати дискретний вихідний модуль SM 322 (рис15).



Рисунок15 - Модуль вихідних дискретних сигналів SM 322

Технічні характеристики модулю вихідних дискретних сигналів наведені у таблиці6.

Характеристика	Значення
Напруга живлення, В	24
Кількість виходів, DO	16
Потужність, Вт	5
Температура навколишнього середовища для номінальної роботи, °С	Від -20 до 60

Для вхідних аналогових сигналів використаємо модуль вхідних аналогових сигналів SM 331 (рис16).



Рисунок16 - Модуль вхідних аналогових сигналів SM 331

Технічні характеристики модулю вхідних аналогових сигналів наведені у таблиці7.

Характеристика	Значення
Живлення, В	24
Кількість входів, AI	16
Потужність, Вт	5
Температура навколишнього середовища для номінальної роботи, °C	Від -20 до 60

Для вихідних аналогових сигналів використаємо модуль вхідних аналогових сигналів SM 332 (рис17).



Рисунок17 - Модуль вихідних аналогових сигналів SM 332

Технічні характеристики модулю вихідних аналогових сигналів наведені у таблиці8.

Характеристики	Значення
Напруга живлення, В	24
Потужність, Вт	3
Кількість виходів, АО	16
Температура навколишнього середовища для номінальної роботи, °С	Від -20 до 60

ПК для наших потреб обраємо SIMATIC IPC477D. Цей ПК, задовольняє всі наші вимоги та потреби. Також технічні характеристики SIMATIC IPC477D знаходиться у таблиці9.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця9 – Технічні характеристики ПК SIMATIC IPC477D.[5]

Характеристика	Значення
Процесори	Celeron 827E; 1.4 ГГц, 1.5 MB cache Core i3-3217UE; 2 x 1.6 ГГц, 3 MB cache Core i7-3517UE; 2 x 1.7 ГГц (turbo boost up to 2.8 GHz), 3 MB cache
Інтерфейси	2 x LAN 10/100/1000 Mbit/s Ethernet interface (RJ45) 4 x high-speed USB V3.0 1 x COM1 (RS232)
Оперативна пам'ять	1 Гб (2/4/8 Гб опціонально), DDR3 SDRAM
Накопичувачі	Твердотільний диск 80 GB як стандарт, FlashDrive (замінний, доступний): 2 Гб, 4 Гб, 8 Гб або 16 Гб FlashDrive (внутрішній, не доступний зовні): 2 Гб, 4 Гб, 8 Гб, 16 Гб Жорсткий диск Serial ATA, 2.5" (не для конфігурації з 12" TFT Touch) Оптичний привод DVD (не для конфігурації з 12" TFT Touch)
Промислові інтерфейси	PROFINET вбудована, 3 x RJ45, сумісна з CP 1616 PROFIBUS DP/MPI вбудована, сумісна з CP 5622
ОС	Windows 7 Ultimate MUI Windows Embedded Standard 7

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Рисунок18 - ПК SIMATIC IPC477D

3.2 Вибір давачів

В магістральному газопроводі газ знаходиться під високим тиском, тому при виборі давачів це необхідно мати на увазі. В якості датчика температури, я вирішив обрати Omnigrad M TR15, через те що він може використовуватись в середовищі газу та в умовах високого тиску. Давач має ступінь захисту IP68 по IEC 60529. Має вихід 4-20 мА.

Технічні характеристики наведено у таблиці 10.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок19 - Давач температури Omnigrad M TR15

Таблиця10 - Характеристики давача Omnigrad M TR15.[6]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювальних температур	-200 до 600 °С
Граничний допустимий тиск	400 бар
Точність	Клас А
Захист	IP68 по ІЕС 60529
Вихідний сигнал	4-20 мА

Для вимірювання тиску в системі детандер-генераторного агрегату, вирішив обрати давач віка А-10. Має великий діапазон виміру тиску, рівень захисту IP68. Вихідний сигнал – 4-20 мА.

Його характеристики приведені у таблиці 11.



Рисунок20 - Давач тиску Wika A-10

Таблиця11 - Характеристики давача Wika A-10.[7]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання тиску	0 – 1000 бар
Діапазон температури вимірювальної	-30 ... +100 °C
Нелінійність	0,25%
Захист	IP68 по IEC 60529
Вихідний сигнал	4-20 мА

Також нам потрібен давач витрати газу. В якості нього я вибрав давач DigitalFlow GC868. Має необхідний діапазон вимірювань, високу точність та гарну відтворюваність результатів.

Технічні характеристики наведено у таблиці 12.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



Рисунок21 - Витратомір DigitalFlow GC868

Таблиця12 - Характеристики давача DigitalFlow GC868.[8]

Характеристика	Значення
Діапазон виміру витрати газу	Від -30 до 30 м/с, реверсивний потік
Похибка виміру	Від $\pm 2\%$ до $\pm 5\%$ для труб < 150 мм Від $\pm 1\%$ до $\pm 2\%$ для труб > 150 мм
Робоча температура	-10 до 55 °C
Відтворюваність	$\pm 0,2\%$ до $\pm 0,5\%$ при швидкості потоку від 0,3 до 30 м/с
Вихідний сигнал	4-20 мА

Для підтримання заданих обертів турбіни, над необхідно їх виміряти. Для цього використаємо давач обертів А5S/Е16. Принцип дії датчиків А5S заснований на ефекті Холла. Вбудований напівпровідниковий датчик перетворює зміни магнітного поля, що виникають під час проходження профілю зуба зубчастого колеса в безпосередній близькості від чутливої поверхні датчика А5S у варіації напруги.

Характеристики давача обертів А5S/E16 наведена у таблиці.



Рисунок22 - Давач обертів А5S/E16

Таблиця13 - Характеристики давача А5S/E16.[9]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання обертів	Від 0,5 – 25000 Гц
Робоча температура	Від 0 до 60 °С
Похибка	±0,1 %
Кількість тахометричних каналів	3
Потужність	60 Вт

Для моніторингу виробки електроенергії генератором нам необхідно мати аналізатор якості електроенергії. Перебравши варіанти, я зупинився на ЦМК96.

Характеристики мати аналізатор якості електроенергії ЦМК96 наведена у таблиці.



Рисунок 23 - Аналізатор якості електроенергії ЩМК96

Таблиця14 - Характеристики аналізатору якості електроенергії ЩМК96.[10]

Характеристика	Значення
Середньоквадратична напруга (U), В	Від 0 до 200% Uном
Частота (f), Гц	Від 42,5 до 57,5
Похибка	±0,1 %
Ступінь захисту	IP51
Напруга живлення	Основне: 220В (від 90 до 264 В змінного струму частотою (50 ± 0,5) Гц або від 130 до 370 В постійного струму)
Інтерфейс зв'язку	RS485

3.3 Вибір виконавчих приладів

В якості детандер-генераторного оберемо ДЕА-1. Його характеристики у таблиці№.

Таблиця 15 - Характеристики ДЕА-1.

Характеристика	Значення
Номинальна потужність, Квт	2,5
Вид детандеру	Шестеренний
Номинальна частота обертів, Об/хв	5000
Тиск газу на вході, Мпа	Від 0,6 до 8,5
Витрата газу, нм/год	Від 150 до 230
Питома газу витрата, нм/(год×кВт)	Від 60 до 95
Питома вага, кілограм/кВт	30

Для пониження тиску з магістрального газопроводу необхідні регулятори високого тиску тиску. Через те що в магістральному газопроводі тиск газу можуть доходити до 100 бар, треба обрати регулятор надвисокого тиску REFLUX 819.

Його характеристики наведені у таблиці.



Рисунок 24 - Регулятор надвисокого тиску REFLUX 819

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Таблиця 16 - Характеристики регулятора надвисокого тиску REFLUX 819.[11]

Характеристика	Значення
Проектний тиск	100 бар
Вхідний тиск	Від 0,5 до 80 бар
Вихідний тиск	Від 0,3 до 74 бар
Робоча температура	Від -20°C до 60°C
Клас точності	RG до 1

Хоч детандер і знижує тиск, але після нього також залишається деякий тиск, тому також необхідно знизити і його. Вибрав регулятор від тієї же фірми, но вже не настільки потужний REVAL 182.

Характеристики приведені у таблиці.



Рисунок 25 - Регулятор тиску REVAL 182

Таблиця 17 - Характеристики регулятора тиску REVAL 182.[12]

Характеристика	Значення
Проектний тиск	19,2 бар
Вхідний тиск	Від 0,5 до 16 бар
Вихідний тиск	Від 6 до 12000 мбар
Робоча температура	Від -20°C до 60°C
Клас точності	АС до 2,5

Для контролю потоку природного газу до турбіни детандеру потрібен керований клапан, але через те що він знаходиться перед детандером, він повинен витримувати надвисокий тиск. Тому я зупинився на електромагнітному клапані АІС 25МПА М36х2.

Характеристики електромагнітного клапану АІС 25МПА М36х2 у таблиці.



Рисунок 26 - Електромагнітний клапан АІС 25МПА М36х2

Таблиця 18 - Характеристики електромагнітного клапану АІС 25МПа М36х2.[13]

Характеристики	Значення
Умовний тиск	24,5 МПа
Робоча температура	Від -30°C до 70°C
Напруга живлення клапана, при відкритті клапану	24 В
Після відкриття в режимі утримання	7 В

Для можливості вилучення із схеми детандер-генератору, в разі необхідності: заміна робочих елементів, технічне обслуговування, заміна установки та інші. Для перекриття потоку газу використаємо два запірних клапана, перед детандер-генераторною установкою, а також після. Використаємо запірний клапан з електроприводом DN200.

Характеристики запірного клапану з електроприводом DN200 у таблиці.



Рисунок 27 - Запірний клапан з електроприводом DN200

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 19 - характеристики запірною клапану з електроприводом DN200.[14]

Характеристики	Значення
Робоче середовище	Вода, пар, природний газ, нафта
Номинальний тиск	100 бар
Робоча температура	Від -20 °С до +225 °С
Тип керування	Ручний привод, електропривод, поршневий
Клас герметичності	III

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 4 SCADA СИСТЕМА ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ

4.1 SCADA

SCADA (supervisory control and data acquisition) - система збору даних та диспетчерського управління, додаток на виробничих підприємствах для моніторингу та керування технологічними процесами на високому диспетчерському рівні.

4.2 Вибір програмного забезпечення.

Для роботи зі системами SCADA використовують спеціальне програмне забезпечення. Наведу декілька варіантів, а також зроблю вибір однієї із програм.

- Simple SCADA;
- Zenon SCADA;
- Simatic WinCC;
- SCADA KVisionOPC;
- Rapid SCADA;
- Scada Simp Light.

Із представленого програмного забезпечення, мій вибір пав на Scada Simp Light.

Можливості Scada Simp Light:

- Відображує технологічний процес;
- Інтерфейс OPC (Open.Platform.Communications);
- Зберігає, записує та відображає змінні та їх типи;
- Працює з інформацією від технологічних об'єктів (записує, відображає та архівує).

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі потрібно розробити мнемосхему для наглядної демонстрації протікаючих процесів що відбуваються у системі(рис29).

4.3 Схема системи SCADA

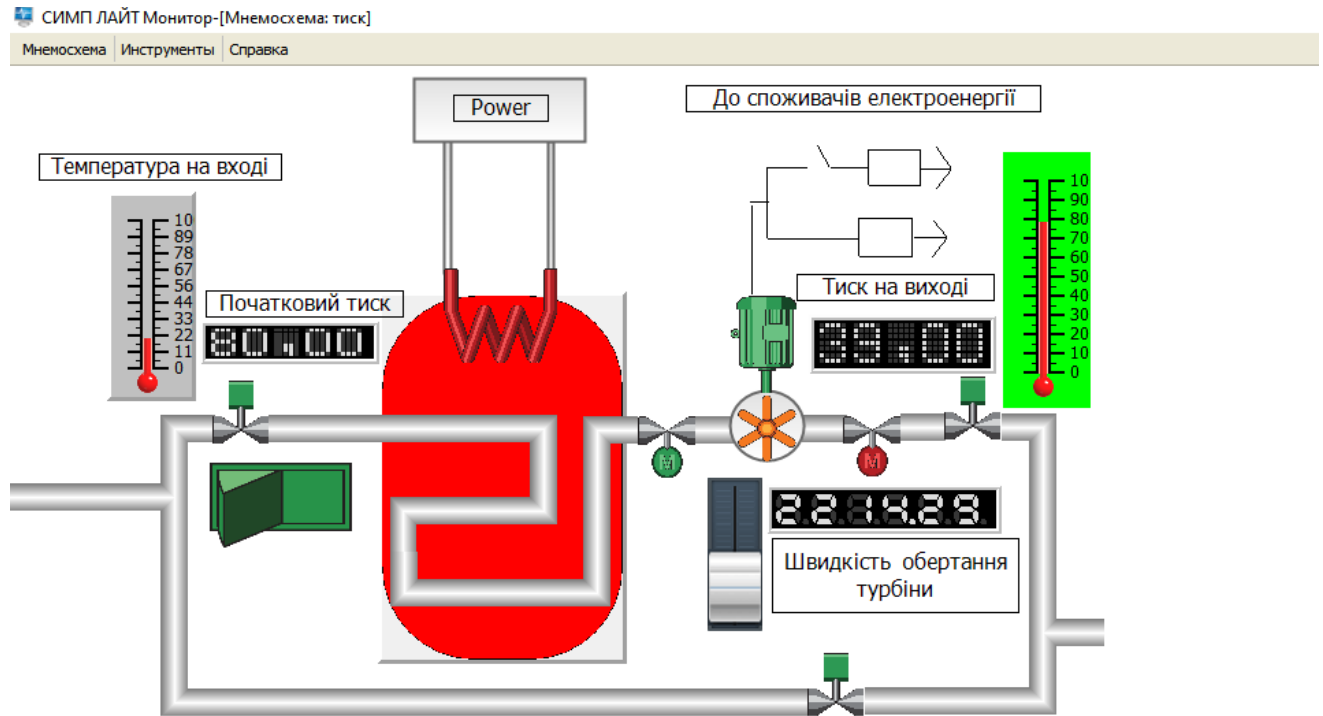


Рисунок30 - Схема системи SCADA

На цій схемі можемо спостерігати за температурою та тиском. А також керувати нагрівачем та клапанами. У разі виникнення надзвичайних подій, передбачена можливість вилучити детандер із схеми за допомогою запірних клапанів.

За рахунок управління керованим клапаном, а саме змінюючи ступінь його відкриття, можемо впливати на тиск на виході, а також на швидкість обертання турбіни(рис31).

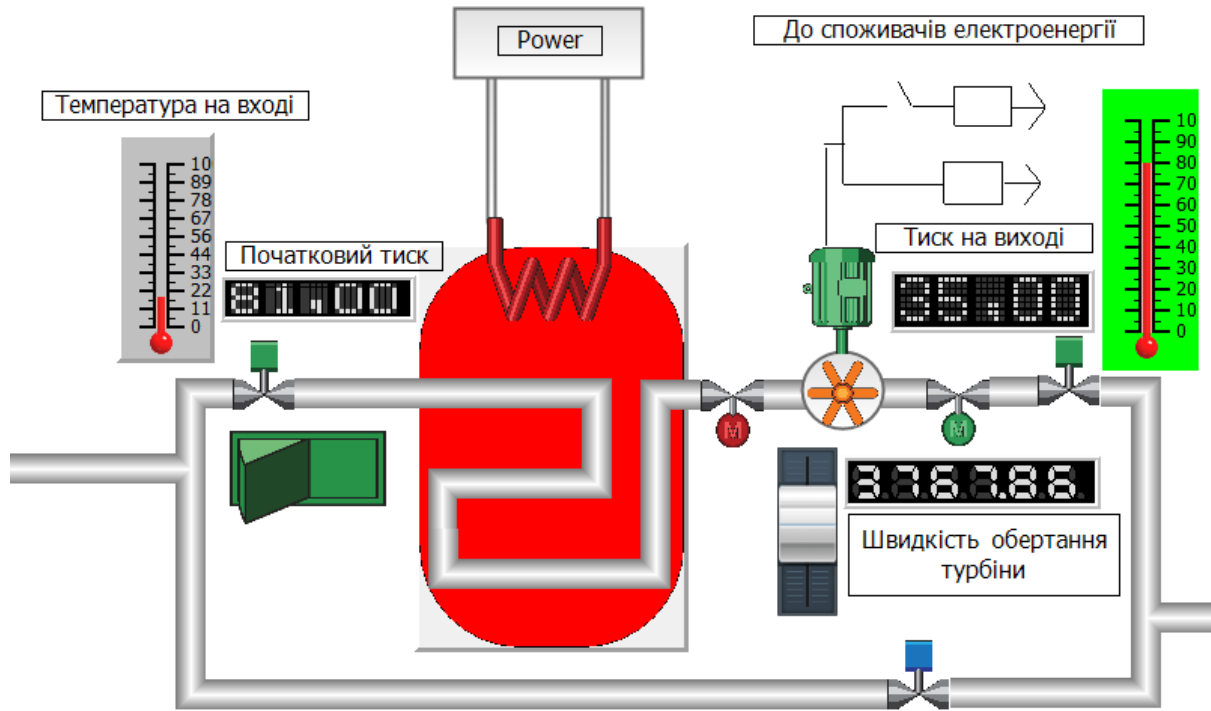


Рисунок31 - Схема системи SCADA

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

1. Було проаналізовано види та характеристики турбо-детандерних агрегатів.
2. Розроблені схеми:
 - Функціональна схема автоматизації
 - Схема інформаційно-матеріальних потоків
 - Схема інформаційних процесів
3. Спроектвані контури:
 - підігріву газу
 - підтримання обертів детандера
 - підтримання постійного тиску на виході
 - припинення подачі газу у детандер
4. Вибрані такі засоби автоматизації, а саме: давачі температури, тиску, витратоміри та ін.; виконуючі пристрої – детандер-генераторний агрегат, клапани, програмований логічний контролер SIEMENS S7 – 300 з необхідними модулями.
5. Розроблено в середовищі Scada Simp Light, SCADA система.

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. . Techno-Economic Assessment of Turboexpander Application at Natural Gas Regulation Stations by Szymon Kuczyński, Mariusz Łaciak, Andrzej Olijnyk, Adam Szurlej and Tomasz Włodek. Published: 24 February 2019
2. Автор Белоусов Артём Евгеньевич – «Обоснование способа редуцирования природного газа в системе газораспределения при помощи детандеров объёмного типа», 2018.
3. Fundamentals of turboexpander design and operation by Avetian and L. Rodriguez. Originally appeared in: May/June 2020
4. SIMATIC S7-300 S7-300 Module data Manual – 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/629/8859629/att_55794/v1/s7300_module_data_manual_en-US_en-US.pdf
5. SIMATIC IPC477D: Потужні вбудовувані Panel PC – різноманітні конфігурації, що не потребують обслуговування – 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10167529/info/#10167529/info/>
6. Технічне описання Omnigrad M TR15, TC15 – 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://bdih-prod-assetcentralapi-assetcentral-rest-srv.cfapps.eu10.hana.ondemand.com/files/DLA/005056A500261EDBA8EF115A5CD1F3CD/TI01100TRU_0213.pdf
7. Перетворювач тиску Для загальнопромислового застосування. Модель А-10 - 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.wika.ru/upload/DS_PE8160_ru_ru_35761.pdf
8. Ультразвуковий витратомір газу фірми Panametrics DigitalFlow GC868 із накладними перетворювачами. - 2004. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://dscontrols.net/upload/iblock/ca1/ca19b452d36b7ec93e8a2bc506d5da90.pdf>
9. Системи вимірювання частоти обертання турбіни А5S/E16 - 2012. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi5zOij7ff3AhVhKIsKHYhUCe8QFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fall-pribors.ru%2Fdocs%2F49146-12.pdf&usg=AOvVaw1BTJS_gM6s8262ak3zwsYL
10. ЩМК96 Прилад контролю якості електроенергії. – 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.elpribor.ru/catalog/98/1066/#:~:text=Прибор%20контроля%20показателей%20качества%20электроэнергии,и%20контроля%20их%20соответствия%20установленным>

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

11. Регулятори надвисокого тиску з керуванням REFLUX – 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.italgaz.com.ua/pressure-regulators/industrial-gas-pressure-regulators/regulator-pietro-fiorentini-reflux-819.html>

12. Регулятор тиску газу REVAL 182 – 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.italgaz.com.ua/pressure-regulators/industrial-gas-pressure-regulators/regulator-pietro-fiorentini-reval-182.html>

13. Клапан електромагнітний АІС 25МПА М36х2. - 2021 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://v-kip.com/klapan-elektromagnitnyy-aic-25mpa-m36h2>

14. Клапани регулюючі і запірні-регулюючі – 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://ukenergomash.ru/files/watermarked/truboprovodnaya_armatura/klapany_reguliruyushie/MKT_KR/Katalog_klapan_zaporno_reguliruyushii.pdf

					СУ-81 6.151.25.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		