

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно - телекомунікаційних технологій і систем

Угринчук Владислав Володимирович

УДК 622.691:621.515

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

«РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГПА»

Компютеризовані системи управління та автоматики
(назва освітньої програми)

Спеціальність 174 Автоматизація, компютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(код і назва спеціальності)

_____ В.В. Угринчук
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Заміховський Леонід Михайлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІТТС

_____ Л.М. Заміховський
(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент _____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ,
2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТТС

Заміховський Л.М.

« »

2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

1. Студенту Угринчук Владислав Володимирович

Тема роботи: «Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА»

керівник роботи **Заміховський Л.М.**, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «30» жовтня 2025 р № 690/7

2. Строк подання студентом роботи

«20» січня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *науково-технічна інформація по темі магістерської роботи*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити:

Вступ. Загальні відомості про ГПА та САК ними. Обґрунтування необхідності контролю і управління процесом компримування газу. Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА. Розроблення підсистеми контролю вібраційного стану ГПА. Склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА. Висновки.

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

5.1 Принципова схема трьохвальної ГТУ (листів -1).

5.2 Загальний вигляд ГПА-Ц-16С/76-1,44М1 на базі ГТД ДГ-90Л2.1 з електрозапуском (листів -1).

5.3 Функціональна схема ГПА з місцями встановлення датчиків (листів -1).

5.4 Апаратна конфігурація підсистеми контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і модуля SM1281 (листів -1).

5.5 Результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА (листів -1).

5.6 Зовнішній вигляд органів керування ГПА на моделюючому стенді (листів -1).

5.7 Структурна схема моделюючого комплексу (листів -1).

6. Дата видачі завдання **10.10.2025 р.**

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
<i>Вступ. Загальні відомості про ГПА та системи автоматичного контролю і управління ними. Загальна конструкція і принцип роботи ГПА. Технологічні параметри ГПА та обмеження, що на них накладаються.</i>	20.10.2025 р.	Виконано
<i>Обґрунтування необхідності контролю і управління процесом компримування газу. Аналіз існуючих систем автоматичного контролю та управління ГПА.</i>	10.11.2025 р.	Виконано
<i>Аналіз системи вібраційного контролю ГПА. Висновки та постановка задачі досліджень. Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА.</i>	28.11.2025 р.	Виконано
<i>Вибір і обґрунтування датчиків технологічних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА. Датчі віброакустичних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА. Розміщення вібродатчиків на об'єкті контролю. Загальні вимоги SM1281 Condition Monitoring – вібраційний модуль - як основа підсистеми вібраційного контролю ГПА</i>	08.12.2025 р.	Виконано
<i>Розроблення підсистеми контролю вібраційного стану ГПА. Результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА</i>	15.12.2025 р.	Виконано
<i>Склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА. Призначення програмного забезпечення моделюючого комплексу. Відслідковування ходу технологічного процесу ГПА з використанням комплексу</i>	26.12.2025 р.	Виконано
<i>Написання вступу, реферату, висновків по роботі</i>	09.01. 2026 р.	Виконано
<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	19.12.2026 р.	Виконано

Студент

Угринчук В.В.

Керівник магістерської роботи

Заміховський Л. М.

(Особистий підпис)

(Розшифровка підпису)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, двох розділів і висновків та викладена на 97 сторінках і містить 8 таблиць, 32 рисунка. список використаних джерел з 22 найменувань та 1 додаток на 7 сторінках.

Тема: Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів газоперекачувальних агрегатів (ГПА).

Об'єкт дослідження: процеси контролю і управління ГПА з врахуванням зміни його технічного стану.

Предмет дослідження – засоби і системи контролю та управління ГПА.

Мета проекту: підвищення ефективності процесу компримування газу з використанням ГПА на базі розробленої системи автоматичного контролю (САК) його технологічних і вібраційних параметрів.

Результати дипломного проектування: в результаті аналізу САК ГПА та обґрунтуванні необхідності контролю процесу компримування газу було:

- проведено вибір і обґрунтування датчиків САК фірми «Emerson»: датчиків сімейства «Метран» - ТХАУ Метран-271 МП Ех, ТСПУ Метран-276 МП Ех та обґрунтування місця їх встановлення на агрегатах ГПА;
- розглянута структура САК ГПА і обґрунтовано вибір модуля SM1281 фірми Siemens за основу підсистеми вібраційного контролю в структурі САК ГПА;
- здійснена апаратна конфігурація підсистеми контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і модуля SM1281 та розглянуті його функціональні можливості і обмін даними між ним та PLC Simatic S7-1200;
- проаналізовані результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА на експериментальних даних;
- розглянуті склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА, зокрема призначення програмного забезпечення моделюючого комплексу
- проведено процедуру відслідковування ходу технологічного процесу ГПА з використанням комплексу.

Ключові слова: система автоматичного контролю, параметри, датчикі, структура, дослідження, моделюючий комплекс, технологічний процес.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, two chapters and conclusions and is presented on 97 pages and contains 8 tables, 32 figures and, a list of sources used with 22 names and 1 appendix on 7 pages.

Topic: "Development and research of an automatic monitoring system for process and vibration parameters of gas compressor units (GPU)".

Objective of the study: GPU monitoring and control processes, taking into account changes in its technical condition.

Subject of the study: GPU monitoring and control systems and tools.

Project goal: To improve the efficiency of gas compression using GPUs based on the developed automatic monitoring system (AMS) for its process and vibration parameters.

Results of the graduation project: As a result of the analysis of the GPU AMS and the justification of the need for monitoring the gas compression process, the following was achieved:

- the selection and justification of Emerson AMS sensors was carried out: Metran family sensors – THAU Metran-271 MP Ekh, TSPU Metran-276 MP Ekh, and the justification of their installation locations on GPUs;

- the structure of the GPU AMS was examined and the selection of the Siemens SM1281 module as the basis for the vibration monitoring subsystem in the GPU AMS structure was justified;

- the hardware configuration of the GPU vibration monitoring subsystem based on the Simatic S7-1200 PLC and the SM1281 module was implemented, and its functionality and data exchange between it and the Simatic S7-1200 PLC were examined;

- the results of a study of the GPU vibration monitoring subsystem using experimental data were analyzed;

- the composition and structure of the software and hardware of the GPU ACS modeling system were reviewed, in particular, the purpose of the modeling software;

- a procedure for monitoring the GPU technological process using the system was carried out.

Keywords: automatic control system, parameters, sensors, structure, study, modeling system, technological process, vibration

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНІ АГРЕГАТИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НИМИ	11
1.1. Загальна конструкція і принцип роботи ГПА	11
1.2. Технологічні параметри ГПА та обмеження, що на них накладаються	19
1.3. Обґрунтування необхідності контролю і управління процесом компримування газу.	22
1.4. Аналіз існуючих систем автоматичного контролю і управління ГПА	27
1.5. Аналіз системи вібраційного контролю ГПА	40
1.6. Висновки та постановка задачі досліджень	50
2 . РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГПА	52
2.1. Вибір і обґрунтування давачів технологічних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА	52
2.2. Давачі віброакустичних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА.	60
2.2.1. Розміщення вібродавачів на об'єкті контролю. Загальні вимоги	61
2.3. SM1281 Condition Monitoring – вібраційний модуль - як основа підсистеми вібраційного контролю ГПА	65
2.4. Розроблення підсистеми контролю вібраційного стану ГПА	69
2.5. Результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА	72

					<i>КРМ. АКСм -21.00.00.000 ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	«Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА»	Літ.	Арк.	Архівів
Розроб.	Угринчук В.							
Перевір.	Заміховський							76
Реценз.						6		
Н. контр.	Возний А.					ІФНТУНГ АКСм-24-1		
Затверд.	Заміховський							

2.6	Склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА	75
2.7	Призначення програмного забезпечення моделюючого комплексу	77
2.8	Відслідковування ходу технологічного процесу ГПА з використанням комплексу	81
	ВИСНОВКИ	86
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	87
	ДОДАТОК	90
	БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	97

					<i>КРМ. АКСм -21.00.00.000 ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	«Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА»	Літ.	Арк.	Архівів
Розроб.	Угринчук В.							76
Перевір.	Заміховський							
Репенз.								
Н. контр.	Возний А.							
Затвердл.	Заміховський							
						7 ІФНТУНГ АКСм-24-1		

**ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ,
СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ**

АЗ – аварійний зупинка
АП – антипомпажний
АПР – антипомпажне регулювання
АРМ – автоматизоване робоче місце
ГПА – газоперекачувальний агрегат
ГТУ – газотурбінна установка
КС – камера згоряння
КНТ – компресор низького тиску
КВТ – компресор високого тиску
ТНТ – турбіна низького тиску
ТВТ – турбіна високого тиску
СТ – силова турбіна
НА – направляючі апарати
ПК – програмно-інструментальний комплекс
ПТЗ – програмно-технічні засоби
ПКУ – пульт контролю та управління
ПЗ – програмне забезпечення
САУ і Р – система автоматизованого управління та регулювання
КВП – контрольні-вимірювальні прилади
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
ВП – віброперетворювач
ПС – підсилювач
БВК – блок віброконтролю
ЕК – електронний комутатор
ПВВ – пристрій аналогового вводу-виводу
БЖ – блок живлення

					<i>КРМ.АКСм – 23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Сьогодні потужну та розгалужену мережу магістральних газопроводів газотранспортної системи (ГТС) України складають десятками сотень встановлених на них газоперекачувальних агрегатів (ГПА), більшість з яких уже виробили свій моторесурс. Основними причинами позапланових та аварійних зупинок ГПА є відмова чи знос його механізмів деталей та вузлів.

Робота ГПА є частиною технологічного процесу транспортування товарного газу від місць його видобутку до кінцевих споживачів. ГПА виконують функції підготовки та підвищення якості газу, що поставляється до параметрів, передбачених відповідними нормами та стандартами, а також забезпечують його компримування на компресорних станціях газопроводів та в підземних сховищах. Кожен тип ГПА має індивідуальні особливості як конструктивного, і функціонального характеру, тому необхідно враховувати умови його роботи та вимоги до його технічних характеристик.

ГПА з газотурбінними двигунами (ГТД) є досить складним, з точки зору автоматизації, контролю та управління об'єктом. ГТД дозволяє регулювати частоту обертання, змінюючи режим роботи ГПА, і значно динамічніший і складніший в управлінні, ніж синхронний електродвигун. ГПА, залежно від типу, відрізняються кількістю точок контролю та управління, але їх структура та принципи побудови досить схожі, що дозволяє створити базову систему автоматичного управління (САУ) ГПА, яка відносно легко адаптується до конкретного ГПА, з використанням сучасних технічних засобів та дозволяє оптимізувати режим роботи КС.

Для своєчасного попередження та оперативного виявлення відхилень від штатного режиму роботи ГПА необхідно відслідковувати та аналізувати технологічні і віброакустичні параметри його роботи. Безперервний контроль та реєстрація поточних значень параметрів функціонування ГПА дозволяють отримати сукупність даних щодо його подальшого управління та комплексної

					КРМ.АКСм – 23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

діагностики за певний період часу. Основа будь-якого управління - вимірювання регульованої величини. Від точності і швидкодії вимірюючого каналу багато в чому залежить якість регулювання. Наприклад, неможливо забезпечити точність стабілізації частоти обертання турбіни ± 5 об / хв, якщо вимірювальний канал має похибку ± 10 об / хв.

Для вибору оптимальних параметрів управління ГПА та оперативного його діагностування доводиться обробляти значні обсяги даних технологічних і віброакустичних параметрів . Успішне вирішення такого роду завдання можливе тільки при створенні систем автоматичного контролю технологічних і віброакустичних параметрів ГПА в процесі його експлуатації, що є актуальною задачею, реалізації якої і присвячена дана магістерська робота.

					<i>КРМ.АКСм – 23.00.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНІ АГРЕГАТИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.1 Загальна конструкція і принцип роботи ГПА

Основною складовою ГПА, що служить його приводом, є газотурбінна установка (ГТУ). Газотурбінний двигун (ГТД) – такий двигун, до якого в якості робочого тіла використовується неконденсований газ (повітря і продукти згоряння палива або нейтральні гази), а в якості тягового двигуна застосовується газова турбіна [1].

Турбіна і є двигуном, в якому механічна робота на валу машини виходить за рахунок перетворення кінетичного енергії газового струменя, який, у свою чергу, виходить в результаті перетворення потенціальної енергії – енергії згорілого палива в потоці повітря.

Неодмінною умовою створення будь-якого теплового двигуна є наявність матеріального середовища – робочого тіла і, за мірою, двох теплових джерел – джерела високої температури (нагрівач), від якого отримуємо теплоту для претворення частини її в роботу, і джерела низької температури, якому віддаємо частину невикористаної в двигуні теплоти.

Причому, якщо ми хочемо безперервно перетворювати теплоту в роботу, то повинні безперервно поряд з розширенням, безперервно і стискати робоче тіло, причому за таких умов, щоб робота стиснення була менше роботи розширення, тобто робоче тіло має здійснювати круговий процес.

Отримувана в тепловому двигуні робота визначається як різниця робіт розширення і стиснення робочого тіла, а з іншого боку (за законом збереження енергії), як різниця абсолютних кількостей підведеної і відведеної теплоти.

Основною термодинамічною ознакою розрізнення поршневих і турбінних двигунів внутрішнього згоряння є особливості здійснення кругових процесів: у поршневих двигунах основні процеси циклу (стиснення, підвод теплоти,

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

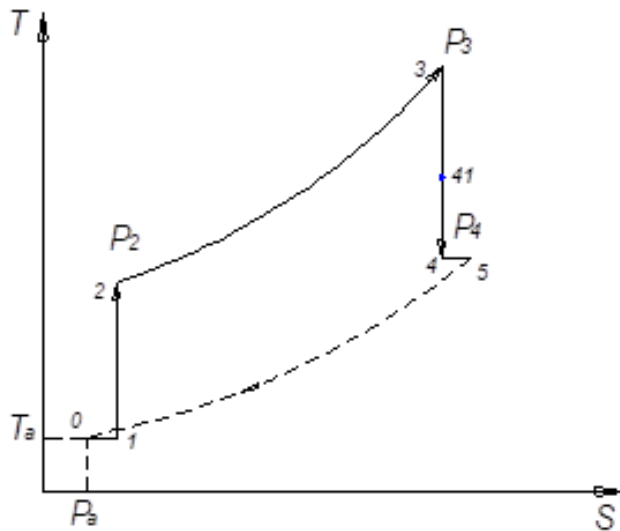


Рисунок 1.2 – T-S діаграма циклу найпростішої ГТУ

Відношення тиску повітря на виході компресора до тиску на його вході називається ступенем стиснення в компресорі (1.1).

$$\pi_k = \frac{P_2}{P_1}, \quad (1.1)$$

де π_k – ступінь підвищення тиску в компресорі; P_2 – тиск повітря за компресором; P_1 – тиск перед компресором.

У камері згоряння (крива 2-3) температура робочого тіла підвищується до T_3 при постійному тиску ($P_2 = P_3$).

Потім у турбіні суміш повітря і газу розширюється (адіабата 3-4), її тиск знижується до P_4 , а температура до T_4 . Відношення тиску газу на вході в турбіну до тиску газу на її виході називається ступенем розширення в турбіні (1.2).

$$\pi_m = \frac{P_3}{P_4}, \quad (1.2)$$

де π_m – ступінь розширення в турбіні; P_3 – тиск повітря перед турбіною; P_4 – тиск за турбіною.

Після розширення в турбіні відпрацьовані гази викидаються в атмосферу (ізотерма 4-5). Далі цикл умовно замикається з (крива 5-0) [2].

Розглянутий вище цикл є зворотним, тому що в ньому не враховуються будь-які втрати в процесах стиснення, розширення, підведення теплоти і т. д. У

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

реальних умовах процеси у всіх вузлах установки відрізняються від оборотних.

ГТУ класифікують за різними ознаками. Стосовно їх експлуатації в газотранспортній системі України то їх поділяють на одновальні, двохвальні та трьохвальні.

Найбільшого використання знайшли двохвальні ГТУ (рис. 1.3) [2].

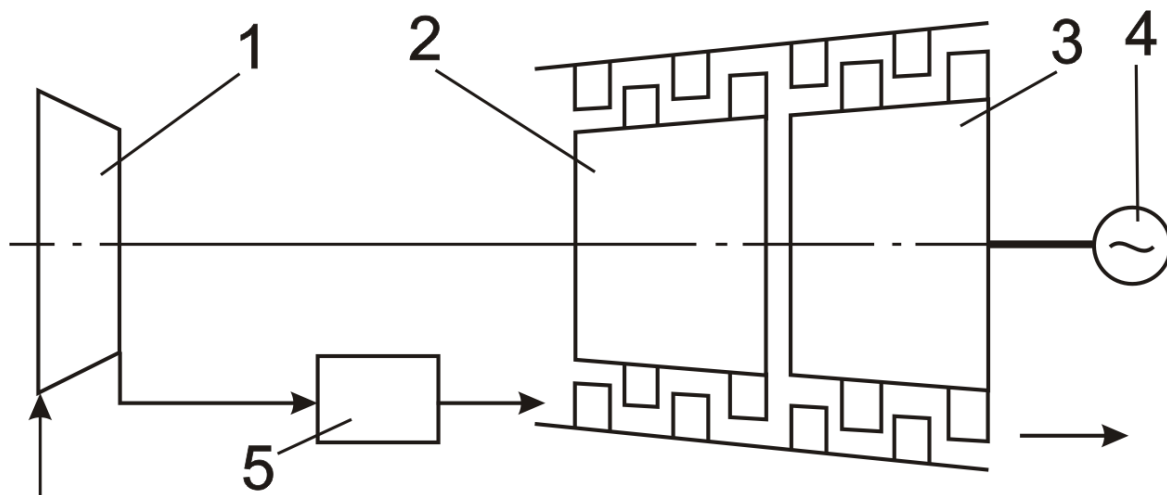


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема двухвальной ГТУ.

1 – осьвий компресор ОК); 2 – турбіна високого тиску (ТВТ); 3 – турбіна низького тиску (ТНТ); 4 – нагнітач (Н); 5 – камера згорання (КЗ).

У такій установці турбіна розділена на 2 частини (рис 1.3). Одна частина, зазвичай високого тиску 2, служить приводом компресора 1 і може працювати з змінним числом обертів.

Друга частина, силова турбіна 3, працює з постійним числом обертів, якщо вона призначена для приводу електрогенератора, і може мати практично будь-яку швидкість обертання, якщо вона призначена для приводу нагнітача. Регулювання в ГТУ цього типу здійснюється не тільки шляхом зміни витрати палива, а й за рахунок зміни витрати повітря, що подається компресором 1.

Такий метод дозволяє значно менше знижувати або взагалі не знижувати температуру робочого тіла за камерою згорання при роботі на часткових навантаженнях і тим самим підтримувати ККД. циклу на більш високому рівні.

Розглянемо більш детально принцип роботи і призначення агрегатів такої ГТУ.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Осьовий компресор (ОК) – багатоступеневий без проміжного охолодження. Тиск повітря в ньому підвищується від атмосферного до p_0 , а температура від зовнішньої $+0$ до $p_1 = 3 \div 5 \text{ кг} / \text{см}^2$.

Газова турбіна для приводу компресора. На неї подається робоче тіло високого тиску і високої температури, тому вона отримала назву *турбіни високого тиску* (ТВТ).

Турбіна може бути одноступеневою і багатоступеневою. Вона має кутову швидкість обертання і розвиває момент, необхідний для подолання корисного моменту компресора.

Камера згорання $KЗ$, в якій проходить спалювання палива (природного газу), має конструкцію, яка забезпечує повне згорання палива. Температура в ній від T_1 до $T_3 = 220^\circ \text{C} \div 256^\circ \text{C}$.

В *регенераторі* або *теплообміннику* $ТО$ (не показаний на рис.1.3), проходить додаткове підігрівання повітря після компресора відпрацьованим робочим тілом, яке має високу температуру. $ТО$ – пластинчастий, з великою площею теплообміну і малими гідравлічними втратами. Температура в ньому підвищується від T_1 до $T_3 = 220^\circ \text{C} \div 256^\circ \text{C}$.

Турбіна низького тиску (ТНТ) розташовується по ходу робочого тіла безпосередньо після ТВТ. В ТНТ проходить перетворення внутрішньої енергії робочого тіла, яка залишається після ТВТ. ТНТ призначена для подолання корисного моменту приводу відцентрового нагнітача і характеризується кутовою частотою обертання ω_H і моментом M_H .

Нагнітач H є корисним навантаженням ТНТ. Нагнітач підвищує тиск транспортуемого газу в газопроводі від P_B до P_H .

Сьогодні все більшого розповсюдження знаходять ГПА великої потужності на базі трьохвальної ГТУ [4], принципова схема якої наведена на рис. 1.4 [2].

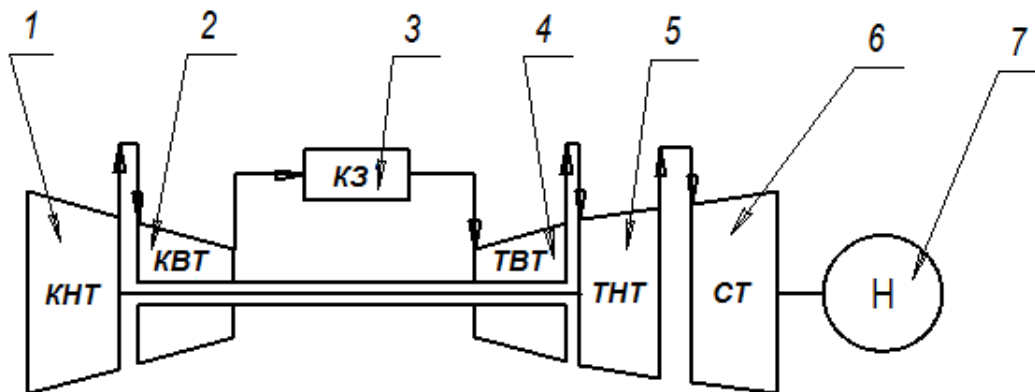


Рисунок 1.4 – Принципова схема трьохвальної ГТУ.

1 – компресор низького тиску (КНТ); 2 – компресор високого тиску (КВТ); 3 – камера згоряння (КЗ); 4 – турбіна високого тиску (ТВТ); 5 – турбіна низького тиску (ТНТ); 6 – силова турбіна (СТ); 7 – нагнітач (Н).

При великих ступенях стиснення спостерігається відмінність витрат повітря на початку і в кінці проточної частини компресора, що може призвести до помпажу. Для усунення цього явища компресор ділять на 2 і більше частинки називаються каскадами.

Кожен каскад має свою частоту обертання, за рахунок чого витрата повітря через них вирівнюється. Кожен каскад наводиться окремою турбіною.

У будь-якому випадку на кожному валу має бути не менше двох підшипникових вузлів: один – опорний, другий – опорно-наполегливий. При змінюються підшипники качання і ковзання.

На рис. 1.5 показано газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-16С/76-1,44М1 на базі ГТД ДГ-90Л2.1 з електрозапуском виробництва ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» в блочно-контейнерному виконанні [5].

Вказані ГПА експлуатуються в компресорному цеху №3 Долинської площадки Богородчанського ЛВУ МГ ТОВ «Оператор ГТС. Західний регіон»

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

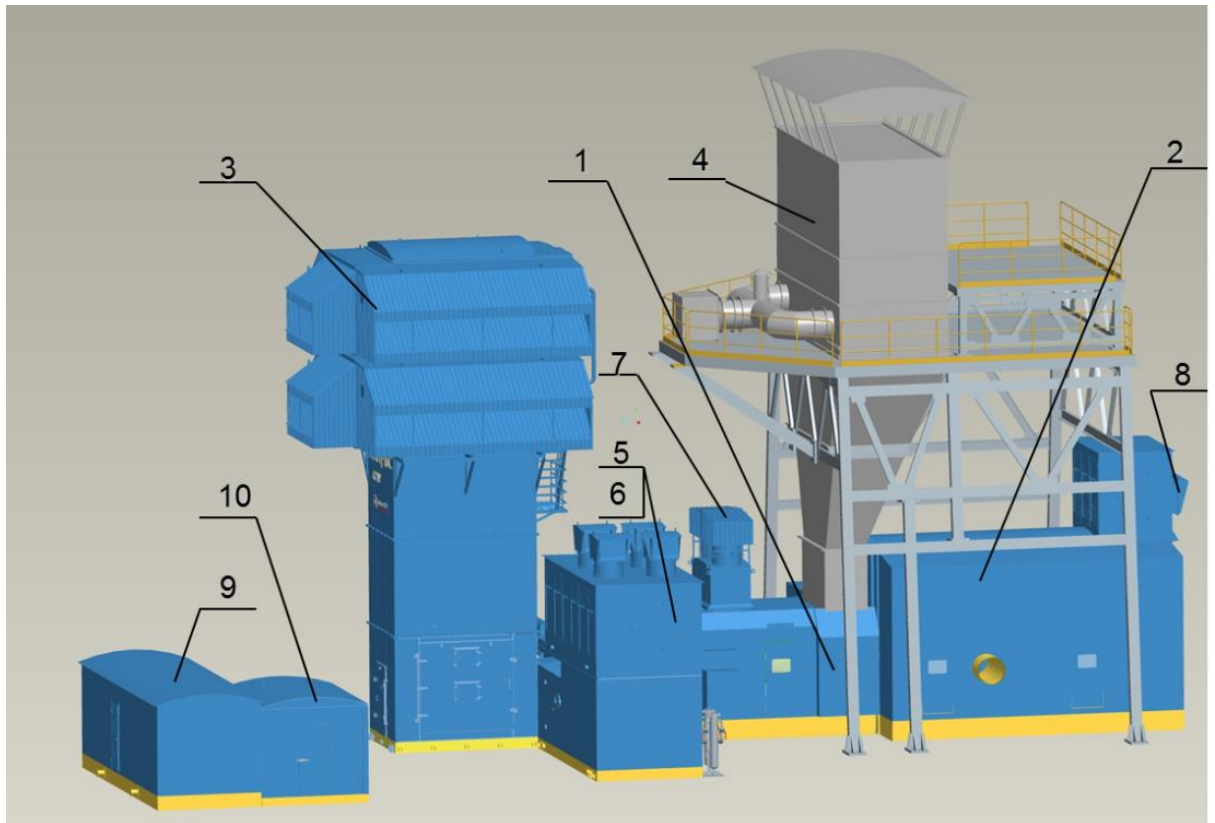


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд ГПА-Ц-16С/76-1,44М1 на базі ГТД ДГ-90Л2.1 з електрозапуском [5].

1 – блок силовий; 2 – блок компресора; 3 – всмоктуючий тракт; 4 – вихлопний тракт; 5 – блок маслоохолоджувачів двигуна; 6 – блок систем забезпечення; 7 – блок вентиляції; 8 – блок маслоохолоджувачів компресора; 9 – блок автоматики; 10 – блок пожежогасіння.

В табл. 1.1 наведені основні технічні характеристики ГПА-Ц-16С/76-1,44М1 [5].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики ГПА-Ц-16С/76-1,44М1

ПАРАМЕТР	Одиниця вимірювання	Значення
Продуктивність розрахункова, приведена до температури 293 К (+ 20 ° С) і тиску 0,101 МПа (1,033кг/см ²)	млн. м ³ / добу	29,5
Тиск початковий, абсолютний, розрахунковий	МПа	5,17
Тиск кінцевий, абсолютний, розрахунковий	МПа	7,45
Відношення тисків, розрахункове	-	1,44
Політропний ККД компресора	%	87

						КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			17

Частота обертання ротора компресора, розрахункова	об/хв.	5100
Потужність, яка споживається компресором, розрахункова	МВт	14,4
Витратні показники по електроенергії споживаної ГПА, розрахункові: • встановлена потужність • споживана потужність при пуску (зима/літо) • споживана потужність при роботі (зима/літо)	кВт	257 187 / 147 57 / 47
Марка масла, яке використовують у ГПА	-	ТП22С
Обсяг масла для першої заправки маслосистеми: • газотурбінного двигуна • відцентрового компресора	т	2,2 4
Емісія шкідливих речовин, не більше: • NO _x • CO	мг/м ³	75* 100*
Інші характеристики ГТД	-	У відповідності з ТУ
Габаритні розміри: • довжина • ширина • висота	мм	28 950 16 100 19 250

В табл. 1.2 наведені режими роботи КС 3«Долина»

Таблиця 1.2– Режими роботи КС 3«Долина»

ПАРАМЕТР	Одиниця вимірюван.	Значення							
		Тиск початковий, абсолютний	МПа	4,66	4,35	3,96	5,34	5,33	5,31
Тиск кінцевий, абсолютний	МПа	5,59	5,85	6,09	6,91	7,34	7,34	7,35	
Відношення тисків	-	1,20	1,34	1,54	1,29	1,38	1,38	1,43	
Температура газу на вході в компресор	°С	8,0	8,2	8,0	10,3	10,9	14,7	14,7	
Продуктивність ГПА, приведена до температури + 20 °С і тиску 0,101 МПа (1,033кг/см ²)	млн. м ³ /добу	33	19	21,5	26,5	29	29	29	

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					18

На рис. 1.6 показана конструкція відцентрового компресора

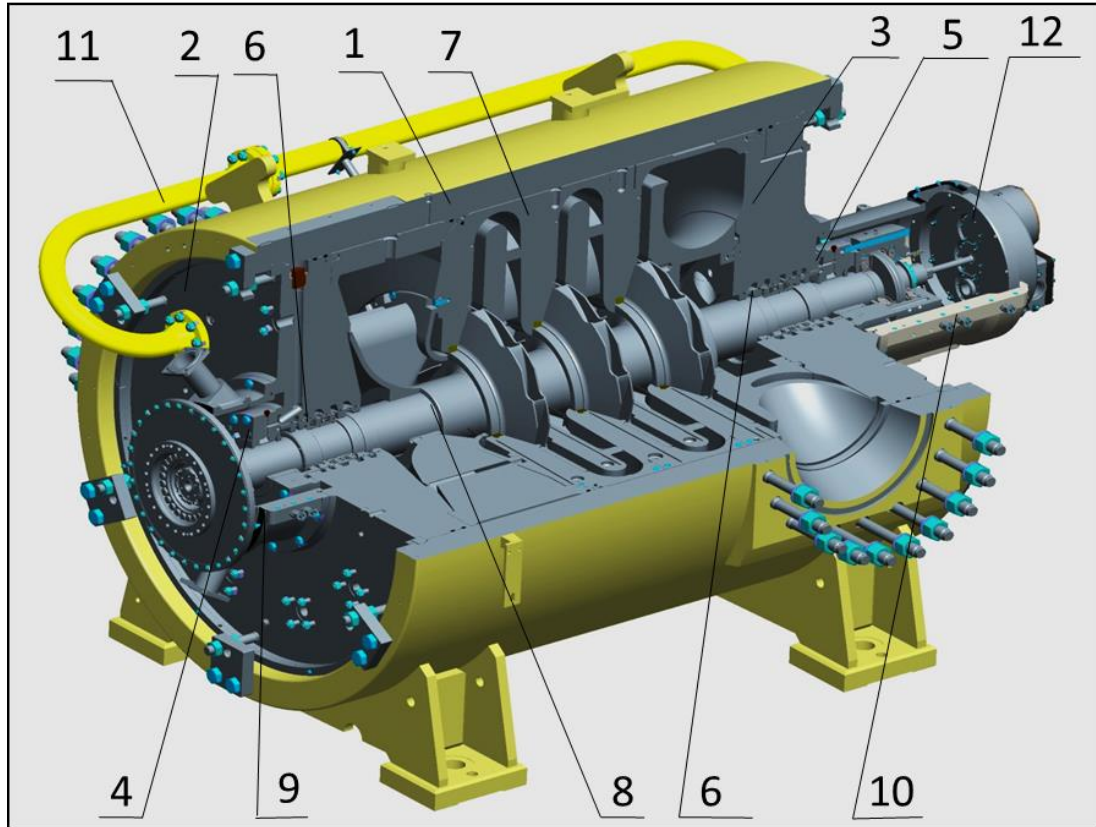


Рисунок 1.6 – Конструкція відцентрового компресора [5]/

1 – корпус; 2 – кришка передня; 3 – кришка задня; 4 – підшипник опорний;
 5 – підшипник опорно-наполегливий; 6 – ТГВУ; 7 – корпус внутрішній;
 8 – ротор; 9, 10 – кожух; 11– трубопровід; 12 – маслонасос.

Уніфікована база (корпус зовнішній, торцеві кришки, підшипники, торцеві газодинамічні ущільнення, далі ТГДУ). Виготовлено понад 300шт.

1.2 Технологічні параметри контролю ГПА та обмеження, що на них накладаються

Обмеження, які накладаються на технологічні параметри ГПА, викликають необхідність автоматичного контролю і управління. Розглянемо дещо докладніше ці обмеження [6,7].

						КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

На перше місце поставимо обмеження температури газу перед турбіною високого тиску (ТВТ), яке викликане тим, що робоче колесо і його лопатевий апарат 1-ї ступені працюють у досить напружених режимах.

Велика швидкість обертання робочого колеса (5000-5500об/хв) і висока температура робочого тіла (700-800°C), не дивлячись на охолодження лопатей, призводять до того, що навіть відносно невелике підвищення температури газу перед ТВТ може викликати руйнування лопатевого апарату 1-ї ступені.

Це складна аварія для ГПА, тому потрібно управляти подачею палива при зміні режимів таким чином, щоб температура газу перед ТВТ не перевищувала допустимої величини.

Це значить, що подача палива і продуктивність осьового компресора (ОК) повинні бути узгоджені. Враховуючи, що людині-оператору досить складно достатньо швидко і точно досягти такого узгодження, потрібно використати відповідний пристрій.

При пусках доводиться обмежувати не лише температуру перед ТВТ, але і швидкість її наростання. Якщо температура росте дуже швидко, то в робочому колесі виникають не лише механічні напруження, обумовлені обертанням, але і температурні, обумовлені різницею температур між ободом робочого колеса і його маточиною. Сумарна дія цих напружень також може викликати руйнування робочого колеса. І тут потрібен пристрій, який би підтримував певний градієнт температур на робочому колесі.

Обмеження потрібно накладати і на швидкість обертання робочого колеса турбіни низького тиску (ТНТ) [7]. При різкому скиданні навантаження швидкість обертання ТНТ швидко зростає до значних величин, якщо не вжити спеціальних заходів. Різке і значне збільшення швидкості може викликати руйнування лопатевого апарату. Щоб цього не відбулося, потрібно швидко зменшити кількість робочого тіла, яке подається, що досягається втручанням його в атмосферу. Це потрібно робити дуже швидко.

Таку відповідальну операцію також доручають пристрою, оскільки

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

фізично не може достатньо швидко зреагувати на підвищення швидкості. Крім того, людині властиво помилятися; замість того щоб зменшувати подачу палива при аварійних ситуаціях, він, сам того не помічаючи, може її збільшувати. Такі випадки мають місце на практиці при експлуатації турбін.

Значна увага приділяється контролю стану окремих відповідальних вузлів ГПА, зокрема підшипників. Про стан підшипників судять за їх температурою, тут також накладаються відповідні обмеження (70-80°C) [8].

Точок контролю температури багато (20-30), при цьому підвищення температури в будь-якій точці понад допустиме значення розглядається як аварія, що спричиняє за собою зупинку агрегату.

Окрім температури підшипників контролюється тиск масла на мастилi, ущільненні, в системі регулювання і цілий ряд інших параметрів. Природно, що людині важко устежити одночасно за станом 50-60 параметрів.

Роботу цю також доручають пристроям, які безперервно або періодично контролюють параметри і сигналізують про їх відхилення від встановлених значень. Нарешті, для звітності потрібно мати безперервний запис окремих показників роботи ГПА, наприклад температури газу перед ТВТ. Людина-оператор позбавляється від цієї одноманітної і утомливої роботи завдяки застосуванню записуючих пристроїв.

ГПА призначений для перекачування природного газу. В залежності від характеру споживачів тиск перед нагнітачем може змінюватись в значних межах. Це приводить до зміни моменту на валу ТНТ, а значить, – швидкості обертання ТНТ і продуктивності нагнітача. Для забезпечення постійної продуктивності потрібно стабілізувати швидкості обертання ТНТ і нагнітача. Цю задачу також виконує автоматичний регулятор.

Таким чином, обмеження, що накладаються на багато параметрів ГПА, призводять до того, що для їх виконання необхідно застосувати відповідні системи автоматичного контролю. Окрім розглянутих обмежень, контроль за виконанням яких перекладається на системи автоматичного контролю, є цілий ряд відхилень технічного стану агрегатів від номінальних значень, що

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

призводить до аварійних режимів. До цих відхилень відносяться наступні:

- осьові зсуви валів ТНТ і ТВТ, оскільки вони зазнають не лише радіальні, але і осьові навантаження. Збільшення осьового зсуву вказує на відхилення в роботі турбіни, тому його контролюють;
- вібрація окремих агрегатів турбіни, яка служить мірою їх нормальної роботи. Контроль вібрацій допомагає нормально експлуатувати ГТУ;
- відсутність факела в камері згорання. При поступленні палива в гарячу камеру це може призвести до вибуху горючої суміші і тим самим – до аварії.

Розгляд обмежень і контрольованих параметрів призводить до висновку, що їх відхилення від нормальних значень, як правило, створює аварійні ситуації.

Мета систем автоматичного контролю і управління – не допустити розвиток аварійної ситуації ГПА, тому, знаходячись в неперервній роботі, вони повинні бути надзвичайно надійними.

Витрати на автоматизацію складають досить малу частину (4-5%) від загальної вартості ГПА, а економія від безаварійної роботи може скласти таки значну суму (як приклад – вартість лопаткового апарату).

1.3 Обґрунтування необхідності контролю і управління процесом компримування газу з використанням ГПА.

Сфера дії системи контролю і управління ГПА охоплює не лише контроль і управління основним процесом перетворення енергії, що протікає в газовій турбіні, але включає в себе також і управління значним числом допоміжних механізмів.

Не дивлячись на те, що процес управління кожним окремо взятим допоміжним механізмом досить простий і зводиться переважно до реалізації елементарних команд типу “включити” – “вимкнути” або “відкрити” – “закрити”, конструкція цих механізмів, а також закономірності їх взаємодії між собою в періоди пуску, роботи і зупинки агрегату накладають істотні обмеження на процес управління всім комплексом.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Впровадження систем автоматичного контролю і управління ГПА є необхідним, оскільки лише на цій основі можливе досягнення значної ефективності і безаварійної експлуатації всієї газотранспортної системи.

Підвищення ефективності за рахунок запровадження систем автоматичного контролю і управління ГПА пояснюється не лише скороченням експлуатаційних витрат, але й оптимізацією режимів його роботи. Дійсно, оптимальні режими нагнітача з газотурбінним приводом майже завжди є одночасно і граничними, що лежать біля межі аварійних режимів.

Наприклад, допустимі відхилення у бік збільшення для таких визначальних параметрів ГПА, як тиск на виході нагнітача, температура газу перед турбіною, або швидкість обертання, не перевищують 2-3% від номінального значення цих величин. Очевидно, що за таких умов тривала робота на номінальних режимах і поблизу від них може здійснюватись лише в тому випадку, якщо заданий режим стабілізується автоматично, а відхилення від нього в небезпечну зону не призводить до несприятливих наслідків завдяки наявності системи захисту.

Таке розуміння задач і цілей системи автоматичного контролю і управління ГПА дозволяє наступним чином визначити її основні вузли та їх призначення.

1. *Підсистема автоматичного пуску і блокувань* – необхідна умова централізованого управління агрегатами в межах компресорної станції і газопроводу в цілому. Її найважливіша задача полягає не лише в забезпеченні заданої послідовності операцій пуску і зупинки, але і виконання їх за можливо коротший час і без порушення обмежень, що накладаються конструкцією агрегату і допоміжних вузлів.

2. *Підсистема захисту* – призначена уберегти агрегат від розвитку аварійних ситуацій, які можуть виникнути як в робочому режимі агрегату, так і в процесі його запуску чи зупинки.

3. *Підсистема регулювання* – забезпечує або стабілізацію режиму роботи агрегату у відповідності з встановленим завданням за одним, або декількома визначальними параметрами, або вибирає і підтримує оптимальний для даної ситуації режим.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

4. Підсистема контролю і сигналізації – забезпечує поступлення необхідної інформації в логічну частину системи управління і до обслуговуючого персоналу.

5. Підсистема випробування – дозволяє налагоджування і перевіряти агрегат і його вузли після ревізій і ремонтів, а також періодично перевіряти працездатність систем автоматичного управління.

В системі управління ГПА повинен бути передбачений зв'язок з загальноцеховими або станційними системами управління і регулювання.

Автоматичне управління ГПА здійснюється в двох зовсім різних режимах:

- запуск і зупинка ГПА;
- стабілізація швидкості обертання валу ТНТ при змінному навантаженні.

Два цих режими забезпечуються двома різними підсистемами – підсистемою пуску і блокування і підсистемою регулювання. В деякі моменти часу ці дві підсистеми працюють одночасно, будучи зв'язані через регулюючий клапан. Автоматичне управління в двох режимах має два аспекти: математичний і прикладний (інженерний).

Не зупиняючись детально на математичному аспекті, який передбачає математичний опис нестационарних термодинамічних процесів, тобто перетворення енергії, відмітимо, що він передбачає строге рішення вказаної задачі. Навіть маючи таке рішення математичної задачі реалізувати одержаний закон управління не завжди можливо через те, що не всі координати, які спостерігаються в процесі роботи турбіни, через складність застосовуваних елементів можуть призвести до зниження надійності системи управління.

Так, багато параметрів, що характеризують роботу турбіни, контролюються. Але є досить важливі параметри, які поки що не контролюються. До них можна віднести температуру лопатевого апарата, перепад температур по диску робочого колеса, зазор між лопатями і корпусом і ін.. Перераховані параметри досить суттєві при пуску, який, взагалі кажучи, повинен проходити так, щоб не перевищувати допустимих обмежень на них. Отже, дані параметри повинні контролюватися, але поки що це неможливо зробити через відсутність

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

вимірювальних приладів. Робляться спроби виміряти ці параметри непрямым шляхом, однак вони не увінчалися успіхом.

Закони управління, відповідно вказаним вище критеріям, достатньо складні, а для їх реалізації необхідне використання систем автоматичного контролю і управління.

Наприклад, якість системи стабілізації визначається моделюванням при проектуванні і перевіряється при натурних випробуваннях машин.

Проілюструємо відмічене вище графічно на прикладі управління температурою перед ТВТ, тобто температурою камери згорання (рис. 1.7).

В процесі пуску обмежується швидкість наростання температури перед ТВТ, з умови допустимих термічних і механічних напружень на лопатках і диску робочого колеса. Обмежується і сама температура також з умов надійності роботи лопатевого апарату. Візьмемо простір станів, утворений координатами

$$T_1 \text{ і } \frac{dT_1}{dt} = T_4 \text{ (рис.1.7).}$$

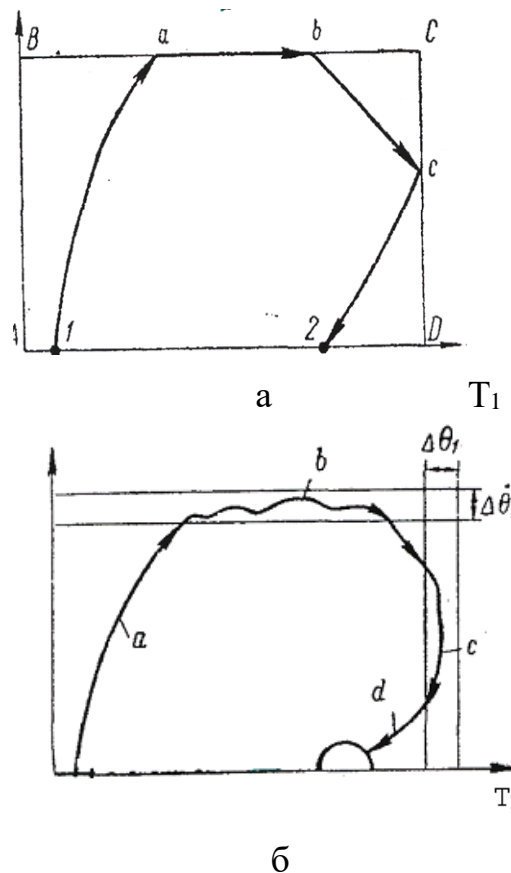


Рисунок 1.7 – Управління температурою і швидкістю її зміни перед ТВТ

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Проведемо лінії обмеження $0 \leq T_1 \leq T_{1\max}$ і $T \leq T_1 \leq T_{1\max}$. Отримаємо замкнуту область $ABCD$, за межі якої координати T_1 і \dot{T}_1 не можуть виходити, але траєкторії зміни цих координат можуть знаходитися на межі області, тобто на лініях BC і CD . Задамо в просторі станів при $t_0 = 0$ початкове значення температури КЗ $T_1 = T'_1$ і $T_1 = 0$ (точка на рис.1.7 ,а) і при $t_0 = 0$ – кінцеве і (точка 2).

Потрібно знайти таке управління $u(t)$, тобто закон зміни положення регулюючого клапана, щоб точки 1 і 2 знаходилися деякою траєкторією, яка не виходить за межі замкнутої області. Прикладом може бути траєкторія 1, а, в, с, 2.

Наступна задача полягає в стабілізації температури у точці 2. строге математичне рішення управління пуском показано на рис.1.7,а.

Розглянемо тепер рішення управління параметрами T_1 і \dot{T}_1 в інженерному плані. Візьмемо простір станів (рис. 1.7,б).

На відміну від попередньої задачі, початковий і кінцевий стани задаються не точками, а відповідно відрізком 1 і областю 2. обмеження задаються не лініями, а деякими областями ΔT_1 і $\Delta \dot{T}_1$. Траєкторія, відповідна цим обмеженням, показана лінією а, в, с, d. Цінною властивістю даної траєкторії є те, що в смугах ΔT_1 і $\Delta \dot{T}_1$ рух може бути будь-яким, лишень би він не виходив за межі цих смуг. Оскільки на рух всередині смуг не накладаються обмеження, то реалізація його значно спрощується. Стабілізацію температури тепер слід проводити не в точці, а в деякій області. Рух координат в області також може бути будь-яким. Це значно полегшує задачу стабілізації.

Відмітимо ще одну відмінність технічного вирішення задачі від математичного. Математичний розв'язок не допускає виходу траєкторії за область обмеження. В технічних системах такий вихід можливий в аварійних ситуаціях. Тому технічна система повинна передбачати пристрої, які починають спрацьовувати після порушення обмежень. Зазвичай вихід координат газової турбіни за область обмежень призводить до її аварійної зупинки. В аварійному

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

режимі системи управління і стабілізації працюють в режимах швидких відсікань (наприклад, миттєве закриття регулюючого клапана і швидкий скид робочого тіла, який має значну енергію, шляхом відкриття скидних клапанів).

Турбіна має не одну координату управління, а декілька. Тому області і процеси розглядаються не на площині, а в багатомірному просторі. Однак, суть питання від цього не змінюється. Отже, вибравши розумні області обмежень і стабілізації, можна створити якісні і достатньо прості системи управління. Вибір областей обмежень – задача не така проста як здається на перший погляд. Вона залежить від цілого ряду взаємозв'язаних чинників.

Нами було розглянуте управління основним процесом перетворення енергії в турбіні. Але управляти слід і допоміжними механізмами. Управління ними значно простіше і зводиться до їх включення або відключення у визначеній послідовності, яка може бути задана в програмно-часовій, або операційній формі (наступна операція виконується після сукупності попередніх). Можуть біти застосовані і комбіновані способи управління.

З приведених міркувань, зрозуміла мета автоматичного управління: здійснювати перевід ГТУ з одного режиму на інший без порушення обмежень, що накладаються на координати; стабілізувати параметри в околицях заданих режимів; строго дотримувати послідовність операцій при пусках і зупинках; запобігати розвитку аварійних режимів; безперервно або дискретно контролювати роботу найвідповідальніших вузлів і сигналізувати про відхилення від нормальних режимів.

1.4 Аналіз існуючих систем автоматичного контролю та управління ГПА.

ГПА з газотурбінними двигунами є складними об'єктами, з точки зору автоматизації контролю та управління. Газотурбінний двигун дозволяє регулювати частоту обертання, змінюючи режим роботи ГПА, і значно динамічніший і складніший в управлінні, ніж синхронний електродвигун. ГПА, залежно від типу, відрізняються кількістю точок контролю та управління, але їх

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

структура та принципи побудови досить схожі, що дозволяє створити базову САУ ГПА, що відносно легко адаптується до конкретного ГПА, з використанням сучасних технічних засобів.

Проаналізуємо деякі САУ ГПА, що знайшли найбільшого розповсюдження в газотранспортній системі.

САУ ГПА, яка створена АТ «Хартрон» на базі програмно-технічного комплексу «Дельта-1» розглянута в [8].

ГПА оснащуються автоматикою різної складності вже не один десяток років, але тільки в останні роки з появою мікропроцесорних контролерів почали створювати системи автоматичного управління ГПА.

До основних функцій САУ ГПА належать:

- регулювання обертів нагнітача – підтримка заданого режиму роботи ГПА шляхом регулювання подачі паливного газу до двигуна;

- протипомпажне регулювання нагнітача – підтримка мінімально допустимого запасу по помпажу нагнітача, що дозволяє отримати максимально можливий для заданого режиму роботи ККД ГПА;

- аварійний захист ГПА;

- керування окремими механізмами ГПА;

- реєстрація та відображення інформації, що характеризує стан ГПА.

Крім цього, САУ ГПА забезпечує контроль справності давачів та виконавчих механізмів, ліній зв'язку, власне апаратури САУ ГПА.

Для реалізації перелічених вимог базова САУ ГПА має необхідний набір каналів вводу/виводу для сполучення з різними давачами та виконавчими пристроями.

У базовій САУ ГПА приймаються:

- до 80 аналогових сигналів від різних датчиків (термометри опору, термопари, струмові та потенційні);

- до 4 частотних сигналів від датчиків частоти обертання;

- до 160 дискретних сигналів (типу «сухий контакт» або потенційних з напругою постійного або перемінного струму від 24 до 220 В).

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Базова САУ ГПА видає:

- 4 аналогових сигнали (або ШІМ-сигналу) на регулятори;
- до 120 дискретних сигналів на виконавчі механізми (напругами постійного або змінного струму до 220 В, до 2 А).

САУ ГПА має мати високу надійність. Так, середній час напрацювання на відмову за функцією «пропуск аварії» має бути не менше 100 тисяч годин.

Температура навколишнього апаратуру САУ ГПА середовища може змінюватися від 0 до 50°C.

На рис. 1.8 Наведена структурна схема САУ ГПА виробництва АТ «Хартрон» [8].

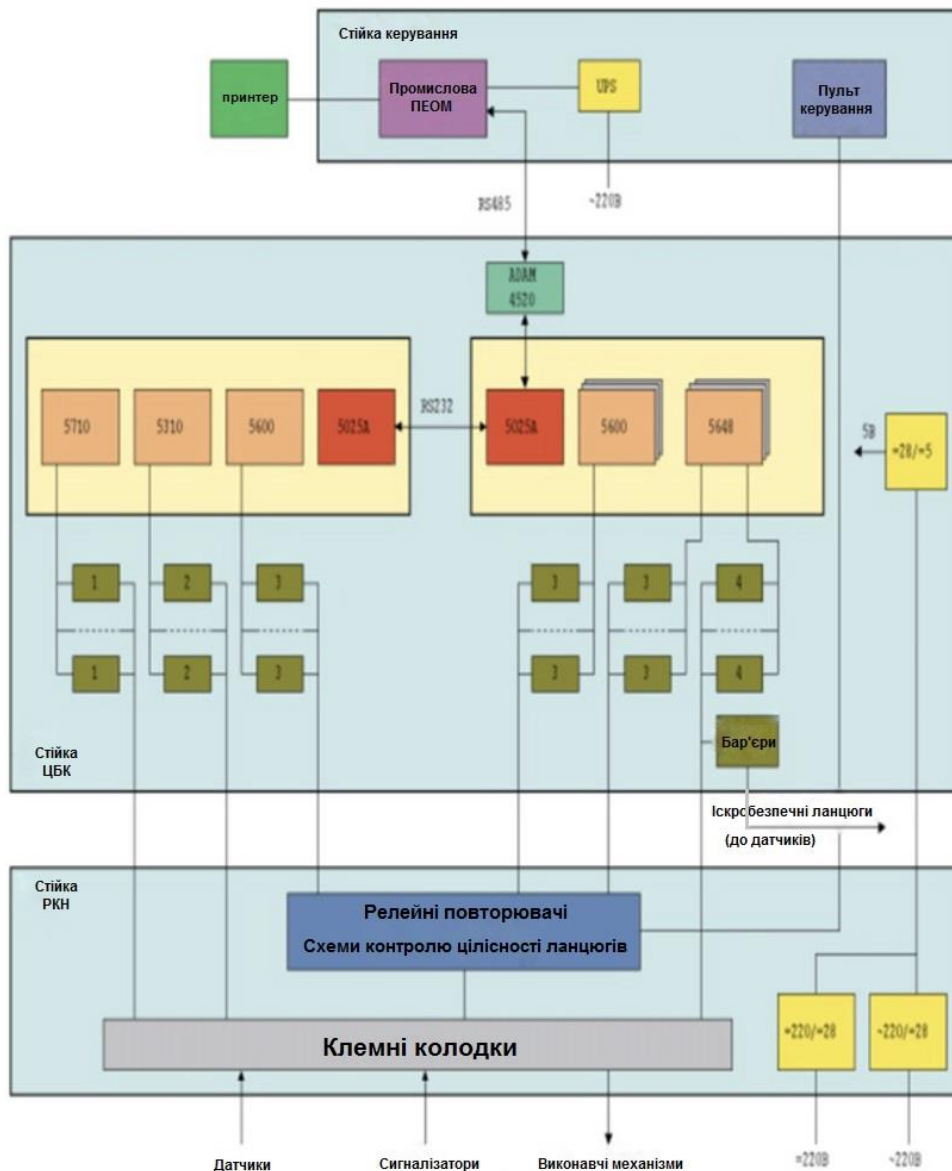


Рисунок 1.8 – Структурна схема САУ ГПА

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

29

1 - модулі аналогового введення-виведення фірми Analog Devises, 2 –пристрої нормалізації сигналів датчиків частоти обертання; 3 - модулі дискретного вводу -виводу фірми Grayhill, 4 - модулі аналогового вводу фірми Grayhill.

Техніко-економічні та експлуатаційні характеристики САУ ГПА значною мірою визначаються технічними засобами. У свою чергу, технічні засоби впливають на структурну схему САУ ГПА.

З урахуванням досвіду попередніх розробок, пропозицій фірм далекого зарубіжжя для реалізації САУ ГПА було обрано такі технічні засоби:

1. Процесор та плати розширення (дискретні та аналогові входи-виходи та ін.) – серія MicroPC фірми Octagon Systems.

2. Модулі аналогового введення з гальванічною розв'язкою – серія 7В фірми Analog Devices та серія 73G фірми Grayhill.

3. Модулі дискретного вводу/виводу – серія 70G фірми Grayhill.

4. Бар'єри іскробезпеки – серія MTL-755 фірми Measurement Technology.

5. Модуль гальванічної розв'язки RS-485 – ADAM 4520 фірми Advantech.

6. Побічні джерела живлення – серія PM фірми Lambda.

7. Реле (для дискретного виведення сигналів напругою 220 В постійного струму та комутації ланцюгів з піропатронами) – серія РЕН 33 Харківського релейного заводу.

8. Клемні з'єднувачі – пружинні клеми фірми WAGO.

9. Промислова ПЕОМ – AWS-822 фірми Advantech.

10. Джерела безперебійного живлення (від мережі змінного струму 220 В) – фірми Exide Electronics.

11. Двомережні джерела живлення (від мережі постійного струму 220 В та мережі змінного струму 220 В) – фірми Lambda Electronics.

Аналіз функцій, що виконуються САУ ГПА, показує, що такі функції, як протипомпажне регулювання та аварійний протипомпажний захист, а також регулювання частоти обертання та аварійний захист двигуна за частотою обертання вимагають високої швидкодії САУ (такт вирішення завдання – не

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

більше 20 мс), інші ж функції САУ такої швидкодії не вимагають. Враховуючи ці вимоги, а також досить великий загальний обсяг обробленої САУ ГПА інформації, у САУ ДПА «Дельта-1» використовують два контролери: один – для вирішення «швидких» завдань, другий – «повільних».

САУ ГПА «Неман» [8] призначена для виконання функції автоматичного керування, регулювання, контролю та захисту, що забезпечують безаварійну тривалу роботу газоперекачувального агрегату.

Вона інтегрується в АСУ технологічного процесу (ТП) компресорного цеху (КЦ) та підключається до промислової мережі на базі Ethernet за допомогою оптичних або мідних ліній зв'язку. Система забезпечує регулювання параметрів агрегату та підтримання заданого режиму як безпосередньо за уставками диспетчера, так і спільно із САР КЦ.

Система виконана на базі ІВКУ «Неман» з використанням сучасних програмно-технічних засобах (ПТЗ) у тому числі із застосуванням контролерів у форматі CompactPCI та MicroPC.

Заводом, що випускає САУ ГПА «Неман» передбачені передбачаються наступні варіанти складу системи:

- повнофункціональна САУ, що забезпечує логічне управління, паливне та антипомпажне регулювання;
- система без паливного та антипомпажного регулювання; САУ ГПА інтегрує штатні системи регулювання;
- система паливного та антипомпажного регулювання (блок регулювання), призначена для доукомплектування діючих штатних систем.

Застосування САУ ДПА «Неман» дозволяє:

1. Збільшити надійність системи та ремонтпридатність за рахунок застосування сучасних надійних компонентів.
2. Зменшити ймовірність хибних аварійних зупинок за допомогою розвинених алгоритмів «стратегії виживання»;
3. Зменшити витрати на електропостачання, за рахунок застосування сучасних енергозберігаючих компонентів;

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

4. Розширити можливості щодо інтеграції шляхом включення до системи обладнання сторонніх виробників (частотне регулювання автомата повітряної очистки(АПО), діагностика ГПА і ін.).

В таблиці 1.3 наведені види САУ ГПА «Неман».

Таблиця 1.3 – Типи САУ ГПА «Неман» [8].

Тип САУ	Тип ГПА/ГТД
САУ ГПА “Неман-10-4” ТУ 4318-103-00158818-2008	ГТК-10-4
САУ ГПА “Неман-6” ТУ 4318-113-00158818-2010	ГПА-Ц-6,3
САУ ГПА “Неман-16” ТУ 4318-076-00158818-2003	ГПУ-16
“Неман-ГТН-6” ТУ 4318-076-00158818-2003	ГТН-6

На рис. 1.9, а показано щит автоматики САУ ГПА на базі ПЛК GE Rx3i, а на рис. 1.9 б – апаратний блок-бокс САУ ГПА «Неман» [8].



а



б

Рисунок 1.9 – а) щит автоматики САУ ГПА на базі ПЛК GE Rx3i; б) апаратний блок-бокс САУ ГПА «Неман»

На рис. 1.10 показана типова структура САУ ГПА «Неман».

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

САУ ГПА «Квант-NN» [9] призначена для автоматичного керування ГПА КС магістральних газопроводів та дожимних компресорних станцій, включаючи контроль технологічних параметрів та стану виконавчих механізмів ГПА, а також регулювання та захист на всіх режимах роботи.



Рисунок 1.10 - Типова структура САУ ГПА «Неман»

Система побудована за принципом розподіленої мережі на базі програмованих логічних контролерів фірми GE та промислових робочих станцій, що мають високу експлуатаційну надійність і сертифіковані в росії.

САУ ГПА «Квант-NN» розробляється залежно від типу ГТД та типу ГПА (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Типы САУ ГП «Квант» [9]ю

№ п/п	Тип САУ	Тип ГПА/ГТД
1.	«Квант-1М»	ГТК-10-4, ГТК-750-6
2.	«Квант-2»	НК-12(14,16,36)СТ
3.	«Квант-2Э»	СТД-12500(4000)
4.	«Квант-3»	ДР(ДЖ)59, ДГ90, ДИ70
5.	«Квант-4»	АЛ-31СТ(СТН), ГТД-6,3РМ
6.	«Квант-5»	ГТК-25И(Р)
7.	«Квант-5»	ГТК-25И(Р)
8.	«Квант-7»	SOLAR

9.	«Квант-8»	PGT-10, PGT-21
10.	«Квант-9»	ПС-90
11.	«Квант-10»	ГТН-6У, ГТН-16
12.	«Квант-11»	ЭГПА-25
13.	«Квант-12»	ЭСН «Ruston»
14.	«Квант-14»	ТКА ТНМ1203
15.	«Квант-20»	ГМК8, ГМК10

В табл. 1.5. наведені технічні характеристики САУ ГПА «Квант».

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики САУ ГПА «Квант».

Вхідні сигнали: - термоопору - термоелектричні - частотні - уніфіковані струми і напруги - положення	градування всіх типів 0 – 20 кГц 0 – 5 мА, 0 – 20 мА, 4 – 20 мА, -10 – +10 В LVDT, RVDT
Вихідні сигнали: - дискретні - дискретні - аналогові	1,0 А; ~220 В, =220 В 5 А, =24 В 4 – 20 мА, +/- 10 В
Основна похибка вимірювання: - каналами вимірювання температур - каналами вимірювання струму, напруги, положення - каналами вимірювання частоти обертання	0,2% 0,2% 0,1%
Живлення: - напруга основного живлення - напруга резервного живлення - споживана потужність	~ 220 В, 50 Гц = 220/110 В не більше 1 кВт
Швидкодія: - опитування первинних перетворювачів - формування команд керування - цикл оновлення даних на моніторах	не більше 0,02с., не більше 0,1с., не більше 1 с

В [10] розглядається САУ ГПА-Ц-6,3 В. Система відносяться до нового

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

покоління систем автоматизації технологічних процесів на базі мікропроцесорних систем контролю та управління, при розробці яких максимально враховано досвід побудови та експлуатації систем попередніх поколінь, а також використані передові архітектурні та технологічні рішення провідних закордонних фірм.

Система автоматичного управління газоперекачувальним агрегатом ГПА-Ц-6,3В, оснащеним двигуном НК-12СТ, призначена для автоматизації управління ГПА з виконанням функцій автоматичного управління агрегатним обладнанням, регулювання, контролю та захисту для забезпечення безаварійної роботи ГПА в режимах тривалої роботи та зупинки.

САУ була створена з метою:

- підвищення ефективності та оперативності управління ДПА за рахунок використання сучасних технічних засобів контролю та управління;
- спрощення для оперативного персоналу процесів запуску, зупинки та ведення процесу управління ГПА;
- забезпечення експлуатаційної готовності, стабільності та безперебійного перекачування газу за рахунок запобігання помпажу та його наслідкам, запобігання аварійним ситуаціям, надійної роботи ГПА;
- захист агрегату шляхом зупинки при загрозі аварії;
- збільшення технічного ресурсу агрегату;
- забезпечення персоналу достатньою, достовірною та своєчасною інформацією про хід технологічних процесів та стан обладнання для ведення оперативного управління;
- покращення використання резервів потужності та маневреності агрегату;
- збільшення культури обслуговування, зменшення часу на технічне обслуговування та ремонт агрегату;
- блокування некоректних дій оперативного персоналу;
- покращення форм звітності та економічного аналізу діяльності об'єкта управління.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Структура розробленої САУ ГПА-Ц-6,3 В показана на рис. 1.11 [10].

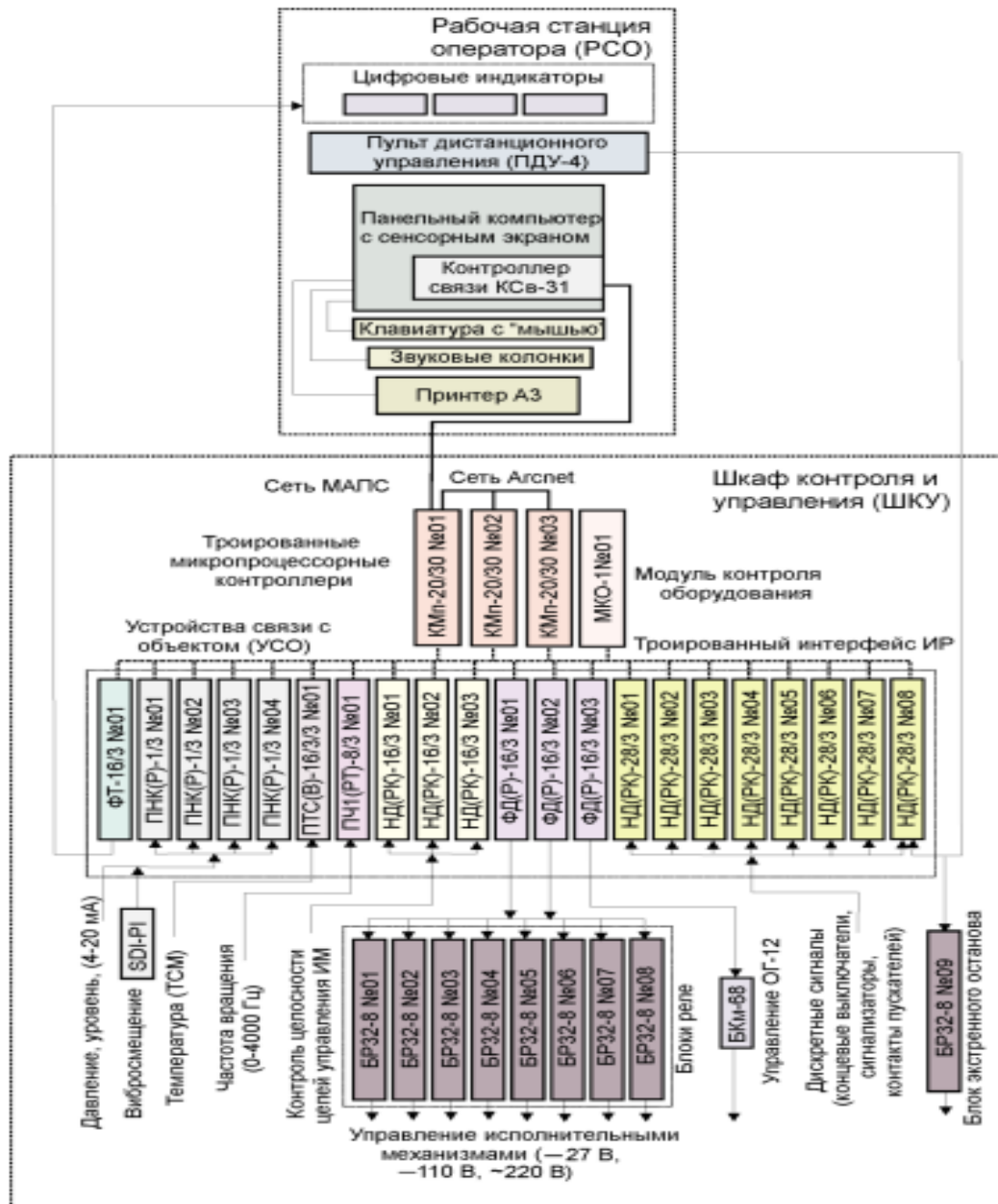


Рисунок 1.11 – Структура САУ ГПА-Ц-6,3 В

Відкритість програмно-апаратного забезпечення САУ дозволяє використовувати перевірені часом рішення для різних типів ГПА. Особливістю запропонованих рішень є комплекс заходів, вжитих для підвищення живучості та надійності системи в цілому, яка визначає основні переваги даної САУ ГПА-Ц-6,3 В перед аналогічними системами.

Однією з переваг даної САУ є те, що інші фірми виробники САУ ГПА використовують у своїх системах не лише імпортовані комплектуючі, але й

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

повністю готові блоки, що ставить їх у залежність від технічної політики фірм-виробників цих блоків, які періодично змінюють номенклатуру виробів, знімаючи з виробництва блоки, що вже застосовуються в САУ ГПА.

Дана причина створює проблему при поетапній заміні існуючих САУ ГПА на нові із збереженням єдиної номенклатури блоків для нових САУ ГПА, а відтак і складності з їх технічним обслуговуванням.

Навпаки, у САУ ГПА виробництва ПрАТ «СНВО «Імпульс» імпортовані комплектуючі застосовуються в блоках, розроблених та виготовлених самим ПрАТ «СНВО «Імпульс» [11], що дозволяє при поетапній заміні зберігати номенклатуру блоків і на належному рівні забезпечувати технічне обслуговування систем, що поставляються, включає в себе не тільки поповнення комплекту ЗІП, але і поставку замовнику сервісного обладнання, а також всієї необхідної для обслуговування та ремонту документації.

«САУ-ГПА» в різних модифікаціях створюються на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК) RX7i, Rx3i, 90-70, VersaMax виробництва GE Fanuc Automation.

Блок забезпечує контроль працездатності основного ПЛК і безпечну зупинку ГПА з інформацією про основні параметри і положення запірної арматури в разі відмови основного ПЛК.

Технічні засоби «САУ-ГПА» забезпечують прийом сигналів:

- від датчиків імпульсних (О...2О) КГЦ - 8 шт.;
- від перетворювачів термоелектричних - 49 шт.;
- від термопреутворювачів опору - 40 шт.;
- від датчиків з уніфікованим сигналом (4-20) мА, (-10... + 10) В, (0.. + 10) В - 48 шт.;
- дискретних = 24 В - 128 шт.

Технічні засоби «САУ-ГПА» забезпечують видачу сигналів управління:

- уніфікованих струмових сигналів (4-20) мА, (-10... + 10) В - 10 шт,
- дискретних - 96 шт.

Значення основної наведеної помилки інформаційно-вимірювальних і керуючих каналів (без урахування помилок датчиків і ліній зв'язку):

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- від датчиків імпульсних (0...20) кГц - 0,15%;
- від датчиків з уніфікованим сигналом (4-20)мА, (-10... + 10)В, (0... + 10) - 0,1%.
- від термопреутворювачів опору і термоелектричних - 0,2%;
- уніфікованих струмових сигналів управління (4-20)мА, (-10... + 10)В - 0,1%.

«САЕ-ГПА» володіє наступними показниками швидкодії:

- період опитування первинних перетворювачів, задіяних в алгоритмах регулювання (крім перетворювачів термоелектричних і термопреутворювачів опору) - не більше 0,03 с;
- період опитування первинних перетворювачів і сигналізаторів, задіяних в алгоритмах логічного управління та захисту - не більше 0,1 с;
- період формування сигналів управління по каналах регулювання - не більше 0,03 с;
- період формування сигналів по каналах захисту та управління - не більше 0,1 с,
- час циклу виконання програмних блоків регулювання технологічних параметрів - не більше 0,02 с;
- час циклу виконання програмних блоків логічного управління та захисту - не більше 0,02 с;
- період оновлення даних на моніторах - не більше 0,5 с;
- час очікування викликаного відеокадру - не більше 0,5 с.

Для проведення експериментальних досліджень зміни технічного стану ГПА в [12] наводиться система автоматичного контролю ГПА на базі двох комплектів 8-ми каналних мікропроцесорних реєстраторів-регуляторів типу МТР-8 (рис.1.12), до яких підключено вихідні сигнали з давачів технологічних параметрів.

Для організації ефективного контролю технічного стану проточної частини та підшипників осьового компресора в [10] запропоновано додатково проводити контроль вібрації опорного підшипника №1 осьового компресора за допомогою широкосмугового перетворювача з нефільтрованим вихідним сигналом УТ2, а також здійснювати акустичний контроль його роботи

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

спеціальним мікрофоном ХТ1, виходячи з того, що пошкодження лопатей та підшипників осьового компресора буде впливати на зміну характеристик звукових коливань, які супроводжують роботу осьового компресора (рис. 1.12).

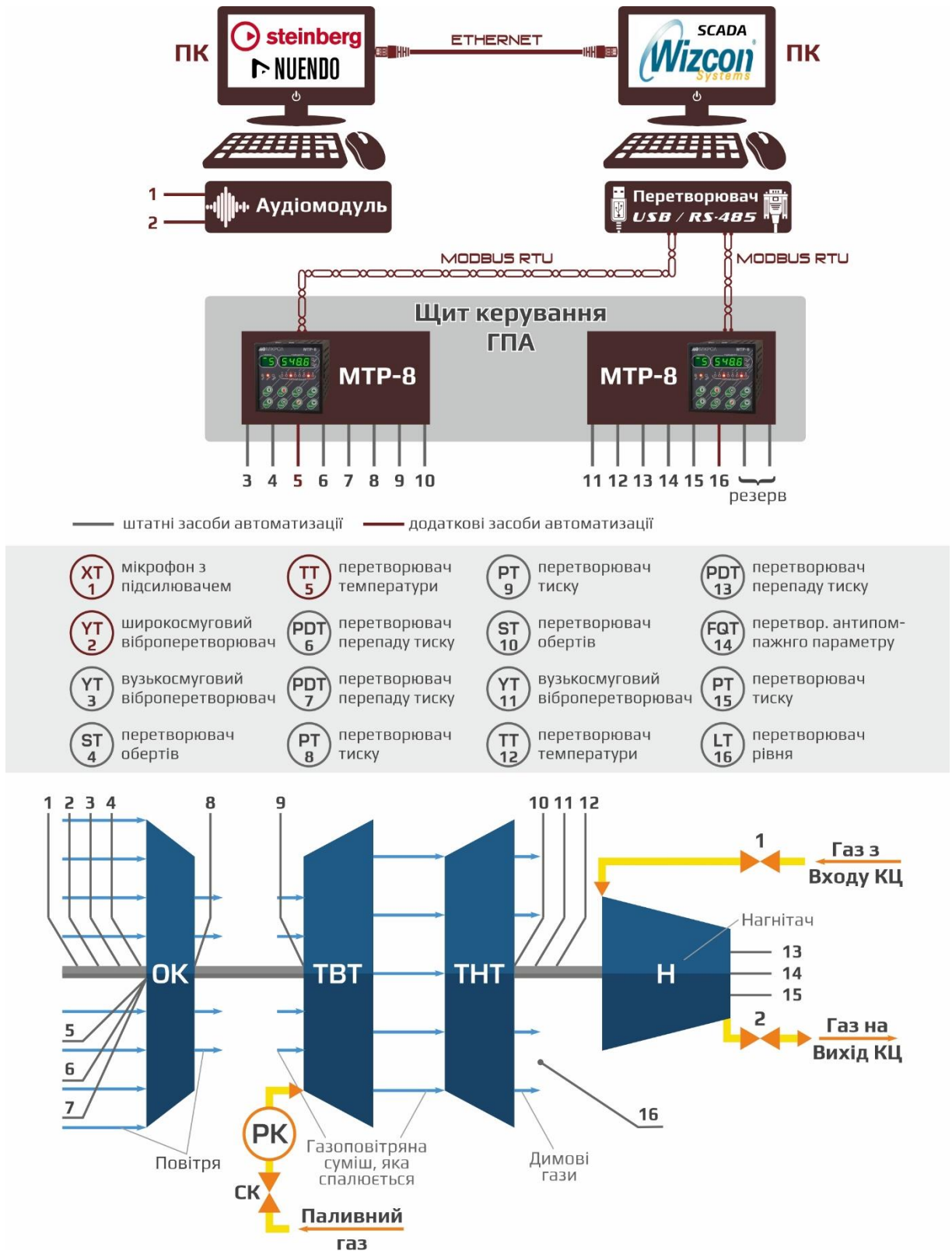


Рисунок 1.12 - Структурна схема системи контролю технологічних параметрів та віброакустичних процесів, що супроводжують роботу ГТК-25і [12].

1.5 Аналіз систем вібраційного контролю ГПА

Вібраційний контроль технічного стану ГПА зазвичай здійснюється двома способами: це віброконтроль корпусу за допомогою поверхневих датчиків вібрації, що встановлюються на корпусах підшипників турбіни або електроприводу, а також на корпусах редукторів, і віброконтроля ротора турбіни і/або нагнітача за допомогою вихорострумових датчиків відносної вібрації, які встановлюються на статорі і контролюють віброзміщення ротора.

Сьогодні для вібромоніторингу, віброконтролю і вібродіагностування технічного стану ГПА використовується значна номенклатура різноманітних систем. Зупинимося на розгляді найбільш поширених системи і їх структурі.

Стаціонарна система вібраційного моніторингу та діагностування (ГПА) компресорного цеху "ССМД КЦ" [13] призначена для автоматизації процесів безперервного і періодичного контролю і аналізу вібраційного стану ГПА

ССМД КЦ забезпечує:

- автоматизацію обробки поточної і архівної інформації для подальшого пошуку та ідентифікації відхилень від нормальної роботи механічних вузлів ГПА для завчасного попередження експлуатує персоналу про початок і розвитку можливих несправностей;
- безперервний моніторинг технічного стану ГПА: збір, обробку, відображення, архівацію і аналіз поточних і архівних даних;
- оперативний контроль параметрів вібрації і осьового зсуву ГПА;
- формування сигналу аварійної зупинки ГПА при перевищенні параметрами вібрації аварійних уставок.

Система забезпечує вібраційний моніторинг і діагностику ГПА на основі алгоритмів спектральної обробки інформації.

Система умовно ділиться на наступні рівні:

- рівень перетворювачів первинної інформації (датчиків);
- агрегатний рівень: контрольно-сигнальний модуль (КСМ) і електронно-вимірювальний модуль (ЕОМ);

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- операторський рівень: цехової АРМ інженера-вібродіагноста.

До складу штатної системи контролю вібрації кожного ГПА входять:

- три канали корпусних вібрації приводу на базі перетворювачів віброшвидкості типу Metrix 5528;
- два канали радіальної вібрації нагнітача на базі перетворювачів вібропереміщення типу Metrix 5465;
- один канал осьового зсуву нагнітача на базі перетворювача переміщення типу Metrix 5488.

До складу перетворювачів первинної інформації на кожен з ГПА крім штатних перетворювачів системи контролю вібрації входять:

- три віброперетворювача Metrix 5535 корпусних вібрації ГТД;
- два перетворювача вібропереміщення Metrix 5465 нагнітача;
- перетворювач переміщення Metrix 5488 позначки положення ротора нагнітача.

Місця розташування вказаних віброперетворювачів на корпусі ГПА наведені на рис. 1.13

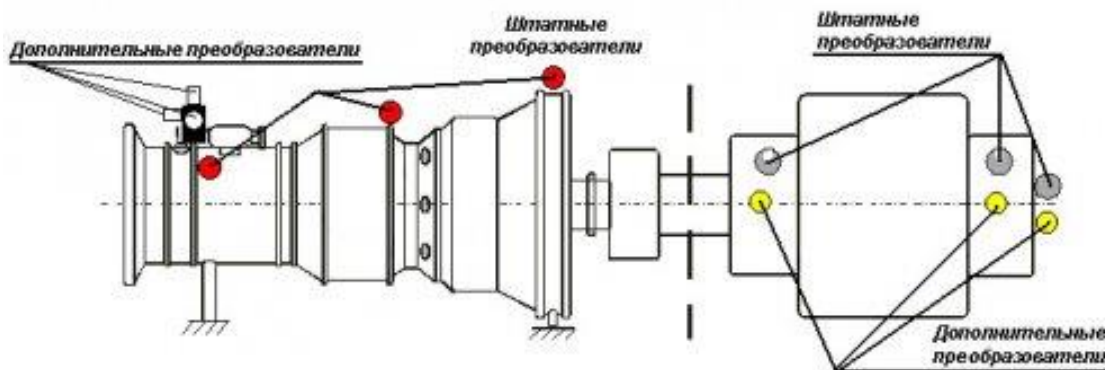


Рисунок 1.13 - Розташування віброперетворювачів системи "ССМД КЦ" на ГПА-25МН80.01 [13].

Структурна схема системи "ССМД КЦ" наведена на рис. 1.14.

Функції перетворювачів первинної інформації (давачів)

- перетворення віброприскорення корпусу ВМД в сигнал змінної напруги;
- перетворення вібропереміщення і положення вала нагнітача в сигнал змінного і постійного напруги.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

На операторському рівні модуль КСМ реалізований на базі програмного модуля "Віброзахист ГПА" на сервері операторського рівня модуля ЕОМ. Він забезпечує взаємодію з трьома агрегатними контролерами КСМ по мережі RS485, протокол ModBus RTU.

Функції контрольно-сигнального модуля:

- підготовка інформації до збору, аналого-цифрове перетворення сигналів;
- управління поточним інформаційним архівом агрегату;
- автоматичний контроль параметрів вібрації та формування сигналів попереджувальної і аварійної сигналізації при перевищенні заданих рівнів уставок вібрації;
- збереження значень сигналів і часу їх виникнення;
- діагностування працездатності первинних перетворювачів вібрації та осьового зсуву, а також самодіагностування програмно технічних засобів з видачею сигналів відмови;
- видачу, в разі необхідності, дискретних сигналів в САУ ГПА "Попередження", "Аварія" та "Несправність каналу або контролера";
- відображення вимірних значень параметрів вібрації на екрані агрегатної панелі, а також фіксація і відображення на екрані сервера операторського рівня значень сигналів вібрації або осьового зсуву з часом їх виникнення у разі перевищення уставок.

Електронно-вимірювальний модуль (ЕОМ)

Модуль ЕОМ також структурно поділяється на агрегатний і операторський рівень.

На агрегатному рівні модуль ЕОМ містить збирач даних, до якого входять:

- нормалізатори сигналів;
- агрегатний комп'ютер з картою аналого-цифрового перетворення (АЦП) і мережевою картою Ethernet.

Функції нормалізаторів сигналів

- антилайзінгова аналогова фільтрація;
- нормування сигналів перетворювачів первинної інформації для

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

узгодження з вхідними параметрами карти АЦП.

Агрегатний рівень модуля ЕОМ створений на базі промислового комп'ютера з використанням спеціальної картки АЦП і взаємодіє з сервером цехового рівня по Ethernet, протокол TCP / IP, а також здійснює за запитом передачу вібраційних даних до віддалених АРМ інженерів-вібродіагностів або в системи вищого рівня (ЛВУ, УМГ тощо) по виділеному телефонному каналу або комп'ютерної мережі Etherne

Функції агрегатного рівня модуля ЕОМ

- аналого-цифрове перетворення і масштабування вхідних сигналів з параметрами достатніми для подальшої спектральної обробки;
- збір поточних значень вимірюваних параметрів у вигляді тимчасових вибірок даних ("хвиль") по каналах із заданою частотою дискретизації для подальшої спектральної обробки;
- архівація тимчасових вибірок параметрів вібрації в 5-рівневу базу даних (реальні, хвилинні, годинні, оборотні і "тренди" перевищення).

На операторському рівні модуль ЕВМ реалізований на базі програмних модулів:

- "Вібромонітор ГПА";
- "віброаналіза ГПА".

Операторський рівень

Операторський рівень побудований на базі промислового комп'ютера з прикладним програмним забезпеченням. Останнє є графічним інтерфейсом змінного інженера і фахівців з вібродіагностиці для роботи з системою "ССМД КЦ".

Програмний модуль "Вібромонітор ГПА"

Програмне забезпечення вібромоніторинга ГПА призначене для відображення інформації операторського рівня модуля ЕВМ системи.

Функції модуля "Вібромонітор ГПА":

- конфігурація збору, обробки, архівування поточних значень широкосмугових вібраційних сигналів, адміністрування багаторівневої

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

агрегатної бази даних;

- управління правилами реєстрації діагностичних даних на цеховому сервері;
 - візуалізація вібраційних даних одночасно по всіх агрегатах цеху з відображенням їх вібраційного стану;
 - відображення поточних і архівних даних у вигляді "хвиль", спектрів, орбіт, таблиць скалярних значень параметрів, трендів;
 - формування сигналів "Попередження" і "Аварія" при перевищенні значень уставок на параметри;
 - ведення щоденника подій, журналу вібраційного стану, автоматичне формування "Таблиць перевищень";
 - підтримка дистанційного збору та передачі даних на віддалені АРМ інженерів-вібродіагностів;
 - передача результатів спектральної обробки в системи "вищого" рівня;
- Застосування системи "ССМД КЦ" забезпечує:
- організацію періодичного вимірювання, зберігання та аналізу даних для контролю вібраційного стану обертових механізмів;
 - наочне і ефективне оповіщення про перевищення вібраційних характеристик тривожних рівнів (тривога, небезпека і аварія);
 - побудова трендів стану і прогнозування залишкового часу експлуатації обладнання до досягнення аварійного стану;
 - визначення дефектного вузла або механізму в машині;
 - отримання оперативної карти технічного стану устаткування, яке обслуговує;
 - спільну роботу з підключеними діагностичними програмами;
 - накопичення і зберігання інформації по контрольованому обладнанню;
 - друк стандартних протоколів і актів обстеження технічного стану;
 - створення звітів довільної форми;
 - дослідження вібраційної активності машини за допомогою 2-х мірних і 3х мірних графіків;

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

– представлення вібраційних параметрів у вигляді таблиць, протоколів, 2-х і 3-х мірних графіків, трендів, графічних зображень об'єктів контролю з зазначенням рівнів вібраційного і технічного стану.

Стаціонарна система контролю ГПА [13] приведена на рис. 1.15. Основна мета будь-якої стаціонарної системи контролю вібрації - своєчасне запобігання розвитку аварії з серйозними руйнуваннями контрольованого обладнання. Для цього повинен виконуватися своєчасний і достовірний збір і аналіз всіх контрольованих параметрів.



Рисунок 1.15 – Стаціонарна система вібраційного контролю ГПА [13].

При впровадженні стаціонарних систем контролю вібрації особливу увагу слід приділяти правильності їх методичного застосування. Якщо для стандартного використання можливо типове виконання системи, то для складного, дорогого, нестандартного обладнання, а також при підвищених вимогах до його безпеки рекомендується проводити попереднє дослідження вібраційного стану.

В процесі цього дослідження уточнюються необхідні для контролю параметри, модифікуються алгоритми віброзахисту, формуються діагностичні

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

критерії і правила. Після закінчення роботи коригуються настройки і конфігурація системи і вносяться всі необхідні зміни. Подібний підхід дозволяє максимально адаптувати систему до умов роботи і особливостям контрольованого обладнання, що суттєво розширює її можливості.

Віброконтроль корпусу турбо- і електроприводу здійснюється апаратурою віброконтроля за допомогою п'єзоелектричних або електромагнітних (електродинамічних) вібродавачів.

П'єзоелектричні датчики застосовуються в комплекті з віброапаратурою типу СВКА-1. Всі типи використовуваної віброапаратура мають однаковий принцип дії і відрізняються між собою тільки схемними рішеннями, елементною базою електронних блоків і конструкцією датчиків.

Принцип дії апаратури заснований на перетворенні п'єзоелектричним віброперетворювачем вібрації в електричний сигнал і подальшої його обробки. Чутливий елемент віброперетворювача зазвичай складається з двох кільцевих п'єзопластин, електрично з'єднаних паралельно (рис.1.16).

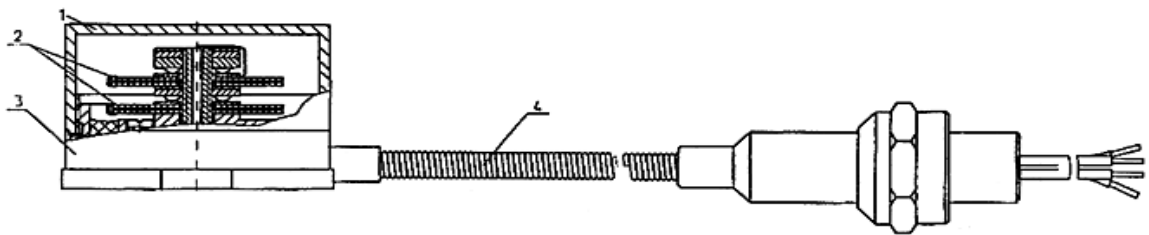


Рисунок 1.16 - Загальний вигляд п'єзоелектричного вібродавача [13]:

1 - кришка; 2 - чутливий елемент; 3 - підстава; 4 - захисний металорукав для кабелю

Принцип дії вібродавача заснований на використанні явища п'єзоефекту. Під впливом вібрації п'єзопластини деформуються і на обкладинках кожної п'єзопластини з'являється знакозмінний заряд, пропорційний в робочій смузі частот прискоренню. Напруги, створювані цими зарядами, надходять на диференційний вхід узгоджуючого підсилювача (рис. 1.17).

Узгоджуючий підсилювач в залежності від модифікації або вбудований в корпус вібродавача, або розташований окремо.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Узгоджувачий підсилювач необхідний для узгодження вихідного опору вібродавача з лінією зв'язку і вторинною апаратурою. Електричний сигнал

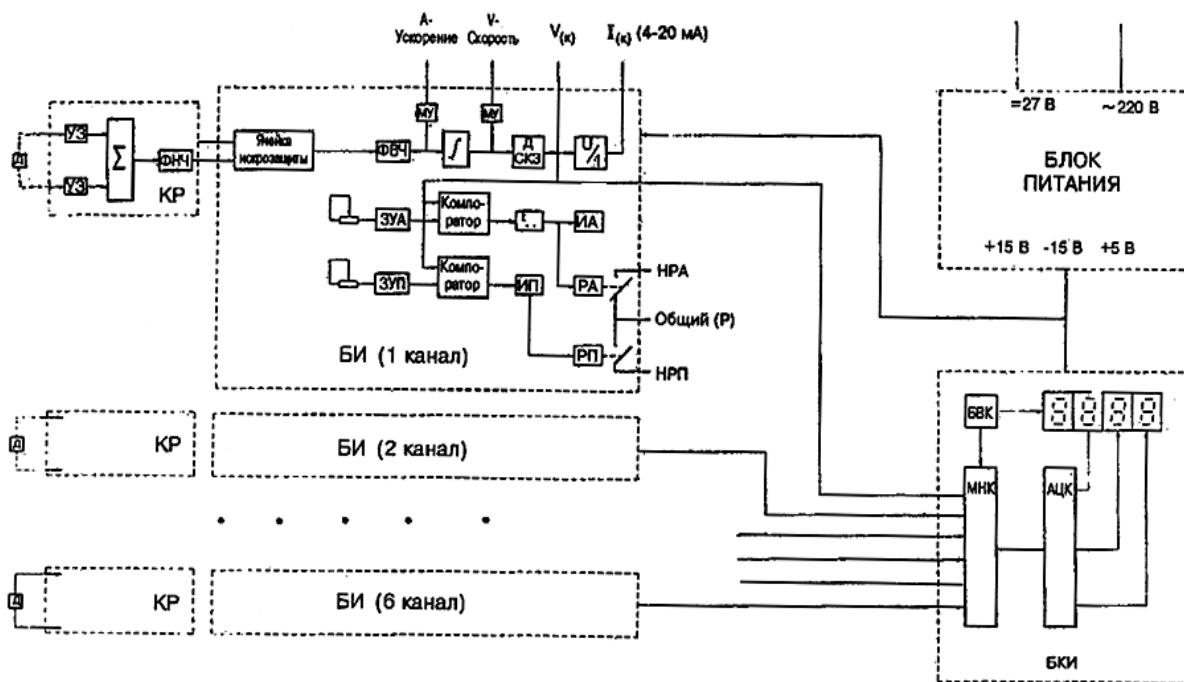


Рисунок 1.17 - Структурна схема апаратури віброконтроля:

УЗ - підсилювач заряду; Σ - суматор; ФНЧ - фільтр низьких частот; ФВЧ - фільтр високих частот; ЗУА - блок завдання рівня аварії; ЗУП - блок завдання рівня предаварії; І - інтегратор; Д - детектор середньоквадратичних (СКЗ) значень; - блок затримки спрацьовування; ІП - індикатор предаварії; $U / 1$ - перетворювач напруга-струм; ІА - індикатор аварії; РА - реле аварії; РП - реле предаварії; БВК - блок вибору каналу; МУХ - мультиплексор; АЦК - аналогово-цифровий перетворювач

сигнал з узгоджувального підсилювача надходить на вхід вимірювального блоку. Вимірювальний блок включає в себе наступні функціональні пристрої: блок іскрозахисту, фільтр верхніх частот, інтегратор, детектор середньоквадратичних значень, вузол аварійної та попереджувальної сигналізації. Інтегратор виробляє інтегрування електричного сигналу і формування амплітудно-частотної характеристики каналу виміру.

Віброприскорення, інформація у вигляді електричного сигналу отримується на виході віброперетворювача, є похідною за часом від швидкості, тому для

отримання інформації про швидкості необхідно провести інтегрування електричного сигналу віброприскорення.

Фільтри нижніх і верхніх частот забезпечують виділення вібрації частотою від 10 Гц до 1 кГц. Детектор виділяє середньоквадратичне значення електричного сигналу, пропорційне швидкості.

Вузол сигналізації служить для вказівки перевищення рівня віброшвидкості понад заданого значення. Тимчасова затримка аварійної та попереджувальної сигналізації може налаштовуватися в межах від 0 до 10 с.

Блок контролю та індикації (БКІ) служить для візуального контролю стану вібрації по всіх вимірювальних каналах. На деяких вузлах ГПА, де потрібно контролювати вібрацію з підвищеною частотою (вище 1 кГц), наприклад, на редукторах ГПА СТД-4000, контролюється і віброприскорення. Відмінність апаратури, яка контролює віброприскорення, від описаної вище полягає в відсутності в ній інтегратора.

Електромагнітні датчики застосовуються в апаратурі типу АМВ-3, що встановлені на частини агрегатів "Дон-1", "Дон-2", "Аврора", ГТ-750-6. Конструктивно датчик складається з двосекційною котушки, всередині якої між двох постійних магнітів "підвішений" стрижневий магніт. При коливаннях стрижневий магніт рухається і перетинає електромагнітне поле, що генерується котушкою. Таким чином, вихідна напруга котушки прямо пропорційно швидкості віброколивань

На даний час електромагнітні датчики поступають місцем п'єзоелектричним, так як мають більш низьку надійність, високу вартість, великі розміри, а також вузький діапазон робочих температур (від -10 до 70 ° С, в той час як деякі модифікації п'єзоелектричних датчиків мають діапазон робочих температур від -40 до 500 ° С).

Осьової зсуви і віброзміщення роторів нагнітачів контролюються за допомогою вихорострумів датчиків віброзміщення.

Вищеописана віброапаратура практично не застосовується для віброконтролю нагнітачів, так як корпус нагнітача має незрівнянно більш високу

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

жорсткість і масу в порівнянні з ротором, і тому зміна вібрації ротора практично не змінює рівень вібрації його підшипників. У свою чергу, опорна система турбіни і турбокомпресора (тобто система підшипник-корпус-стійка-фундамент) більш податлива і менш стабільна.

Сьогодні на газотранспортних підприємствах застосовується різна апаратура віброконтроля з вихрострумовими датчиками типів: КСА-15, ВСВ-331, АВКС-2, "Віброконтроль" і ін. Вся апаратура має ідентичну конструкцію і принцип дії і відрізняється елементної базою електричних схем.

1.6 Висновки та постановка задачі досліджень

Розглянута загальна конструкція і принцип роботи ГТУ, а також їх класифікація стосовно експлуатації в газотранспортній системі України – одновальні, двохвальні та трьохвальні. Показано, що найбільшого використання знайшли двохвальні ГТУ та більш детально розглянуто принцип роботи і призначення агрегатів такої ГТУ.

Розглянуті обмеження, які накладаються на параметри ГПА та викликають необхідність автоматичного контролю і управління - обмеження температури газу перед ТВТ та швидкість її наростання; обмеження на швидкість обертання робочого колеса ТНТ, температуру підшипників, тиск масла на мастилi, ущільненні, в системі регулювання і цілий ряд інших параметрів.

Показано, що обмеження, які накладаються на значну кількість технологічних і вібраційних параметрів ГПА, призводять до того, що для їх виконання необхідно застосувати відповідні системи автоматичного контролю.

Окрім розглянутих обмежень, контроль за виконанням яких перекладається на системи автоматичного контролю, є цілий ряд відхилень технічного стану агрегатів від номінальних значень, що призводить до аварійних режимів для попередження яких необхідне застосування систем автоматичного управління.

Проаналізовані різні типи САУ ГПА - САУ на базі програмно-технічного комплексу «Дельта-1» виробництва АТ «Хартрон», САУ ГПА-Ц-6,3 В, яка

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

відносяться до нового покоління систем автоматизації технологічних процесів на базі мікропроцесорних систем контролю та управління та ін..

Проаналізовано також сучасні системи віброконтролю ГПА та їх структура.

Проведений аналіз показав, що розглянуті системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА містять окремі давачі для фіксації технологічних параметрів його обладнання, а також вібраційних параметрів (вірошвидкість, вібропереміщення), проте не контролюються, зокрема віброакустичні параметри ГПА на основі аналізу яких можна оцінити технічний стан як окремих вузлів так і ГПА в цілому. Вказане призводить до зниження ефективності процесу компримування газу – передчасного зношування елементів і вузлів ГПА, перевитрати паливного газу і ін..

Виходячи з викладеного, актуальною задачею є розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА на основі використання новітніх апаратно-програмних засобів, зокрема для САУ ГПА. У зв'язку з цим в магістерській роботі планується:

- провести вибір і обґрунтування апаратно-програмних засобів системи контролю та управління технологічних параметрів ГПА та розробити функціональні схеми окремих його агрегатів з місцями встановлення давачів та засобів автоматики;

- обґрунтувати вибір апаратно-програмних засобів для вимірювання і обробки вібраційних процесів, генеруємих вузлами ГПА в процесі його експлуатації, що дозволить також здійснити діагностування їх технічного стану;

- провести вибір контролера і його конфігурації для системи контролю та управління ГПА;

- провести дослідження окремих режимів роботи розробленої системи шляхом їх моделювання.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

2. РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГПА

2.1 Вибір і обґрунтування давачів технологічних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА

Процес розробки окремих функціональних вузлів системи автоматичного контролю і управління ГПА включає:

- вивчення технологічного процесу компримування газу з використанням ГПА;
- визначення кількості технологічних параметрів (сигналів), які підлягають контролю і обробці;
- обґрунтування і вибір номенклатури давачів виходячи з точності управління процесом компримування газу;
- вибір апаратної частини верхнього рівня системи контролю і управління компресорним цехом;
- вибір програмного забезпечення системи контролю і управління компресорним цехом.

Сучасна побудова САК орієнтована на «інтелектуальні» давачі з уніфікованими вихідними сигналами (4-20 мА) та цифровими інтерфейсами (RS-485). До таких давачів відносяться:

1. Давачі температури: Термоперетворювачі опору платинові (ТСП) типу Метран-276; термоелектричні перетворювачі (ТХА, ТХК) для високих температур у камері згоряння.

2. Давачі тиску та перепаду тиску: П'єзорезистивні перетворювачі на основі кремнію на сапфірі типу Метран-150 та Сапфір-22, що мають високу стабільність та функцію самодіагностики.

3. Давачі вібрації та переміщення:

◦ П'єзоелектричні акселерометри (наприклад, серії MB-43, Bruel&Kjaer 4370/8307).

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

◦ Трикоординатні давачі вібрації (наприклад, ДВА-ИЗ) для комплексного контролю опор.

◦ Безконтактні вихрострумові давачі переміщення вала та осьового зсуву (серії ДП-И).

4. Давачі частоти обертання: Безконтактні індукційні (магнітоіндукційні) тахометри (типу ТЭ-Т-01/02), що працюють у парі з зубчастим колесом-міткою.

5. Спеціалізовані давачі: Ультрафіолетові та інфрачервоні детектори полум'я (наприклад, С7050 SPARK) для систем пожежогасіння; потокові хроматографи («Микрохром») для контролю складу газу.

При розробленні системи автоматичного контролю технологічних параметрів ГПА вибір комплексу засобів нижнього рівня було зроблено на користь продукції фірми "Emerson" [14] у зв'язку з тим, що:

- компанія "Emerson" протягом десятків років є однією з провідних фірм виробників, які поставляють свою продукцію газотранспортним підприємствам України;

- в Україні створено Представництво ТОВ «Емерсон» для надання оперативних вичерпних консультацій Замовникам щодо продукції "Emerson", проведення навчання спеціалістів сервісних та ремонтних організацій продукції «Емерсон», наданні послуг з шефмонтажу та налагодження складного обладнання;

- обрані давачі відповідають вимогам точності керування технологічним процесом;

Давачі «Емерсон» володіють наступними можливостями:

- контроль поточного значення вимірюваного тиску;
- контроль та налаштування параметрів датчика;
- вибір системи та налаштування одиниць вимірювання;
- налаштування часу усереднення вихідного сигналу (демпфування);
- переналаштування діапазонів вимірювання, у тому числі на нестандартний (25:1, 16:1, 10:1) та налаштування на "зміщений" діапазон вимірювання;

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- вибір залежності вихідного сигналу від вхідної величини (лінійно-зростаюча, лінійно-зменшувальна, пропорційна кореню квадратного перепаду тиску);

- калібрування давача;

Давач Метран-100, який поставляється ТОВ "УКРПРОМЦЕНТР ЛТД" [15] такі можливості:

- безперервна самодіагностика;

- тестування та керування параметрами датчика на відстані;

- захист налаштувань від несанкціонованого доступу;

- безперервна самодіагностика забезпечує контроль роботи датчика та формує повідомлення про несправності;

- додаткова температурна похибка – від $\pm 0,09\%$ на 10°C ;

- оснащений вбудованим фільтром радіоперешкод;

- встановлення «нуля» датчика здійснюється простим натисканням зовнішньої кнопки без розгерметизації корпусу електронного перетворювача та без порушення вимог вибухозахисту. Це особливо важливо для датчиків, що використовуються мною у вибухозахищеному виконанні, т.к. немає необхідності демонтажу та винесення датчика з вибухонебезпечної зони.

Принцип дії датчиків заснований на використанні п'єзорезистивного ефекту в гетероепітаксильній плівці кремнію, вирощеної на поверхні монокристалічної пластини зі штучного сапфіру. Чутливий елемент із монокристалічною структурою кремнію на сапфірі є основою всіх сенсорних блоків датчиків сімейства «Метран».

При деформації чутливого елемента під впливом вхідної вимірюваної величини (наприклад, тиску або різниці тисків) змінюється електричний опір крем'яних п'єзорезисторів мостової схеми на поверхні цього чутливого елемента.

Електронний пристрій датчика перетворює зміну електричних опорів стандартний аналоговий сигнал постійного струму і/або цифровий сигнал у стандарті HART, або цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS485.

					<i>KPM.AKCM - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Термоперетворювачі мікропроцесорні ТХАУ Метран-271 МП Ех, ТСПУ Метран-276 МП Ех [16] призначені для безперервного перетворення температури в уніфікований вихідний сигнал постійного струму - 4-20 мА, вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ, по відношенню до яких матеріал захисної арматури. Чутливий елемент первинного перетворювача та вбудований в головку датчика мікропроцесорний перетворювач перетворює вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, що дає можливість побудови АСУТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів.

Переваги мікропроцесорного перетворювача:

- підвищення надійності вимірювальної системи як результат самодіагностики;
- підвищена точність вимірів $\pm 0,15\%$;
- вбудоване самокалібрування (при кожній зміні температури аналого-цифрова вимірювальна схема автоматично самокалібрується, порівнюючи динамічні результати вимірювання з надзвичайно стабільними та точними внутрішніми еталонними елементами);
- детектування обриву або короткого замикання первинного перетворювача;
- можливість переналаштування номінальної статичної характеристики у разі заміни чутливого елемента на інший тип (14 типів);
- мінімізація похибки роботи мікропроцесорного перетворювача за рахунок температурної компенсації. Додаткова похибка від впливу температури навколишнього середовища в 5...10 разів менша, ніж у аналогових перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом (кожен електронний перетворювач випробовується в діапазоні температур від - 40 до +70°C. Отримані дані записуються в пам'ять перетворювача для коригування в реальних умовах. Кожен електронний перетворювач має вбудований термоперетворювач опору.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- сигналізація виходу сигналу 4-20 мА за межі допустимого діапазону в процесі налаштування та пусконаладжувальних робіт та можливість інверсного виходу 20-4 мА;

- лінеаризація мікропроцесором номінальної статичної характеристики первинного перетворювача температури для підвищення точності;

- можливість переналаштування діапазону перетворюваних температур та як результат скорочення витрат у 5-7 разів на утримання парку запасних датчиків температури;

- вбудований фільтр радіоперешкод.

Сигналізатор СТМ-10 призначений для автоматичного безперервного контролю вибухонебезпечних концентрацій багатокомпонентних повітряних сумішей горючих газів і парів. Область застосування: у процесі видобутку, переробки, транспортування газу, нафти та нафтопродуктів та ін. галузях промисловості.

Принцип роботи – термохімічний. Режим роботи – безперервний. Технічні характеристики представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики давача СТМ-10 [15].

Характеристики	Значення	Примітка
Діапазон вимірювання,% НКПР	0 - 50	за метаном
Діапазон сигнальних концентрацій,% НКПР	5 – 50	
Стандартне встановлення порогів,% НКПР	1-й/2-й 7 / 12	пороги регульовані
Основна абсолютна похибка,% НКПР не більше: - для вимірювання - для спрацьовування сигналізації	за метаном	± 5 ± 1
Час спрацювання сигналізації, с, не більше	10	
Час прогріву, мін, не більше	5	

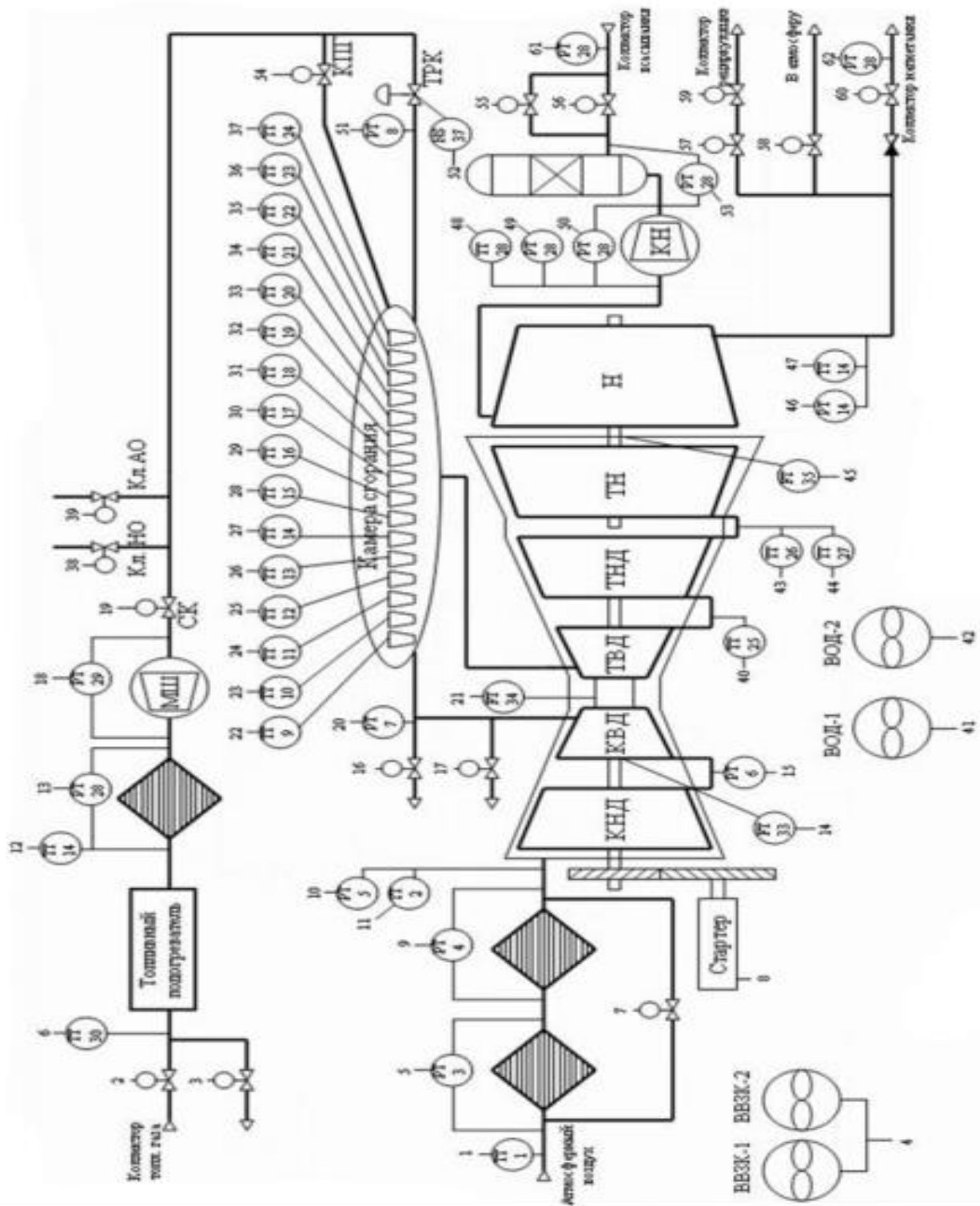
Спрацювання «сухих» контактів реле при спрацюванні сигналізації: - попередній - аварійна - несправності	1 група 2 групи 2 групи	на кожному каналі на кожному каналі на блоці живлення
Вихідний уніфікований сигнал	0 - 1V	4-20 мА на замовлення
Температура навколишнього середовища, °С: - для блоку живлення та сигналізації - для датчика - ля блоку датчика	0 - +50 -45 - +50 -60 - +50 0 - +50	
Лінія зв'язку; - переріз жили, мм ² , не менше - опір жили, Ом, не більше	1,5 10	для зв'язку датчиків з блоком живлення
Кількість провідників лінії зв'язку	4	
Живлення, В: - змінна - резервний постійний	220 24	для модифікацій
Термін служби, років, не менше	10	

Сигналізатори мають світлову сигналізацію на лицьовій панелі кожного каналу при досягненні порогових концентрацій горючих газів або несправності датчика [8].

На рис. 2.1а,б наведені окремі схеми ГПА з місцями встановлення КВПіА.

В додатку А подана специфікація контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації об'єктів, приведених на рис. 2.1

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



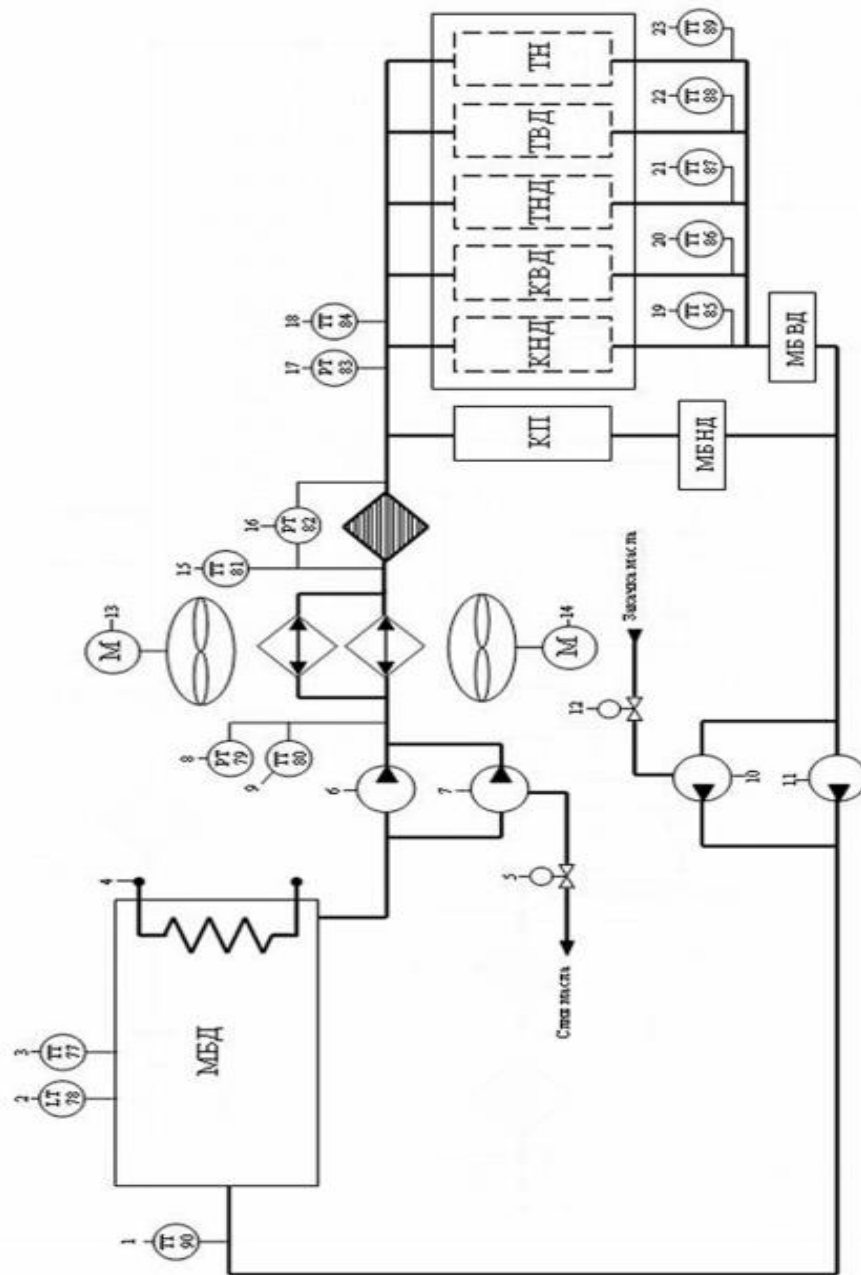
а

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

58



б

Рисунок 2.1 – Функціональні схеми ГПА з його об'язкою на рівні компресорного цеху з місцями встановлення давачів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

59

2.2 Давачі віброакустичних параметрів системи автоматизованого контролю ГПА.

Давачі вібрації, якими оснащені ГПА, складають основу систем віброакустичної діагностики ГПА. Розробленням таких систем займаються вчені і конструктори України (ІФНТУНГ, УкрНДТГаз, іпМаш НАН України та ін.).

Під оснащенням ГПА розуміється не лише вібродавачі і вторинні прилади для вимірювання вібродіагностичних його параметрів, але також і вибір місця встановлення вібродавачів та спосіб їх кріплення. Зупинимося спочатку на цих загальних рисах.

Тип застосування вібродавачів також як і місце їхнього встановлення та спосіб кріплення визначається параметрами, що визначені як діагностичні.

Вібродіагностичні контрольовані параметри на сучасному рівні розвитку вимірювальної техніки отримують, використовуючи сигнали:

- для параметрів абсолютної вібрації – від індукційних велосиметрів (давачі віброшвидкості) або п'єзоакселерометрів (давачі віброприскорення) із однократним або двократним інтегруванням;
- для параметрів відносної вібрації – від струмовихрових безконтактних перетворювачів відносного зміщення.

Конкурентноздатність названих давачів абсолютної вібрації визначається наступними основними їхніми властивостями:

Індукційні велосиметри. Переваги: висока вихідна потужність, вихідний сигнал пропорційний контролюючому у більшості випадків параметру, як наслідок цього проста схема вторинного приладу, низька поперечна чутливість. Недоліки: значні габарити і маса, низька перевантажувальна зданість, вузький температурний діапазон.

П'єзоакселерометри. Переваги: малі габарити, великий діапазон робочих температур, висока стабільність, велика перевантажувальна зданість. Недоліки: малопотужний сигнал, пропорційний прискоренню, потребує більш складної вторинної апаратури, відносно велика поперечна чутливість.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для використання у промислових умовах зарубіжні фірми випускають широкий спектр вимірювальних перетворювачів абсолютної вібрації: п'єзоакселерометри типів: 2273, 2276, 2285 (Endevco, США); 8308, 8310 (Bruel, Данія); КД (Otto Schön, ГДР) і т. д.; індукційні велосиметри: PMG (Reutlinger, ФРГ); 258, 260, 265 (PMC/Beta, США); T77 (Schenk, ФРГ); 544 (IRD Mechanalysis) і т. д.

Для безконтактних вимірювань відносного вібропереміщення використовуються інші типи давачів вібрації (наприклад, ємнісні, диференціально-трансформаторні), які не нашли застосування для розглянутого об'єкту.

Струмовихрові вібродавачі працюють без зношення, при правильному розташуванні їх покази не залежать від швидкості обертання валу і властивостей середовища між давачем і валом, володіють широким частотним діапазоном.

Струмовихрові вібродавачі використовуються сумісно із генераторами – демодуляторами (так званими проксмітерами), які забезпечують живлення вібродавача і перетворення сигналу із нього. Напруга живлення проксмітерів всіх фірм має нормалізовану величину 12 і 24 В і відповідну їм нормалізовану чутливість 4 і 8 мВ/мкм. Струмовихрові вібродавачі випускаються фірмами: Bently Nevada (США) – типів 190, 300; Beta/PMC (США) – 570х; Schtnk (ФРГ) – SD-05112/3; Reutlinger (ФРГ) – WSG.

2.2.1 Розміщення вібродавачів на об'єкті контролю. Загальні вимоги.

Місце для встановлення вібродавачів вибирається у безпосередній близькості від діагностичних елементів машини. При вимірюванні параметрів абсолютної вібрації вібродавачі розташовуються на корпусі агрегату, редуктора і підшипника (у нижній частині корпусу) [17]. При контролі коливання фундаментів вібродавачі розташовуються на їхньому верхньому зрізі. Точки для періодичної перевірки рівнів вібрації визначають на основі результатів вимірювання вібрації вузлів агрегату у повному об'ємі, тобто у кожному вузлі на

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

всіх осях. Потім вибираються точки і осі вимірювання вібрації, в яких вони можуть досягти великих значень.

Кожна із вибраних точок періодичного вимірювання повинна бути чітко відмічена на агрегаті і зареєстрована у журналі. Така організація вимірювання дозволяє швидко і з достатньою достовірністю оцінити зміни абсолютної вібрації агрегата.

Існує ряд вимог до поверхні, на яку кріпляться вібродавачі. Поверхня контакту повинна бути рівною і добре обробленою. На криволінійних поверхнях можна проводити вимірювання за допомогою щупа при умові, що радіус кривизни поверхні більший за радіус наконечника щупа. Кріплення на грубо оброблених поверхнях можна здійснювати після їхньої обробки спеціальними шпаклівками або силіконовим маслом. Згідно VDJ 2056 маса встановлена на об'єкті вимірювального перетворювача абсолютної вібрації не повинна перевищувати 0,1 маси об'єкта вимірювання.

Розглянемо деякі способи закріплення давача абсолютної вібрації на об'єкті контролю.

1. Найбільш жорстке кріплення вимірювальних перетворювачів і висока границя частотної характеристики забезпечуються різьбовими з'єднаннями. Для вібродавачів масою 30 г вона рівна приблизно 10 кГц і змінюється пропорційно квадратному кореню із маси. При цьому необхідною умовою є досить висока чистота обробки поверхні об'єкту на місці встановлення. При недостатньо гладкій опорній поверхні рекомендується застосування силіконового змащування для вирівнювання поверхні і збільшення за рахунок щільності прилягання жорсткості кріплення. Спосіб має ряд недоліків:

- * необхідність спеціальної підготовки об'єкта до встановлення вимірювальних перетворювачів (обробка поверхні, свердління отвору і нарізування різьби для кріплення);

- * неможливість встановлення вимірювальних перетворювачів на криволінійних поверхнях;

- * тривалий час монтажу і демонтажу.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

2. Якщо між вібродавачем і об'єктом потрібна електроізоляція, вібродавач встановлюється за допомогою різьбових кріпильних з'єднань із непровідних матеріалів і ізолюючої слюдяної шайби. Подібний спосіб встановлення вібродавача використовується і на об'єктах із високою температурою поверхні. Загальні вимоги до ізолюючих елементів – можливо мала їх товщина, максимальна жорсткість і висока чистота поверхні. При використанні однакових ВД при даному способі кріплення верхня границя частотного діапазону знижується у порівнянні із вище описаною у 2 рази.

3. Оперативним способом кріплення вібродавачі є використання постійного магніту. Необхідно використовувати магніт із замкнутим магнітним контуром. Жорсткість кріплення залежить від номінальної сили притягання (“потужності”) магніта, величини зазору між магнітом і поверхнею об'єкта, товщини стінок об'єкта.

Висока температура поверхні об'єкта вимірювання потребує (при тривалих вимірюваннях) встановлення під давач термоізолюючої прокладки, яка змінює величину зазору, а отже, послаблює силу притягання магніту. Такий спосіб встановлення забезпечує, як правило, верхню границю частотної характеристики, приблизно у 5 разів нижчою, ніж перша із описаних способів. Цей спосіб звичайно не застосовується при великих прискореннях вимірювального об'єкта (порядку 2000 м/с^2) і температурах поверхні ($\sim 150^\circ\text{C}$).

4. Кріплення вібродавача за допомогою клеючих і цементуючих речовин забезпечують високу верхню границю частотного діапазону (аналогічна різьбовому способу), якщо використовуються достатньо жорсткі речовини (цемент, віск). Не рекомендується використання м'яких клеїв, смол. Недоліком способу є зміна жорсткості при зміні температури поверхні об'єкта вимірювання.

Встановлення давача відносної вібрації валів також супроводжується рядом регламентуючих вказівок. Пропонується використання двох вимірювальних перетворювачів, встановлені під кутом 90° один до одного на кожну площину

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

перерізу вала, у якій проводиться вимірювання, оцінка і контроль відносної вібрації. Площини вимірювання повинні проходити через підшипники або близько від них. Однак, просторова орієнтація ВД в цих площинах відрізняється (рис. 2.2).

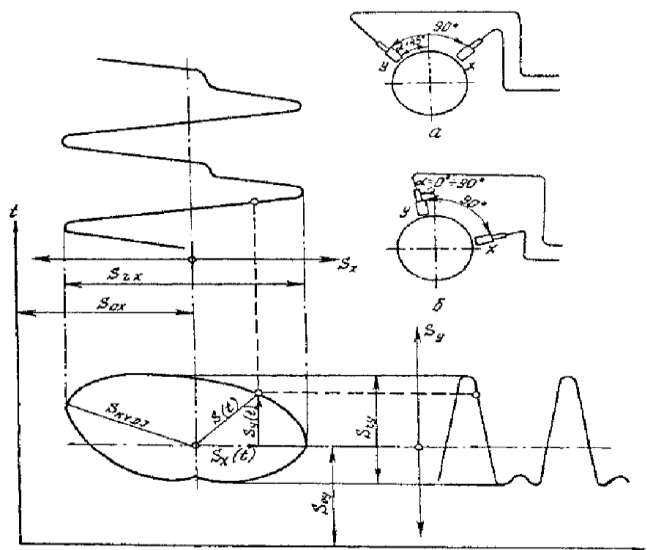


Рисунок 2.2 – Розміщення вібродавача та контрольовані величини відносних вібрацій валів:

а) встановлення по API-670; б) встановлення по VDI-2059/1

Згідно стандарту API – 670 [18] вимірювальні перетворювачі повинні встановлюватися під кутом 45° до вертикалі. Рекомендації VDI 2059/1 дозволяють будь-яку просторову орієнтацію ВД. Відмінність у встановленні визначається відмінністю у способах одержання контрольованої величини.

Контрольованою величиною за API – 670 – $S_{K\ API}$ є максимальний розмах вібропереміщення ротора із реєструючими двома вимірювальними перетворювачами, встановлених вказаним способом (див. рис. 1.4, а).

$$S_{K\ API} = S_r = \max(S_{rx}, S_{ry}).$$

Контрольованою величиною за VDI 2059/1 – $S_{K\ VDI}$ є максимальне відхилення валу від положення рівноваги, розраховується за результатами реєстрації сигналів від двох ВП, встановлених під кутом 90° (див. рис. 2.2, б).

						КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			64

$$S_{KVDJ} = S_p = \max \sqrt{S_x^2(t) + S_y^2(t)}.$$

Контроль вібропереміщення за VDJ звичайно є більш точним, так як при цьому методі прослідковується максимум вібропереміщення у будь-якому напрямку площини XOY. При контролі за методом APJ принципово можлива помилка до 30% при максимальному відхиленні (до 45°) осі найбільшої вібрації ротора від осі орієнтації вимірювального перетворювача. Ця помилка досягається при допущенні, що вібрація ротора відбувається тільки по одній осі, що практично малоімовірно.

При такій орієнтації вібрації може також виникати похибка через кривизну поверхні. Ця складова похибки стає важливою (приблизно 1%) при відношенні розмаху вібрації до діаметру валу (приблизно 0,05). Орієнтація максимальної вібрації роторів у горизонтальному і вертикальному напрямку і, отже, вказаний максимум помилки зустрічається дуже рідко. Апаратурне оснащення при контролі за методом APJ в загальному простіше, так як не вимагає додаткового перетворення вимірювальних величин.

Безконтактні вібродавачі завжди встановлюються у спеціальних отворах із різьбою в корпусі машини або у кришці підшипника. У деяких випадках виробники машин передбачають отвори і задають технічні умови для встановлення безконтактних вимірювальних перетворювачів.

2.3 SM1281 Condition Monitoring – вібраційний модуль - як основа підсистеми вібраційного контролю ГПА

Вібраційний модуль SM1281 з комплектом акселерометрів (промисловий стандарт для акселерометрів IEPE – Integrated Electronics Piezo-Electric) є новітньою розробкою концерну Siemens і може використовуватися в якості системи автономного моніторингу при експериментальних дослідженнях вібраційного стану ГПА [19].

Модуль має чотири сенсорних канали VIB для моніторингу сигналу вібрації та один цифровий вхід для вимірювання віброшвидкості.

					KPM.AKSm - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

П'єзоелектричні давачі прискорення використовуються для частот і смуг частот, які будуть покриті для моніторингу вібрації з SM 1281. Ці давачі генерують аналоговий сигнал напруги, який може бути використаний в подальшій обробці відповідно до записаного вібраційного сигналу. Промисловий стандарт для п'єзоелектричних давачів є IEPЕ (Integrated Electronics Piezo-Electric) - Інтегрована П'єзоелектрична Електроніка).

На рис. 2.3 показаний приклад вібродавача з типовою частотною характеристикою.

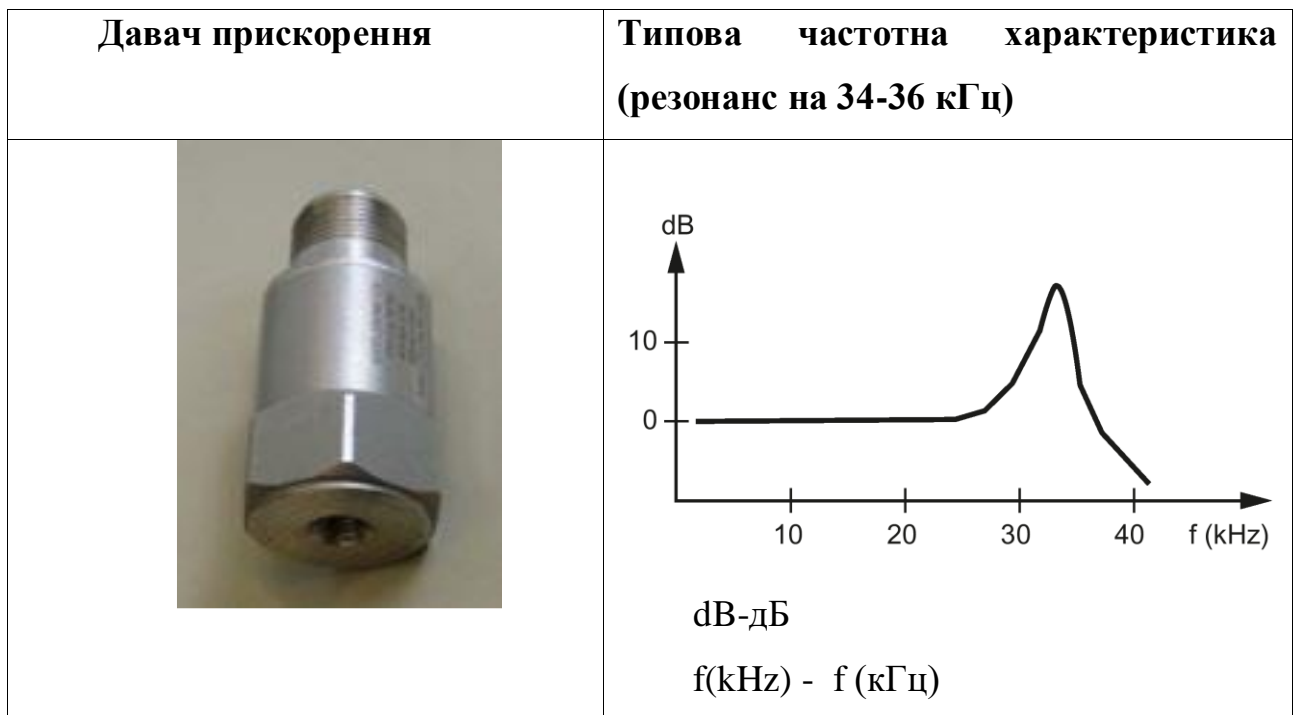


Рисунок 2.3 - Приклад вібродавача з типовою частотною характеристикою..

В табл. 2.2 наведені характеристики SM 1281, які можна використати при оцінці стану машини по силі вібрації (RMS-середньоквадратичне значення)

Таблиця 2.2 Характеристики SM 1281

Характерне значення	Діапазон частот	Перевіряємо
vRMS Середньоквадратичне значення - швидкість	Від 2 / 10 Гц до 1 кГц ¹	Пошкодження залежне від швидкості
aRMS - Середньоквадратичне прискорення	>1 кГц	Пошкодження залежне від підшипника

У смузі частоти коливань від 2 Гц / 10 Гц до 1 кГц, значення інтервалу RMS віброшвидкості є найбільш значущою величиною для аналізу. Типове порушення вібрації машини при частоті обертання відбувається в цьому діапазоні частот.

Розрахунок/ Визначення RMS (середньоквадратичного значення). Значення інтервалу RMS швидкості вібрації є широкосмугове значення вібрації. Воно розраховується як середнє арифметичне всіх подій вібрації в певній смузі частот (наприклад, від 10 Гц до 1 кГц для середньоквадратичної віброшвидкості).

В таблиці 2.3 наведена характеристика модуля SM 1281 по спектру віброшвидкості

Таблиця 2.3 Характеристики SM 1281

Спектр	Діапазон частот	Розширення	Перевіряємо
Віброшвидкість	Від 2 Гц до 1 кГц Від 2 Гц до 2 кГц	0.204 Гц 0.4Гц	Будь-яка комбінація функцій контролю залежна від швидкості і незалежна від швидкості

Залежно від поточної швидкості або моніторингу, які будуть проводитися, модуль SM 1281 автоматично використовує відповідний частотний діапазон.

На рис.2.4 показаний діапазон частот спектра для віброприскорення від 2Гц до 10 кГц і декілька прикладів помилок з їх характерними частотами, які можуть бути знайдені і виявлені.

Поєднавши різні методи контролю (залежні від швидкості/незалежні від швидкості) одного спектра було отримано єдину межу діапазону для попередження і аварійної ситуації. Значення амплітуди спектра випробовувалися безперервно на граничному діапазоні (рис. 2.5)

					KPM.AKSM - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

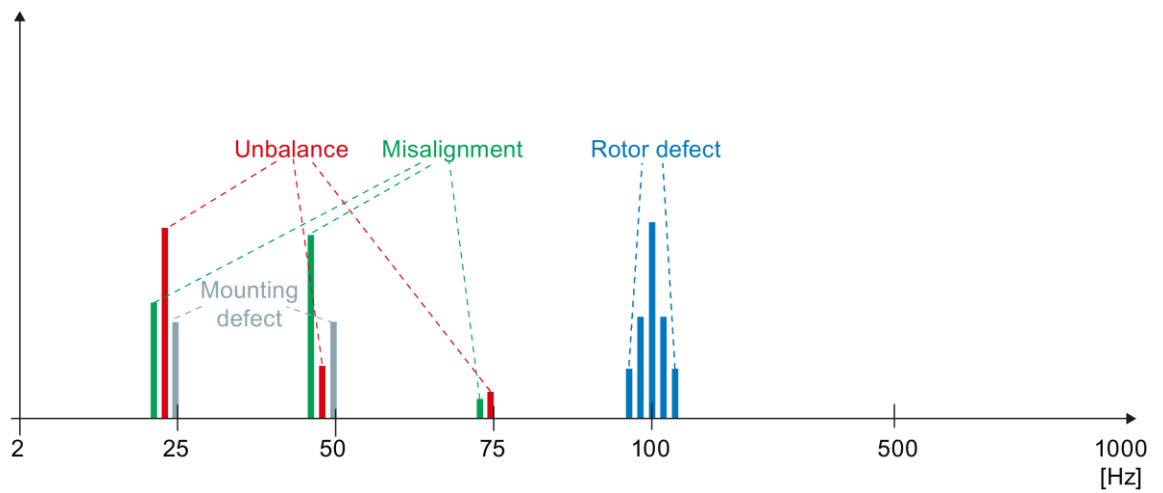


Рисунок 2.4 - Повний спектр віброприскорення

де - Mounting defect – дефект монтажу; Unbalance – незбалансованість; Misalignment – роз регулювання; Rotor defect – дефект ротора.

Spectrum limit

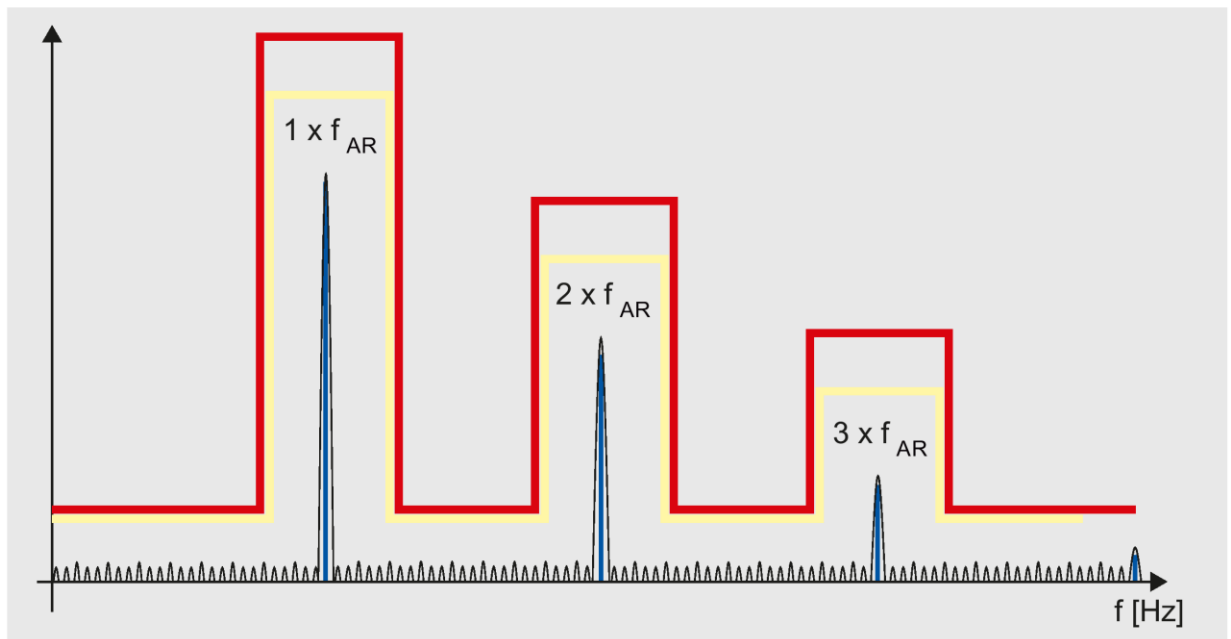


Рисунок 2.5 - Діапазон граничного спектра, що залежить від швидкості

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.4 Розроблення підсистеми контролю вібраційного стану ГПА

Враховуючи, що SM 1281 являє собою модуль для використання в поєднанні з системою автоматизації SIMATIC S7-1200, він може служити основою підсистеми контролю вібраційного стану ГПА [20,21,22].

Апаратна конфігурація системи контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM1281 наведена на рис. 2.6.

Система включає:

1. SM1281 Condition Monitoring – вібраційний модуль для вимірювання параметрів вібрації.

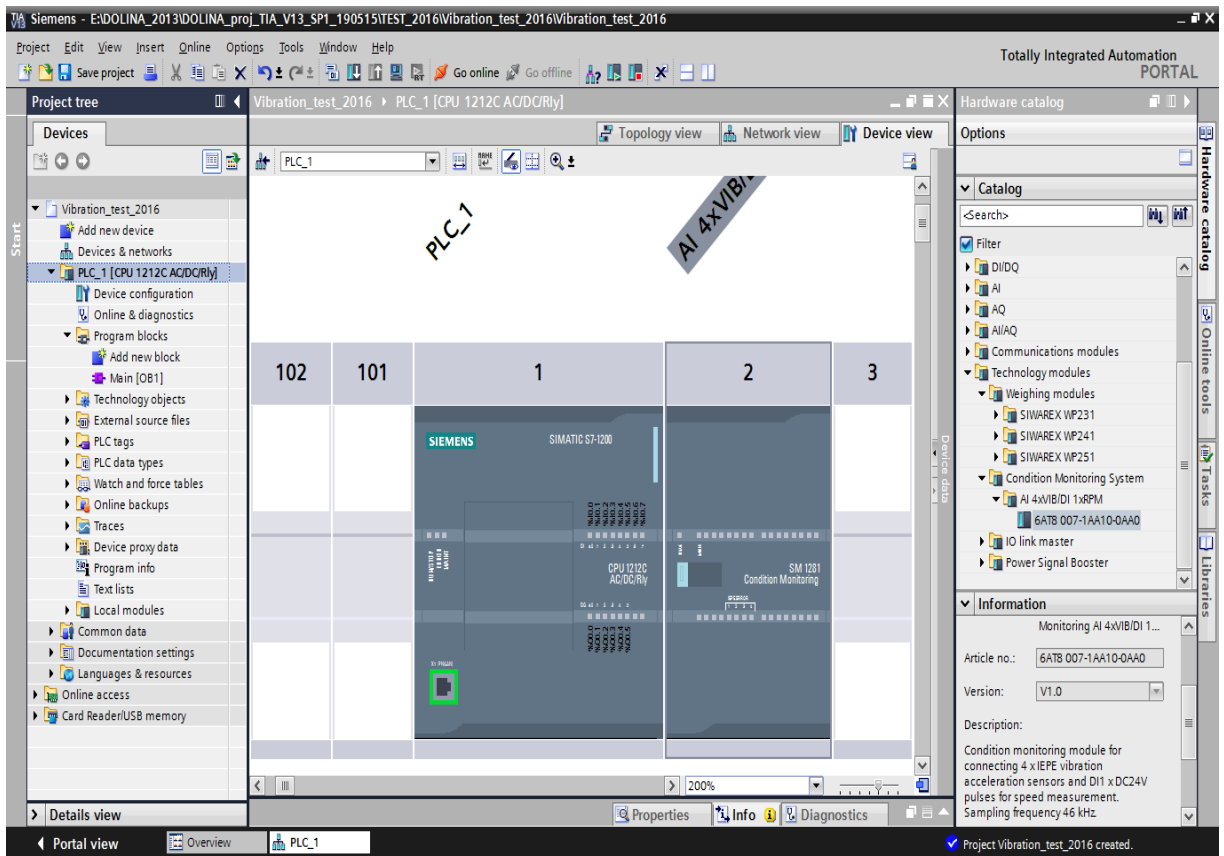


Рисунок 2.6 – Апаратна конфігурація системи контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM1281

2. PLC Simatic S7-1200 (CPU 1212C AC/DC/Rly) – програмований логічний контролер.

3. Середовище проектування TIA Portal V13SP1 (Totally Integration

					KPM.AKCM - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Automation) «Siemens».

Для забезпечення отримання вібраційних сигналів з лопатевого апарату ГПА додатково можуть використовуватися ще два акселерометра типу AP21 (фірма ОКТАВА+ Company). При цьому штатні давачі вібраційного модуля SM 1281 задіяні для безперервного вимірювання вібрації ВНА, компресорів низького (КНТ) і високого тиску (КВТ) та силової турбіни нагнітача ТН, а два акселерометри типу AP21 через мультиплексор – для вимірювання вібрації турбін низького (ТНТ) і високого тиску (ТВТ).

Модуль SM 1281 (рис.2.7) містить у собі з'єднання Ethernet (1), з'єднання (2) і (5) для чотирьох вібродавачів ІЕРЕ, підключення до внутрішньої інформаційної шини "downstream" (3), монтажний слайдер (4), монтажний слайдер для з'єднання шини "upstream" (6), світлодіоди DIAG (червоний) та MON (зелений) (7), світлодіоди стану відповідних каналів ІЕРЕ (8), вхід живлення 24 В постійного струму (9).

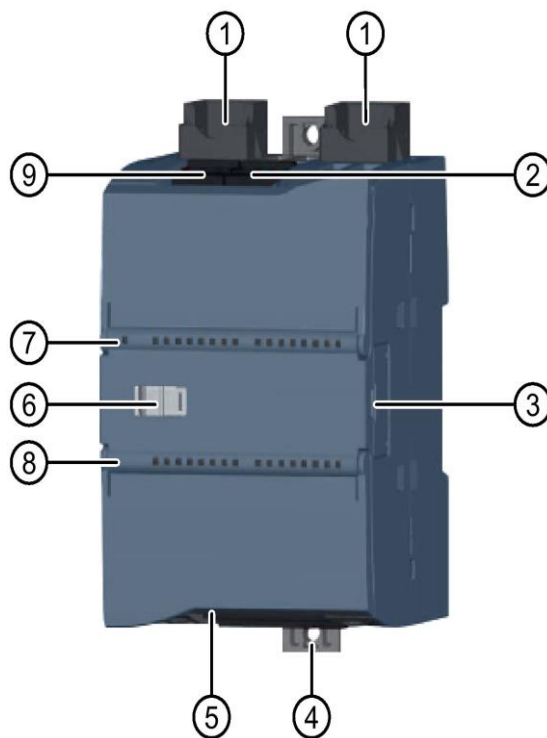


Рисунок 2.7 - Структура вібраційного модуля SM1281

Структура параметрування вібраційного модуля SM1281 наведена на рис. 2.8.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

2.5 Результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА

З метою дослідження розробленої системи було здійснено ряд записів вібросигналів з давачів в різних режимах роботи ГПА відповідно до затвердженої програми.

Крім нормального режиму з варіацією в сторону збільшення та зменшення частоти обертання валу турбіни ГПА було здійснено запис режиму роботи з підвищеним навантаженням на ГПА штучно створеним закриттям байпасного крана, режиму роботи при виникненні явища помпажу та режиму зупинки агрегату.

Особливу увагу було приділено оцінці стану першого та другого опорних підшипників, оскільки від їх технічного стану залежить нормальна робота агрегату.

Під час аналізу побудованих спектрів було взято до уваги значення:

– синхронних гармонік спектру (а саме першої гармоніки, яка вказує найперше на небаланс обертових мас різної природи, другої, що вказує на якість центровки агрегатів, кріплення фундаменту, 3÷8 різні механічні дефекти, >10 – тертя в ущільненнях).

– субгармонік (1/N) – ослаблення натягу і посадки деталей. Із них особливу увагу було звернуто на $\frac{1}{2}$ гармоніку – так звану масляну гармоніку.

– дробових гармонік (2/5, 3/4) – які, як правило, вказують на зачіпання, ослаблення, обкатування, тощо.

Під час аналізу побудованих спектрів було відзначено зростання високочастотної складової та 3, 5 ,7 гармонік гармоніки на контрольній точці №1 (рис. 2.10) , що обумовлене підвищенням навантаження на ГПА.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

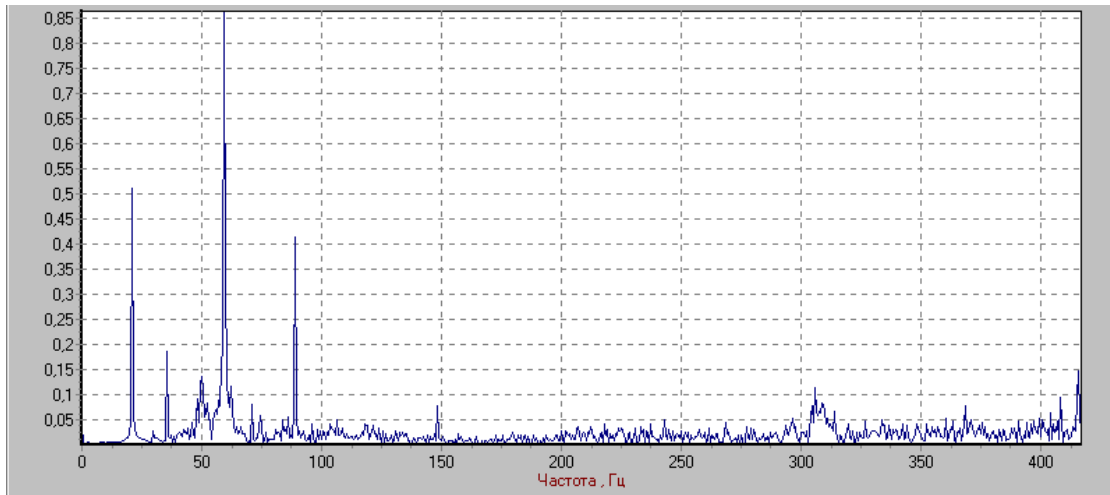


Рисунок 2.10 – Контрольна точка №1 (перший етап)

Гармоніка:	Частота:	Амплітуда:
1/4	14.638 Гц	0.0052 мм/с
1/3	19.518 Гц	0.0249 мм/с
2/5	23.787 Гц	0.5136 мм/с
1/2	29.886 Гц	0.0298 мм/с
1	59.163 Гц	0.8630 мм/с
2	118.325 Гц	0.0395 мм/с
3	177.488 Гц	0.0118 мм/с
4	236.651 Гц	0.0017 мм/с

Аналізуючи нормальний режим роботи ГПА за записами одержаними на наступний день після початку проведення експериментів було відмічено ріст $\frac{2}{5}$ дробової гармоніки на підшипнику (рис. 2.11) її рівень зріс до значення 0,7278 в той же час рівень основної першої гармоніки зріс до 1,4370 мм/с .

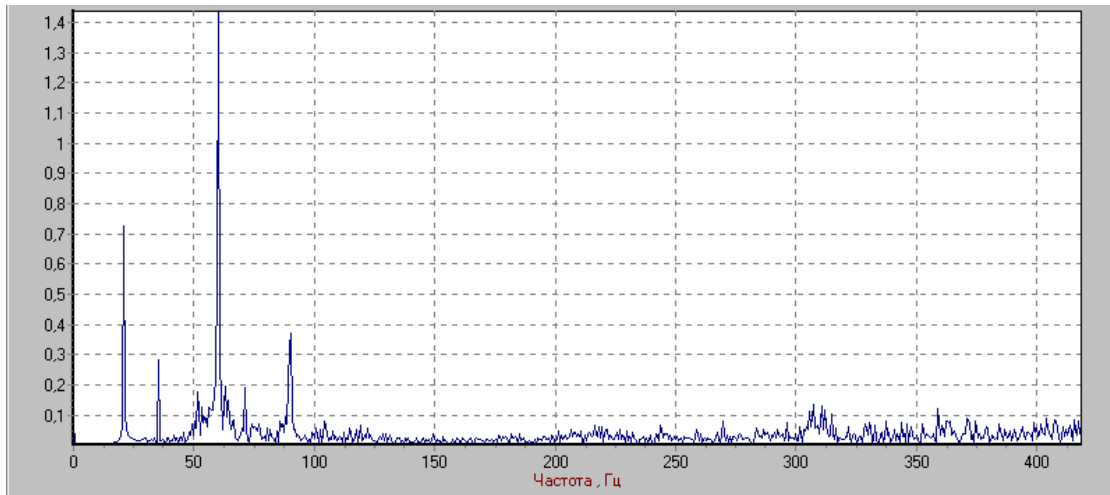


Рисунок 2.11 – Контрольна точка №1 (другий етап)

Гармоніка:	Частота:	Амплітуда:
1/4	14.701 Гц	0.0053 мм/с
1/3	20.214 Гц	0.0707 мм/с
2/5	23.889 Гц	0.7278 мм/с
1/2	30.015 Гц	0.0248 мм/с
1	60.030 Гц	1.4370 мм/с
2	120.060 Гц	0.0159 мм/с
3	180.089 Гц	0.0238 мм/с
4	240.119 Гц	0.0032 мм/с

Через три дні після переведу агрегату в інтенсивніший режим роботи (рис.2.12) виявлено зростання на спектрі 5 цілої гармоніки для 1-го підшипника до значення 0.7293, що супроводжувалось дещо підвищеним рівнем вібрації – так рівень вібрації на основній гармоніці зріс до 1.9440 мм/с, слід також відмітити що майже зникла вібрація на дробовій $\frac{2}{5}$ гармоніці – натомість чітко виділилась $\frac{1}{2}$ гармоніка, рівень вібрації на якій становив 1.2768 мм/с.

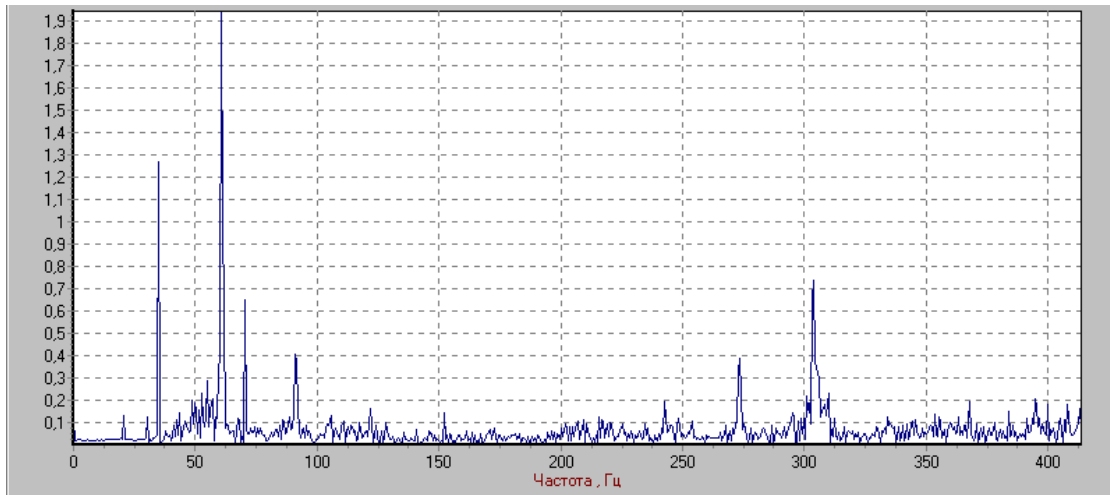


Рисунок 2.12 – Контрольна точка №1 (третій етап)

Гармоніка:	Частота:	Амплітуда:
1/4	15.140 Гц	0.0249 мм/с
1/3	19.984 Гц	0.0285 мм/с
2/5	24.224 Гц	0.0261 мм/с
1/2	30.280 Гц	1.2768 мм/с
1	60.559 Гц	1.9440 мм/с
2	121.118 Гц	0.0949 мм/с
3	181.677 Гц	0.1293 мм/с
4	242.236 Гц	0.0595 мм/с

Отримані результати свідчать про ефективність роботи системи контролю вібраційного стану ГПА

2.6 Склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА.

Програмно-технічні засоби комплексу для моделювання (далі по тексту – комплекс) САК ГПА призначені для навчання з системою контролю та управління ГПА ГТК-10-4.

Комплекс здійснює автоматичне керування ВМ ГПА в режимах холодної прокрутки, автоматичного пуску, нормальної, аварійної та екстреної аварійної зупинки. У комплексі передбачено дистанційне керування ВМ та допоміжним обладнанням ГПА за командами оператора.

2.7 Призначення програмного забезпечення моделюючого комплексу

Пульт оператора призначений для:

- вибору режимів роботи та оперативного керування ГПА;
- дистанційного керування кранами та допоміжними електромеханізмами ГПА з подачею команд від функціональної клавіатури;
- реєстрації та збереження повного обсягу поточної, ретроспективної, звітної та довідкової інформації від працюючого ГПА;
- відображення всіх видів інформації на кольоровому графічному відеодисплеї у зручній для сприйняття, стандартній формі (мнемосхем, діаграм та таблиць);
- відображення основної режимної та технологічної сигналізації, а також інформації від працюючого ГПА на світлових засобах та індикаторах;
- друку звітних документів.

До складу ПО входить таке обладнання (рис. 2.14):

- ППК ;
- табло індикації режиму роботи агрегату;
- цифрові табло індикації аналогових параметрів (5 шт.);
- блок безперебійного живлення (ББЖ);
- ПЛК фірми GE Fanuc Series 90-30 на 5 місць - ПЛК (5 місць);
- кнопки керування, елементи підключення;

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

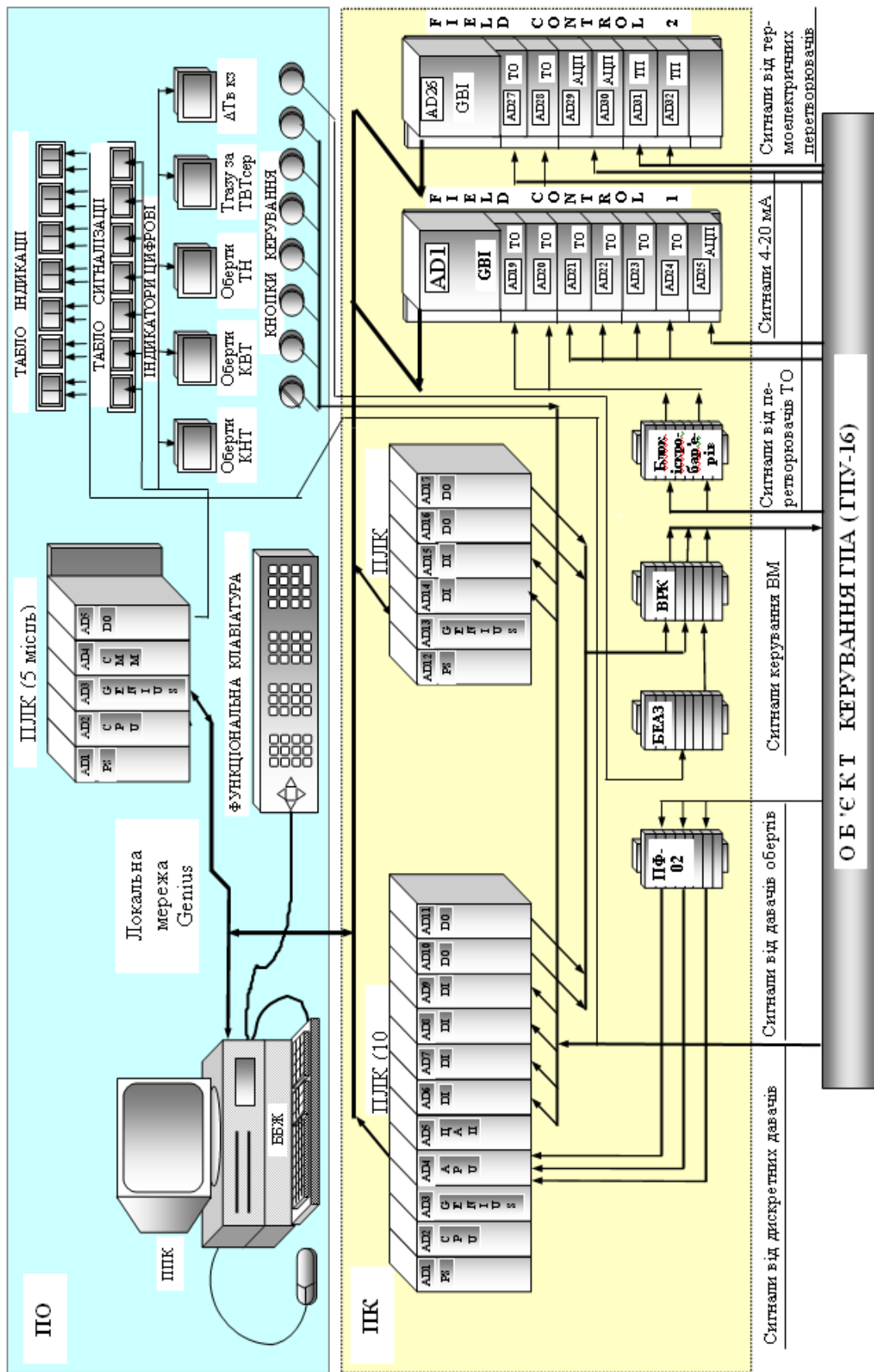


Рисунок 2.14 – Структурна схема моделюючого комплексу (пристрою оператора)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

- реле контролю напруги живлення, автоматичний вимикач.

До складу ППК входять:

- кольоровий монітор з 17" екраном;
- системний блок;
- висувна клавіатура;
- панель з функціональною клавіатурою;
- маніпулятор типу "мишка".

До складу ПЛК входять:

- каркас IC693CHS397;
- модуль живлення U ~220 В(PS) IC693PWR321;
- модуль процесора IC693 CPU374;
- модуль шини Genius IC693 BEM331;
- модуль вих. дискр. сигналів (DO) на 32 канали IC693MDL753;
- модуль комунікаційний IC693CMM311.

ПК-А призначений для:

- отримання, перетворення та порівняння вхідних сигналів;
- обробки інформації, реалізації алгоритмів керування ГПА в усіх режимах його роботи;
- формування, підсилення та видачі вих. сигналів керування ВМ ГПА;
- місцевого оперативного подання команд на аварійну зупинку ГПА;
- зв'язку з ПО.

До складу ПК-А входить таке обладнання:

- два ПЛК фірми GE Fanuc Series 90-30 на 10 місць – ПЛК 1, ПЛК 2;
- периферійний блоки введення-виведення Field Control 1 (БВВ1);
- блоки живлення та перетворювачі напруги;
- блок екстреної аварійної зупинки (БЕАЗ) ;
- вихідні реле клемні (ВРК);
- реле контролю напруг живлення, автоматичні вимикачі;
- елементи комутації та підключення.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу ПЛК 1 (10 місць) входять:

- каркас IC693CHS391;
- модуль живлення U 24 В(PS) IC693PWR331;
- модуль процесора (CPU) IC693CPU374;
- два модулі шини Genius IC693 BEM331;
- модуль АЦП IC693 ALG221;
- модуль ЦАП IC693 ALG391;
- три модулі вх. дискр. сигналів (DI) на 32 канали IC693MDL655;
- два модулі вих. дискр. сигналів (DO) на 32 канали IC693MDL753.

До складу ПЛК 2 (10 місць) входять:

- каркас IC693CHS391;
- модуль живлення U 24 В(PS) IC693PWR331;
- модуль процесора (CPU IC693CPU360;
- модуль шини Genius IC693 BEM331;
- чотири модулі вх. дискр. сигналів (DI) на 32 канали ...IC693MDL655;
- два модулі вих. дискр. сигналів (DO) на 32 канали IC693MDL753.

До складу периферійного БВВ 1 входять:

- модуль шини Genius(GBI IC670GBI002;.
- три субблоки клемні IC670CHS001;
- модуль АЦП на 16 каналів IC670ALG240;
- п'ять модулів вимірювання сигналів термоперетворювачів опорів (ТО)

на 4 канали кожний IC670ALG620;

ПК-Б призначений для:

- отримання та перетворення вхідних сигналів;
- зв'язку з ПК-А.

До складу ПК-Б входить таке обладнання:

- два периферійні блоки вводу-виводу Field Control 2,3 (БВВ2, БВВ3);
- блоки живлення та перетворювачі напруги;
- реле контролю напруг живлення, автоматичні вимикачі;

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- елементи комутації та підключення.

До складу периферійних БВВ 2, БВВ 3 входять:

- два модулі шини Genius(GBI) IC670GBI002;
- три субблоків клемних IC670CHS001;
- субблок клемний IC670CHS003;
- субблок клемний термокомпенсації IC670CHS004;
- два модулі АЦП на 16 каналів IC670ALG240;
- три модулі вимірювання сигналів термоперетворювачів опорів (ТО) на 4 канали кожний IC670ALG620;
- три модулі вимірювання сигналів термоелектричних перетворювачів (ТП) на 8 каналів кожний IC670ALG630.

2.8 Відслідковування ходу технологічного процесу ГПА з використанням комплексу

За допомогою програмного забезпечення обслуговуючий персонал має можливість відслідковувати хід технологічного процесу ГПА в реальному масштабі часу. Хід технологічного процесу відображається на екрані монітору ППК у вигляді вікон. Система вікон створена в графічному середовищі Windows XP Professional за допомогою програмного пакету SIMPLICITY HMI 6.0.

У вікнах на екрані монітору ППК відображається інформація про:

- стан підготовки агрегату до пуску;
- перевірку аварійних захистів;
- попереджувальну сигналізацію;
- процес пуску;
- вихід агрегату на кільце та магістраль;
- значення вимірювальних параметрів;
- нормальну та аварійну зупинки агрегату.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Для роботи оперативного персоналу з вікнами призначена функціональна клавіатура. За допомогою кнопок “F1...F24” викликаються різні вікна на екран монітору:

- “F1” – “Мнемосхема”;
- “F2” – “Готовність”;
- “F3” – “Параметри”;
- “F4” – “Т газу за ТВТ”;
- “F5” – “Пульт”;
- “F6” – “Управління вентиляторами”;
- “F7” – “Крани нагнітача”;
- “F8” – “Механізми турбіни”;
- “F9” – “Тренд”;
- “F10” – “Ретро”;
- “F11” – “Щоденник”;
- “F12” – “Регулятор”;
- “F13” ... “F24” – використовуються для виклику додаткових вікон.

Наприклад, з вікна “Регулятор”- “F12” за допомогою кнопок “F18”...“F20” викликаються такі вікна :

- “F18” – “Антипомпажний захист”;
- “F19” – “Інженерна панель”;
- “F20” – “Витрати паливного газу”;

За допомогою кнопок, які розташовані на дверях ПО (рис.2.14), виконується вибір таких режимів:

- керування ВМ (“Руч./Автом.”);
- збільшення або зменшення частоти обертання (“РО більше”, ”РО менше”);
- “Деблокування”;
- “Пуск”;
- “Нормальна зупинка”;

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

- аварійна зупинка зі стравлюванням газу (“Аварійна зупинка”);
- екстрена аварійна зупинка (“ЕАЗ”).

Структурна побудова вікон.

Використання вікон дає можливість отримання обслуговувальному персоналу компресорної станції інформації про хід технологічного процесу ГПА.

Вікно умовно поділено на п'ять зон відповідно до рис.2.15:

- перша зона: *Зона інформаційних повідомлень (1)*;
- друга зона: *Зона поточного стану техпроцесу (2)*;
- третя зона: *Зона етапу поточного стану техпроцесу (3)*;
- четверта зона: *Основна зона вікна (4)*;
- п'ята зона: *Зона вибору вікон (5)*.

Крім цього, у верхній частині вікна розміщена кнопка “Квіт”, яка призначена для квітування попереджувальної і аварійної інформації та зняття звукового сигналу.

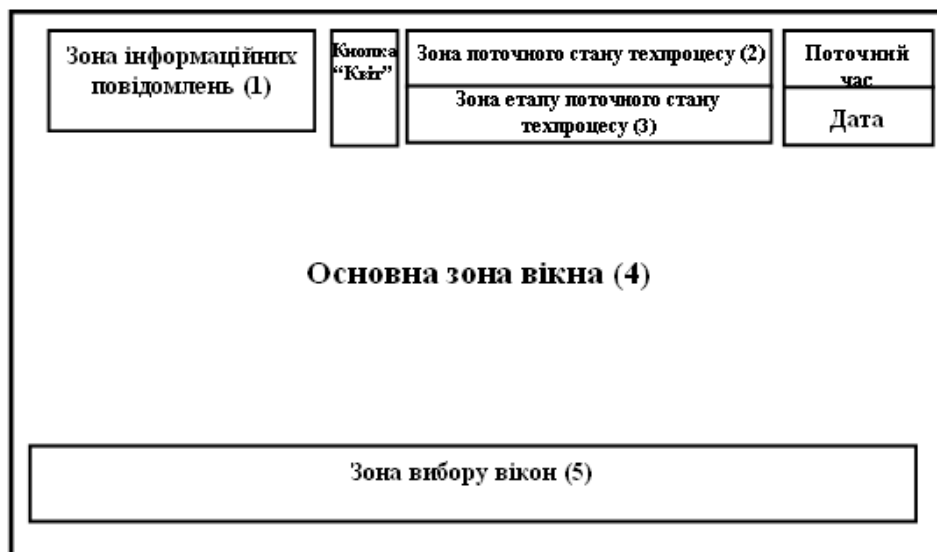


Рисунок 2.15 – Структурна побудова вікна для відображення інформації

Основна зона вікна (4)

В основній зоні вікна відображається інформація про:

- стан виконавчих механізмів та допоміжного обладнання ГПА,
- значення аналогових та дискретних параметрів технологічного процесу;

- тренди та ретроспективні значення аналогових параметрів;
- добові значення зміни технологічних параметрів та витрат масла нагнітача і двигуна протягом місяця;
- формування щоденників аварій, попереджень, подій, виконавчих механізмів та обривів;
- діагностику станів ПЛК.

Робота оператора з вікнами з керування та контролю здійснюється у реальному масштабі часу. У процесі використання зони не змінюються, за винятком вікон, інформація яких повністю займає екран монітора:

- “Добова відомість”;
- “Вхідні дискретні сигнали”;
- “Help”;
- “Графіки”;
- “Витрати масла”.

У зону інформаційних повідомлень (1) виводяться такі повідомлення:

- спрацювання першопричини аварійного захисту. Повідомлення про аварійну сигналізацію відображаються з позначкою "АС";
- спрацювання попереджувальної сигналізації. Повідомлення про попереджувальну сигналізацію відображаються з позначкою "ПС";
- про обриви кіл управління та несправність каналів аналогових давачів.

Ці повідомлення є попереджувальними і відображаються з позначкою "ПС".

Зона стану технологічного процесу має два окремих рядки:

- зону поточного стану техпроцесу (2);
- зону етапу поточного стану техпроцесу (3).

У зону поточного стану техпроцесу відповідно до програми логічного керування ГПА виводяться написи:

- “Агрегат у резерві”;
- “Автоматичний пуск”;
- “Автоматичний пуск без заповнення контура”;
- “Холодна прокрутка”;

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

- “Кільце”;
- “Магістраль”;
- “Нормальна зупинка”;
- “Обмежувальний захист”(ОЗ);
- “Аварійна зупинка”.

У зону етапу поточного стану техпроцесу відповідно до програми логічного керування ГПА виводяться написи:

- “Агрегат готовий до пуску” (стан передпускових умов ГПА відповідає готовності);
- “Агрегат готовий до ХП”(холодної прокрутки);
- “Агрегат готовий до КПК”(комплексної перевірки кранів);
- “Агрегат не готовий до пуску”(стан передпускових умов ГПА не відповідає готовності);
- “включення насосів” (1 етап);
- “заповнення контура нагнітача газом” (2 етап);
- “запуск двигуна” (3 етап);
- “Холостий хід” ;
- “Аварійна зупинка зі стравлюванням газу”;
- “Аварійна зупинка без стравлювання газу”.
- “Охолодження” (після НЗ або АЗ або ОЗ).

Під час процесу “Холостий хід” поряд з написом “Таймер” іде відлік часу.
Зона вибору вікон, призначена для виклику вікон, які описані вище.

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було отримано наступні результати дослідження:

- розглянуто загальна конструкція і принцип роботи ГПА, технологічні параметри ГПА і обмеження, що на них накладаються та проведено обґрунтування необхідності контролю і управління процесом компримування газу;

- проведено огляд існуючих систем автоматичного контролю і управління ГПА та системи вібраційного контролю ГПА і проаналізована їх структура;

- проведено вибір і обґрунтування датчиків системи контролю та управління ГПА на користь продукції фірми «Emerson», датчиків сімейства «Метран» - ТХАУ Метран-271 МП Ех, ТСПУ Метран-276 МП Ех;

- розглянута структура і обґрунтовано вибір вібраційного модуля SM1281 Condition Monitoring фірми Siemens за основу підсистеми вібраційного контролю ГПА;

- здійснена апаратна конфігурація підсистеми контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM1281;

- розглянуті функціональні можливості вібраційного модуля SM 1281 і обмін даними між ним та PLC Simatic S7-1200;

- проаналізовані результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА;

- розглянуті склад та структура програмно-технічних засобів комплексу для моделювання САК ГПА, зокрема призначення програмного забезпечення моделюючого комплексу

- проведено процедуру відслідковування ходу технологічного процесу ГПА з використанням комплексу.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Довідник працівника газотранспортного підприємства [Текст] /В.В. Розгонюк, А.А. Руднік, В.М. Коломєєв та ін. – К.: Росток, 2001. –1092 с.
2. Соколов В. С. Газотурбинные установки. – М.: Высшая школа, 1986. – 151 с.
3. Поршаков Б. П. Газотурбинные установки для транспорта газа и бурения скважин. – М.: Недра, 1982. – 183 с.
4. Халатов А., Дрлінський А., Костенко Д., Боцула А. Критичний стан і шляхи вдосконалення механічного приводу для газотранспортної системи України. Вісник НАН України. 2009. № 9. С.14-23.
5. 3 ГПА-Ц-16С Керівництво по експлуатації 246.0000.000-01 РЭ (ГПА-Ц-16С/76-1,44). URL: <https://www.turbinist.ru/25552-rukovodstvo-po-ekspluatacii-2460000000-01-re-gpa-c1-16s-76-144.html>.
6. Системи автоматичного керування газотурбінних двигунів: навч. посіб./ [М.С. Кулик, І.І. Гвоздецький, Є.М. Карпов та ін.]. - К. : КМУЦА, 2000. - 140 с.
7. Системи автоматичного керування газотурбінних установок і компресорів: навч. посібн. / В. П. Березльов, І. І. Гвоздецький, К. І. Капітанчук [та ін.]. - К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. - 164 с.
8. Системи автоматичного керування авіаційними силовими установками : навч. посіб. / [М.С. Кулик, І.І. Гвоздецький, Є.М. Карпов, В.П. Березльов]. - К. : НАУ, 2001. - 128 с.
9. Система автоматичного управління газоперекачувальним агрегатом. <https://www.ua-systems.com.ua/sistemy-avtomaticheskogo-upravleniy>
10. Бляут Ю.Е. Система автоматичного керування агрегатом Ц-6,3 та метрологічного забезпечення її вимірювальних каналів. Нафтогазова енергетика. 2010. № 1(12). – с. 46-49.
11. Система автоматичного управління газоперекачувальним агрегатом ГПА-Ц-6,3В. - ООО «УА-Системы». – 8с. <https://impulse.ua/download/history>

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

12. Заміховський Л. М. Удосконалення системи автоматичного управління газоперекачувальними агрегатами з врахуванням їх технічного стану.
Л. М. Заміховський, О. Л. Заміховська, Н.І. Іванюк, В.В. Павлик. Нафтогазова енергетика. 2020. № 2(34). С. 84-95
13. Стаціонарна система вібраційного моніторингу та діагностування (ГПА) компресорного цеху "ССМД КЦ". - <http://kotris.kiev.ua/produkt/kompleks/60-smstema-stacionarnogo-monitoringa-i.html>
14. Давачі компанії Emerson Rosemount. <https://trade-control.com.ua/ua/catalog/emerson-rosemount>
15. Давач Метран-100. <https://prom.ua/ua/p568730186-metran-100-datchik.html>
16. Термоперетворювачі мікропроцесорні ТХАУ Метран-271
https://www.germiona.com.ua/files/-----270,271---_271.01.pdf
17. Вибрации в технике: Справочник в 6 т./Ред. В.Н. Челомей.-М.: Машиностроение, 1981.-Т.5: Измерения и испытания /Под ред. Генкина М.Д.-496с.
18. API Standard 670 6th Edition and AMS Products. <https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-api-standard-670-6th-edition-products-en-11951302.pdf>
19. SM 1281 Моніторинг стану. Інструкція по експлуатації, 11/2015, A5E36912951-AA
20. Condition Monitoring SIPLUS CMS URL: https://www.ien.eu/uploads/tx_etim/Page_11_Siemens_43123.pdf.
21. Заміховський Л. М. Параметрування програмних блоків модуля SM1281 для побудови системи діагностування ГПА [Текст] / Л.М. Заміховський, Н.І. Іванюк // Summer InfoCom 2017: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 1-2 червня 2017р. – К.: Вид-во ТОВ «Інжиніринг», 2017. – С. 30-31.
22. Заміховський Л.М. Використання програмного середовища TIA PORTAL для обробки вібродіагностичної інформації на базі модуля SM 1281 SIEMENS [Текст]/ Л.М. Заміховський, Н.І. Іванюк //: Вимірювання, контроль та

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

діагностика в технічних системах: IV Міжнародна наукова конференція,
Вінниця, 31 жовтня – 02 листопада 2017 р. – С.264-265.

					<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

ДОДАТОК А

Таблиця контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації розміщених на об'єктах компресорної станції

Найменування	Сигнал					Тип приладу, датчика	Вихідний сигнал	Межі зміни параметра	Межі вимірювання датчика	Розмірність	Клас точності
	DI	DO	AI	AO	FI						
1. Двигун ДГ-90:											
2. Температура повітря на вході двигуна			+			ТСПУ Метран-274 МП Ех	4-20 мА	-40..+40	-50..+50	°С	0,13
3. Температура повітря на вході КНТ			+			ТСПУ Метран-274 МП Ех	4-20 мА	-40..+40	-50..+50	°С	0,13
4. Перепад тиску повітря на Ф1 ВЗК			+			Метран-100-ДД	4-20 мА	0..0,1	0..0,25	кгс/смІ	0,1
5. Перепад тиску повітря на Ф2 ВЗК			+			Метран-100-ДД	4-20 мА	0..0,1	0..0,25	кгс/смІ	0,1
6. Тиск повітря на вході КНТ			+			Метран-100-ДІВ	4-20 мА	0,04..0,04	-0,08..0,08	кгс/смІ	0,1
7. Тиск повітря на вході КВТ			+			Метран-100-ДІ	4-20 мА	2..10	0..40	кгс/смІ	0,1
8. Тиск повітря на вході КС			+			Метран-100-ДІ	4-20 мА	3,5..15	0..40	кгс/смІ	0,1
9. Тиск ТГ після ТРК			+			Метран-100-ДІ	4-20 мА	0..25	0..40	кгс/смІ	0,1
10. Температура ПС на вході ТВТ (свічка №1)			+			ТХАУ Метран-271 МП Ех	4-20 мА	0..800	0..1000	°С	0,13
11. Температура ПС на вході ТВТ (свічка №2)			+			ТХАУ Метран-271 МП Ех	4-20 мА	0..800	0..1000	°С	0,13
12. Температура ПС на вході ТВД (свічка №3)			+			ТХАУ Метран-271 МП Ех	4-20 мА	0..800	0..1000	°С	0,13
13. Температура ПС на вході ТВТ (свічка №4)			+			ТХАУ Метран-271 МП Ех	4-20 мА	0..800	0..1000	°С	0,13
14. Температура ПС на вході ТВТ (свічка №5)			+			ТХАУ Метран-271 МП Ех	4-20 мА	0..800	0..1000	°С	0,13
15. Температура масла на вході двигуна			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..70	0..100	°С	0,13
16. Температура масла на виході КНТ			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13
17. Температура масла на виході КВТ			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 90
-----	------	----------	--------	------	------------

18. Температура масла на виході ТВТ			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13
19. Температура масла на виході ТНТ			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13
20. Температура масла на виході ТН			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13
21. Температура масла на вході до МБД			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С	0,13
22. Управління краном зливу масла (відкрити)		+				Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
23. Управління краном зливу масла (закрити)		+				Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
24. Стан крана зливу масла (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
25. Стан крана зливу масла (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
26. Управління краном закачування масла (відкрити)		+				Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
27. Управління краном закачування масла (закрити)		+				Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
28. Стан крана закачування масла (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
29. Стан крана закачування масла (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
30. Управління НМНД (включити)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
31. Управління НМНД (вимкнути)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
32. Стан НМНД	+					-	24 В	-	-	-	-
33. Управління НЕМНД (включити)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
34. Управління НЕМНД (вимкнути)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
35. Стан НЕМНД (ввімкнено/вимкнено)	+					-	24 В	-	-	-	-

			+					-	-	-	-	Арк.
<i>КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ</i>												91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

36. Управління ОМНД (включити)					Високовольтний вмикач	24 В					
37. Управління ОМНД (вимкнути)		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-	
38. Стан ОМНД (ввімкнено/вимкнено)	+				-	24 В	-	-	-	-	
39. Управління ОЕМНД (включити)		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-	
40. Управління ОЕМНД (вимкнути)		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-	
41. Стан ОЕМНД (ввімкнено/вимкнено)	+				-	24 В	-	-	-	-	
42. Управління В АВО МД (включити/вимкнути)		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-	
43. Стан В АВО МД (включено/відключено)	+				-	24 В	-	-	-	-	
44. Тиск на входному колекторі			+		Метран-100-ДІ	4-20 мА	0..60	0..100	кгс/смІ	0,1	
45. Перепад тиску на скрубєрі			+		Метран-100-ДД	4-20 мА	114	Перепад тиску на скрубєрі	РТ		
46. Тиск перед конфузором нагнітача			+		Метран-100-ДІ	4-20 мА	115	Тиск п-д конфузором нагнітача	РТ		
47. Перепад тиску на конфузєрі нагнітача			+		Метран-100-ДД	4-20 мА	0..0,2	0..0,25	кгс/смІ	0,1	
48. Тиск на виході з нагнітача			+		Метран-100-ДІ	4-20 мА	0..75	0..100	кгс/смІ	0,1	
49. Тиск на вихідному колекторі			+		Метран-100-ДІ	4-20 мА	0..75	0..100	кгс/смІ	0,1	
50. Температура газу на вході у конфузєр			+		ТСПУ Метран-274 МП Ех	4-20 мА	-40..+40	-50..+50	°С	0,13	
51. Температура газу на виході з нагнітача			+		ТСПУ Метран-274 МП Ех	4-20 мА	0..60	0..100	°С	0,13	
52. Управління антипомпажним клапаном				+	-	4-20 мА	0..100	0..100	%	-	

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

92

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

53. Положення антипомпажного клапана			+			-	4-20 мА	0..100	0..100	%	-
54. Управління краном №1 (відкрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
55. Управління краном №1 (закрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
56. Стан крана №1 (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
57. Стан крана №1 (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
58. Управління краном №2 (відкрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
59. Управління краном №2 (закрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
60. Стан крана №2 (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
61. Стан крана №2 (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
62. Управління краном №4 (відкрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
63. Управління краном №4 (закрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
64. Стан крана №4 (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
65. Стан крана №4 (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
66. Управління краном №5 (відкрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
67. Управління краном №5 (закрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
68. Стан крана №5 (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
69. Стан крана №5 (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
70. Управління краном №6 (відкрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
71. Управління краном №6 (закрити)			+			Магнітний пускач	24 В	-	-	-	-
72. Стан крана №6 (відкритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
73. Стан крана №6 (закритий)	+					Кінцевий вимикач	24 В	-	-	-	-
74. Управління вентилятором витяжним			+			Високовольтний вимикач	24 В	-	-	-	-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

93

нагнітача (включити/вимкнути)													
75. Управління вентилятором витяжним укриття нагнітача №1		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-		
76. Управління вентилятором витяжним укриття нагнітача №2		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-		
77. Температура масла в МБН			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..70	0..100	°С		0,13	
78. Рівень масла в МБН			+			Радон ВБ-розум	4-20 мА	0..100	0..100	мм		1,5	
79. Тиск масла перед АВО			+			Метран-100-ДІ	4-20 мА	2..3	0..10	кгс/смІ		0,1	
80. Температура масла на вході АВО МН			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..70	0..100	°С		0,13	
81. Температура масла на виході АВО МН			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..70	0..100	°С		0,13	
82. Перепад тиску масла на			+			Метран-100-ДД	4-20 мА	0..1,1	0..1,6	кгс/смІ		0,1	
83. Тиск масла мастила нагнітача			+			Метран-100-ДІ	4-20 мА	2..3	0..10	кгс/смІ		0,1	
84. Температура масла на вході нагнітача			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..70	0..100	°С		0,13	
85. Температура масла після передньої опори нагнітача			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С		0,13	
86. Температура масла після задньої опори нагнітача			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С		0,13	
87. Температура масла на виході з першого торцевого ущільнення			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С		0,13	
88. Температура масла на виході з другого торцевого ущільнення			+			ТСПУ Метран-276 МП Ех	4-20 мА	0..120	0..200	°С		0,13	
89. Управління маслонасосом мастила №1 (включити)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-		

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

94

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

90. Управління маслонасосом мастила №1 (вимкнути)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
91. Стан маслонасоса мастила №1 (включено/відк лючено)	+					-	24 В	-	-	-	-
92. Управління маслонасосом мастила №2 (включити)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
93. Управління маслонасосом мастила №2 (вимкнути)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
94. Стан маслонасоса мастила №2 (включено/вимк нено)	+					-	24 В	-	-	-	-
95. Управління маслонасосом ущільнення №1 (включити)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
96. Управління маслонасосом ущільнення №1 (вимкнути)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
97. Стан маслонасоса ущільнення №1 (включено/вимк нено)	+					-	24 В	-	-	-	-
98. Управління маслонасосом ущільнення №2 (включити)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
99. Управління маслонасосом ущільнення №2 (вимкнути)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
100. Стан маслонасоса ущільнення №2 (включено/вимк нено)	+					-	24 В	-	-	-	-
101. Перепад тиску олія - газ			+			Метран- 100-ДД	4-20 мА	0..2	0..2,5	кгс/смІ	0,1
102. Управління В АВО МН №1 (включити/вимк нути)		+				Високоволь тний вмикач	24 В	-	-	-	-
103. Стан В АВО МН №1 (включено/відк лючено)	+					-	24 В	-	-	-	-

КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

95

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

104. Управління В АВО МН №2 (включити/вимкнути)		+				Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
105. Стан В АВО МН №2 (включено/відключено)		+				-	24 В	-	-	-	-
106. Загазованість відсіку двигуна > 7%	QSA	+				СТМ-10	24 В	-	-	-	-
107. Загазованість відсіку двигуна > 12%	QSA	+				СТМ-10	24 В	-	-	-	-
108. Загазованість відсіку нагнітача > 7%	QSA	+				СТМ-10	24 В	-	-	-	-
109. Загазованість відсіку нагнітача > 12%	QSA	+				СТМ-10	24 В	-	-	-	-
110. Пожежа на агрегаті	TS A	+				ДПС-038	24 В	-	-	-	-
111. Пожежа у відсіку двигуна	TS A	+				ДПС-038	24 В	-	-	-	-
112. Пожежа у відсіку нагнітача	TS A	+				ДПС-038	24 В	-	-	-	-
113. Подача речовини, що гасить, в блок двигуна	NS		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-
114. Подача речовини, що гасить, в блок нагнітача	NS		+			Високовольтний вмикач	24 В	-	-	-	-

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема випускної магістерської роботи: – «Розроблення і дослідження системи автоматичного контролю технологічних і вібраційних параметрів ГПА»

Обсяг пояснювальної записки складає: 97 сторінку та містить 8 таблиць 32 рисунки і список використаних джерел з 22 найменувань та один додаток на 7 сторінках.

Перелік креслень графічної частини:

- КРМ. АКСм - 23.00.00.001 – Принципова схема трьохвальної ГТУ (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.002 – Загальний вигляд ГПА-Ц-16С/76-1,44М1 на базі ГТД ДГ-90Л2.1 з електрозапуском (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.003 – Функціональна схема ГПА з місцями встановлення давачів (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.004 – Апаратна конфігурація підсистеми контролю вібраційного стану ГПА на базі PLC Simatic S7-1200 і модуля SM1281 (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.005 – Результати дослідження підсистеми контролю вібраційного стану ГПА (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.006 – Зовнішній вигляд органів керування ГПА на моделюючому стенді (листів -1).
- КРМ. АКСм - 23.00.00.007 – Структурна схема моделюючого комплексу (листів -1).

Дата завершення магістерської роботи 20 січня 2026 року

Студент-магістр _____ **Угринчук В.В.**

					КРМ.АКСм - 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97