

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

Дронь Юрій Михайлович

УДК 621.67-213.32(047)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Комплексна тема: "Розроблення системи автоматичного управління (САУ) ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту"

Тема: «Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту»

Освітня програма – «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

Здобувач освітнього ступеня _____ *Ю.М. Дронь*

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ *Заміховський Л.М., д.т.н., професор*

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІТТС

д.т.н., проф. _____ *Л.М. Заміховський*

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

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно- телекомунікаційних технологій і систем

Напрямок підготовки 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ОПП "Комп'ютеризовані системи управління та автоматика"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІТТС д.т.н., проф.

Л.М. Заміховський

« » травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТОВІ

Дронь Ю. .

1. Тема бакалаврської роботи: «Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту»

(затверджена наказом по університету № 281/7 від 10505.2025 року)

Керівник роботи д.т.н., професор Заміховський Л.М.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна література по темі роботи

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Вступ. Аналіз сучасного стану автоматизації процесу компримування природного газу з використанням ГПА. Призначення і основні характеристики САУ ГПА. Розроблено технічне забезпечення САУ ГПА з врахуванням стану його турбіни, визначену на основі генетичного алгоритму. Моделювання турбіни газотурбінної установки та її продуктивності. Результати дослідження генетичного алгоритму при діагностуванні дефектів давачів газового тракту газотурбінної установки. Висновки.

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

- Зовнішній вигляд газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С (листів - 1);
- Програмовані контролери SIMATIC S7-1200; GE Fanuc серії 90-30 ; Allen Bradley SLC 500 (листів - 1);
- Газотурбінна установка та її системи управління і діагностики (листів - 1);
- Параметри генетичного алгоритму GA (листів - 1);
- Придатність генетичного алгоритму для CFC з урахуванням та без урахування дефектів давача PSS (листів - 1);
- Прогнозована придатність генетичного алгоритму GA для діагностування деградації PSS, P5 та НРТ (листів - 1);

6. Дата видачі завдання 03.04.2025 року

Керівник, д.т.н., професор

Завдання прийняв студент-бакалавр

Леонід ЗАМІХОВСЬКИЙ

Юрій ДРОНЬ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Аналіз сучасного стану автоматизації процесу компримування природного газу з використанням ГПА. Конструкція ГПА та опис процесу компримування природного газу. Обмеження, що накладаються на параметри агрегатів ГПА	06.05 - 17.05. 2025 р.	виконано
2	Призначення і основні характеристики системи автоматичного управління ГПА. Аналіз існуючих типів контролерів з точки зору використання їх для управління роботою ГПА.	10.05 - 27.05. 2025 р.	виконано
3	Розроблено технічне забезпечення САУ ГПА з врахуванням стану його турбіни, визначену на основі генетичного алгоритму. Моделювання процесу деградації двигуна та давачів ГТУ. Розроблення процедури діагностування газового тракту ГТУ на основі генетичного алгоритму	22.05 - 07.06. 2025 р.	виконано
4	Результати дослідження генетичного алгоритму при діагностуванні дефектів давачів газового тракту ГТУ. Моделювання сигнатур дефектів газового тракту ГТУ. Приклади використання генетичного алгоритму для діагностування дефектів газового тракту ГТУ. Висновки	29.05– 16.06. 2025 р.	виконано
5	Висновки.	05.06 – 16.06. 2025 р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	7.06 – 20.06. 2025 р.	
7	Оформлення графічного матеріалу	16.06 – 20.06. 2025 р.	виконано

Студент-бакалавр

(підпис)

Юрій ДРОНЬ

Керівник роботи, д.т.н., професор

(підпис)

Леонід ЗАМІХОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Робота складається з вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел і викладена на 71 сторінках та містить 28 рисунків, 10 таблиць та 25 використаних літературних джерела.

Тема випускної кваліфікаційної роботи: «Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту».

Мета бакалаврської роботи Розроблення технічне забезпечення САУ ГПА – давачів стану газового тракту, визначену на основі діагностичного генетичного алгоритму (ГА) для підвищення ефективності управління ГПА.

Об'єкт дослідження: газотурбінна установка (ГТУ), як складова ГПА.

Предмет дослідження: визначення технічного стану давачів газового тракту ГТУ, як складових її САУ.

За результатами аналізу сучасного стану автоматизації процесу компримування природного газу з використанням ГПА отримані наступні результати:

- встановлено, що діагностування стану датчика регулювання потужності двигуна ГТУ дозволить оцінити стан газового тракту ГТУ і вибрати оптимальні параметри, які будуть реалізовані САУ ГПА;

- в результаті моделювання турбіни ГТУ встановлено, що покази датчика налаштування потужності (PPS) мають безпосередній вплив на управління двигуном ГТУ та його продуктивність;

- наводяться результати моделювання сигнатур дефектів газового тракту ГТУ з використанням ГА, зокрема випадки дефектів датчика PSS, дефектів компонентів ГТУ (CFC) і датчиків SFC;

- наводяться приклади використання ГА для діагностування дефектів газового тракту ГТУ, зокрема дефектів давача PSS, деградації датчиків PSS і P5, а також коли PSS, P5 і турбіна високого тиску деградують одночасно.

Ключові слова: газотурбінна установка, генетичний алгоритм, давачі, система управління, алгоритм, газовий тракт, моделювання, діагностування

ABSTRACT

The work consists of an introduction, two chapters, conclusions, a list of sources used and is presented on 71 pages and contains 38 figures, 10 tables and 25 used literary sources.

The topic of the final qualification work: "Development of technical support for the gas turbine engine control system taking into account its technical condition based on artificial intelligence".

The purpose of the bachelor's work is to develop technical support for the gas turbine engine control system - gas path sensors, determined on the basis of a diagnostic genetic algorithm (GA) to improve the efficiency of gas turbine engine control.

Object of research: gas turbine engine (GTUE, as a component of the GTU).

Subject of research: determination of the technical condition of the gas path sensors of the GTE, as components of its ACS.

Based on the analysis of the current state of automation of the natural gas compression process using GPU, the following results were obtained:

- it was established that diagnosing the state of the GTE engine power control sensor will allow assessing the state of the GTE gas path and selecting the optimal parameters that will be implemented by the GTU ACS;

- as a result of modeling the GTU turbine, it was established that the readings of the power setting sensor (PPS) have a direct impact on the GTU engine control and its performance;

- the results of modeling signatures of GTU gas path defects using GA are presented, in particular cases of PSS sensor defects, GTU component defects (CFC) and SFC sensors;

- examples of using GA for diagnosing GTE gas path defects are presented, in particular PSS sensor defects, PSS and P5 sensor degradation, as well as when PSS, P5 and the high-pressure turbine degrade simultaneously.

Keywords: gas turbine plant, genetic algorithm, sensors, control system, algorithm, gas path, modeling, diagnostics

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ	7
ВСТУП	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	10
1.1 Конструкція газоперекачувальних агрегатів та опис процесу компримування природного газу	10
1.2 Обмеження, що накладаються на параметри агрегатів ГПА	17
1.3 Призначення і основні характеристики системи автоматичного управління ГПА	20
1.3.1 Система автоматичного управління кранами	21
1.4 Аналіз існуючих типів контролерів з точки зору використання їх для управління роботою ГПА	30
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ГПА З ВРАХУВАННЯМ СТАНУ ЙОГО ТУРБИНИ ВИЗНАЧЕНУ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ	38
2.1 Оцінка технічного стану газового тракту газотурбінної установки.	38
2.2 Моделювання турбіни газотурбінної установки та її продуктивності	40
2.3 Моделювання процесу деградації двигуна та давачів газотурбінної установки	42
2.4 Розроблення процедури діагностування газового тракту газотурбінної установки на основі генетичного алгоритму	44

БР СІ – 18.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту	Літ.	Арк.	Аркшвів
Розроб.		Дронь Ю.						
Перевір.		Заміховський					6	
Реценз.						ІФНТУНГ СІ-21-1		
Н. контр.		Возняк А.						
Затверд.		Заміховський						

2.5 Результати дослідження генетичного алгоритму при діагностуванні дефектів давачів газового тракту газотурбінної установки	47
2.5.1 Моделювання сигнатур дефектів газового тракту газотурбінної установки	49
2.5.2 Приклади використання генетичного алгоритму для діагностування дефектів газового тракту газотурбінної установки	52
2.5.3 Фактори, що можуть призвести до зниження точності прогнозування дефектів газового тракту ГТУ з використанням генетичних алгоритмів	59
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	66
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	69

					БР СІ – 18.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту	Літ.	Арк.	Архівів
Розроб.	Дронь Ю.						6	
Перевір.	Заміховський					ІФНТУНГ СІ-21-1		
Реценз.								
Н. контр.	Возняк А.							
Затверд.	Заміховський							

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

КЦ - компресорний цех
КС - компресорна станція
САУ - система автоматичного регулювання
ОК - осьовий компресор
ТНТ - турбіні низького тиску
ТВТ - турбіна високого тиску
ВН - відцентровий нагнітач
ЛВУ МГ - лінійне виробниче управління магістральних газопроводів
ДП - диспетчерський пункт
ГТУ - газотурбінна установка
АПК - антипомпажний клапан
GA - генетичний алгоритм
СFC - випадок несправності компонента
EF/ η - ізоентропійний ККД
FC - пропускна здатність (кг/с)
 m_f - витрата палива (кг/с)
P - загальний тиск (атм)
PCN - відносна швидкість обертання (%)
PR - коефіцієнт тиску компресора
PSS - датчик налаштування потужності
SF - масштабний коефіцієнт параметра стану
SFC - випадок деградації (дефекту) датчика

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Останніми роками у сфері автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) транспортом газу спостерігаються дві ключові тенденції. По-перше, відбувається перехід до автоматичного управління локальними об'єктами. По-друге, активно розвивається автоматизоване диспетчерське управління (АСДУ), що стає магістральним напрямком розвитку АСУ ТП.

Старіння обладнання української газотранспортної системи (ГТС) підкреслює необхідність вдосконалення і розробки нових методів діагностики газоперекачувальних агрегатів (ГПА), зокрема їх вузлів. Покращення методів моніторингу, діагностування та прогнозування технічного стану ГПА за допомогою моделей на основі машинного навчання значно покращує їх експлуатаційні характеристики.

Поєднання інформації про стан ГПА, отриманої від сучасних систем автоматичного управління (САУ), з методами машинного навчання демонструє значні успіхи у підвищенні точності, надійності та узагальнення даних щодо газотранспортного обладнання. У газотранспортній галузі підвищення надійності, доступності та безпеки обладнання, зокрема ГПА, при одночасному зменшенні експлуатаційних витрат та витрат на обслуговування, є вирішальними для прибутковості та конкурентоспроможності.

Практика моніторингу стану технологічного обладнання існує давно, проте за останнє десятиліття алгоритми та їх реалізація значно ускладнилися. Сучасна тенденція до розширеного використання систем збору даних для контролю технологічних та віброакустичних процесів, що генеруються елементами об'єктів під час експлуатації, разом з розробкою інтелектуальних інструментів для оцінки їх технічного стану та виявлення дефектів, призвела до ефективніших стратегій управління об'єктами, зокрема ГПА, з урахуванням їх технічного стану.

Контроль та управління виробничими процесами за допомогою інтелектуальних інструментів для оцінки стану обладнання відіграли ключову роль у розвитку Індустрії 4.0. Величезні обсяги даних, що збираються промисловими системами,

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

містять цінну інформацію про компоненти, події та потенційні небезпеки, пов'язані з промисловими процесами. Ці дані можуть надати глибокі знання про системні процеси та їх динаміку. У зв'язку з цим, розробка технічного забезпечення систем автоматичного управління ГПА з урахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту є актуальним завданням, що потребує негайного вирішення.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1 Конструкція газоперекачувальних агрегатів та опис процесу компримування природного газу

Газоперекачувальний агрегат (ГПА) — це комплекс, що складається з компресора (нагнітача), приводу (зазвичай газотурбінного) та супутнього обладнання, необхідного для їх функціонування. Основною функцією ГПА є стиснення природного газу для його транспортування магістральними газопроводами через компресорні станції (КС) та для зберігання у підземних сховищах. До складу ГПА входять: нагнітач природного газу, приводний механізм, пристрої для забору та викиду повітря (у разі використання газотурбінного приводу), системи автоматизованого керування, система змащення, паливоповітряні магістралі та допоміжне устаткування.

Ключовою класифікаційною ознакою, що визначає різновиди газоперекачувальних агрегатів (ГПА), є конструкція нагнітача: виділяють поршневі газомоторні компресори та ГПА, оснащені відцентровими нагнітачами. Крім того, ГПА класифікуються за типом приводу, поділяючись на: агрегати з газовим двигуном внутрішнього згоряння (газомоторні), з газотурбінними приводами, або ж з електричними приводами. У свою чергу, ГПА з газотурбінним приводом диференціюються на ті, що мають стаціонарні газотурбінні установки, та агрегати, приводи яких базуються на авіаційних і суднових газотурбінних двигунах.

Ключовим елементом газоперекачувальних агрегатів виступає нагнітач. Як в Україні, так і за її межами, на магістральних газопроводах у ролі основного агрегату широко застосовуються газоперекачувальні агрегати з відцентровими нагнітачами. Крім того, їх використовують для початкового етапу компримування

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

на підземних газосховищах. Розрізняють одноступінчасті (неповнонапірні) відцентрові нагнітачі з коефіцієнтом стиснення в діапазоні 1,23-1,25 та двоступінчасті (повнонапірні), що мають ступінь стиснення приблизно 1,45-1,7. Відцентрові нагнітачі характеризуються значно більшою, ніж у поршневих компресорів, продуктивністю (12-40 млн. м³/добу). В них відсутні внутрішні частини, що труться та вимагають мастила (за винятком підшипників), внаслідок чого створюється рівномірний (без пульсації) потік газу. Для їх установки, в зв'язку з малою вагою і габаритами, а також врівноваженістю частин, що крутяться, потрібні менші приміщення і споруджуються полегшені фундаменти. При застосуванні ГПА з відцентровими нагнітачами внаслідок їх великої продуктивності спрощується технологічна схема компресорних станцій, зменшується кількість запірної арматури.

Недоліком неповнонапірних відцентрових нагнітачів є необхідність включення в роботу двох послідовно з'єднаних агрегатів для досягнення ступеня стиснення газу 1,45-1,5. Це призводить до збільшеної витрати паливного газу в газотурбінній установці. ККД агрегатів с відцентровими нагнітачами становить до 29%, с регенератором тепла до 35%, а приводом таких ГПА зазвичай служить газотурбінна установка або електродвигун.

Слід зазначити, що для ГПА всіх типів створені системи автоматики, що забезпечують пуск і роботу агрегату в автоматичному режимі, захист при виникненні аварійних режимів, сигналізацію про несправність і дії захисних механізмів, контроль об'ємної продуктивності нагнітача, автоматичну підтримку заданих температури і тиску мастила при аварійній зупинці агрегату та інше. Розглянемо детальніше конструкцію ГПА на прикладі ГПА-Ц-16С (рис. 1.1).

Газоперекачувальний агрегат моделі ГПА-Ц-16С призначений для перекачування природного газу магістральними трубопроводами під робочим тиском в діапазоні 56-76 кг/см². Цей ГПА характеризується повною автоматизацією, розміщується в окремому контейнері та здатен функціонувати в температурних умовах навколишнього середовища від -55 до +45 °С.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

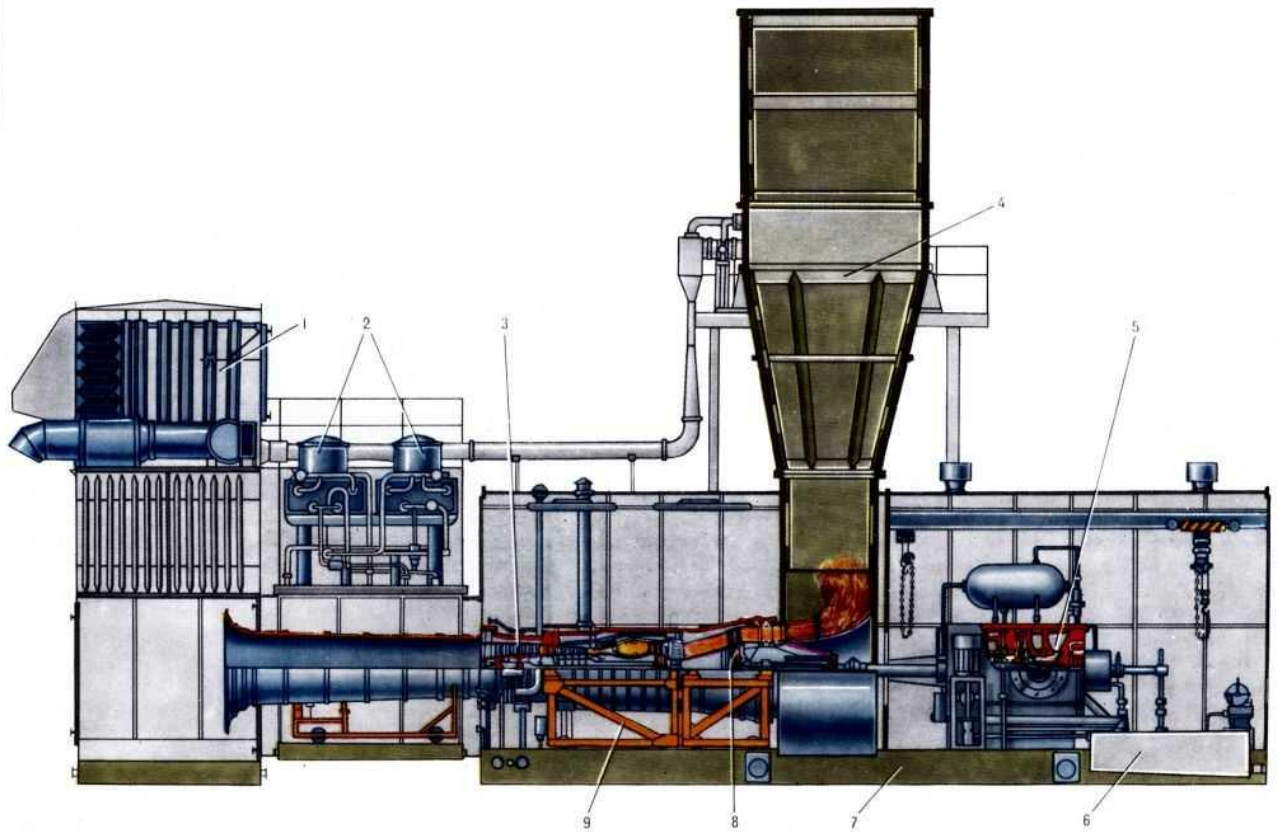


Рисунок 1.1 – Газоперекачувальний агрегат ГПА-Ц-16С

- 1 - вхідний повітроочищувальний пристрій
- 2 - масляні радіатори
- 3 - авіаційний привід НК-16СТ
- 4 - вихлопний пристрій с шумоглушників
- 5 - нагнітач природного газу
- 6 - маслобак агрегату
- 7 - фундаментна металева рама агрегату
- 8 - силова турбіна агрегату
- 9 - підмоторна рама авіапривода

До ключових компонентів газотурбінної установки цього агрегату належать: повітровхідний пристрій, компресор низького тиску, компресор високого тиску, камера згоряння, а також турбіни високого тиску, низького тиску та нагнітача.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Вхідний пристрій призначений для забезпечення плавного підведення атмосферного повітря в компресор і складається з зовнішнього та внутрішнього обтічників. Кільцевий канал між ними є початком проточної частини двигуна.

Компресор низького тиску (КНТ) призначений для стиснення атмосферного повітря та подачі його в компресор високого тиску. Який складається з вхідного направляючого пристрою (ВНА), корпусу та ротора, встановленого на передніх і задніх опорах. ВНА призначений для підтримки стабільної роботи компресора за різних умов експлуатації, і при запуску газотурбінної установки. Він складається з поворотних лопаток і механізму повороту. Механізм повороту вхідних направляючих лопаток призначений для одночасного повороту всіх лопаток рухомого апарата на необхідний кут в залежності від повітряного тиску за компресором високого тиску. Корпус КНТ виконаний у вигляді циліндра, має горизонтальний роз'єм.

Компресор високого тиску (КВТ) призначений для стиснення повітря, що надходить від КНТ і подає його в камеру згорання. КВТ осьовий, десятиступінчатий, складається з перехідника, корпусу та ротора, встановленого на передній та задній опорах. Перехідник служить для плавного підведення повітря з компресора низького тиску до компресора високого тиску. Корпус КВТ складається з внутрішньої та зовнішньої стінки, має горизонтальний роз'єм. Ротор КВТ барабанно-дискової конструкції, кріплення здійснюється стягнутими болтами, конструктивно об'єднує ротори КВТ і ТВТ.

Камера згорання призначена для отримання перед турбіною потрібної температури газу за рахунок тепла, яке виділяється при спалюванні в ньому безперервно поданого палива в потоці повітря, що поступає з КВТ. Камера згорання має два види виконання. Подача паливного газу в жарові труби здійснюється через форсунки (16 шт.). Займання палива при запуску газотурбінної установки здійснюється від двох плазмових запальників. Жарові труби призначені для здійснення процесу згорання палива. Зовні стінки жарової труби охолоджуються повітрям, рухаючись у міжтрубному просторі.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Турбіна високого тиску та турбіна низького тиску - осьові, одноступінчаті, призначені для приводу компресора високого та низького тиску відповідно, складаються з соплового апарата та ротора.

Турбіна нагнітача (ТН) є осьовою та трьохступінчатою, вона призначена для приводу валу нагнітача, і складається з соплових апаратів кожного ступеня, ротора та опорного вінця. Лопатки турбіни нагнітача охолодження не мають. Кожна ступінь турбіни має сопловий апарат для перетворення потенційної енергії газу в кінетичну і подачі його на робочі лопатки в турбіні. На виході вала ротора турбіни нагнітача встановлена муфта для передачі крутного моменту від газотурбінної установки до нагнітача.

Для охолодження корпусів, дисків, робочих лопаток турбіни застосовується зовнішнє охолодження повітрям, що відбирається з КВТ. Для цього навколо газотурбінної установки встановлюється спеціальний кожух.

На газотурбінній установці також є система суфлювання та система розвантаження. Система суфлювання призначена для забезпечення нормальної роботи мастильної системи. Система розвантаження двигуна призначена для забезпечення допустимих осьових навантажень на стійкі кулькові підшипники двигуна. З цією метою на виході з КНТ, КВТ і ТН створені розвантажувальні порожнини. Підтримка тиску в розвантажувальній порожнині КНТ здійснюється автоматичним стравлюванням повітря на вході п'ятого ступеня КНТ. Регулювання осьових зусиль КВТ здійснюється шляхом перестановки кришок лабіринтного ущільнення, а регулювання тиску здійснюється за допомогою шайби, встановленої на трубі підведення повітря.

Запуск газотурбінної установки здійснюється від двох електростартерів, з'єднаних з валом КНТ через центробіжно-храпову муфту, яка автоматично відключається, коли ротор КНТ досягає певного числа обертів (2400 об/хв). Привід електростартерів здійснюється через конічні зубчаті колеса виносної коробки приводів.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Для компримування природного газу в складі ГПА-Ц-16С використовується нагнітач природного газу НЦ-16. Нагнітач являє собою пристрій відцентрового типу з двома ступенями, створений з метою компресії природного газу.

Агрегат складається з таких елементів: зовнішнього корпусу, виконаного у вигляді кованиго сталевого циліндра. До зовнішньої поверхні циліндра приварені ковані сталеві патрубки — всмоктувальний та нагнітальний. До нижньої частини приварені опорні кріплення нагнітача, а у верхній – опорні кріплення для двох гідроакумуляторів. Обидва торці корпусу закриті кованими сталевими кришками, які кріпляться різніми стопорними кільцями та кронштейнами. У середині зовнішнього корпусу розміщено внутрішній корпус, що містить всмоктувальну камеру, діафрагму, дифузори, а також вхідний та зворотний напрямні апарати. У нижній частині внутрішнього корпусу розташовані ролики, що забезпечують його закачування у зовнішній.

Газотурбінний двигун стаціонарного типу НК16-СТ (рис. 1.2), створений на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна НК-8-2У, демонструє високі показники надійності та продуктивності. Цей конкретний двигун знаходить своє застосування у газоперекачувальних агрегатах ГПА-Ц-16С і є двокаскадною тривалою газотурбінною установкою. Його конструкція передбачає два модулі – газогенератор та вільну турбіну, кожен з яких має незалежну раму. Зазначені модулі можуть бути замінені в процесі експлуатації.

Виробництво та поставки двигуна НК-16СТ для потреб магістральних газопроводів здійснюються з 1982 року. Наразі понад три десятки електростанцій використовують двигуни НК-16СТ як приводні механізми для енергетичних установок, що функціонують на попутному нафтовому газі.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

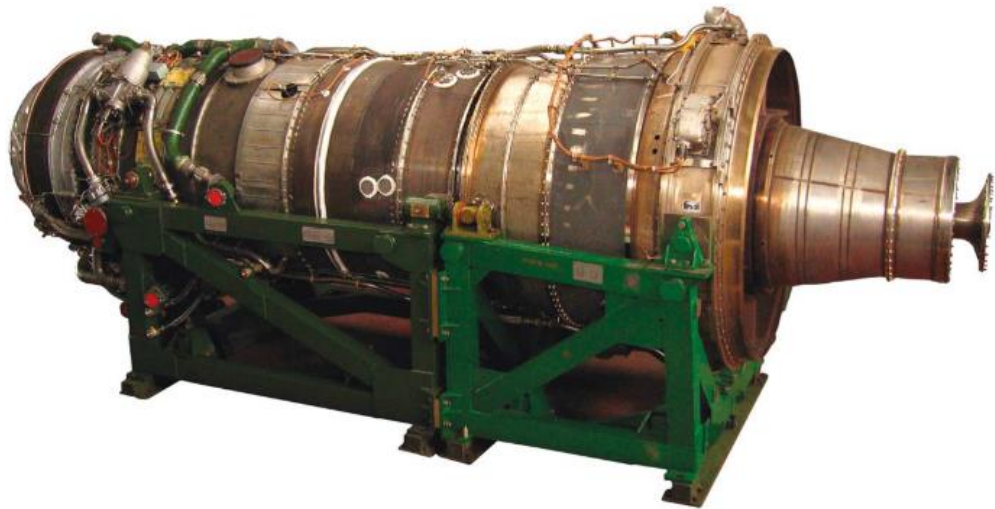


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд газотурбінного двигуна НК16-СТ

Для агрегатів ГПА-Ц-16С також застосовуються повітроочисні пристрої типу ПОП-110-4Ц (зображення 1.3). До характерних особливостей та основних переваг ПОП-110-4Ц належать:

- застосування комбінованої системи фільтрації (КСФ), що базується на фільтрах EMW filtertechnik VKKW RU-400-4-MG-1-PF-MPK-48/22 (виробництва EMW, Німеччина), гарантує очищення повітря до класу F9 (розмір часток пилу після фільтрації не перевищує 5 мкм);
- конструкція фільтра передбачає легкість його заміни у випадку забруднення;
- використання фільтрів EMW забезпечує ПОП значно менший аеродинамічний опір порівняно з аналогічними пристроями;
- обшивка козирка виконана з полікарбонату, що фіксується до каркаса алюмінієвими профілями та саморізами. Цей матеріал має низку переваг перед іншими: економічність, менша вага, стійкість до корозії, можливість монтажу без зварювання;
- байпасний клапан, розміщений над блоком фільтрів, автоматично активується при перепаді тиску 70 мм водяного стовпа та повертається у вихідне положення при падінні тиску до 52 мм

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

водяного стовпа. Система обігріву клапана забезпечує його спрацьовування в будь-якому температурному діапазоні;

- призмоподібна конструкція фільтрувальних блоків сприяє зменшенню загальної площі та маси ПОП.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд повітроочисних пристроїв ПОП-110-4Ц

1.2 Обмеження, що накладаються на параметри агрегатів ГПА

Власне обмеження, які накладаються на параметри агрегатів ГПА ГТУ і нагнітача, викликають необхідність автоматичного контролю і управління. Розглянемо дещо докладніше ці обмеження. На перше місце поставимо обмеження температури газу перед 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°С), 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 ГТУ, 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 ВК повинні

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

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 ТНТ. При різкому скиданні навантаженні 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 людина 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 ГТУ, зокрема підшипників. Про стан підшипників судять за їх температурою, тут також накладаються відповідні обмеження (70-80°C). 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

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

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 ГТУ, наприклад температури газу перед ТВТ. Людина-оператор позбавляється від цієї одноманітної і утомливої роботи завдяки застосуванню записуючих пристроїв.

ГТУ призначена 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 ГТУ, призводять до того, що для їх виконання необхідно застосувати автоматичні пристрої. Окрім розглянутих обмежень, контроль за виконанням яких перекладається на автоматичні пристрої є цілий ряд відхилень технічного стану агрегатів від номінальних значень, 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 технічних засобів автоматики – не допустити розвиток аварійної ситуації,

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

тому, знаходячись в неперервній роботі, вони повинні бути надзвичайно надійними. Витрати на автоматизацію складають досить малу частину (4-5%) від загальної вартості ГТУ, а економія від безаварійної роботи може скласти таки значну суму (як приклад – вартість лопаткового апарату).

Розглянуті обмеження повинні враховуватися при створенні систем регулювання та управління ГПА.

1.3 Призначення і основні характеристики системи автоматичного управління ГПА.

Робота ГПА забезпечується системою автоматичного управління газоперекачувальних агрегатів (САУ) ГПА, що представляє собою апаратно-програмний автономно функціонуючий комплекс, який забезпечує виконання всіх необхідних функцій з контролю, управління та регулювання окремого ГПА до яких відносяться:

- виконання та контроль передпускових операцій, пуск;
- нормальний і аварійний останов;
- регулювання та контроль параметрів;
- захист агрегату на всіх режимах роботи;
- зв'язок з загальноцеховою САУ;
- взаємодія з системою диспетчерського управління.

Для агрегатів ГПА передбачені САУ, які працюють без нагляду людини, будучи повністю автономними. САУ застосовуються для автоматизації ГПА з різними типами двигунів.

Як правило, САУ ГПА складається з таких компонентів:

- комплекс технічних засобів контролю і управління (КТЗ КіУ) для кожного ГПА;
- АРМ оператора на базі ПЕОМ (типовий варіант кілька шт. на компресорний цех);
- пульт місцевого управління (ПУ) для кожного ГПА.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Відповідно до даних інформаційно-аналітичної системи розглянемо стан експлуатованих на газотранспортному підприємстві САУ ГПА і основні показники автоматизації. САУ ГПА можна класифікувати за такими групами: мікропроцесорних системи, релейні системи, імпорнтні аналогові САУ, САУ типу А705-15-ХХ, САУ ГМК. Відповідно до цієї класифікації на рис.1.4. представлена класифікація групового типу САУ ГПА на підприємстві

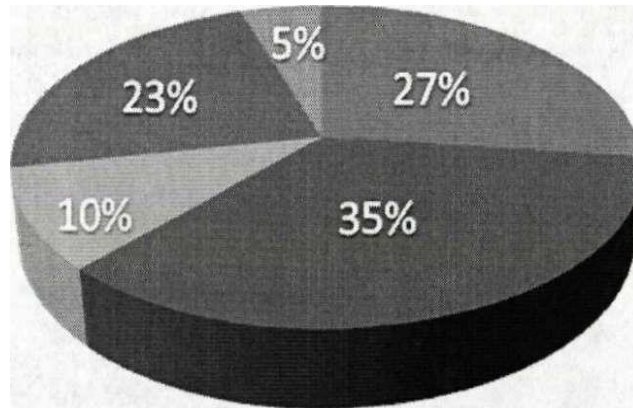


Рисунок 1.4 – Розподіл систем автоматичного управління ГПА групового типу

- Мікропроцесорні системи, 27%.
- Релейні системи, 35%
- Імпорнтні аналогові САУ, 10%
- САУ типу А705-15-ХХ, 23%
- САУ ГМК, 5%

1.3.1 Система автоматичного управління кранами

Система автоматичного управління кранами компресорного цеху призначена для управління загальноцеховими газовими кранами з електропневмоприводами в автономному режимі та у процесі виконання технологічних алгоритмів, а також надання оперативному персоналові КЦ та КС повної і своєчасної інформації про роботу і стан кранів компресорного цеху.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Зовнішній вигляд системи автоматичного управління ГПА та КС (на прикладі КЦ-3 Долинської площадки Богородчанського ЛВУМГ ТОВ «Оператор ГТС України. Західний регіон») показано на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Системи автоматичного керування ГПА та КС (на прикладі КЦ-3 Долинської площадки Богородчанського ЛВУМГ ТОВ «Оператор ГТС України. Західний регіон»)

Система повинна забезпечувати виконання повного обсягу інформаційних функцій, функцій керування, які забезпечують безпечну та надійну експлуатацію технологічного обладнання.

САУ кранами формує команди на аварійні зупинення (АЗ) КЦ-3 та визначає стан об'єктів управління.

Функціонування САУ кранами здійснюється безперервно в реальному масштабі часу з циклом не більше 100мс. і припиняється тільки при відмові програмованого контролера або за відсутності живлення програмно-технічних засобів (ПТЗ). На рис. 1.6 показана шафа САУ кранами на КЦ-3

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 1.6 – Системи автоматичного управління кранами на КЦ-3

Оперативний та обслуговуючий персонал мусить мати середню технічну освіту і навички роботи з мікропроцесорною технікою.

Функціонування САУ кранами припиняється тільки при відмові ПТЗ або відсутності електричного живлення.

САУ кранами КЦ №3 складається з:

- давачів аналогових сигналів;
- давачів дискретних сигналів;
- електроприводних виконавчих механізмів;
- кабелів;
- щита керування ЩТК-45кр.-КЦ3 (2 секції).

САУ кранами КЦ №3 працює у наступних умовах:

- температура навколишнього повітря від плюс 5 до плюс 40 С;
- відносна вологість навколишнього повітря 80 % при 25 С;
- при впливі постійних або змінних (частотою 50-60 Гц) магнітних полів напруженістю не більшою за 400 А/м, а розташований в операторній - не більшою за 40 А/м;

вібрація частотою 25 Гц та амплітудою, не більшою за 0,1 мм.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

САУ кранами КЦ №3 забезпечує:

- контроль стану технологічних параметрів;
- сигналізацію на панелі індикації та керування (ПК) технологічних параметрів, що вийшли за межі уставок;
- контроль і сигналізацію положення кожного крана (на МУК та ПК);
- контроль і сигналізацію само перестановки кожного крана (на МУК та ПК);
- контроль і сигналізацію заклинювання кожного крана (на МУК та ПК);
- контроль і сигналізацію обриву кіл керування, соленоїдів кожного крана (на МУК та ПК);
- контроль і сигналізацію короткого замикання кіл керування, соленоїдів кожного крана (на МУК та ПК);
- контроль і сигналізацію витоку струму на землю вище норми в колах керування кожного крана (на МУК та ПК);
- цифрову і буквену індикацію на ПК значень технологічних параметрів, несправностей;
- формування і передавання сигналів в АСК ТП КЦ №3 (АСК ТП КС) каналом зв'язку Ethernet (К.8485);
- формування і передавання сигналів в САКР КЦ №3 каналом зв'язку К.8485;
- керування кранами три провідним колом;
- ручний режим роботи (керування кранами з МУК або ПК);
- автоматичний режим роботи;
- дистанційний режим роботи (керування кранами із АСК ТП КЦ №3 або із АСКТПКС);
- перетворення у кожному модулі МУК-220 напруги 220 В ОС у вихідний сигнал керування 110 В ОС;
- приймання сигналів від ключа аварійного зупинення КЦ, КС (пульта аварійного зупинення КС);
- приймання сигналів із АСК ТП КЦ №3 (АСК ТП КС) через канал зв'язку Еіпепеї., або дискретних сигналів аварійного зупинення та перетворення їх у вихідні дискретні сигнали;

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- пріоритет виконання команд аварійного зупинення КЦ, що надходять безпосередньо на клемник МУК-220 стосовно команд, що надходять каналом зв'язку Ethernet;

- можливість задання на ПІК або Із АСК ТП КЦ №3 (АСК ТП КС) уставок граничних значень (для аналогових давачів);

- диференціальний захист вводу електроживлення;

- захист від грозових розрядів та перенапруги вводу 220 В АС, дискретних виходів 110 В ОС, аналогових входів, дискретних входів 24 В ОС;

- автоматичне контролювання справності вимірювальних каналів аналогових давачів (коротке замикання, обрив кола, вихід сигналу за межі діапазону вимірювань);

- гальванічну, релейну розв'язку між групами вхідних дискретних сигналів 24 В ОС;

- живлення 24 В ОС кожної групи вхідних дискретних сигналів окремими джерелами живлення;

- можливість ізольованого (роздільного) заземлення - корпусу щита автоматики (захисне заземлення), системи грозозахисту та екранів проводу (інформаційне заземлення).

Ресурс виробу до першого середнього ремонту 30000 годин протягом терміну служби 10 років, у тому числі термін зберігання 1 рік в упаковці виробника у складських приміщеннях.

Міжремонтний ресурс 10000 годин при поточних ремонтах протягом терміну служби 10 років.

Порядок роботи САУ кранами ГПА

Підготовка до роботи

Включення електроживлення ПТЗ САУ кранами за допомогою автоматів, розташованих у шафі САК кранами, треба робити в наступному порядку:

1) увімкнути диференційний електричний захист автоматичним вимикачем 8P2;

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- 2) увімкнути живлення напругою 220 В змінного струму автоматичним вимикачем 8P1;
- 3) увімкнути живлення напругою 220 В змінного струму автоматичним вимикачем 8P16;
- 4) увімкнути живлення напругою 220 В постійного струму автоматичним вимикачем 8P12;
- 5) увімкнути живлення напругою 220 В постійного струму автоматичним вимикачем 8P17;
- 6) увімкнути модулі контролера автоматичним вимикачем 8P3 (блок живлення 1121);
- 7) увімкнути контролер автоматичним вимикачем 8Г4 (блок живлення 1122);
- 8) як найменш, за 5 - 10 секунд увімкнути ШК автоматичним вимикачем 8P9;
- 9) подати живлення на дискретні „потенційні” входи автоматичними вимикачами 8P5, 8P6 та 8P7 (блоки живлення 1723, Т124 та 1125 відповідно);
- 10) подати живлення на світлову сигналізацію, реле та перемикачі автоматичним вимикачем 8P8 (блок живлення Т126);
- 11) подати живлення на терморегулятор автоматичним вимикачем 8P10;
- 12) подати живлення на модулі керування кранами (МУК-220) автоматичними вимикачами 8P13, 8P14 та 8P15 (перша секція) 8P18, 8P19, 8P20.

Вибір рівня управління. Вибір рівня керування здійснюється за допомогою перемикача „РІВЕНЬ УПРАВЛІННЯ” на лицевій панелі шафи САУ кранами.

При місцевому рівні керування оперативний персонал може з ПК отримувати необхідну інформацію, виконувати АЗ, змінювати уставки аналогових параметрів й, у випадку технологічної необхідності, вводити вручну аналогові і дискретні вхідні/вихідні сигнали та керувати окремими кранами.

При дистанційному рівні керування оперативний персонал може лише переглядати інформацію, що надходить, а всі інші операції, за винятком АЗ, виконуються за допомогою АРМ змінного інженера.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Виклик відеокадрів. Виклик відеокадрів здійснюється за допомогою кнопок клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Мнемосхема КЦ-3" здійснюється натисканням кнопки „1" клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Аварійні зупинки" здійснюється натисканням кнопки „2" клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Вузли підключення" здійснюється натисканням кнопки „3" клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Крани" здійснюється натисканням кнопки „4" клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Конденсатозбірники" здійснюється натисканням кнопки „5" клавіатури САУ кранами.

Викликання відеокадру „Загальноцехові параметри" здійснюється натисканням кнопки „6" клавіатури САУ кранами.

Порядок вимикання САУ кранами. Відключення електроживлення ПТЗ САУ кранами за допомогою автоматів необхідно робити в наступному порядку:

- 1) відключити живлення розетки та освітлення автоматичним вимикачем 8P11 (за необхідністю);
- 2) відключити живлення модулів керування кранами (МУК-220) автоматичними вимикачами 8P13, 8P14 та 8P15 (перша секція) 8P18, 8P19, 8P20, 8P21, 8P22 та 8Г23;
- 3) відключити живлення терморегулятора автоматичним вимикачем 8P10;
- 4) відключити живлення світлової сигналізації, реле та перемикачів автоматичним вимикачем 8P8 (блок живлення П26);
- 5) відключити живлення дискретних «потенційних» входів автоматичними вимикачами 8P5, 8P6 та 8P7 (блоки живлення 1123, 1124 та 1125 відповідно);
- 6) відключити живлення ППК - автоматичним вимикачем 8P9;
- 7) відключити контролер автоматичним вимикачем 8P4 (блок живлення 1122);

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- 8) відключити модулі контролера автоматичним вимикачем 8P3 (блок живлення 1121);
- 9) відключити живлення напругою 220 В постійного струму автоматичним вимикачем 8P17;
- 10) відключити живлення напругою 220 В постійного струму автоматичним вимикачем 8P12;
- 11) відключити живлення напругою 220 В змінного струму автоматичним вимикачем 8P16;
- 12) відключити живлення напругою 220 В змінного струму автоматичним вимикачем 8P1;

На рис. 1.6 – 1.10 наведені вікна SCADA – системи системи автоматичного управління КЦ.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд вікна САУ компресорним цехом №3

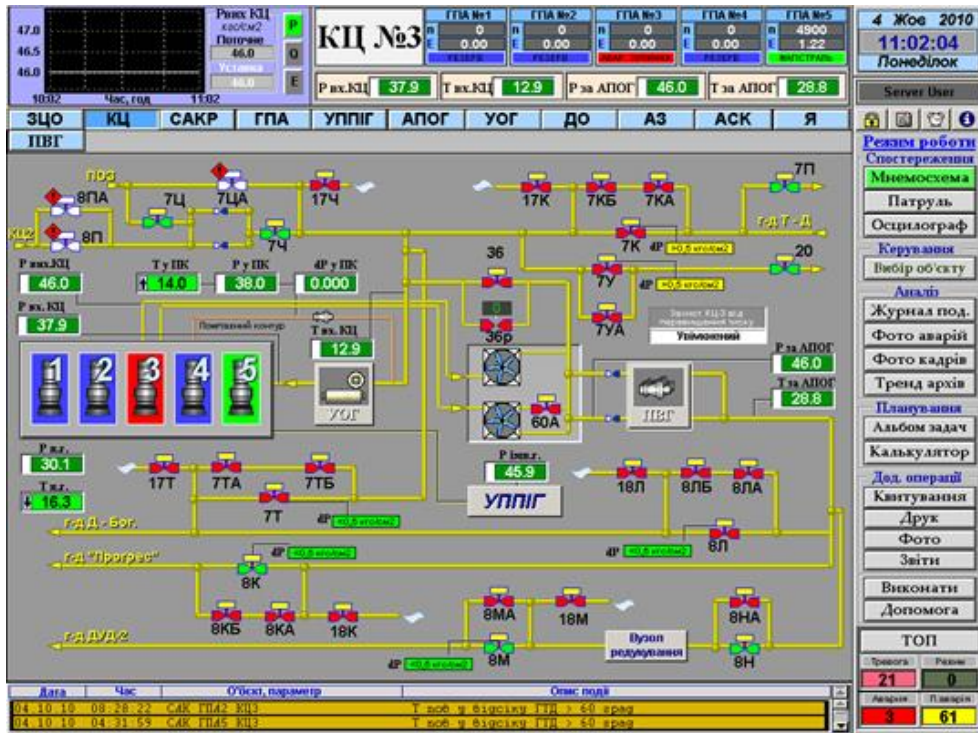


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд вікна з розташуванням кранів на КС-3

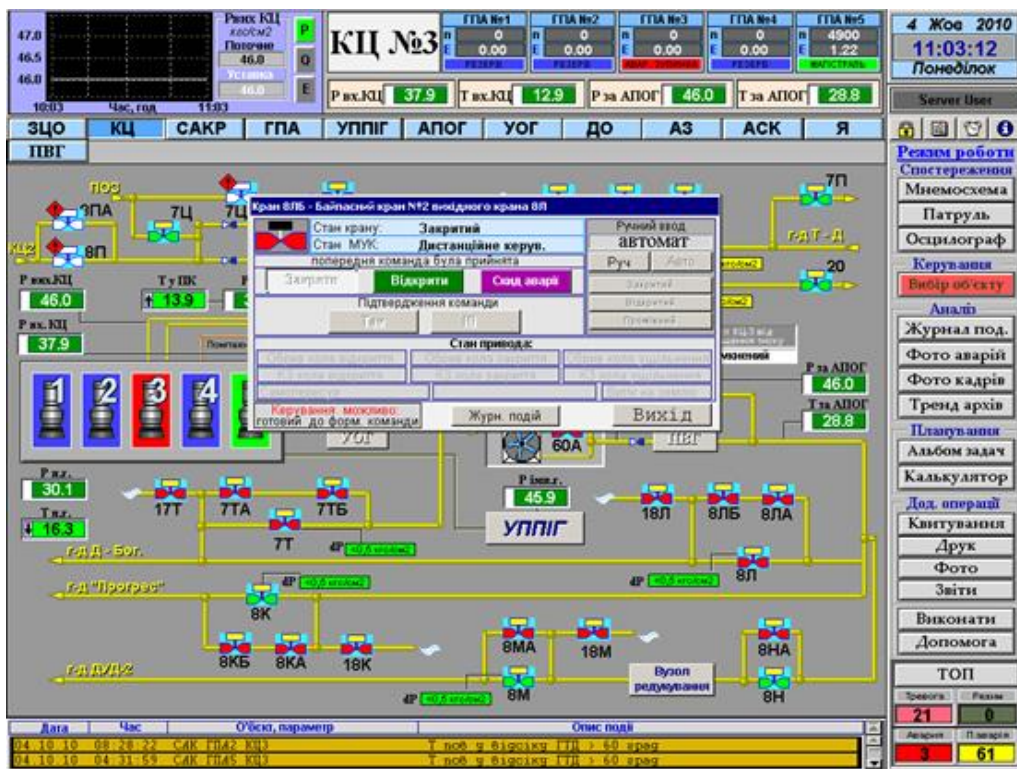


Рисунок 1.8 – Вікно управління краном КЦ-3

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

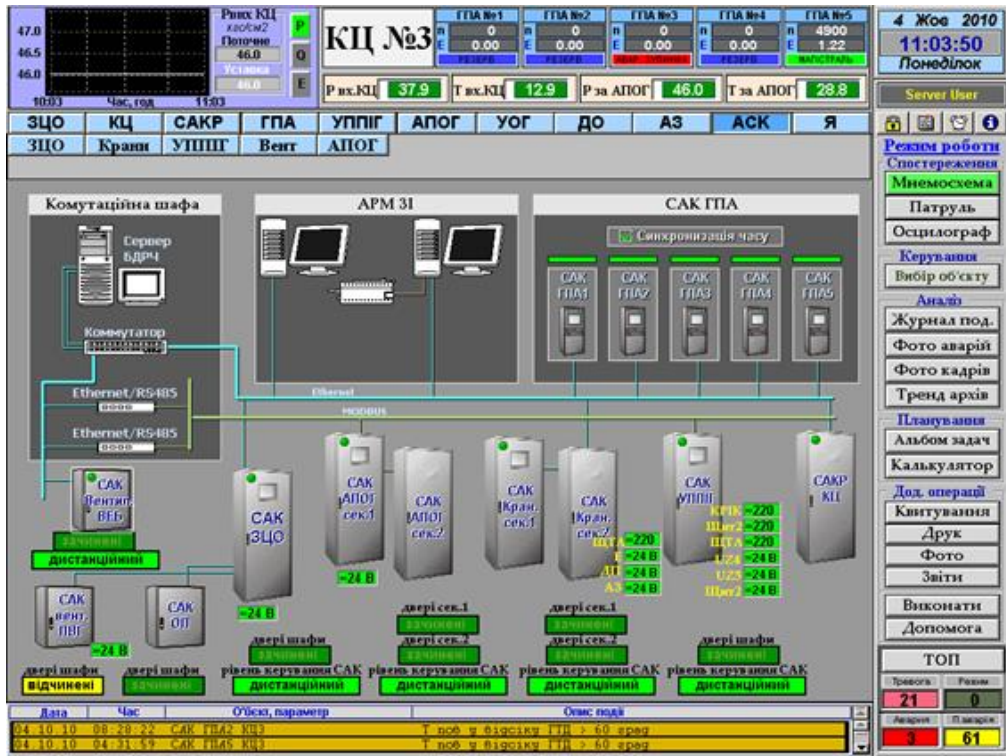


Рисунок 1.8 – Вікно основних та допоміжних САУ кранами КЦ-3

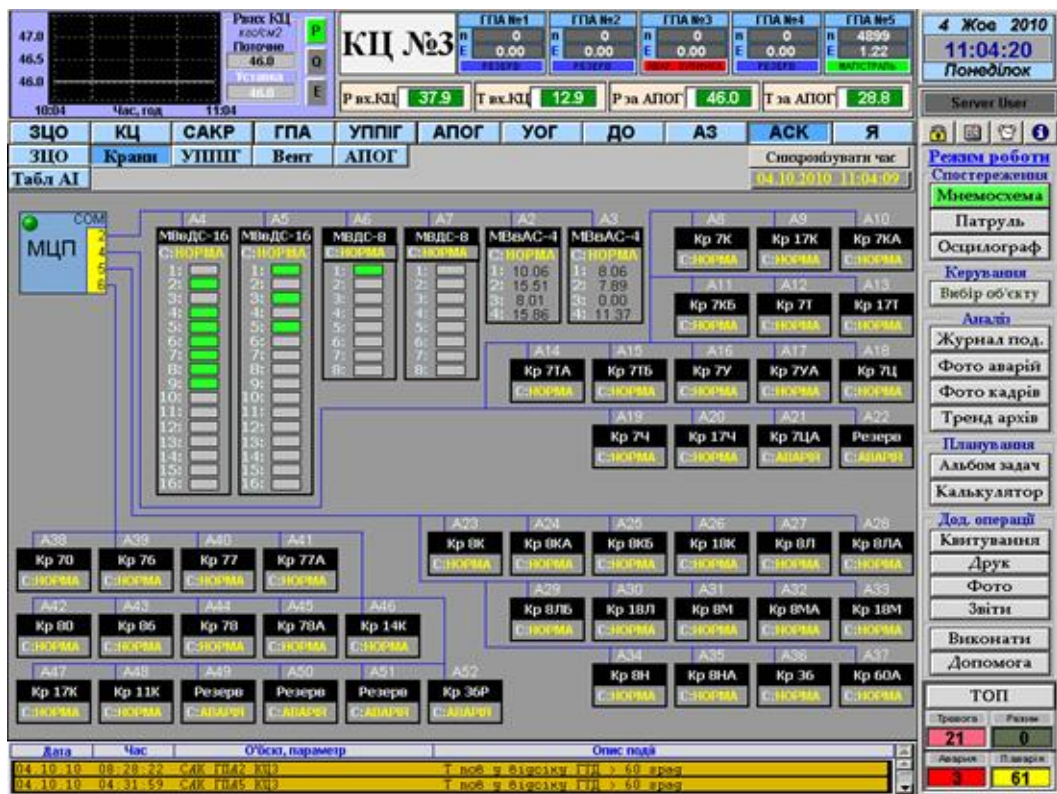


Рисунок 1.9 – Вікно структури САУ правління кранами КС-3

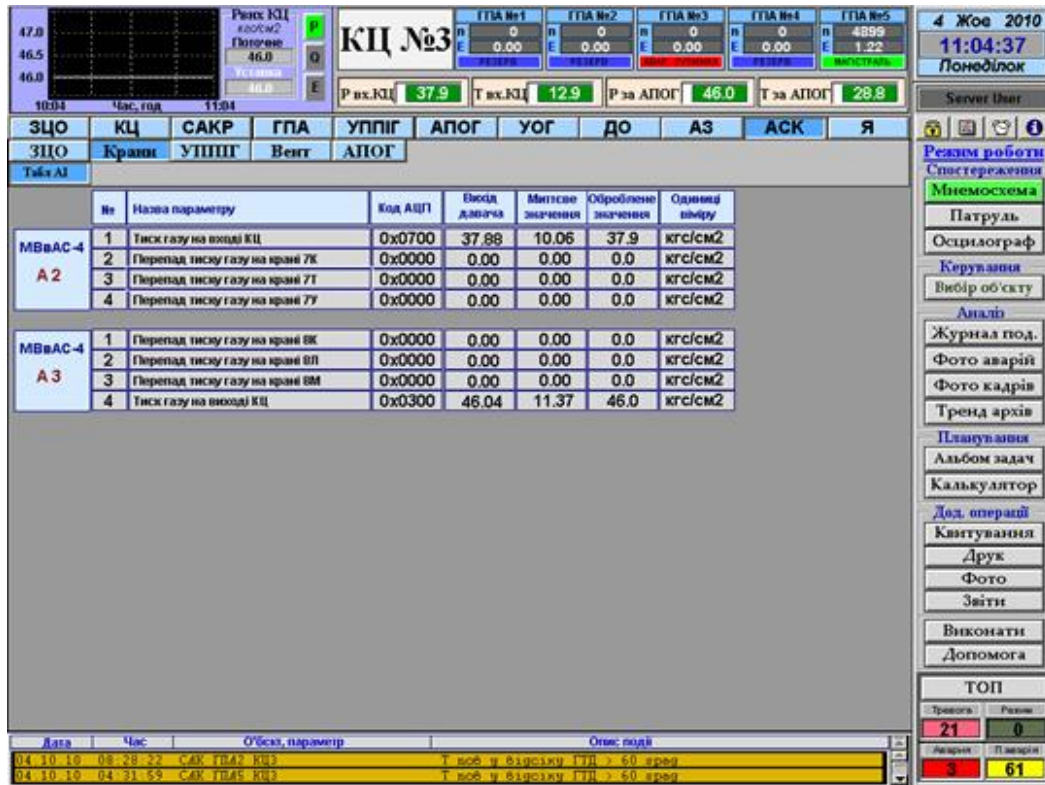


Рисунок 1.10 – Вікно з переліком сигналів в модулях САУ кранами КС-3

1.3 Аналіз існуючих типів контролерів з точки зору використання їх для управління роботою ГПА

Розглянемо кілька варіантів контролерів, що підходять за характеристиками для застосування в розроблюваній системі автоматичного управління ГПА, а саме контролери фірм Siemens, GE Fanuc та Allen Bradley.

Фірма Siemens - один з найбільших виробників програмованих логічних контролерів. Торгова марка Simatic широко відома в усьому світі. Під цим ім'ям представлені повністю інтегровані системи автоматизації.

Принципи, що лежать в основі створення систем автоматизації, полягають у наступному: інформація вводиться до системи лише раз, а потім стає доступною на всіх управлінських рівнях; конфігурація, програмування, запуск, тестування та обслуговування всіх елементів та систем здійснюється за допомогою уніфікованих стандартних модулів, вбудованих у платформу розробки; всі дії

виконуються через єдиний інтерфейс та уніфіковані інструменти; різноманітні мережеві конфігурації налаштовуються просто та послідовно. При цьому зв'язки можуть бути легко адаптовані в будь-який момент та локації.

Контролер Siemens S7-400 є ефективним засобом для реалізації проектів автоматизації середнього та високого рівня складності. Його різноманітні центральні процесори з різною продуктивністю, а також широкий вибір комунікаційних та вхідно-вивідних модулів, значно спрощують процес розробки автоматизованих систем.

Основні компоненти Simatic S7-400: модулі блоків живлення - 120/230В змінного струму, 24В постійного струму; модулі центральних процесорів (в стійці центрального контролера можна розмістити кілька модулів CPU); модулі вводу-виводу (сигнальні модулі); комунікаційні процесори для організації різних варіантів зв'язку; інтерфейсні модулі для з'єднання CPU зі стійками розширення; функціональні модулі для спеціалізованих завдань управління. У Simatic S7 реалізована технологія побудови розподілених систем вводу-виводу. Для розподілених конфігурацій використовуються станції розподіленого вводу-виводу ET-200.

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200 є новим сімейством мікроконтролерів від Siemens, призначених для вирішення широкого спектра завдань автоматизації низького рівня. Ці контролери відрізняються модульною конструкцією та універсальністю застосування. Вони забезпечують функціонування в реальному часі та можуть використовуватися як для створення відносно простих елементів локальної автоматики, так і для більш складних вузлів інтегрованих систем автоматичного управління, які підтримують інтенсивний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, а також через PtP (Point-to-Point) з'єднання.

Сімейство контролерів SIMATIC S7-1200 являє собою програмно-апаратний комплекс, орієнтований на зниження загальних витрат на промислове обладнання протягом всього життєвого циклу, починаючи від проектування і

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

створення устаткування і закінчуючи питаннями «міграції» і утилізації після закінчення терміну служби продукту.

Новий модульний контролер SIMATIC S7-1200 відрізняється сучасним дизайном, високою продуктивністю та широким набором функціональних можливостей, будучи призначеним для автоматизації початкового рівня. Виробник позиціонує його як контролер з базовим функціоналом (Basic Controller), підкреслюючи його приналежність до "мікро ПЛК" (Micro PLC). Проте, за формальними критеріями, цей контролер виходить за межі вказаної ніші. Базова конфігурація включає процесорний блок з 14-24 входами/виходами та можливістю розширення до восьми модулів вводу/виводу, що сукупно дозволяє підключити до 284 дискретних або до 51 аналогового каналу. Це цілком виправдовувало б позиціонування контролера як "мікро PLC", якби не одна особливість: контролер підтримує роботу з децентралізованою периферією стандартів PROFIBUS DP і PROFINET IO як майстер, маючи адресний простір у 1000 байт. Це потенційно дозволяє йому обробляти до 8000 цифрових або до 500 аналогових каналів. У поєднанні з оперативною пам'яттю 50-150 кБ (залежно від моделі CPU), де зберігається виконувана програма (дані також можуть зберігатися на зовнішньому носії об'ємом до двох гігабайт), це вже жодним чином не відповідає категорії "мікро".

Програмовані контролери S7-1200 оснащені компактним пластиковим корпусом зі ступенем захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35-мм профільну DIN-шину або на монтажну плату, та функціонують у температурному діапазоні від 0 до +50 °C. При однакових з S7-200 конфігураціях введення-виведення, контролер S7-1200 займає на 35% менший монтажний об'єм.

До центрального процесора програмованого контролера S7-1200 можуть бути підключені комунікаційні модулі, сигнальні модулі та сигнальні плати введення-виведення дискретних і аналогових сигналів. Спільно з ними застосовуються 4-канальний комутатор Industrial Ethernet і модуль блоку живлення.

Серед переваг контролерів SIMATIC S7-1200 (рис. 1.11) можна виділити:

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- *функціональність та ергономічність*: Контролер обладнаний вбудованим Ethernet-інтерфейсом, що дозволяє виконувати низку операцій, включаючи програмування SIMATIC, діагностику, обмін даними з іншими автоматизованими пристроями, а також системами людино-машинного інтерфейсу.
- *компактність*: Представлене сімейство контролерів має пластиковий корпус, модульну архітектуру та може бути встановлене як на стандартній 35-мм DIN-шині, так і на плоскій монтажній поверхні.
- *універсальність*: Контролери Siemens SIMATIC S7-1200 відрізняються широкою сферою застосування: їх можна використовувати як для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики, так і для компонентів комплексних систем з автоматичним управлінням.
- *ефективність*: Пристрій забезпечує інтенсивний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, а також за допомогою PtP (Point-to-Point) з'єднань.



Рисунок 1.11 – Програмований контролер SIMATIC S7-1200

Ще одним інноваційним рішенням, реалізованим у цих програмованих логічних контролерах (ПЛК), є технологія "signal board".

Контролер оснащений спеціальним роз'ємом на передній панелі, що дозволяє підключати компактний модуль. Цей модуль розширює функціональні можливості процесорного блоку без збільшення його загальних габаритів. Зазвичай такі модулі забезпечують до чотирьох дискретних або один аналоговий

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

вхід/вихід, або ж інтерфейс RS485. Хоча, як уже зазначалося, контролер може бути стандартно розширений за допомогою додаткових блоків входу/виходу або комунікаційним процесором. Проте ці блоки мають мінімум вісім каналів (що часто є надмірним, коли потрібно лише один-два додаткові канали в мікросистемах) та значні розміри (порівняно з процесорним блоком), що не завжди є прийнятним. Такий підхід, попри збільшення асортименту виробів, дозволяє максимально точно адаптувати конфігурацію обладнання до конкретного технічного завдання.

Для експлуатації поза приміщеннями, в умовах підвищеної концентрації газів або присутності агресивних випарів та газів, існує модифікація SIPLUS. Вона повністю сумісна з лінійкою S7-1200 як на програмному, так і на апаратному рівнях. По суті, це той самий контролер, але з посиленням захистом від зовнішніх впливів (плати герметизуються спеціальним компаундом) та розширеним температурним діапазоном (від -25 до +60 °C).

Іншим варіантом для побудови системи автоматичного керування є ПЛК серії 90-30 фірми GE Fanuc (рис. 1.12) - це сімейство контролерів, спеціальних модулів і пристроїв вводу-виводу, адаптованих для різних застосувань: від простої заміни реле до систем автоматизації середнього рівня потужності.



Рисунок 1.12 – ПЛК серії 90-30 GE Fanuc

Моделі процесорів 340/341 - це ПЛК зі збільшеним об'ємом пам'яті і підвищеною швидкодією. Процесори цих моделей мають функцію переривання

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

через певний час (приблизно 1 мс), що дозволяє вирішувати завдання високошвидкісного розподіленого управління процесами. Процесори моделі 351 - одні з найбільш швидкодіючих центральних процесорів. Розглянуті моделі контролерів мають 4 вбудованих процесори для одночасного вирішення декількох завдань з метою підвищення пропускної здатності. Модель 352 має можливість виконання операцій з плаваючою комою зі швидкістю від 2 до 4 мкс.

Обсяг логічної пам'яті складає до 80 Кбайт, а швидкість виконання довічних операцій складає 0,1 - 0,2 мс. Можлива обробка переривань і операцій з плаваючою комою. Системи на базі контролерів GE Fanuc підтримують гаряче резервування.

Контролери серії 90-30 поряд з локальним вводом-виводом підтримують розширення вводу-виводу, віддалений і розподілений ввід-вивід.

Для моделей 341-352 є три типи базових плат: базові плати з осередком для CPU і додатковими осередками для ввідів-виводів; розширювальні базові плати, використовувані для їх установки на відстанях близько 15-ти метрів від центрального процесора; віддалені базові плати для установки систем на відстані до 214 метрів.

Контролери моделей 331/340/341 допускають 5 розширювальних плат, а контролери моделей 351/352 - 8 розширювальних плат. Фірма пропонує кабелі стандартних довжин для їх підключення до базової плати з CPU.

Модулі введення забезпечують інтерфейс між ПЛК та зовнішніми джерелами вхідних сигналів, а модулі виведення - між ПЛК та зовнішніми вихідними пристроями. GE Fanuc пропонує цілий ряд модулів, що підтримують різні діапазони і види напруг, що мають різну струмовий навантаження, ізоляцію. Модулі вводу-виводу мають різну щільність - 8, 16, 32 точки. Всі модулі вводу-виводу оснащені світлодіодними індикаторами, що виділяють кожен точку на модулі і зі сторони вводу, і зі сторони виводу.

Для аналогових модулів в процесорі виділяється свій обсяг пам'яті. При кожному скануванні проводиться автоматичне оновлення даних. Всі модулі мають програмне конфігурування.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Контролер SLC 500 фірми Allen Bradley - це сімейство малих програмованих контролерів, побудоване на двох апаратних модифікаціях: фіксований контролер з опцією розширення за допомогою двохслотного шасі, або модульний контролер до 960 точок вводу-виводу. Засоби програмування і більшість модулів вводу-виводу сумісні для обох модифікацій.

Програмовані контролери SLC 500 (рис. 1.13) мають вбудований порт мережі DH-485, забезпечуючи тим самим програмну підтримку і моніторинг. Процесор SLC 5/05 забезпечує до 960 точок вводу-виводу, програмування в режимі ONLINE, і перемикач для вибору одного з 3-х режимів функціонування (RUN, PROGRAMM і REMOTE).



Рисунок 1.13 - Контролер Allen Bradley SLC 500

До складу процесора SLC 5/05 включений канал RS-232, який забезпечує асинхронний послідовний комунікаційний інтерфейс даних з термінальними пристроями.

Сімейство SLC 500 пропонує широкий вибір модулів дискретного вводу-виводу, які дозволяють будувати системи управління з мінімальними витратами. Наявність 32-канальних модулів вводу-виводу знижує, крім того, вимоги до монтажного простору. Всі дискретні і спеціалізовані модулі сертифіковані відповідно до стандартів індустріальних додатків UL і CSA, а більшість з них схвалено для використання в умовах навколишнього середовища.

Модульні контролери SLC 500 пропонують додаткову гнучкість конфігурації системи, більш потужні процесори і велику ємність вводу-виводу.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Проаналізувавши існуючі типи контролерів згідно їх параметрів, для створення системи автоматизації був обраний контролер SIMATIC S7-1200 фірми Siemens. Дані контролери за своїми технічними характеристиками не поступаються, а в деяких аспектах і перевершують інші промислові контролери. Таким чином, застосування контролера SIMATIC S7-1200 дозволяє зменшити витрати на апаратне забезпечення проекрованої системи

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2. РОЗРБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ГПА З ВРАХУВАННЯМ СТАНУ ЙОГО ТУРБІНИ ВИЗНАЧЕНУ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

2.1 Оцінка технічного стану газового тракту газотурбінної установки. Вихідна інформація

Діагностика газового тракту є одним з найефективніших методів моніторингу стану для підтримки технічного обслуговування газотурбінних установок на основі стану, підвищення експлуатаційної готовності та зниження витрат на технічне обслуговування двигунів. Ці методи можна застосовувати для моніторингу стану різних компонентів газового тракту, а також датчиків вимірювання газового тракту. Одним з найважливіших вимірювальних датчиків є датчик керування двигуном, який також називають датчиком налаштування потужності, що використовується системою управління двигуном для управління роботою газотурбінних двигунів. Питання діагностування дефекту такого датчика не ставилося. В той же час, як показує практика, якщо датчик налаштування потужності деградує, тобто видає хибні покази, це призведе як до зміни робочого стану двигуна так і зниження ефективності експлуатації всієї ГТУ.

Деградація і дефекти можуть статися як з компонентами газового тракту, так і з датчиками в газотурбінних двигунах. Деградація компонентів газового тракту двигуна може призвести до погіршення продуктивності двигуна і, зрештою, до виходу з ладу всього двигуна, що матиме значні економічні наслідки для користувачів ГТУ. Датчики газового тракту встановлюються для контролю та моніторингу стану двигуна. Якщо деградація відбувається з датчиками, встановленими лише для моніторингу стану, це може призвести до оманливих сигнатур дефектів двигуна (тобто

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

відхилення вимірювань газового тракту) та оманливих результатів діагностики. Якщо деградація відбувається з датчиками, встановленими для управління двигуном або налаштування потужності, наприклад, для вимірювання температури вихлопних газів двигуна, швидкості обертання валу або вихідної потужності валу, це призведе до зміщення характеристик двигуна, зміщення вимірювань газового тракту і, як наслідок, до оманливих сигнатур дефектів і навіть до повної відмови діагностичного аналізу газового тракту.

У минулому були розроблені різні методи діагностики газового тракту газових турбін, і всебічні огляди цієї технології розглянуті в [11,12,13]. Типовими прикладами методів діагностики газового тракту газових турбін є аналіз газового тракту та його похідні [14], методи на основі нейронних мереж [15], методи на основі генетичних алгоритмів [16,17], методи на основі нечіткої логіки [18], підхід на основі байєсівських мереж правдоподібності [19], тощо.

Більшість датчиків газового тракту використовуються для моніторингу стану, деякі з них - для контролю безпеки, а один - для управління двигуном. Датчик, що використовується для управління двигуном, є одним з найважливіших датчиків якого назвем «датчик налаштування потужності (PSS)», а відповідний параметр – «параметр налаштування потужності».

Діагностика дефектів датчика газорозподілу вивчалася багатьма дослідниками з використанням різних методів, таких як генетичний алгоритм (ГА) [16], штучні нейронні мережі (ШНМ) [20], GPA [21], розпізнавання образів, тощо. Ці методи здатні виявляти дефекти датчиків газового тракту, хоча вони мають різні переваги та недоліки.

Наприклад, метод на основі генетичного алгоритму є більш надійним, ніж інші, але обчислювальне навантаження є вищим, метод ШНМ є достатньо швидкими для обчислювання, але вимагають великої кількості навчальних вибірок і тривалого часу для навчання, а методи GPA використовують помірний обчислювальний час, але можуть мати проблеми зі збіжністю.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Однак, дослідження щодо діагностування дефектів датчиків обмежуються лишень датчиками газового тракту за винятком «датчика налаштування потужності». Іншими словами, до цього часу вважалося, що датчик регулювання потужності не має дефектів. Однак цей датчик настільки важливий, що якщо він має значну похибку, то це призведе до значної зміни характеристик двигуна і, як наслідок, може призвести як до повного провалу діагностичного аналізу газового тракту, так і неефективного управління ГТУ. Таким чином, діагностування стану датчика регулювання потужності двигуна з і без компонентів двигуна дозволить оцінити технічний стан газового тракту ГТУ і вибрати оптимальні параметри режиму його експлуатації, які будуть реалізовані системою автоматичного управління ГТУ.

2.2 Моделювання турбіни газотурбінної установки та її продуктивності

Схематично газотурбінний двигун та його систему управління можна зобразити у верхній частині рис.2.1.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

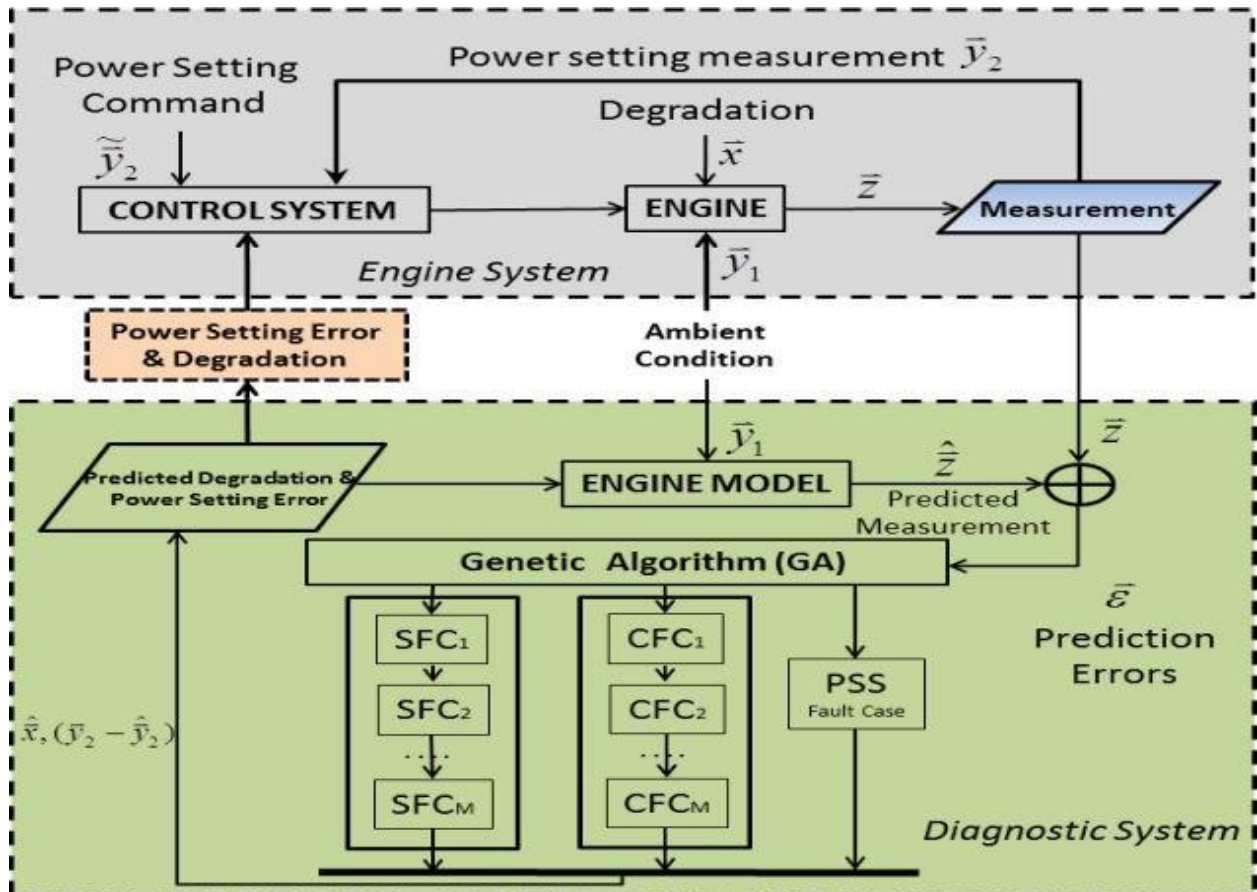


Рисунок 2.1 – Газотурбінна установка та її системи управління і діагностики

Термодинамічна поведінка газотурбінних двигунів може бути математично представлена рівнянням (2.1).

$$\vec{z} = h(\vec{x}, \vec{y}) \quad (2.1)$$

де $\vec{z} \in R^N$ - вектор параметрів вимірювання газового тракту і N - кількість параметрів, $\vec{x} \in R^M$ - вектор параметрів стану двигуна і M - кількість параметрів, $\vec{y} \in R^K$ - вектор параметрів навколишнього середовища і потужності і K - кількість параметрів, а $h(\)$ представляє термодинамічний зв'язок між цими параметрами. \vec{y} може включати \vec{y}^1 , що представляє параметри навколишнього середовища і \vec{y}^2 , що представляє параметр потужності, як показано на рис. 2.1.

Робота двигуна може керуватися «командою налаштування потужності» \vec{y}^2 і контролюватися системою управління двигуном.

Про фактичну продуктивність двигуна свідчать вимірювання газового тракту двигуна z^* . Вимірний параметр налаштування потужності $y^*(2)$ має безпосередній вплив на управління двигуном та його продуктивність через те, що система управління завжди намагається утримувати параметр налаштування потужності на заданому значенні на основі його вимірювання.

Тому будь-який датчик налаштування потужності (PPS) ($y^*(2) - \tilde{y}^*(2)$) призведе до зміщення параметра налаштування потужності, а також продуктивності двигуна. Таке явище схематично показано на рис. 2.2. Звичайно, на продуктивність двигуна також впливає стан навколишнього середовища $y^*(1)$ та деградація двигуна x^* .

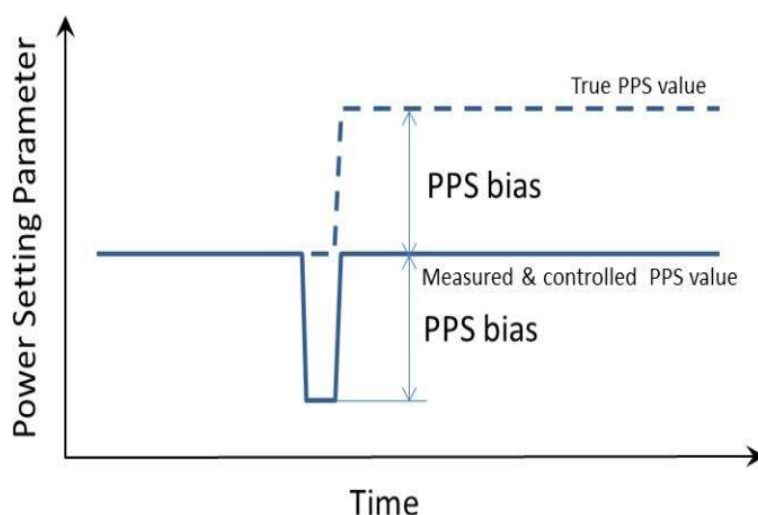


Рисунок 2,2 - Управління двигуном при постійному споживанні потужності зі зміщенням PPS

Моделювання роботи газових турбін базується на фундаментальній термодинаміці. Поведінка основних компонентів газової турбіни, таких як компресори, пальники і турбіни, представлена емпіричними характеристиками компонентів карт, які зазвичай отримують під час стендових випробувань компонентів. Прогнозування стаціонарного стану двигуна за межами проектних значень і погіршення експлуатаційних характеристик досягається шляхом задоволення умови безперервності масового потоку і енергії в двигунах за допомогою ітераційного методу Ньютона-Рафсона.

В [22] більш детально описано процес моделювання роботи газової турбіни.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.3 Моделювання процесу деградації двигуна та давачів газотурбінної установки

Деградація компонентів газового тракту газової турбіни призводить до зміни карт характеристик компонентів, і такі явища можна математично представити за допомогою масштабованих карт компонентів. Візьмемо для прикладу компресор, як показано на рис. 2.3, суцільні лінії представляють карту чистого компресора, а пунктирні лінії - карту деградованого компресора. Передбачається, що деградовані карти компресорів, пальників і турбін зберігають ту ж форму, що й оригінальні карти, оскільки їхня геометрія не зазнає суттєвих змін.

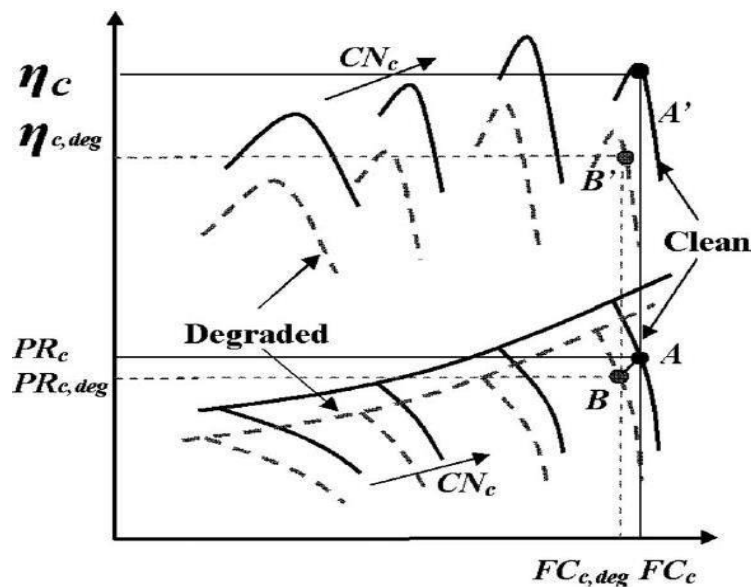


Рисунок 2.3 - Карта характеристик компресора газотурбінної установки.

Масштаб карти, як показано, наприклад, на рис. 2. 3, представлений трьома індексами деградації, тобто індексами пропускної здатності, ізоентропійного ККД та відношення тиску для компресорів, індексом ефективності згоряння для пальників та індексами пропускної здатності, ізоентропійного ККД та падіння ентальпії для турбін, відповідно.

Вони визначаються співвідношенням між значеннями відповідних точок на деградованих кривих (пунктирні лінії, X_B) та вихідних (суцільні лінії, X_A) [21], рівняння (2.2).

$$SF = \frac{X_B}{X_A} \quad (2.2)$$

Для спрощення представлення деградації компресора припускається, що індекс пропускної здатності компресора дорівнює індексу відношення тиску компресора, рівняння (2.3), на основі спостереження, що деградація як відношення тиску, так і пропускної здатності призводить до зміщення ліній швидкості вліво від їх початкового положення і, отже, має подібний вплив на продуктивність двигуна [21].

$$F_c, FC = SF_c, PR \quad (2.3)$$

Аналогічне припущення застосовується до турбін, де передбачається, що деградація пропускної здатності дорівнює, але з протилежним знаком, деградації падіння ентальпії, представленої рівнянням (2.4).

$$SF_{t,FC} = -SF_{t,DH} \quad (2.4)$$

Виходячи з цих припущень, для опису деградації компресора і турбіни використовуються лише два індекси деградації: індекс пропускної здатності (SFFC) та індекс ізоентропійного ККД (SFEFF).

Деградація пальника представлена лише одним показником - індексом ефективності згоряння.

Деградація датчика може бути представлена зміщенням вимірювань відносно істинних значень відповідних параметрів. Коли датчик має дефект, він виробляє значну похибку, яка є набагато більшою, ніж його вимірювальний шум.

Деградація компонентів газового тракту ГТУ негативно впливає на продуктивність двигуна, наприклад, падіння тяги або потужності на валу, підвищення температури на вході в турбіну, падіння питомої витрати палива або теплової ефективності тощо.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Деградація датчиків газового тракту зазвичай не впливає на продуктивність двигуна, якщо вони використовуються лише для моніторингу стану. Однак, якщо вимірювання використовуються для керування двигуном, наприклад, температури вихлопних газів, швидкості обертання валу, потужності на валу і ін., будь-яка похибка вимірювання потужності може змінити робочий стан двигуна і, як наслідок, змінити продуктивність двигуна та інші вимірювання газового тракту.

Деградація двигуна може призвести до відхилення його характеристик. На таке відхилення може вказувати так звана «сигнатура дефекту», що представляє собою відхилення вимірювань газового тракту, визначене рівнянням (2.5).

$$\frac{\Delta z_i}{z_i} = \frac{\hat{z}_i - z_i}{z_i}, \quad (2.5)$$

де z_i - вимірювання чистого двигуна, \hat{z}_i - вимірювання деградованого двигуна. Різні ступені деградації двигуна можуть призводити до різних сигнатур дефектів; ця інформація використовується системою діагностики газового тракту для виявлення деградації.

2.4 Розроблення процедури діагностування газового тракту газотурбінної установки на основі генетичного алгоритму

Процес діагностування газового тракту двигунів ГТУ можна розглядати як оптимізаційну задачу, в якій серед усіх можливих рішень знаходиться найкраще рішення щодо деградації двигуна. Існують різні методи пошуку або оптимізації, в даному випадку зупинимося на використанні генетичного алгоритму завдяки його багатьом перевагам.

Так, в порівнянні зі звичайними методами оптимізації, генетичний алгоритм має кілька відмінних рис. Наприклад, не потрібні похідні, тому можна оптимізувати будь-які негладкі функції; обмеження можна обробляти дуже по-різному, наприклад, за допомогою штрафних функцій або спеціальних операцій;

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

використовується глобальний пошук, щоб уникнути зациклення на локальному мінімумі; імовірнісні, а не детерміновані правила переходу використовуються для створення наступного покоління рядків з поточного. У генетичному алгоритмі зазвичай використовуються чотири оператори для генерації рядків від одного покоління до іншого в процесі пошуку і ін. переваги [23].

Використаємо наступні оператори генетичного алгоритму до критерію «виживання найбільш пристосованих»:

- Відбір - відбирає кращі рядки з поточної популяції і зберігає їх лише як базові для наступного покоління.

- Кросовер - випадковий підбір пар рядків на основі ймовірності кросовера. Дозволяє обмінюватися інформацією між парами рядків у вигляді обміну частинами рядків, щоб отримати кращі пари нових рядків.

- Мутація - випадковий вибір рядків з поточної популяції на основі ймовірності мутації. Випадкові зміни вносяться до частини вибраних рядків у спробі створити кращі нові рядки

- Відчуження - випадкове введення нових рядків у поточну популяцію

Сутність методу діагностування дефектів двигуна і датчиків на базі генетичного алгоритму можна зрозуміти, розглянувши нижню частину рис. 2.1. В рамках цього підходу спочатку слід створити модель роботи газової турбіни, що представляє «реальний» двигун. Потім можна використати адаптацію характеристик [24], щоб зробити модель точною, використовуючи наявні дані випробувань чистого двигуна.

Модель двигуна отримує ті ж самі умови навколишнього середовища y^{-1} і виміряні параметри налаштування потужності y^{-2} , що і «реальний», а також прогнозовані деградації двигуна для отримання початкової прогнозованої продуктивності z^{\wedge} . Похибка прогнозу ϵ у рівнянні (2.6) являє собою різницю між фактичними та прогнозованими вимірюваннями

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \left| \frac{\hat{z}_i - z_i}{z_i} \right| \quad (2.6)$$

де z_i - це фактичні вимірювання «реального» двигуна, а \hat{z}_i - прогнозовані вимірювання на основі моделі двигуна.

Придатність генетичного алгоритму, визначена рівнянням (2.7), відображає якість розв'язку генетичного алгоритму. Похибка прогнозування ε використовується як зворотний зв'язок до генетичного алгоритму для пошуку кращої оцінки деградації датчиків та двигуна y . У процесі пошуку за генетичним алгоритмом його придатність максимізується для пошуку оптимальної оцінки деградації компонентів двигуна, деградації датчика газового тракту та дефектів датчика налаштування потужності.

$$Fitness = \frac{1}{1 + \varepsilon} \quad (2.7)$$

Діагностичний підхід до газового тракту на основі генетичного зазвичай має значний ефект розмиття в прогнозованих деградаціях, якщо всі деградації шукаються одночасно, тобто прогнозовані деградації можуть бути розподілені на всі шукані компоненти газового тракту, навіть коли фактично деградували лише деякі компоненти або датчики.

Такий ефект розмивання може призвести до хибних результатів діагностування. Тому була прийнята концепція для випадку, коли мають місце дефекти елементів ГТУ (CFC) та датчика (SFC), прийнята для того, щоб ізолювати деградовані компоненти та датчики і зменшити ефект розмивання [25,13]. Крім того, введено випадок дефекту датчика налаштування потужності (PSS), щоб його врахувати. Іншими словами, всі потенційні випадки дефектів, тобто комбінації всіх потенційно деградованих компонентів газового тракту та/або датчиків, будуть шукатися генетичним алгоритмом GA, і ті з них, які мають високі значення придатності GA, вказуватимуть на найбільш ймовірні деградовані компоненти та/або датчики.

Під час діагностичного пошуку GA можна шукати дефекти CFC, SFC і PSS

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

окремо або в комбінації.

З практичної точки зору, рекомендується враховувати такі міркування:

- дефекти датчика налаштування потужності (PSS) завжди повинні бути включені до процесів пошуку ГА;
- дефекти датчика газового тракту слід шукати перед діагностуванням дефектів компонентів газового тракту.
- вимірювання дефектними датчиками газового тракту слід виключити з набору вимірювань при діагностуванні дефектів компонентів двигуна.

Для завершення процесу пошуку ГА можуть бути використані такі критерії:

- (1) Максимальна придатність ГА популяції перевищує 0,95.
- (2) Номер покоління перевищує 50.

2.5 Результати дослідження генетичного алгоритму при діагностуванні дефектів давачів газового тракту газотурбінної установки

Модель газотурбінної установки та вимірювання її параметрів.

Конфігурація модельного газотурбінної установки схематично показана на рис. 2.4, а його технічні характеристики наведені в табл. 2.1.

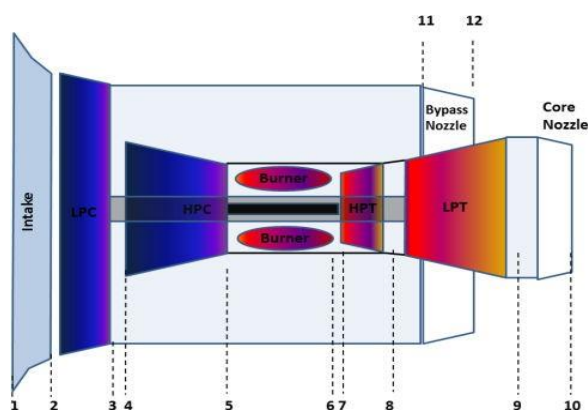


Рисунок 2.4 - Конфігурація моделі двигуна газотурбінної установки

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 2.1 Характеристики роботи моделі двигуна

Параметр	Значення	Одиниця
Температура на вході в турбіну (ТЕТ)	1,480	К
Чиста тяга	78,924	кН
Питома витрата палива (<i>sfc</i>)	26.42	кг/н.с
Швидкість потоку повітря	150	кг/с
Коефіцієнт тиску LPC (вентилятора)	1.6	-
Коефіцієнт тиску НРС	36.5	-
Коефіцієнт байпасу	5.0	-

Вимірювання газового тракту модельного двигуна наведені в табл.2.2, а номери станцій газового тракту показані на рис. 2.4. Робочий стан двигуна відображається температурою на вході в турбіну (ТЕТ), яка також використовується як параметр налаштування потужності модельного двигуна. Оскільки ТЕТ не може бути виміряна безпосередньо через агресивне середовище, вона зазвичай визначається на основі температури вихлопних газів двигуна, і тому можуть існувати помилки в оцінці або похибки датчика ТЕТ.

Деградація елементів і датчиків модельного двигуна. Хоча в газотурбінних двигунах можуть одночасно виходити з ладу декілька елементів і датчиків газового тракту, припускаємо, що дефект датчика регулювання потужності (РРП), дефект датчика газового тракту і дефект елемента газового тракту можуть існувати як окремо, так і одночасно, як типові сценарії.

Передбачувані дефекти датчиків і компонентів двигуна наведені в табл. 2.3 з метою демонстрації представленого діагностичного підходу.

Таблиця 2.2 Параметри вимірювання газового тракту

Опис	Змінна
Температура на вході в турбіну (К)	TET
Загальний тиск на виході вентилятора або LPC (атм)	P ₃
Загальна температура на виході вентилятора або LPC (К)	T ₃
Вихід компресора високого тиску (HPC) загальний тиск (атм)	P ₅
Загальний вихід компресора високого тиску температура (К)	T ₅
Загальний вихід турбіни низького тиску (THT) тиск (атм)	P ₉
Загальний вихід турбіни низького тиску (THT) температура (К)	T ₉
Відносне обертання вала низького тиску швидкість	PCN1
Відносне обертання вала високого тиску швидкість	PCN2
Витрата палива (кг/с)	m _f

Значення дефектів датчиків вибрані випадковим чином з урахуванням того, що вони повинні бути набагато більшими, ніж шуми вимірювань, але не надто великими, щоб дефект не можна було легко виявити. Ці деградації впроваджуються в русій моделі окремо або одночасно, і можна змоделювати відповідну зміну продуктивності та зразки вимірювань.

2.5.1 Моделювання сигнатур дефектів газового тракту газотурбінної установки

Зразки вимірювань газового тракту (табл. 2.2) справного і деградованого двигуна імітуються шляхом запуску моделі роботи двигуна з деградацією його елементів і без неї (табл. 2.3) на номінальному режимі. Для спрощення шум вимірювання не включено до змодельованих зразків вимірювань. Однак вплив шуму вимірювань на точність результатів діагностування буде розглянуто нижче.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 2.3 Деградація датчиків та двигуна

Параметри стану	Значення	
Несправність датчика налаштування потужності (PSS) (тобто TET) упередженість) (К)	-10	
Несправність датчика газового тракту (P5) (час максимальний шум вимірювання)	-5	
Деградація турбін високого тиску (ТНТ) (%)	ΔEF_{HPT}	-1
	ΔFC_{HPT}	-3

Посилаючись на двигун та його систему управління (рис. 2.1), «Команда встановлення потужності» вимагає, щоб двигун працював при TET 1,480К, і така команда передається модельному двигуну через систему управління. Коли вимірювання TET зміщується на -10К, система управління двигуном продовжує працювати на виміряній температурі 1 48К на основі сигналу PSS, в той час як двигун фактично працює на температурі 1 490К. Таке зміщення налаштування потужності разом з деградацією датчиків ТНВД і P5 призведе до появи ознак дефекту двигуна. Ознаки дефектіва для трьох сценаріїв деградації датчиків, наведених в табл. 2.4, змодельовані і показані на рис.2.5. Ці сигнатури дефектів є важливими вхідними даними для діагностики дефектів двигуна і датчиків на основі генетичного алгоритму.

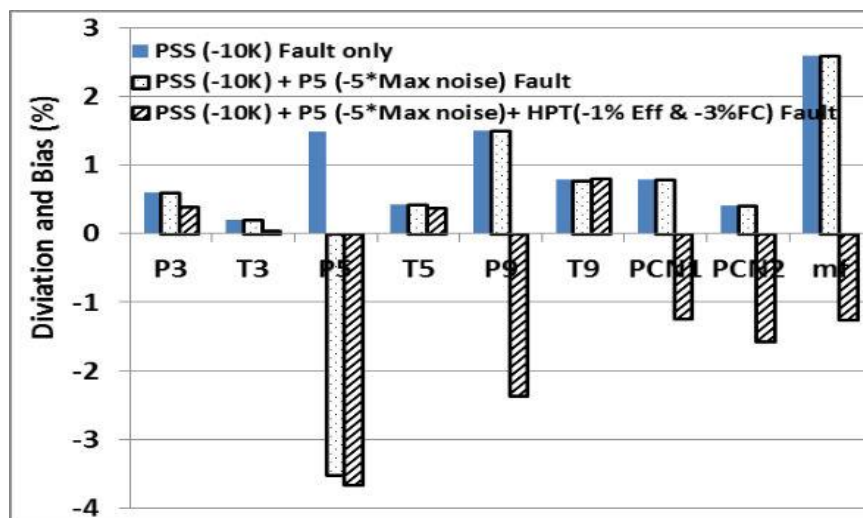


Рисунок 2.5 - Ознаки дефектів для трьох сценаріїв деградації давачів

Випадки дефектів датчика регулювання потужності (PSS), дефектів компонентів (CFC) і датчиків (SFC). Дефект датчика частоти обертання (PSS) має особливий вплив на роботу двигуна, і діагностику дефектів PSS, тому він розглядається як окремий тип дефекту.

Для ізоляції деградованих компонентів у різних сценаріях деградації припускається, що п'ять основних компонентів газового тракту, тобто компресори низького і високого тиску (КНТ і ВТТ), пальник і турбіни високого і низького тиску (ТВТ і ТНТ) є потенційно деградованими компонентами, і лише один з них може суттєво деградувати за один раз.

Таким чином, всього існує п'ять компонентних дефектів (КНП) (тал. 2.5), де також наведені параметри стану та області пошуку генетичного алгоритму для цих параметрів.

Таблиця 2. 5 Випадки дефектів елементів (CFC) газотурбіної установки

	Компонент Задіяний	Стан Параметри	Пошук ГА Домен
XФУ1	LPC	Індекс EF_{LPC}	(-5.0, 0.01)
		Індекс FC_{LPC}	(-5.0, 0.01)
CFC2	HPC	Індекс EF_{HPC}	(-5.0, 0.01)
		Індекс FC_{HPC}	(-5.0, 0.01)
CFC3	Пальник.	Індекс EF_B	(-5.0, 0.01)
CFC4	HPT	Індекс EF_{HPT}	(-5.0, 0.01)
		Індекс FC_{HPT}	(-5.0, 5.0)
CFC5	LPT	Індекс EF_{LPT}	(-5.0, 0.01)
		Індекс FC_{LPT}	(-5.0, 5.0)

У процесі діагностики ГА виконується пошук кожного з компонентних випадків дефектів (КНВ), і найбільш вірогідними є КНВ з високими значеннями придатності генетичного алгоритму.

Аналогічно визначаються випадки дефектів датчика (SFC) для того, щоб ізолювати та виявити дефекти датчика газового тракту. Передбачається, що одночасно може вийти з ладу лише один датчик газового тракту. Тому кожен SFC включає всі датчики (див. табл. 2.2), окрім одного; ці SFC та виключені датчики в

окремих SFC, які перелічені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 Випадки дефектів датчиків (SFC) газотурбінної установки

	Виключено Сенсор.		Виключено Сенсор.
SFC1	P3	SFC5	P9
SFC2	T3	SFC6	T9
SFC3	P5	SFC7	PCN2
SFC4	T5	SFC8	mf

Параметри генетичного алгоритму. Для проведення діагностичного пошуку генетичного алгоритму на основі рис. 2.1 визначено найважливіші параметри ГА та їх значення, які наведено в табл.2.7. Вибір значень параметрів ГА є компромісом між точністю пошуку та швидкістю обчислень ГА. Для знаходження найкращих значень параметрів може бути використаний метод "спроб і помилок".

Таблиця 2.7 Параметри генетичного алгоритму GA

Параметр GA	Значення
Чисельність осіб	50
Кількість поколінь	50
Ймовірність перехресного переходу	0.5
Ймовірність мутації	0.3
Кількість відчужень	2

2.5.3 Приклади використання генетичного алгоритму для діагностування дефектів газового тракту газотурбінної установки

Приклад 1: Діагностування дефектів давача PSS

У цьому прикладі припускається, що відбувається лише зсув PSS на -10K і немає інших дефектів датчика газового тракту або компонентів двигуна.

Якщо дефекти датчиків не розглядаються, діагностичний аналіз може бути

зосереджений тільки на компонентах газового тракту двигуна ГТУ. Іншими словами, можна шукати всі випадки дефектів компонентів (CFC), визначені в табл.2.5.

Результати показані на рис. 2.6, позначеному як «Виключити дефект PSS». Видно, що придатність генетичного алгоритму GA для всіх випадків дефектів компонентів є дуже низькою, від 0,4 до 0,6. Це вказує на те, що отримані результати КФК не є коректними і пошук дефектів не вдається.

Якщо виявлено несправність датчика встановлення потужності (PSS), вищеописаний процес пошуку повторюється, і результати також показано на рис. 2.6, позначеному як "Включити несправність PSS". Видно, що отримані значення GA передбачені набагато вищі, близько 0,9 для всіх CFC, що вказує на те, що

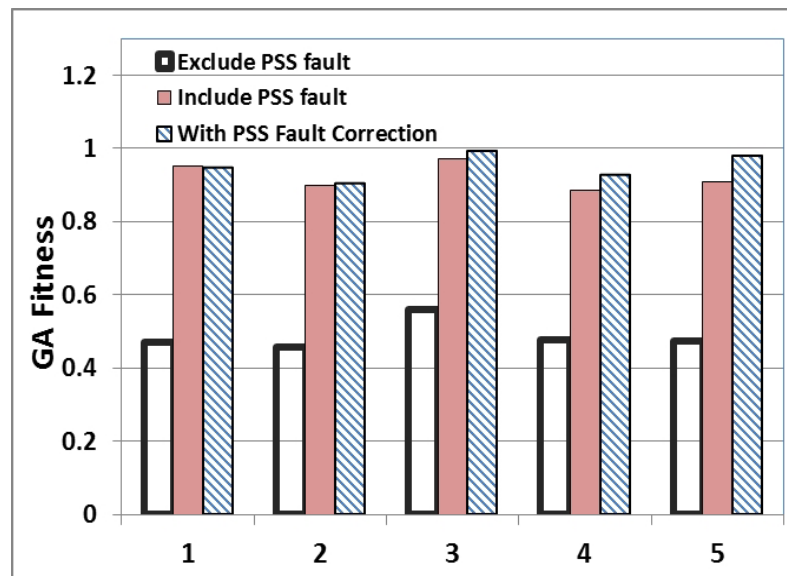


Рисунок 2.6 - Придатність генетичного алгоритму для CFC з урахуванням та без урахування дефектів давача PSS у прикладі 1

в отриманих результатах з великою ймовірністю може бути виявлена реальна деградація. Порівнюючи прогнозовану деградацію з імплантованою деградацією на рис. 2.7, можна побачити, що дефекти СУЗ були передбачені цілком задовільно з невеликим рівнем ефекту розмазування на турбіні ТВТ.

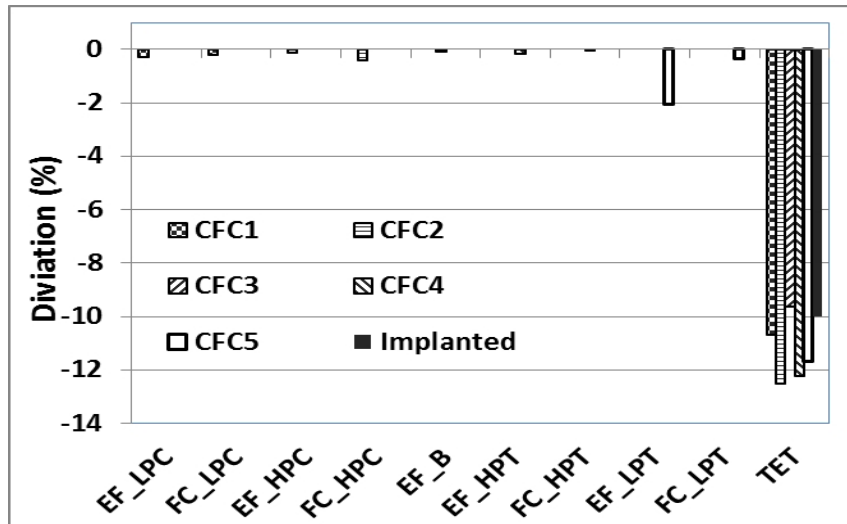


Рисунок 2.7 - Прогнозовані дефекти елементів двигуна та давача PSS у прикладі 1

Виходячи з результатів, показаних на рис. 2.7, можна зробити висновок, що СРП має несправність і зсув СРП може становити від -9К до -13К, а також існує ймовірність деградації турбіни ЛП. На основі такого аналізу, зміщення PSS -10К коригується, і всі CFC шукаються знову. Відповідні результати показані на рис. 2.6 і 2.8, позначених як «з корекцією дефектів PSS». Тепер очевидно, що придатність генетичного алгоритму для всіх CFC близька до 1.0, а прогнозовані деградації компонентів дуже малі, і їх можна ігнорувати. Це чітко вказує на те, що справжня деградація відбувається лише на PSS, і жодні компоненти двигуна не деградують.

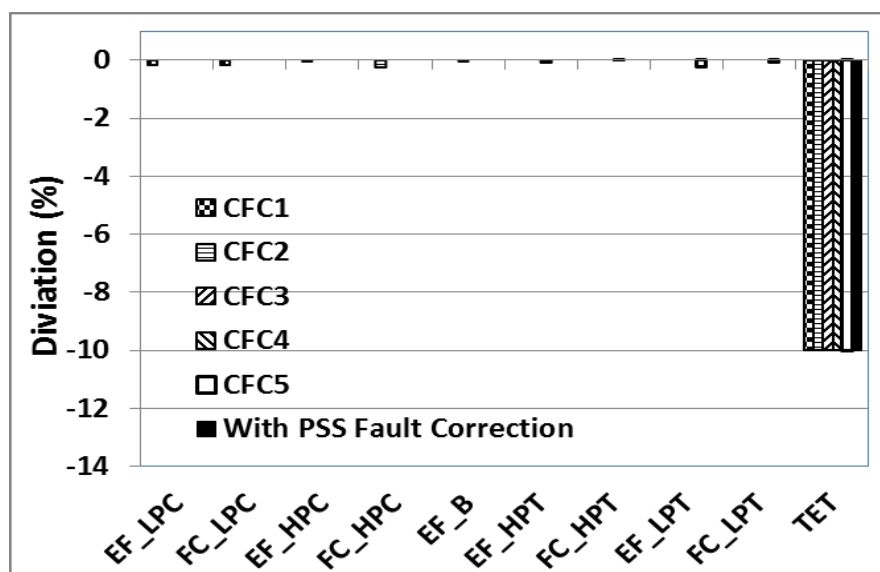


Рисунок 2.8 - Прогнозована деградація компонентів двигуна з корекцією несправності PSS у прикладі 1

Приклад 2: Діагностика деградації датчиків PSS і P5.

У цьому прикладі припускається, що PSS має зсув -10К, а P5 має зсув у -5 разів більший за максимальний рівень шуму вимірювання. Обидва дефекти реалізовано в моделі двигуна, а сигнатура дефекту показана на рис. 2.6 і позначена як «дефект PSS (-10К) + P5 (-5*Max noise)».

Виявлення дефекту датчика зазвичай виконується перед діагностикою компонентів газового тракту двигуна. Якщо припустити, що PSS не має дефектів, можна виконати пошук усіх восьми випадках дефектів одного датчика (SFCs), наведених у табл. 2.6, і результати наведені на рис. 2.9. Видно, що GA Fitness для

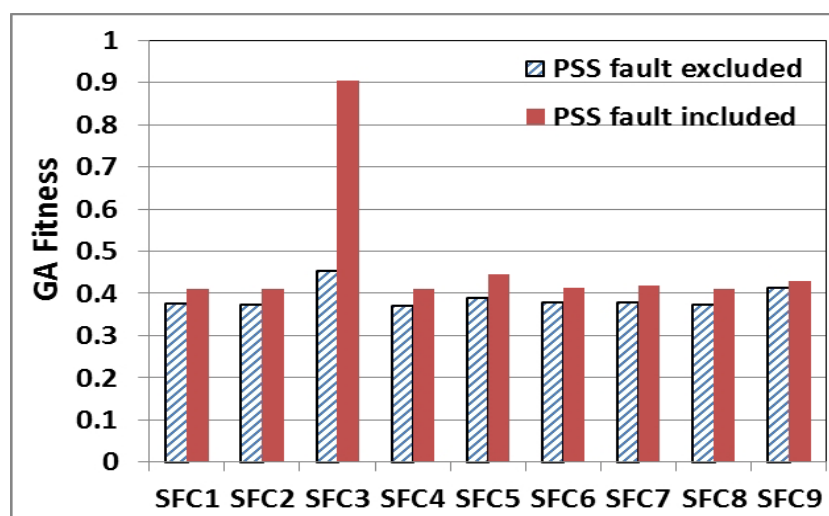


Рисунок 2.9 - Придатність генетичного алгоритму GA для прикладу 2

всіх SFC становить близько 0,35 і 0,45, що вважається низькими значеннями. Це свідчить про те, що пошук дефектів датчиків не увінчався успіхом.

Включивши дефекти PSS в пошук GA, всі SFC були знову перевірені, і відповідна придатність GA для всіх SFC показана на рис. 2.9. Видно, що придатність GA для більшості SFC становить близько 0,4, а SFC3 показує надзвичайно високе значення придатності GA, близько 0,9. Такі результати вказують на те, що дійсний дефект датчика газового тракту може з великою ймовірністю статися на P5. Подальші результати прогнозованих відхилень PSS для всіх SFCs показано на рис. 2.10, з якого видно, що прогнозоване відхилення PSS для SFC3 становить близько -12,2К, що досить близько до дійсного значення

відхилення PSS, яке становить -10К. Прогнозовані зміщення PSS для інших SFC вважаються неправдивими через відповідну низьку придатність GA.

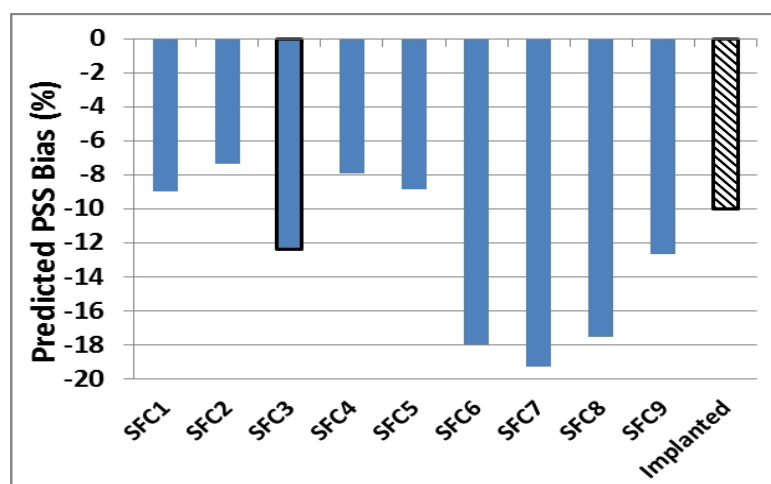


Рисунок 2.10 - Прогнозоване зміщення датчика PSS у прикладі 2

Приклад 3: Діагностування деградації PSS, P5 та НРТ

Тут продемонстровано більш складний випадок деградації, коли PSS, P5 і турбіна високого тиску (ТВТ) деградують одночасно, і сигнатура дефекту для цього випадку показана на рис. 2.5.

Щоб включити всі три типи деградації в діагностичний аналіз, слід врахувати наступне:

- Випадок дефекту давачча PSS повинен бути включений у всі діагностичні пошуки GA.
- Випадки дефекту датчика газового тракту (SFC) слід діагностувати в першу чергу, щоб виявити та виключити дефектний датчик газового тракту.
- Під час пошуку SFC випадки дефектів компонентів (CFC) вибираються випадковим чином і шукаються одночасно з SFC.

Виходячи з вищесказаного, випадково обраний CFC може відноситись до недеградованого компоненту (наприклад, ТНВТ в CFC 2) або деградованого компоненту (наприклад, ТНВТ в CFC4), оскільки фактично деградований компонент двигуна невідомий.

Щоб продемонструвати різницю між вибором недеградованого та деградованого компонента для виявлення дефекту датчика, на рис. 2.11 показано два приклади

результатів пошуку всіх SFC, один з яких стосується вибору CFC2 (HPC), а інший - вибору CFC4 (HPT).

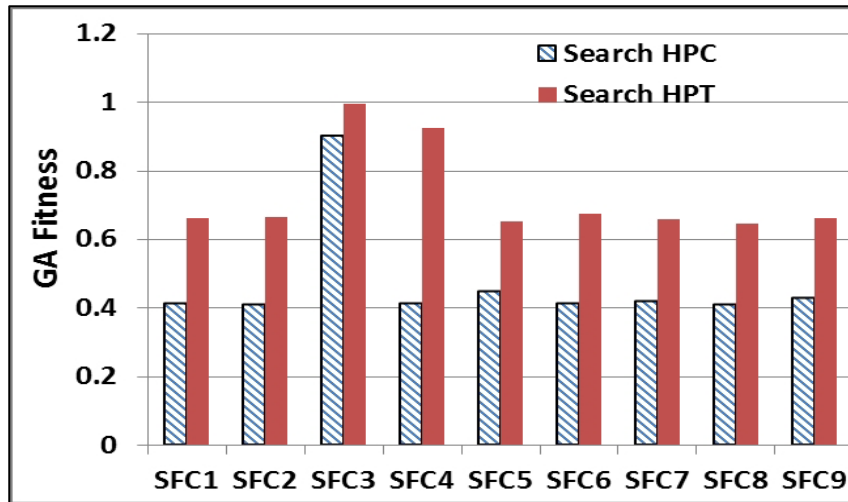


Рисунок 2.11 - Прогнозована придатність генетичного алгоритму GA у прикладі 3

У першому прикладі видно, що придатність GA для всіх SFC має низькі значення близько 0,4, за винятком SFC3, який має придатність GA близько 0,9, що відноситься до датчика P5. Коли у другому прикладі обрано деградований компонент HPT (CFC4), придатність GA для більшості SFC зростає до близько 0,65, за винятком SFC3 (P5) і SFC4 (T5), для яких придатність GA близький до 1,0.

Зростання середнього показника придатності GA є очікуваним, оскільки фактично деградований компонент HPT включається в пошук GA. Несправний датчик P5 правильно визначено в SFC3, в той час як, на жаль, високий показник придатності GA Fitness SFC4 є несподіваним, оскільки T5 не дефектним. Щоб зрозуміти причини високого значення придатності GA для SFC4, було проведено подальший аналіз, деталі якого наведено нижче.

Розглядаючи деталі прогнозованих деградацій у цих двох прикладах і порівнюючи їх з імплантованою деградацією, показаною в табл. 2. 8, можна зробити висновок, що прогнози для "CFC4+SFC3" є дуже задовільними, але прогнозовані

Таблиця 2.8 Прогнозована деградація у прикладі 3

	GA Фітнес	TET Упередженість (К)	EF_H PT (%)	FC_H PT (%)
CFC4+SFC3	0.996	-9.92	-0.99	-2.98
CFC4+SFC4	0.926	1.45	-0.87	1.32
Імплантований	н/д	-10	-1.0	-3.0

деградації для "CFC4+SFC4" дуже відрізняються від імплантованих дефектів.

Подальший аналіз показує, що при виключенні T5 в SFC4 комбінація зсуву PSS (TET) на 1,45К і деградації НРТ (-0,87% деградації індексу ефективності і 1,32% деградації індексу пропускної здатності) призводить до майже ідентичної сигнатури дефекту, як показано на рис. 2.12. Це вказує на те, що T5 є настільки важливим в діагностичному аналізі, що якщо виключити датчик T5, то можна передбачити хибний результат діагностики. Іншими словами, деградація датчика T5 і НРТ може бути помилково діагностована в такому складному сценарії деградації, який може бути неминучим.

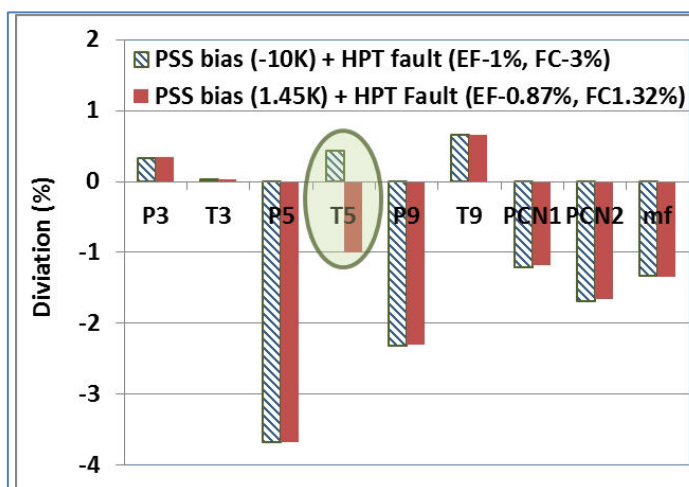


Рисунок 2.12 - Порівняння сигнатур дефектів PSS та НРТ

2.5.4 Фактори, що можуть призвести до зниження точності прогнозування дефектів газового тракту ГТУ з використанням генетичних алгоритмів.

Існує два основних фактори, які можуть призвести до зниження точності діагностичних прогнозів генетичних алгоритмів: один - це сам підхід ГА через його стохастичну природу, а інший - вплив шуму на результати вимірювань.

Невизначеності прогнозування досліджуються шляхом проведення 10 повторних ГА -пошуків для CFC4+SFC3 у прикладі 3 та порівняння результатів, позначених цифрами від 1 до 10 на рис. 2.13.

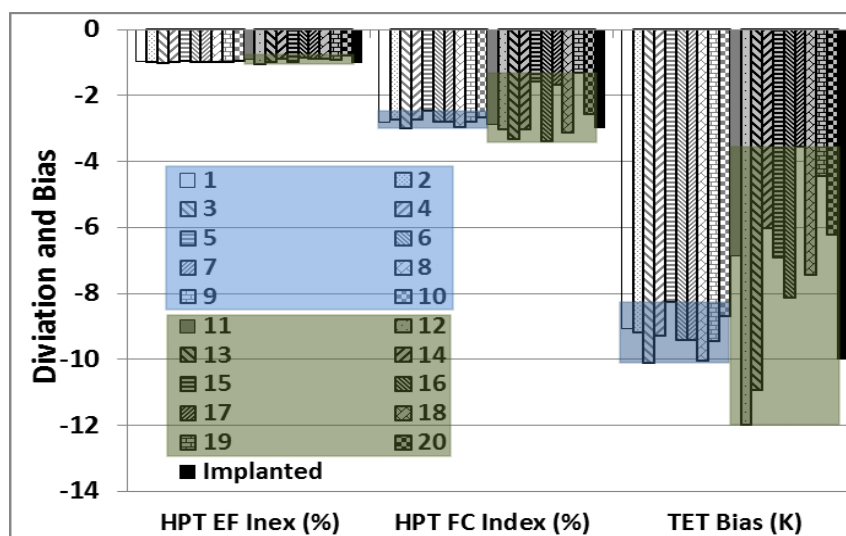


Рисунок 2.13 - Прогнозована деградація від повторного пошуку ГА CFC4+SFC3 з шумом вимірювання та без нього у прикладі 3

Діапазон невизначеностей прогнозу через стохастичку ГА показано в табл. 2. 9, де варіації індексу ефективності (EF) та індексу пропускної здатності (FC) знаходяться в межах 0,04% та 0,54% відповідно, а варіація зсуву ТЕТ - в межах 1,83К, що є досить малими.

Шум вимірювання неминучий у реальному житті, і його вплив негативно впливає

Таблиця 2.9 Діапазон невизначеностей прогнозування дефектів

	Завдяки стохастичі GA	Завдяки GA Stochastics & Measurement Шум
НРТ EF Індекс (%)	0.04	0.25
НРТ FC Індекс (%)	0.54	2.02
ТЕТ (К)	1.83	8.43

на результати діагностики. Для аналізу впливу шумів вимірювання на похибки діагностики, модель шумів вимірювання з максимальними рівнями шумів вимірювання, наведеними в табл.2.10, впроваджено в симуляції вимірювань.

Таблиця 2.10 Максимальний шум вимірювання

Вимірювання	Діапазон	Типова помилка
Тиск	3-45 psia	$\pm 0.5\%$
	8-460 psia	$\pm 0,5\%$ або 0,125, залежно від того, що більше
Температура	-65 - 290 C°	$\pm 3,3\text{ C}^\circ$
	290 - 1000 C°	$\sqrt{\pm 2.52 + (0.0075 \cdot T)^2}$
	1000 - 1300 C°	$\sqrt{\pm 3.52 + (0.0075 \cdot T)^2}$
Витрата палива	До 250 кг/год	41,5 кг/год
	До 450 кг/год	34,3 кг/год
	До 900 кг/год	29,4 кг/год
	До 1360 кг/год	23,7 кг/год
	До 1815 кг/год	20,8 кг/год
	До 2270 кг/год	23,0 кг/год
	До 2725 кг/год	25,9 кг/год
	До 3630 кг/год	36,2 кг/год
	До 5450 кг/год	63,4 кг/год
	До 12260 кг/год	142,7 кг/год

Вимірювальний шум випадково генерується відповідно до розподілу типу Гаусса і накладається на істинні значення імітованих вимірювань газового тракту для генерації множинних вибірок. Було згенеровано 10 наборів випадкових вибірок, а відповідні сигнатури несправностей показано на рис. 2.14, де видно, що сигнатури дефектів дещо відрізняються.

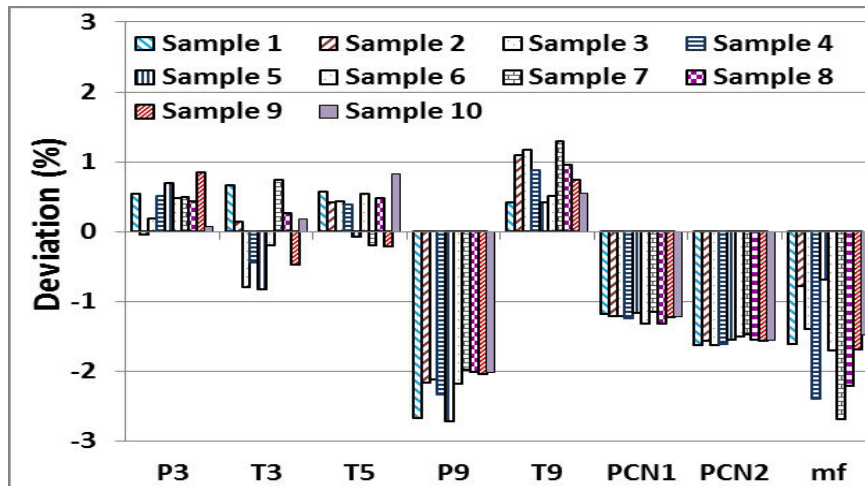


Рисунок 2.14 - Ознаки дефектів з урахуванням шумів вимірювання

Процес діагностичного пошуку GA (рис.2.1) застосовано до пошуку CFC4+SFC3 з використанням 10 сигнатур дефектів, показаних на рис. 2.14, з включенням випадку несправності PSS. Відповідно, отримані значення придатності ГА для 10 результатів показані на рис. 2.15 (точки 11-20), а прогнозовані деградація

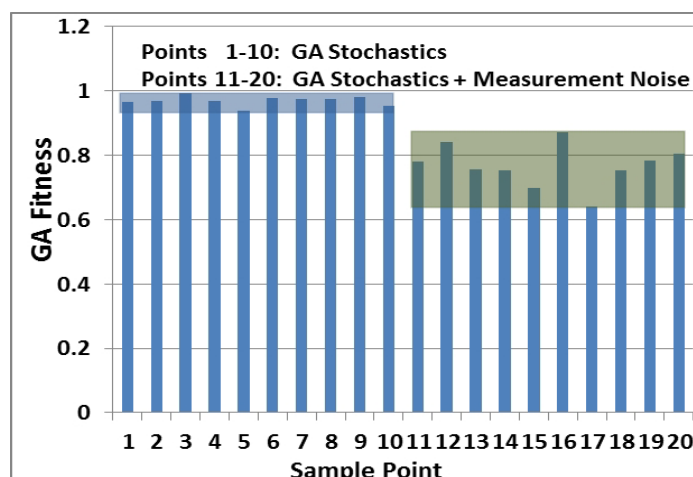


Рисунок 2.15 - Придатність GA від повторного пошуку GA з урахуванням шуму вимірювань - CFC4+SFC3 у дослідженні CASE 3

НРТ і зсув PSS показані на рис. 2.13 (нумерація від 11 до 20). Порівняно з аналогічними результатами, показаними на рис. 2.15, де не враховуються шуми вимірювань, можна побачити, що середній показник придатності GA знизився з приблизно 0,94~0,99 до приблизно 0,64~0,87, тобто став нижчим і має більше розсіювання. Невизначеності прогнозування параметрів стану також стають більшими, як показано на рис. 2.13 і в табл. 2.9. Іншими словами, невизначеності прогнозу зростають з 0,04% до 0,25% для індексу ЧСС, з 0,54% до 2,02% для індексу ЧСС і з 1,8К до 8,4К для зсуву ТЕТ.

Хоча газотурбінні установки можуть мати дещо різні конфігурації, всі вони мають схожі компоненти, працюють за схожим принципом, мають схожі вимірювання газового тракту і керуються аналогічним чином за допомогою параметра налаштування потужності. Тому розглянутий метод діагностування газового тракту для датчика налаштування потужності газової турбіни, датчиків газового тракту і компонентів газового тракту, теоретично не має обмежень і може бути застосований до будь-яких інших газотурбінних установок.

Виходячи з викладено вище, можна зробити наступні висновки:

- дефекти датчика регулювання потужності змінить продуктивність всієї газової турбіни. Без включення випадку дефекту PPS підхід до діагностики GA не може працювати належним чином, коли трапляється дефект PSS.
- Впроваджений метод діагностики GA здатний успішно виявляти дефекти датчика налаштування потужності з і без наявності однокомпонентної несправності (наприклад, деградації ТНВТ) і дефекту одного датчика газового тракту (наприклад, дефекту P5).
- Дефект PPS може призвести до появи сигнатури несправності, подібної до сигнатури деградації компонента у виняткових ситуаціях, що може спричинити труднощі в ідентифікації справжньої деградації
- Як стохастика GA, так і шуми вимірювань негативно впливають на точність діагностики. Тематичні дослідження показують, що існує до 0,04%, 0,54% і 1,83К невизначеностей прогнозу для індексу НРТ EF, індексу НРТ FC і відхилення ТЕТ відповідно через стохастичку GA, і до 0,25%, 2,02% і 8,4К невизначеностей

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

прогнозу для тих же параметрів здоров'я відповідно через стохастику GA і шум вимірювань.

- Швидкість обчислень діагностичного підходу на основі GA є відносно низькою порівняно з іншими методами діагностики газового тракту. Для отримання рішення на типовому настільному комп'ютері потрібно близько 18 хвилин обчислювального часу, що може бути придатним лише для офлайн-діагностики.

- Теоретично, такий метод діагностики може бути застосований до різних газотурбінних двигунів.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

Під час виконання бакалаврської роботи було отримано наступні результати дослідження:

1. Проведено аналіз сучасного стану автоматизації процесу компримування природного газу з використанням ГПА, а саме:
 - здійснено опис конструкції газоперекачувальних агрегатів та опис процесу компримування природного газу;
 - проаналізовані обмеження, що накладаються на параметри агрегатів ГПА з метою їх ефективної роботи і запобігання аварійним ситуаціям;
 - проаналізовані основні характеристики системи автоматичного управління ГПА та існуючих типів контролерів з точки зору використання їх для управління роботою ГПА. Показано, що найбільш перспективними є контролери SIMATIC S7-1200 концерну Siemens.
2. Розроблено технічне забезпечення САУ ГПА з врахуванням стану його турбіни, визначену на основі генетичного алгоритму, яке включає наступне:
 - проаналізовано стан газового тракту ГТУ на основі чого встановлено, що діагностування стану датчика регулювання потужності двигуна ГТУ з і без компонентів двигуна дозволить оцінити технічний стан газового тракту ГТУ і вибрати оптимальні параметри режиму його експлуатації, які будуть реалізовані системою автоматичного управління ГТУ;
 - проведено моделювання турбіни ГТУ та її продуктивності за результатами якого встановлено, що про фактичну продуктивність двигуна свідчать вимірювання газового тракту двигуна за допомогою датчика налаштування потужності (PPS), результати якого мають безпосередній вплив на управління двигуном та його продуктивність;
 - проведено моделювання процесу деградації двигуна та давачів ГТУ за результатами якого встановлено, що деградація датчиків газового тракту може змінити робочий стан двигуна і, як наслідок, змінити продуктивність двигуна та інші вимірювання газового тракту, а різні ступені деградації двигуна можуть

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

призводити до різних сигнатур дефектів; ця інформація використовується системою діагностики газового тракту для виявлення деградації;

- розроблення процедури діагностування газового тракту газотурбінної установки на основі генетичного алгоритму, виходячи з того, що дефекти датчика налаштування потужності (PSS) завжди повинні бути включені до процесів пошуку GA; дефекти датчика газового тракту слід шукати перед діагностуванням дефектів компонентів газового тракту, а вимірювання дефектними датчиками газового тракту слід виключити з набору вимірювань при діагностуванні дефектів компонентів двигуна;

- наводяться результати дослідження генетичного алгоритму при діагностуванні дефектів давачів газового тракту ГТУ в процесі результати вимірювань газового тракту справного і деградованого двигуна імітуються шляхом запуску моделі роботи двигуна з деградацією його елементів і без неї на номінальному режимі;

- наводяться результати моделювання сигнатур дефектів газового тракту ГТУ, зокрема випадки дефектів датчика регулювання потужності (PSS), дефектів компонентів (CFC) і датчиків (SFC);

- наводяться приклади використання генетичного алгоритму для діагностування дефектів газового тракту ГТУ, зокрема діагностування дефектів давача PSS, деградації датчиків PSS і P5, а також коли PSS, P5 і турбіна високого тиску (ТВТ) деградують одночасно.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Автоматическое управление газотурбинными установками / [Б.И. Аранович, Ю.Т. Лячек, В.А.Олейников, А.А. Файнштейн]. – Л.: Недра, 1974. – 216с.
2. ГПА-Ц-16С Інструкція з експлуатації 246.0000.000-01 РЕ (ГПА-Ц1-16С/76-1,44). <https://www.turbinist./25552-rukovodstvo-po-ekspluatacii-2460000000-01-re-gra-c1-16s-76-144.html>
3. ДВИГУН ДГ90Л2 АГРЕГАТА ГПА-Ц-16С (Технічний опис Г90108000 ТО). <https://www.turbinist./29636-dvigatel-dg-90-tehnicheskoe-opisanie-g-90108200-to.html>
4. Технічна діагностика трубопровідних систем[Текст] / [В.Я.Грудз, Я.В.Грудз, В.В.Костів та ін.].- Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2012. – 512 с.
5. Приймак К.О. Дослідне випробування методології комплексної параметричної ідентифікації фактичних характеристик енергетичного об'єкту [Текст]/ К.О. Приймак, Н.В. Оліневич, О.П. Дащенко.- Енергетика: економіка, технології, екологія, 2015. - № 1. – с.47-54.
6. Заміховський Л.М. Концепція моніторингу технічного стану газоперекачувального обладнання [Текст]/ Л.М. Заміховський, С.О. Саприкін.- Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць; тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – НТУ ХПІ. – Харків, 2009. – № 8. – с. 64-68.
7. Загальні особливості методології параметричного визначення фактичних характеристик газоперекачувального агрегату [Текст]/ Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, О.Ю. Чередніченко, Л.М. Підзирайло.- Збірник проблеми нафтогазової промисловості: Збірник наукових праць. – Київ. – 2012. – № 10. – с.307- 331.
8. Возняк М.П. Діагностування технічного стану нагнітача газоперекачувального агрегату з використанням реальних режимних параметрів його роботи [Текст]/ М. П. Возняк, Т. В. Юрчило.- Науковий вісник ІФНТУНГ. 2012. - № 2(32). - с. 215-221.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

9. SIMATIC S7-1200, S7-1500 PID control. Function Manual. A5E35300227-AG, 11/2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://support.industry.siemens.com/cs/document/100746401/pid-control-with-pid_compact-for-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-US.
10. Condition Monitoring Systems SIPLUS CMS1200 SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions. Edition 11/2015. Answers for industry.
11. Urban, L. A., “Gas Path Analysis Applied to Turbine Engine Condition Monitoring”, AIAA 72-1082, AIAA/SAE 8th Joint Propulsion Specialist Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1972.
12. Denney, G., “F16 Jet Engine Trending and Diagnostics With Neural Networks”, Proc. SPIE., Vol. 1965, 1993
13. Zedda, M. and Singh, R., “Gas Turbine Engine and Sensor Fault Diagnosis Using Optimization Techniques”, Journal of Propulsion and Power., Vol. 18, No.5, 2002
14. Wallin, M. and Grönstedt, T., “A Comparative Study of Genetic Algorithms and Gradient Methods for RM12 Turbofan Engine Diagnostics and Performance Estimation”, GT2004-53591, ASME Turbo Expo, Vienna, Austria, 2004.
15. Ganguli, R., “Application of Fuzzy Logic for Fault Isolation of Jet Engines”, 2001-GT-0013, ASME Turbo Expo, New Orleans, USA, 2003.
16. Li, Y. G., “A Gas Turbine Diagnostic Approach With Transient Measurement”, IMechE Journal of Power and Energy, Vol. 217, 2003.
17. Romesis C. and Mathioudakis K., “Setting Up of a Probabilistic Neural Network for Sensor Fault Detection Including Operation with Component Faults”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 125, pp.634-641, 2003.
18. Li, Y. G., “Gas Turbine Performance and Health Status Estimation Using Adaptive Gas Path Analysis”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power., Vol. 132, No.4, 2010.
19. Aretakis N., Mathioudakis K. and Stamatis A., “Identification of Sensor Faults on Turbofan Engine Using Pattern Recognition Techniques”, Control Engineering Practice, Vol. 12, pp.827-836, 2004.

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

20. MacMillan, W., “Development of a Modular Type Computer Program for the Calculation of Gas Turbine Off Design Performance”, PhD thesis, Cranfield Institute of Technology, 1974.
21. Li, Y. G., “Gas Turbine Performance and Health Status Estimation Using Adaptive Gas Path Analysis”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power., Vol. 132, No.4, 2010.
22. Courdier A. and Li Y.G., “Power Setting Sensor Fault Detection and Accommodation for Gas Turbine Engines Using Artificial Neural Networks”, ASME GT2016-56304, Turbo Expo 2016.
23. Michalewicz Z., “Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programmes”, 3 rd Edition, Springer, 1999.
24. Li, Y.G., Abdul Ghafir M.F., Wang L., Singh R., Huang K., Feng X. and Zhang W., “Improved Multiple Point Non-Linear Genetic Algorithm Based Performance Adaptation Using Least Square Method”, ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 134, pp.031701, March 2012.
25. Yi-Guang Li. DIAGNOSTICS OF POWER SETTING SENSOR FAULT OF GAS TURBINE ENGINES USING GENETIC ALGORITHM. Aeronautical Journal, Volume 121, Issue 1242, 2017, pp. 1109-1130 DOI:10.1017/aer.2017.49

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: – «Розроблення технічного забезпечення САУ ГПА з врахуванням його технічного стану на базі штучного інтелекту»

Обсяг пояснювальної записки складає: 71 сторінку тексту та містить 28 рисунків, 10 таблиць та 25 використаних літературних джерела.

Перелік креслень графічної частини:

- КБР. СІ - 18.00.00.001 – Зовнішній вигляд газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С (листів - 1);

- КБР. СІ - 18.00.00.002 – Програмовані контролери SIMATIC S7-1200; GE Fanuc серії 90-30 ; Allen Bradley SLC 500 (листів - 1);

- КБР. СІ - 18.00.00.003 – Газотурбінна установка та її системи управління і діагностики (листів - 1);

- КБР. СІ - 18.00.00.004 – Параметри генетичного алгоритму GA (листів - 1);

- КБР. СІ - 18.00.00.005 – Придатність генетичного алгоритму для CFC з урахуванням та без урахування дефектів давача PSS (листів - 1);

- КБР. СІ - 18.00.00.006 – Прогнозована придатність генетичного алгоритму GA для діагностування деградації PSS, P5 та НРТ (листів - 1);

Дата закінчення бакалаврської роботи 20 червня 2025 року

Студент-бакалавр _____ **Юрій ДРОНЬ**

					КБР. СІ – 18.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71