

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИМИ АГРЕГАТАМИ З ВРАХУВАННЯМ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Л. М. Заміховський*, О. Л. Заміховська, Н. І. Іванюк, В. В. Павлик

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727170,
e-mail: leozam@nimg.edu.ua

На компресорних станціях (КС) газотранспортної системи (ГТС) України встановлено 702 газоперекачувальних агрегати (ГПА), з яких газотурбінних – 20 типів, що становить 76,7% від їх загальної кількості. Кожен з ГПА оснащений системою автоматичного управління (САУ), яка забезпечує його ефективну роботу. Сьогодні більше 60% ГПА, зокрема великої потужності (25.0МВт), відпрацювали встановлений моторесурс, або близькі до цього. Подальша їх експлуатація не забезпечує надійної і ефективної роботи, у зв'язку з чим виникають численні відмови та аварії, що призводять до значних економічних збитків. Враховуючи, що разом з ГПА поставлялися САУ, які на даний час є морально застарілими і практично вичерпали свій ресурс, актуальною є задача удосконалення САУ ГПА з врахуванням їх технічного стану. Вирішення поставленої задачі вимагає інтеграції існуючих автономних засобів контролю і діагностування технічного стану ГПА в їх САУ. Наведено аналіз відомих систем і засобів діагностування технічного стану ГПА, з точки зору можливості їх інтеграції в існуючі САУ ГПА. Показана можливість використання сучасних апаратно-програмних засобів (зокрема, виробництва концерну Siemens) при розробці системи діагностування технічного стану ГПА-Ц-16С як складової його САУ, що підтверджено результатами її апробації на Долинському промисловому майданчику Богородчанського ЛВУМГ. Відмічено, що впровадження інженерно-технічних рішень щодо ГТК-25і, які дозволяють продовжити термін експлуатації його САУ, та заміна САУ застарілого типу на нові не призводить до значного підвищення надійності ГПА. Наводиться приклад удосконалення САУ ГТК-25і на КС-39 «У-П-У» Богородчанського ЛВУМГ шляхом оснащення додатковими давачами технологічних та віброакустичних параметрів ГТК-25і та модернізації прикладного програмного забезпечення, що включає алгоритми параметричного, віброакустичного діагностування ГТК-25і та алгоритм діагностування його САУ. Багаторічна експлуатація вдосконаленої системи підтвердила її ефективність.

Ключові слова: система автоматичного управління, газоперекачувальний агрегат, алгоритм, технічний стан, діагностування, давач, параметр.

На компресорных станциях (КС) газотранспортной системы (ГТС) Украины установлено 702 газоперекачивающих агрегатов (ГПА), из которых газотурбинных - 20 типов, что составляет 76,7% от их общего количества. Каждый из ГПА оснащен системой автоматического управления (САУ), которая обеспечивает его эффективную работу. Сегодня более 60% ГПА, в частности большой мощности (25.0 МВт), отработали установленный моторесурс или близки к этому. Дальнейшая их эксплуатация не обеспечивает надежной и эффективной работы, в связи с чем возникают многочисленные отказы и аварии, приводящие к значительным экономическим потерям. Учитывая, что вместе с ГПА поставлялись САУ, которые в настоящее время морально устарели и практически исчерпали свой ресурс, актуальной является задача совершенствования САУ ГПА с учетом их технического состояния. Решение поставленной задачи требует интеграции существующих автономных средств контроля и диагностирования технического состояния ГПА в их САУ. Приводится анализ известных систем и средств диагностики технического состояния ГПА, с точки зрения возможности их интеграции в существующие САУ ГПА. Показана возможность использования современных аппаратно-программных средств (в частности производства концерна Siemens) при разработке системы диагностирования технического состояния ГПА-Ц-16С как составляющей его САУ. Результаты апробации последней на Долинской промышленной площадке Богородчанского ЛПУМГ показали ее эффективность. Отмечено, что внедрение инженерно-технических решений по ГТК-25і, которые позволяют продлить срок эксплуатации его САУ, и замена САУ устаревшего типа новыми не приводит к значительному повышению надежности ГПА. Приводится пример усовершенствования САУ ГТК-25і на КС-39 «У-П-У» Богородчанского ЛПУМГ путем оснащения дополнительными датчиками технологических и виброакустических параметров ГТК-25і и модернизации прикладного программного обеспечения, включая алгоритмы параметрического, виброакустического диагностирования ГТК-25і и алгоритм диагностирования его САУ. Многолетняя эксплуатация усовершенствованной системы подтвердила ее эффективность.

Ключевые слова: система автоматического управления, газоперекачивающие агрегаты, алгоритм, техническое состояние, диагностика, датчик, параметр.

At the compressor stations (CS) of the gas transmission system (GTS) of Ukraine, 702 gas pumping units (GPU) have been installed, of which 20 types are gas turbine units, accounting for 76.7% of their total number. Each GPU is equipped with an automatic control system (ACS), which ensures its efficient operation. Today, more than 60% of GPUs, in particular of high power (25.0 MW), have worked out the installed service life, or those close to it. Their further operation does not ensure reliable and efficient operation, and therefore numerous failures and accidents occur, leading to significant economic losses. Considering that ACS were supplied together with the GPU, which are now morally obsolete and have practically exhausted their resource, the task of improving the ACS of the GPU, taking into account their technical condition, is urgent. The solution to this problem requires the integration of existing autonomous means of monitoring and diagnosing the technical state of the GPU into their ACS. The analysis of the known systems and means of diagnosing the technical state of the GPU from the point of view of the possibility of their integration into the existing ACS of the GPU is given. The possibility of using modern hardware and software, in particular the Siemens concern, in the development of a system for diagnosing the technical condition of the GPU-Ts-16S, as a component of its ACS, the results of testing which at the Dolinsky industrial site of the Bogorodchansky LPUMG have shown its effectiveness is shown. It is noted that the introduction of engineering solutions for the GPU type GTK-25-i, which allow extending the service life of its ACS, and replacing the old-style ACS with new ones does not lead to a significant increase in the reliability of the GPU. An example of the improvement of the ACS GPU type GTK-25-i on the KS-39 "V-P-V" of the Bogorodchansk LPUMG by equipping the GPU type GTK-25-i with additional sensors of technological and vibroacoustic parameters and upgrading the applied software, including algorithms for parametric, vibroacoustic diagnostics GPU type GTK-25-i and an algorithm for diagnosing its ACS. Long-term operation of the improved system has confirmed its effectiveness.

Key words: automatic control system, gas pumping units, algorithm, technical condition, diagnostics, sensor, parameter.

Постановка і актуальність проблеми

Тривала експлуатація ГТС України (близько 40 років) призвела до того, що понад 60% ГПА з газотурбінним приводом уже майже вичерпали свій ресурс (100 тис. годин). Водночас ресурс окремих деталей і вузлів значно менший (наприклад, ресурс лопатей варіює в діапазоні від 18 до 80 тис. год. Статистика відмов ГПА по механічній частині свідчить, що на лопатевий апарат припадає половина усіх дефектів і відмов ГПА [1]. Це обумовлено значними статичними, вібраційними (динамічними) і температурними навантаженням, яким піддається лопатевий апарат в процесі експлуатації ГПА. Щодо відмов САУ, то вони займають друге місце (37%) за загальною кількістю відмов по ГПА [2], оскільки є морально застарілими, побудованими на транзисторно-релейних схемах та вичерпали свій ресурс. Фахівцями служб КВПіА КС розробляється ряд інженерно-технічних рішень, які дозволяють подовжити термін експлуатації САУ, адаптувати сучасні мікропроцесорні засоби автоматизації до існуючих транзисторно-релейних систем управління та зменшити кількість хибних аварійних зупинок технологічного обладнання, що призводить з роками до зменшення відсотка відмов по САУ. Однак, ані впровадження інженерно-технічних рішень, які дозволяють продовжити термін експлуатації САУ ГПА, ані заміна САУ застарілого типу на нові не призводить для значного підвищення надійності ГПА.

Таким чином, існує проблема контролю технічного стану механічної частини ГПА та її

САУ, яку сьогодні вирішують шляхом розроблення методів і засобів діагностування кожної із вказаних складових окремо без розгляду ГПА з його САУ як єдиної системи. Для діагностування механічної частини ГПА існує значна кількість як стаціонарних систем, що працюють в режимі on-line, так і портативних віброметрів та віброаналізаторів, які працюють в режимі off-line і реалізують методи віброакустичної діагностики. Щодо діагностування САУ ГПА, то такі системи практично відсутні. При цьому результати діагностування не враховуються для корегування режиму роботи ГПА, що впливає на ефективність їх експлуатації. Водночас інтегрування систем контролю і діагностування технічного стану як механічної частини ГПА, так і САУ в її систему автоматичного управління дозволить підвищити їх надійність та ефективність процесу компримування газу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Більшість з технічних засобів, що працюють в режимі off-line, призначені для вирішення достатньо простих задач моніторингу, контролю та діагностування (діагностування і балансування у власних підшипниках, контроль і аналіз вібрації роторного устаткування, аналіз перехідних процесів при розгоні-вибігу, визначення власних частот різних конструктивних елементів і вузлів та балансування роторів тощо) механічної частини ГПА і не можуть бути використанні для інтегрування їх в САУ. З цієї точки зору, найбільш перспективними є стаціонарні системи контролю і діагностування тех-

нічного стану ГПА. Стационарні системи – це, як правило, вимірювальні засоби промислової автоматики, що використовують стандартні промислові контролери і за стандартними протоколами передають інформацію в SCADA-системи. Жорсткі вимоги до вимірювальних засобів систем управління обладнанням щодо достовірності одержуваної інформації накладають обмеження на безліч характеристик вимірювальних перетворювачів і обмежують обсяг вихідних даних. Як наслідок, основні засоби діагностування, що побудовані на їх основі, використовують лише найпростіші алгоритми контролю стану об'єктів управління. При цьому первинна інформація з таких засобів може виявитися незамінною і в системах глибокої діагностики обладнання по вторинних процесах.

За останні роки, з розвитком засобів цифрової обробки даних, можливості вібраційних вимірювальних каналів систем управління поступово розширюються. Створюються спеціальні контролери для паралельного багатоканального вимірювання величини вібрації з можливістю швидкої обробки результатів вимірювання для вирішення окремих діагностичних завдань в реальному часі. Створюються і багатоканальні контролери для стационарних систем захисту і діагностики обладнання, які виконують дві функції – вирішують завдання аварійного захисту (сигналізації) устаткування та паралельно видають в інформаційну мережу цифровий потік даних первинних вимірювань для вирішення більш складних діагностичних завдань.

Проаналізуємо існуючі на ринку системи діагностування. Так, фірма "ІНКОТЕС" спільно з фахівцями регіонального інженерного центру (РІЦ) ТОВ "Пермьтрансгаз" розробила програмне забезпечення – Автоматизоване Робоче Місце Інженера-діагноста "АРМІД®" і Експертну систему діагностики "ЕКСПЕРТ", що здатні вирішувати завдання створення "інтелектуальних" нарощуваних систем автоматизованої діагностики ГПА [3]. Розвинена діагностика "АРМІД® – ЕКСПЕРТ" дозволяє завчасно виявляти небезпечні несправності енергомеханічного устаткування, які неможливо виявити звичайним моніторингом. В роботі наводяться окремі приклади діагностування дефектів основних вузлів ГПА різних типів з використанням розробленого програмного забезпечення.

На спроектованих ЗАТ «НДТурбокомпресор ім. В.Б. Шнеппа» агрегатах ГПА-16 «Волга» та ін. розробляються системи вбудованого моніторингу, створюються і доповнюються бази даних типових агрегатів з виявленими дефек-

тами і вібраційними амплітудними спектрами. Аналіз сучасних методів діагностування компресорного обладнання нафтогазохімічних підприємств, наведений в [4], показав, що останнім часом має місце тенденція до створення «відкритих» експертних систем, де у користувач отримує можливість контролювати процес встановлення діагнозу, а також ввести власний алгоритм. Розроблянням вказаних систем в Росії займаються такі фірми, як НВЦ «Динаміка» та «ІНКОТЕС», "ТСТ", "Вібро-Центр", ВАТ «ІркутскНДХіммаш» ЗАТ «Промсервіс» та ін.

В УМГ «Київтрансгаз» розроблено автоматизовану систему вібромоніторингу ГПА-10 – комплекс «Simon» [5]. Порівнянно з будь-якими існуючими на даний момент системами комплекс «Simon» має унікальні можливості щодо виявлення дефектів і захисту обладнання. Її основні переваги полягають в наступному: можливість поєднання функцій засобів захисту і безпеки з можливостями виявлення дефектів ГПА на ранніх стадіях їх розвитку; можливість використання даних, отриманих в автоматичному або ручному режимах; можливість моніторизації стану обладнання в режимі реального часу. Відмічається, що комплекс «Simon» може реалізувати будь-яку відому методику аналізу технічного стану обладнання, а проведення вимірювання вібрації в чотирьох основних (критичних) точках турбоагрегату, як показали результати експериментів, є достатнім для отримання вичерпної картини про вібростан ГПА [6].

В [7] розглядається питання розробки комплексної автоматизованої системи діагностики газотурбінних двигунів (ГТД) на базі SCADA-технології імітаційного моделювання. Підхід до розробляння вказаної системи заснований на використанні імітаційних моделей, які отримують інформацію в режимі реального часу від об'єкта за допомогою SCADA-системи. Реалізація такого підходу можлива при інтеграції системи імітаційного моделювання (поелементна динамічна імітаційна модель) ГТД зі SCADA-системою.

Розглянуто загальну структуру запропонованої системи та описано принцип її роботи. Для реалізації алгоритму діагностування всередині модуля діагностики запропоновано використовувати інструментарій експертних систем (ЕС). Розробка ЕС включає в себе можливі комбінації наборів параметрів ГТД (насамперед термогазодинамічних) і їх взаємозв'язок з можливими дефектами, що виникають в процесі доведення і експлуатації виробу та вказано результати аналізу причин відмов ГТД. Зокрема

дефекти лопатей ГТД, які можуть бути виявлені при контролі параметрів його робочого циклу. Розглянуті вимоги до програмного забезпечення системи та бази даних, яка повинна мати можливість уточнення бази даних, з урахуванням змін методики обробки результатів і умов випробувань.

На сьогодні найбільшого поширення набула автоматизована система діагностичного обслуговування АСДО [8], яка впроваджена на ряді підприємств ВАТ «Газпром», ТОВ «Газпромвидобуток Надим», ТОВ «Газпромтрансгаз Санкт-Петербург» і виконує такі функції: формування математичної моделі справного агрегату на основі отриманих під час експлуатаційних технічних випробувань даних; розрахунок термогазодинамічних параметрів стану проточних частин відцентрових нагнітачів і газотурбінної установки (ГТУ) і прогнозування зміни їх значень; відстеження виходу параметрів із допустимого діапазону і формування діагностичних повідомлень для оповіщення; формування рекомендацій; накопичення і візуалізація результатів параметричної діагностики.

В [9] розглядається розроблена в ПІМаш ім. А. Н. Підгорного НАН України спільно з фахівцями компанії «Аерокосмоєкологія України» автоматизована система вібродіагностики і контролю механічних величин потужних турбоагрегатів «ПУЛЬС», яка складається з:

- технічних засобів контролю вібрації роторів валопроводу, і опор підшипників;
- технічних засобів контролю механічних величин;
- засобів прийому, цифрової обробки, аналізу, відображення та зберігання даних;
- математичного та програмно-методичного забезпечення автоматизованого контролю та діагностики вібраційного стану турбоагрегату.

Всі пристрої системи однотипні. Відмінність між ними полягає в установленні відповідного програмного забезпечення в мікроконтролер і в підключенні відповідного давача. Апаратні засоби контролю механічних величин і діагностування вібраційного контролю технічного стану устаткування можуть використовуватися як автономні вимірювальні засоби, так і в складі діагностичних і дослідницьких систем.

Програмне забезпечення системи «Пульс» забезпечує контроль і діагностування вібраційного стану турбоагрегату на різних режимах його роботи (валопоорот, пуск, вибіг, холостий хід, навантаження, робота під навантаженням). В [9] вказується, що інформаційно-діагностичний модуль допускає розширення і доповнення новими ознаками, правилами і дефектами.

Особливу зацікавленість, з точки зору теми роботи, викликає модуль моніторингу (вібраційний модуль) технічного стану обладнання SM 1281, який є новітньою розробкою фірми Siemens [10] і здатний постійно контролювати стан компонентів, що схильні до зносу, наприклад, двигуни, підшипники і критичні вузли машин, в тому числі і лопатевий апарат ГПА.

Особливістю модуля SM 1281 є можливість його використання в поєднанні з системою автоматизації SIMATIC S7-1200 як системою автономного вібромоніторингу технічного стану технологічних об'єктів в різних галузях промисловості, зокрема стосовно ГПА. Іншими особливостями SM 1281 є:

- 4 сенсорних каналів VIB для моніторингу сигналу вібрації;
- 1 цифровий вхід для вимірювання швидкості;
- пряма інтеграція в існуючі системи автоматизації SIMATIC S7-1200;
- безпроблемна інтеграція в нові і існуючі машини;
- високі частоти дискретизації;
- синхронний запис даних;
- аналіз вібрації в SM 1281. Результат аналізу переноситься на S7-1200 CPU через задню шину для подальшої обробки;
- обробка результатів аналізу вібрації в призначеній для користувача програмі управління;
- конфігурація функцій SM 1281 безпосередньо з ГПА Портал.

Інтеграція модуля SM 1281 з системою автоматизації SIMATIC S7-1200 дозволить не тільки проводити вібромоніторинг стану конкретного об'єкту, але й оптимізувати роботу об'єкту з врахуванням його технічного стану.

Невирішені частини загальної проблеми

В наведених вище джерелах відсутня інформація щодо можливості інтегрування розглянутих систем діагностування об'єктів (ГПА, ГТУ, ГТД чи потужного турбоагрегату) в систему управління з метою коригування режимів роботи об'єкта з врахуванням отриманої інформації про його технічний стан. Винятком є вібраційний модуль SM 1281, який має пряму інтеграцію в існуючі системи автоматизації SIMATIC S7-1200 і на основі якого можна розробити систему діагностування ГПА. Водночас відсутні публікації щодо вдосконалення існуючих САУ, зокрема ГТК-25і, стосовно можливості отримання інформації про його технічний стан і врахування її при виборі раціональних режимів роботи ГТК-25і.

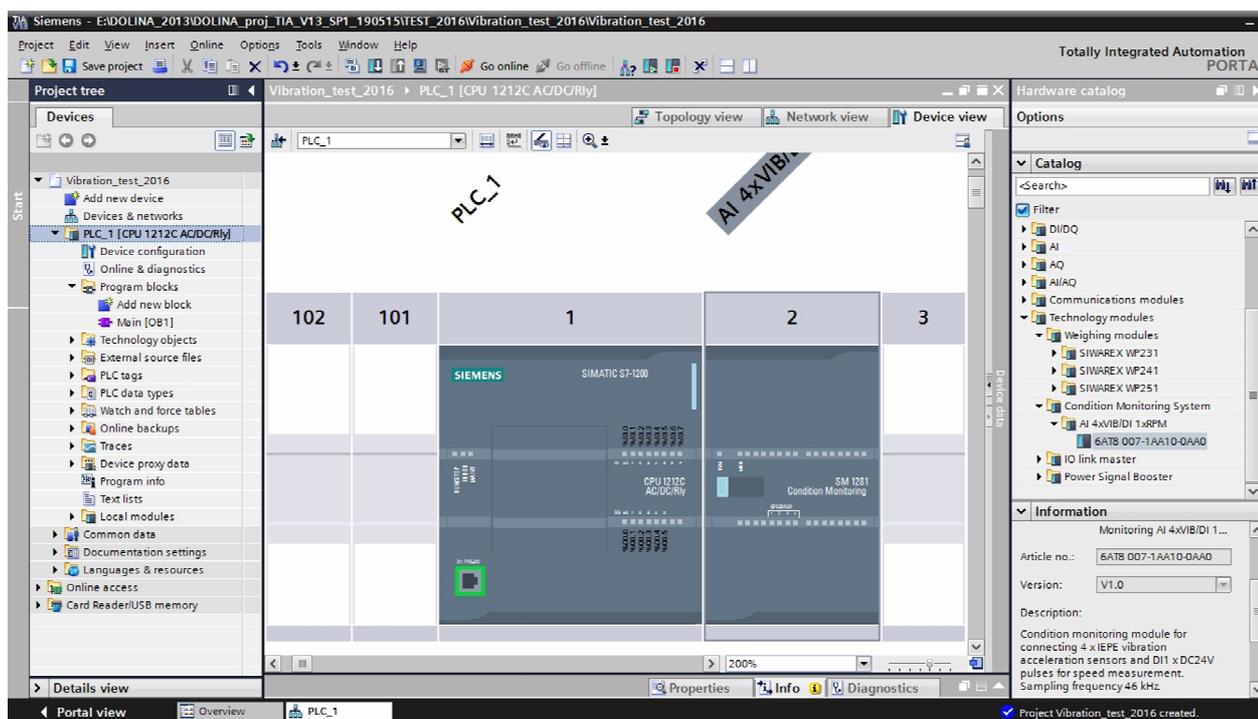


Рисунок 1 – Апаратна конфігурація системи діагностування ГПА-Ц-16С на базі PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM1281

Мета та завдання досліджень

Метою роботи є підвищення надійності і ефективності експлуатації ГПА-Ц-16С та ГТК-25і шляхом вдосконалення їх САУ з врахуванням технічного стану, який визначається методами і засобами інтегрованими в САУ.

Висвітлення основного матеріалу дослідження та одержаних результатів

Удосконалення САУ ГПА-Ц-16С. В [11] розглядається система діагностування ГПА-Ц-16С основу якої становлять апаратно-програмні засоби концерну Siemens, апаратна конфігурація якої наведена на рис. 1.

Система включає:

1. SM1281 Condition Monitoring – вібраційний модуль для вимірювання параметрів вібрації.
2. PLC Simatic S7-1200 (CPU 1212C AC/DC/Rly) – програмований логічний контролер [12].
3. Середовище проектування TIA Portal V13SP1 (Totally Integration Automation) «Siemens» [13].

Оснoву системи складає вібраційний модуль SM1281 [14,15] з комплектом акселерометрів (промисловий стандарт для акселерометрів IEPE – Integrated Electronics Piezo-Electric). Середовище проектування TIA Portal V13SP1 забезпечує функції апаратної конфігурації, пара-

метрування сигнальних модулів і налагодження інтерфейсів зв'язку.

Використовуючи SM 1281, можна записувати та зберігати дані віброграм. Такі процедури можна виконати через вбудований веб-сервер. Запис необроблених даних може здійснюватися в одному із випадків: після команди користувача, або коли встановлені граничні значення були перевищені.

Тривалість запису даних можна встановити окремо через веб-інтерфейс. Після отримання доступу до записаних даних, наступним етапом є їх подальша обробка за допомогою програмного пакету – CMS X-Tools. Після імпортування даних у програму, їх можна відобразити через вікно «Monitoring System». Як приклад, на рис. 2 наведена віброграма, записана у ході проведення експериментальних досліджень вібраційного стану ГПА-Ц-16С та збережена у якості wav-файла засобами CMS X-Tools [15]. Слід зауважити, що обробка даних в середовищі CMS X-Tools може здійснюватися як в режимі «of-line», так і в режимі «on-line».

Для обробки отриманої інформації існує значна кількість вбудованих функцій, зокрема арифметичні, тригонометричні, фільтри високих та низьких частот, спектральні перетворення (перетворення Фур'є) та інші (рис. 3).

Для інтеграції системи діагностування в САУ ГПА-Ц-16С в її структуру включено модуль аналогових сигналів.

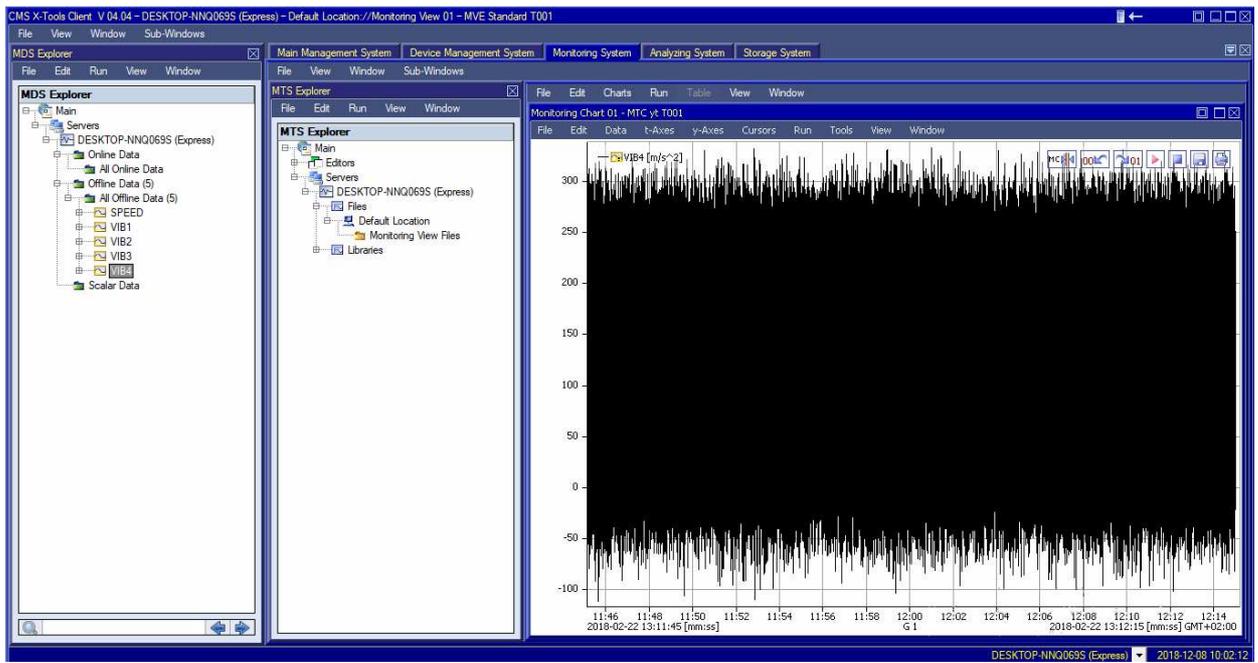


Рисунок 2 – Віброграма записана у ході проведення експериментальних досліджень вібраційного стану ГПА-Ц-16С та збережена у вигляді wav-файла засобами CMS X-Tools

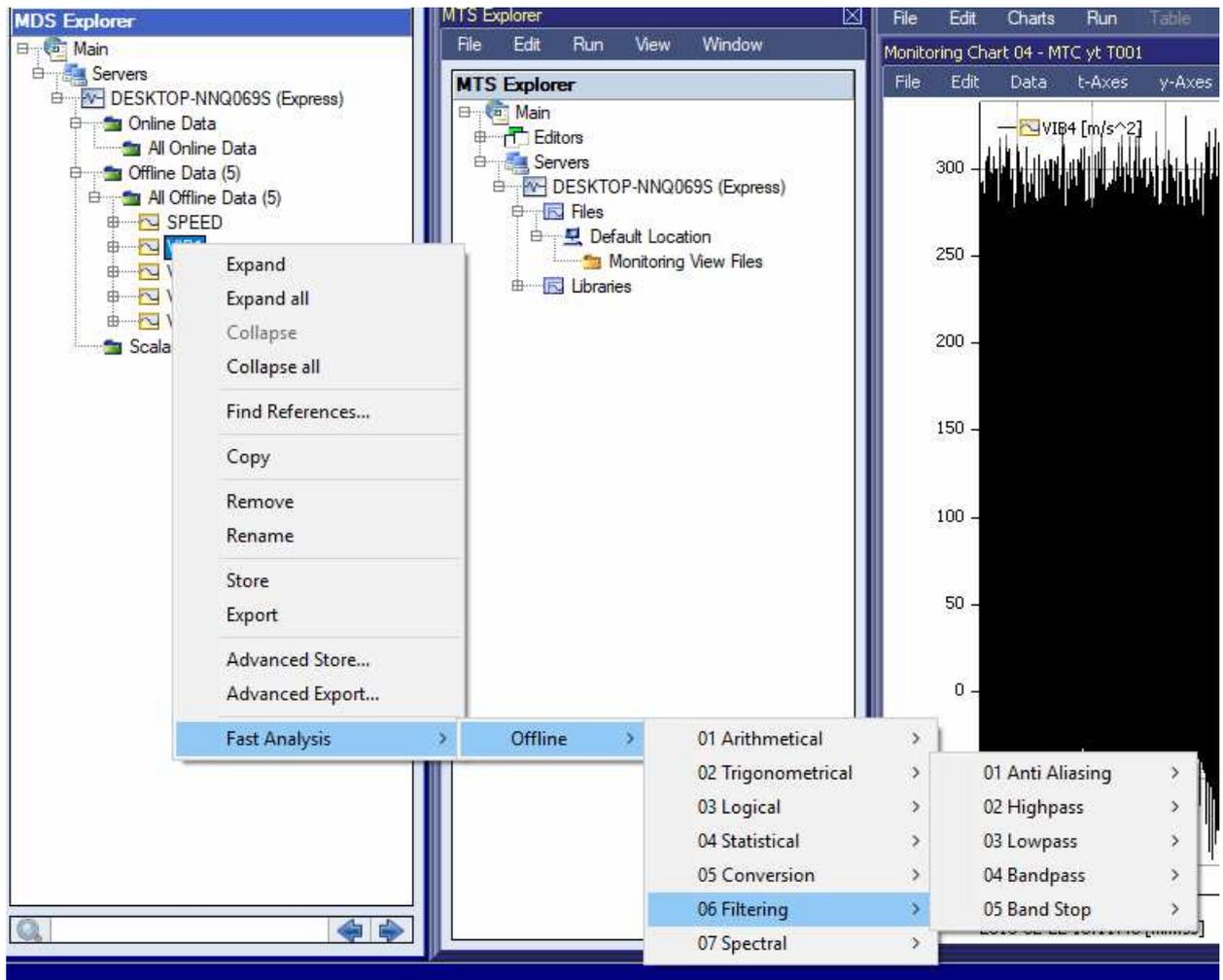
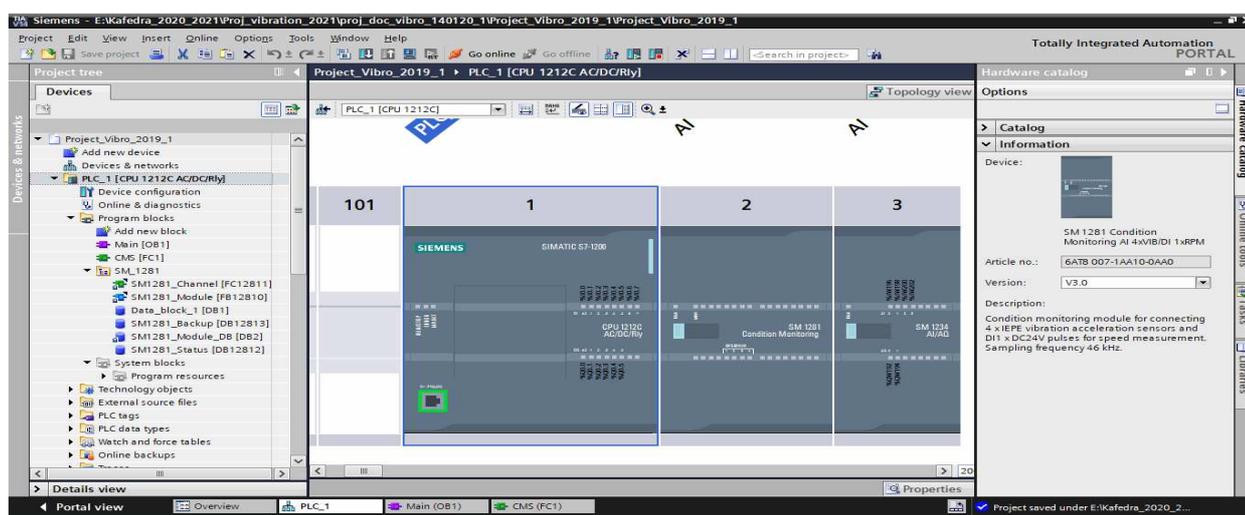


Рисунок 3 – Приклад функцій для оброблення сигналу в середовищі X-Tools



1 – PLC S7-1200; 2 – SIPLUS SM 1281 – 4-канальний модуль обробки вібраційних сигналів;
3 – SM 1234 (AI4/AQ2 – модуль введення/виведення аналогових сигналів)

Рисунок 4 – Апаратне забезпечення системи

Для візуалізації технологічного процесу та оперативного управління може використовуватись в якості HMI (Human Machine Interface – людино-машинного інтерфейсу) операторна панель (Simatic HMI Comfort Panel), або вбудовані веб-сервери PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM 1281. Веб-сервер дозволяє створити користувацькі веб-сторінки з прив'язкою змінних процесу управління до тегів проекту. Для створення сторінок використовуються стандартні веб-технології (HTML, Java-script та AJAX). Такий підхід є більш гнучким, оскільки у випадку використання веб-сервера немає необхідності у додатковому обладнанні та програмному забезпеченні. Доступ до веб-сервера здійснюється локально або віддалено, використовуючи пристрої мобільного зв'язку (планшети, комп'ютери, смартфони, а також стандартні браузеры для перегляду веб-сторінок – Mozilla Firefox, Internet Explorer 10/11 та ін.).

Апаратне забезпечення системи наведено на рис. 4 і включає такі компоненти: PLC S7-1200 з CPU 1212C AC/DC/Rly, вібраційний модуль SM 1281, модуль введення/виведення аналогових сигналів для підключення давачів з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА та керування виконавчими механізмами (машинний та станційний пневмоперетворювачі для керування антипомпажними клапанами).

Структура проекту в середовищі TIA Portal V14 виглядає наступним чином (рис. 5).

Серед важливих блоків, що підключаються у проект в якості зовнішньої бібліотеки для вібраційного модуля SM 1281, можна виділити

«SM1281_Channel» [FC12811], «SM1281_Module» [FB12810], «SM1281_Status» [DB12812].

Розроблена система може бути використана для прогнозування передпомпажного стану ГПА, застосовуючи такі технологічні параметри з діапазонами вимірювання:

- перепад тиску на конфузори dP_k – діапазон вимірювання від 0 до 1 кгС/см², робоча точка «оптимальна» – 0,2 кгС/см², істотна зміна в межах 10-15%;

- оберти турбіни нагнітача N_{TH} – діапазон вимірювання від 0 до 5200 об/хв, робоча точка «оптимальна» – 5000 об/хв, істотна зміна в межах 10-15%;

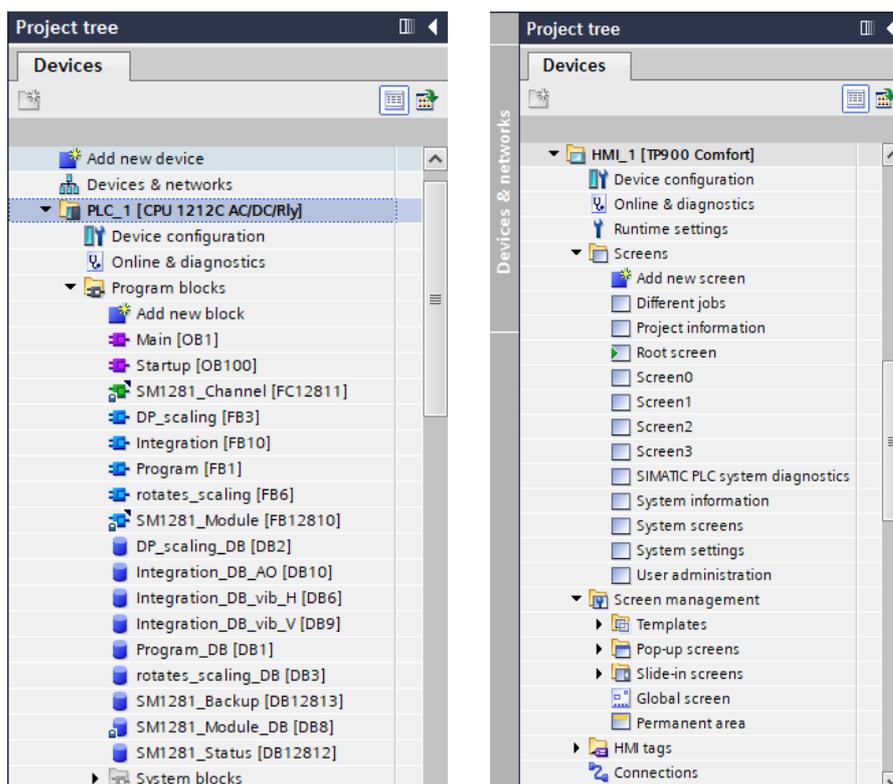
- осьовий зсув нагнітача V_{TH} – діапазон вимірювання від -500 мкм до +500 мкм, загалом 1 мм, робоча точка «ідеальна» – 0 мм, істотна зміна в межах 10%;

- вібропереміщення задньої опори нагнітача $V_{зв}$, $V_{зг}$ (в вертикальному і горизонтальному напрямках до осі нагнітача) – діапазон вимірювання від 0 до 80 мкм, робоча точка «ідеальна» – 40 мкм, істотна зміна в межах 10%.

В даному випадку, поняття «ідеальної» та «оптимальної» робочої точки означають наступне: «ідеальна» - параметри, які можна отримати при роботі агрегату за відсутності дефектів, пошкоджень та ін.; «оптимальна» - параметри, за яких забезпечується максимальна продуктивність роботи агрегату.

Всі наведені вище параметри використовуються САУ ГПА-Ц-16С. Ці дані заводяться в PLC Simatic S7-1200 для їх подальшої обробки.

Проведена апробація вдосконаленої системи на КС-3 Долинського промислового майда-



1) структура на рівні PLC;

2) структура на рівні HMI

Рисунок 5 – Структура проєкту системи в середовищі TIA Portal

нчику Богородчанського ЛВУМГ підтвердила її ефективність і рекомендована до подальшого використання (акт від 18.07.2019 р.).

Удосконалення САУ ГТК-25і. Виробником ГТК-25і передбачений контроль таких технологічних параметрів роботи осьового компресора (ОК), як вібрація підшипника №1; температура мастила на зливі з підшипника №1; частота обертів валу ОК; перепад тиску на входних повітряних фільтрах, тиск повітря на виході.

Для організації комплексної системи діагностування технічного стану ГТК-25і та використання отриманої інформації для вибору раціональних режимів управління з використанням його САУ було проведено удосконалення САУ ГТК-25і, яке полягало в розробці її додаткового технічного і програмного забезпечення.

Технічне забезпечення полягало в монтажі датчиків для вимірювання додаткових технологічних і віброакустичних параметрів: вібрації опорного підшипника №1 ОК за допомогою широкосмугового перетворювача з нефільтрованим вихідним сигналом УТ2, (рис. 6) моніторинг температури безпосередньо його корпусу термоперетворювачем опору ТТ5, здійснювати акустичний контроль його роботи з використанням розробленої системи акустичного конт-

ролю, яка реалізована на чутливому електретному мікрофоні ХТ1, виходячи з того, що пошкодження лопатей та підшипників ОК буде впливати на зміну характеристик звукових коливань, які супроводжують його роботу (рис. 6). Акустичний шум, який супроводжує роботу ГТК-25і, є джерелом діагностичної інформації, поява дефекту призводить до виникнення нових збурень та зміни спектра акустичних коливань.

Для системи акустичного контролю було вибрано місце її монтажу в районі підшипника №1 на ОК в безпосередній близькості біля лопатей 0,1,2 ступеней. Місце монтажу обумовлено тим, що найбільш навантаженими елементами ОК є лопаті 0,1,2 ступеней, що підтверджується як статистикою відмов, так і дефектами лопатей. Оскільки укриття ГПА по вибухо-пожежобезпеці відноситься до 2-класу, категорії А, розроблена акустична система з електричним мікрофоном змонтовано у вибухобезпечному корпусі (рис. 7).

Для підключення вихідних сигналів від додаткових датчиків технологічних і віброакустичних параметрів ОК та штатних датчиків турбіни високого тиску, турбіни низького тиску, газового нагнітача щиті керування ГПА було змонтовано два комплекти восьмиканальних мікропроцесорних реєстраторів-регуляторів типу

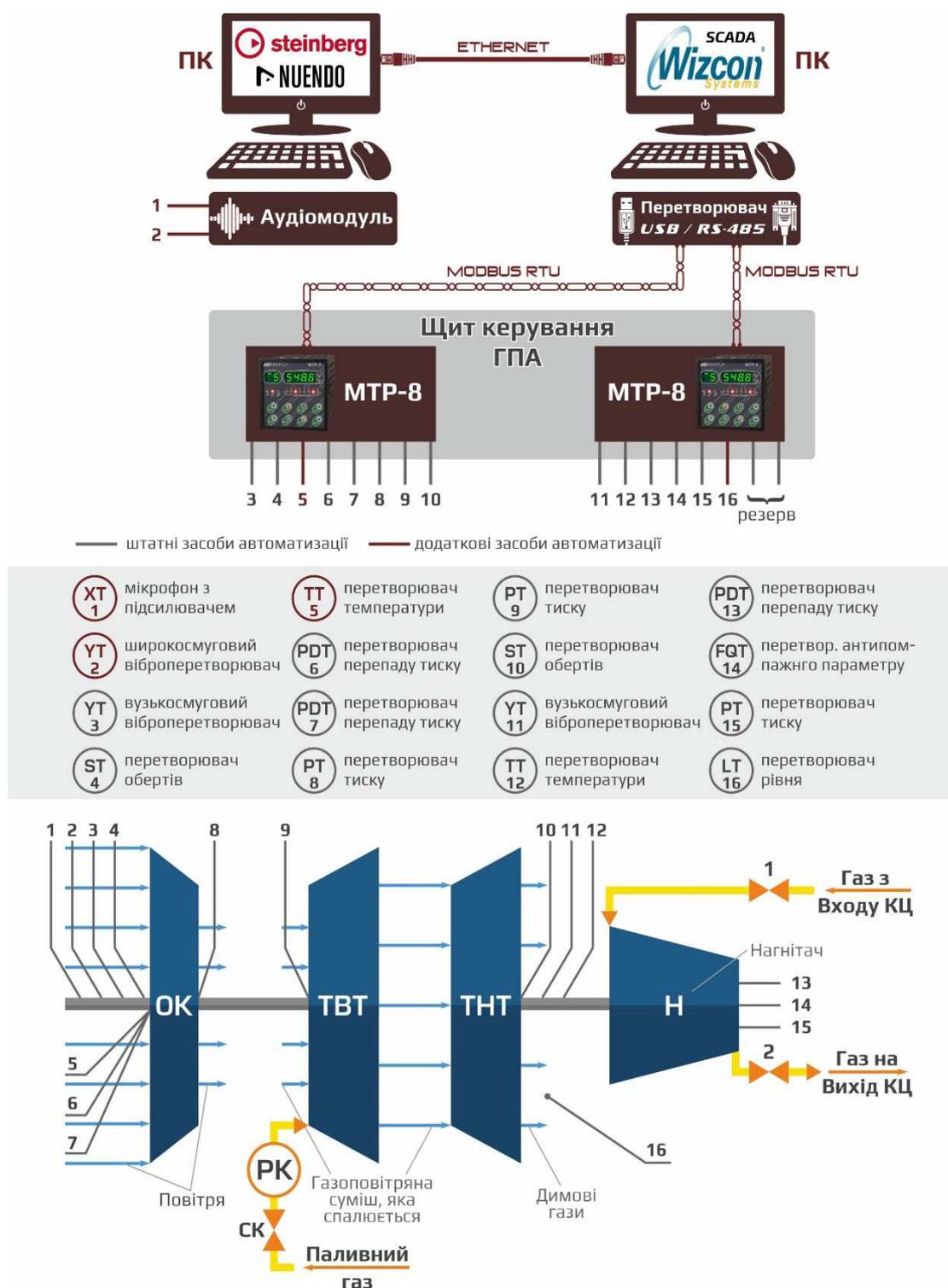


Рисунок 6 – Структурна схема САУ ГТК-25і

МТР-8. Інформація про вищевказані технологічні параметри ГПА по протоколу обміну Modbus RTU надходить на ПК з SCADA Wizcon. Сигнали з електретного мікрофону ХТ1 акустичної системи контролю та широкосмугового віброперетворювача УТ2 (рис. 6) по коаксіальному кабелю підключені через аудіо модуль до окремого ПК з програмним пакетом оброблення височастотних сигналів Steinberg

Nuendo. В перспективі можливо організувати автоматичний обмін діагностичною інформацією по мережі Ethernet між ПК з програмним забезпеченням Wizcon та Steinberg Nuendo.

Уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА з перетворювача БПО-32 підключений до ресטרатора МТР-8 (рис. 6), на якому цифрове значення параметрів постійно індикується і за протоколом RS-485 транслюється на ПК.



а



б

а – зовнішній вигляд; б - місце монтажу на ОК

Рисунок 7 – Електретний мікрофон

Вказані додаткові технологічні і віброакустичні параметри в комплексі з штатними засобами контролю технологічного стану ГТК-25і підключено через мікропроцесорні регулятори типу МТР-8 «Мікрол» до SCADA Wizcon на ПК на головному щиті керування КС-39 «У-П-У».

Додаткове програмне забезпечення вдосконаленої САУ на базі SCADA – програми Wizcon 8.3 [16] розроблено у вигляді спеціального програмного пакета з мнемосхемами, трендами, прив'язаними до технологічних схем ГПА ГТК 25і, що реалізує також алгоритми діагностування технічного стану ГТК-25і і його САУ. Він виконує функцію опитування змонтованих в щитах керування ГПА мікропроцесорних реєстраторів МТР-8, а також візуалізації, архівації технологічних параметрів і встановлений на окремо виділеному ПК головного щита керування КС-39 «У-П-У».

SCADA Wizcon – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт управління. Wizcon є 32-бітовою програмою і тим самим використовує всі переваги цих сучасних операційних систем. Внутрішня архітектура Wizcon реалізує багатозадачний режим і багатониткові механізми. Наприклад, Wizcon може обмінюватись інформацією з програмованими логічними контролерами (PLC – в нашому випадку контролери МТР-8) по 16 каналах зв'язку без затримки.

Для організації он-лайн записів та обробки сигналів електретного мікрофона, змонтовано біля 0-ї ступені осьового компресора та широкосмугового перетворювача вібрації на підшипнику №1 ОК використовувався програмний пакет Steinberg Nuendo 3.2.

На основі додаткових технологічних і віброакустичних параметрів розроблено методи параметричної, віброакустичної діагностики технічного стану ГТК-25і і метод діагностування САУ, які реалізуються розглянутим вище програмним забезпеченням. Багаторічна експлуатація вдосконаленої САУ ГТК-25і на КС-39 «У-П-У» Борогодчанського ЛВУМГ підтвердила її ефективність (акт від 12.08.2020 р.) та рекомендована для використання на КС ТОВ «Оператор ГТС України».

Література

1. Заміховський Л. М., Іванюк Н. І. Причини і фактори, що обумовлюють виникнення дефектів і відмов лопатевого апарату газоперекачувальних агрегатів. *Наукові вісті Галицької академії*. 2012. №1(21). С. 57-63.
2. Павлик В. В. Напрямки підвищення ефективності експлуатації газоперекачувальних агрегатів в умовах Богородчанського ЛВУМГ. *Наукові вісті Галицької Академії*. 2012. № 2(22). С. 44-49.
3. Применение оборудования фирмы "ИНКОТЕС" для контроля технического состояния газоперекачивающих агрегатов КС РАО "ГАЗПРОМ". URL: <http://www.encotes.ru/?q=node/63>.
4. Гриб В.В., Соколова А.Г., Еранов А.П., Давыдов В.М., Жуков Р.И. Анализ современных методов диагностирования компрессорного оборудования нефтегазохимических производств. *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*, 2002. №10. С 57- 65.
5. Добров В.Л., Игуменцев А.Е., Марчук Я.С. Комплекс защиты и мониторинга технического состояния газоперекачивающего агрегата

ГПА-10 «SIMON». *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 2006. №1. С. 18-26.

6. Игуменцев Е. А., Прокопенко Е.А., Марчук Я.С. Автоматизированная система вибродиагностики газоперекачивающих агрегатов ГПА-10: IV ежегодная промышленная конференция с международным участием «Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях», Славское, 2004.

7. Кривошеев И. А., Суханов А. В. Разработка комплексной автоматизированной системы диагностики ГТД на базе SCADA-технологий и имитационного моделирования. *Вестник УГАТУ*, 2014. Т. 18. № 2 (63). С. 134–141.

8. Стребков А. Басманов М., Меньшиков С., Морозов И. Система параметрической диагностики газоперекачивающих агрегатов: современный подход. *Деловая Россия: промышленность, транспорт, социальная жизнь*. 2011. №7. С. 42-43.

9. Шульженко Н. Г., Ефремов Ю. Г., Ловин В. В., Конаков О. Ю. Автоматизированная система вибродиагностики и контроля механических величин мощных турбоагрегатов «ПУЛЬС» URL: <http://intech-union.com/niokr/vibroissledovaniya/автоматизированная-система-вибродиагностики-и-контроля-механических-величин-мощных-турбоагрегатов-пульс>

10. SM 1281 Моніторинг стану. Інструкції по експлуатації, 11/2015, А5Е36912951-АА

11. Замиховський Л. М., Іванюк Н. І. Система діагностування лопатевого апарату газоперекачувальних агрегатів. *Інтелект. продукт вчених і винахід. Прикарпаття – 2016: Щорічний каталог найвагом. винах., корисн. моделей, пром. зразків і рац. пропозицій Галицьких кмітливців. Івано-Франківськ, 2016. С. 116-120.*

12. Simatic S7-1200 - Simatic Controllers. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>.

13. Step 7 Professional V14 (TIA Portal). URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10317037/info/>

14. SM 1281 Моніторинг стану. Інструкції по експлуатації, 11/2015, А5Е36912951-АА.

15. Condition Monitoring SIPLUS CMS. URL: https://www.ien.eu/uploads/tx_etim/Page_11_Siemens_43123.pdf.

16. Програмний пакет SCADA WIZCON 8.3 URL: <http://www.getcontrolmaestro.com/wizcon-en.html>.

References

1. Zamikhovskiy L. M., Ivaniuk N. I. Prychyny i faktory, shcho obumovliuyut vynyknennia defektiv i vidmov lopatevoho aparatu hazoperekachuvalnykh ahreativ. *Naukovi visti Halyskoi akademii*. 2012. No1(21). P. 57-63. [in Ukrainian]

2. Pavlyk V. V. Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii hazoperekachuvalnykh ahreativ v umovakh Bohorodchanskoho LVUMH. *Naukovi visti Halyskoi Akademii*. 2012. No 2(22). P. 44-49. [in Ukrainian]

3. Primenenie oborudovaniya firmy "INKOTES" dlya kontrolya tehnikeskogo sostoyaniya gazoperekachivayuschih agregatov KS RAO "GAZPROM" URL: <http://www.encotes.ru/?q=node/63>. [in Russian]

4. Grib V.V., Sokolova A.G., Eranov A.P., Davydov V.M., Zhukov P.I. Analiz sovremennykh metodov diagnostirovaniya kompressornogo oborudovaniya neftegazohimicheskikh proizvodstv. *Neftepererabotka i neftehimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt*. 2002. No 10. P. 57- 65. [in Russian]

5. Dobrov V.L., Igumentsev A.E., Marchuk Ya.S. Kompleks zaschity i monitoringa tehnikeskogo sostoyaniya gazoperekachivayuschego agregata GPA-10 «SIMON». *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushiy kontrol*. 2006. No1. P. 18-26. [in Russian]

6. Igumentsev E. A., Prokopenko E.A., Marchuk Ya.S. Avtomatizirovannaya sistema vibrodiagnostiki gazoperekachivayuschih agregatov GPA-10: IV ezhegodnaya promyshlennaya konferentsiya s mezhdunarodnyim uchastiem «Effektivnost realizatsii nauchnogo resursnogo i promyshlennogo potentsiala v sovremennykh usloviyah», Slavskoe, 2004. [in Russian]

7. Krivosheev I. A., Suhanov A. V. Razrabotka kompleksnoy avtomatizirovannoy sistemy diagnostiki GTD na baze SCADA-tehnologiy i imitatsionnogo modelirovaniya. *Vestnik UGATU*, 2014. Vol. 18. No 2 (63). P. 134–141. [in Russian]

8. Strebkov A. Basmanov M., Menshikov S., Morozov I. Sistema parametricheskoy diagnostiki gazoperekachivayuschih agregatov: sovremennyiy podhod. *Delovaya Rossiya: promyshlennost, transport, sotsialnaya zhizn*. 2011. No 7. P. 42-43. [in Russian]

9. Shulzhenko N. G., Efremov Yu. G., Lovin V. V., Konakov O. Yu. Avtomatizirovannaya sistema vibrodiagnostiki i kontrolya mehanicheskikh velichin moschnyih turboagregatov «PULS». URL: <http://intech-union.com/niokr/vibroissledovaniya/avtomatizirovannaya-sistema-vibrodiagnostiki-i-kontrolya-mehanicheskikh-velichin-moschnyih-turboagregatov-puls> [in Russian]
10. SM 1281 Monitorynh stanu. Instruktsii po ekspluatatsii, 11/2015, A5E36912951-AA [in Ukrainian]
11. Zamikhovskiy L. M., Ivaniuk N. I. Systema diahnostuvannia lopatevoho aparatu hazoperekachuvalnykh ahrehativ. Intelkt. produkt vchenykh i vynakhid. Prykarpattia – 2016: Shchorichnyi katalog naivahom. vynakh., korysn. modelei, prom. zrazkiv i rats. propozytsii Halytskykh kmitlyvtsiv. Ivano-Frankivsk, 2016. P. 116-120. [in Ukrainian]
12. Simatic S7-1200 - Simatic Controllers. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>.
13. Step 7 Professional V14 (TIA Portal). URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10317037/info/>
14. SM 1281 Monitorynh stanu. Instruktsii po ekspluatatsii, 11/2015, A5E36912951-AA. [in Ukrainian]
15. Condition Monitoring SIPLUS CMS. URL: https://www.iem.eu/uploads/tx_etim/Page_11_Siemens_43123.pdf.
16. Program package SCADA WIZCON 8.3 URL: <http://www.getcontrolmaestro.com/wizcon-en.html>. [in Ukrainian]