

УДК 629.139.19

¹Е.П. Ясиніцький, канд. техн. наук
²С.В. Антонов
³С.О. Пустовий, канд. техн. наук
⁴С.В. Ізбаш
⁵О.Б. Шопяк

КОМПЛЕКС ВІБРОКОНТРОЛЮ ТА ЗАХИСТУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ «ВІЗА-РС»

^{1,2,4}НАУ, кафедра авіаційних двигунів
e-mail: ¹avsacosm@nau.edu.ua; ²ant_master@online.com.ua; ⁴izbash@kotris.com.ua
³ТОВ «Котрис», e-mail: pustovoy@kotris.com.ua
⁵Київтрансгаз дочірньої компанії Укртрансгаз, e-mail: evs@boyarka.ktg.com.ua

Подано розроблений авторами комплекс "Віза-РС", призначений для вимірювання та відображення параметрів вібрації, формування сигналу про перевищення уставок у систему автоматичного керування газоперекачувального агрегату.

Вступ

Головною метою технічної діагностики є попередження, пошук і локалізація аварійних станів обладнання.

Вибір вібраційних явищ як джерела інформації про технічний стан силового обладнання зумовлений такими причинами:

- вібрація відбиває найбільш істотні фізичні процеси, що відбуваються всередині обладнання, такі, як деформація і напруга в деталях;
- вібрація обладнання свідчить про процеси взаємодії деталей, причому вібраційні параметри характеризують як обладнання в цілому, так і властивості його окремих вузлів;
- вібрація має широкий спектр частот, характеризується значною швидкістю поширення та великою ємністю як носія інформації;
- параметри вібрації можуть реєструватися в природних умовах роботи обладнання.

Аналіз досліджень і публікацій

Наразі назріла гостра необхідність у розробці сучасної системи автоматизації компресорного цеху на базі сучасних обчислювальних засобів, що повинна забезпечити:

- економію паливного газу;
- оптимізацію роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорного цеху;
- якісно новий рівень роботи оперативного персоналу цеху.

Важливе завдання, що покладається на систему автоматизації, – діагностування основного технологічного устаткування компресорного цеху.

Обчислювальна потужність і розвинутий математичний апарат такої системи повинні компенсувати виникаючі проблеми, пов'язані з похиб-

ками первинних засобів вимірювань умов інформаційної недостатності.

Однією з вимог створення автоматизованої системи керування газотранспортної системи є раціональне її докомплектування засобами контролю для одержання досить повного обсягу інформації про поточний стан газопроводів.

Широке застосування методів віброакустичної діагностики обладнання дозволяє перейти від експлуатації обладнання за ресурсом до його експлуатації за фактичним технічним станом [1; 2].

Постановка завдання

Діагностика технічного стану елементів газових магістралей необхідна для вирішення завдань оперативного керування, планування, обслуговування і ремонту.

Прогнозування аварійних ситуацій слугує для запобігання подібним ситуаціям, а при їхньому виникненні – для прийняття й застосування таких рішень і керуючих впливів, які зведуть до мінімуму можливий збиток від аварійних ситуацій.

Опис комплексу віброконтролю та захисту газоперекачувальних агрегатів «Віза-РС»

За допомогою перспективних програмно-технічних засобів розроблено та впроваджено на ряді компресорних станцій дочірньої компанії "Укртрансгаз" комплекс віброконтролю та захисту електропровідних та газотурбінних ГПА «Віза-РС» на заміну застарілого вібраційного обладнання типу ВВК і КСА (рис. 1).

До складу розробленого комплексу «Віза-РС» належать:

- первинні перетворювачі вібрації з вихідним сигналом 4–20 мА, наприклад, для ГППА ГТН-6: датчики віброзміщення вала нагнітача в діапазоні від 0 до 250 мкм у смугі частот 5–3000 Гц, датчики віброшвидкості двигуна в межах від 0 до 50 мм/с у

смугі частот 10–1000 Гц, датчики осьового зсуву вала нагнітача в межах 0,5–4,5 мм (рис. 2);

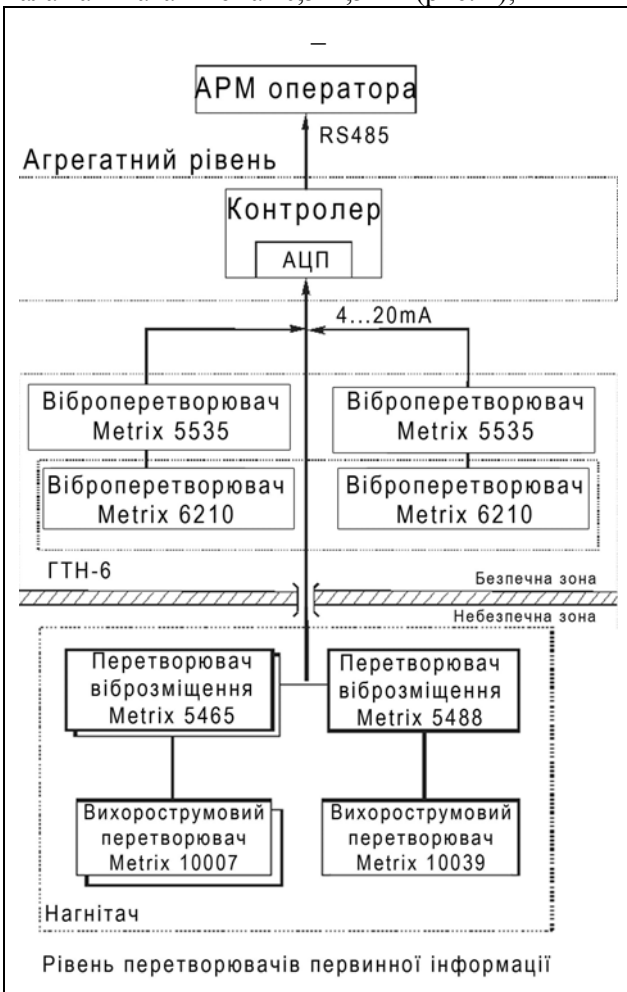


Рис. 1. Структура комплексу "Віза-РС"

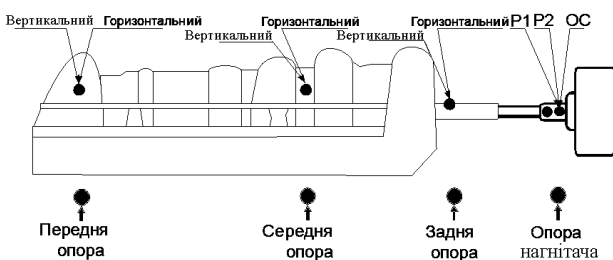


Рис. 2. Точки контролю параметрів вібрації та осьового зсуву на газотурбінному ГПА ГТН-6

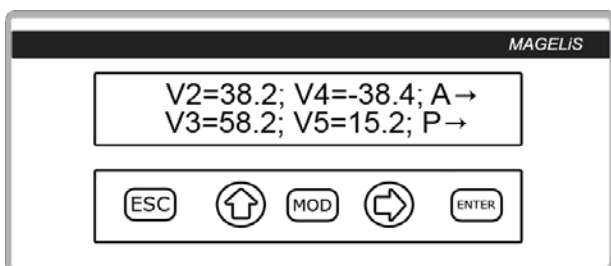


Рис. 3. Панель оператора комплексу "Віза-РС"

контролер з аналого-цифровим перетворювачем;
 – панель оператора з кнопками керування;
 – автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора на базі промислової ЕОМ.

Комплекс «Віза-РС» забезпечує:

- вимірювання, аналого-цифрове перетворення, масштабування, аналіз на достовірність, згладжування (фільтрацію), передачу на індикаторну панель оператора та цеховий сервер поточних значень параметрів вібрації та осьового зсуву в реальному масштабі часу;
 - відображення поточних значень за кожним з вимірювальних каналів і відповідних попереджувальних й аварійних рівнів на індикаторній панелі оператора та відеокдрах цехового сервера (АРМ оператора);
 - безперервний аналіз поточних значень вимірюваних каналів для виявлення перевищення попереджувальних та аварійних уставок;
 - формування вихідних дискретних сигналів "Аварія", "Попередження" або "Відмова комплексу" типу "сухий" контакт у системі автоматичного керування ГПА;
 - конфігурування параметрів роботи комплексу (рівні уставок, затримки на їх спрацювання, параметри зв'язку та ін.);
 - ведення бази даних реального часу з використанням Microsoft SQL Server, міжремонтної та аварійної бази даних;
 - самодіагностування програмно-технічних засобів комплексу з формуванням сигналу "Відмова комплексу";
 - захист програмно-технічних засобів від несанкціонованого доступу і некоректних дій обслуговуючого персоналу.
- На панелі оператора комплексу "Віза-РС" безперервно відображається інформація про поточні значення вібрації й осьового зсуву з прив'язкою до точок контролю на ГПА (рис. 3).
 Панель оператора забезпечує перегляд відповідних значень уставок.
 У разі перевищення поточними значеннями параметрів, що вимірюються, уставок "Попередження" або "Аварія" на панелі оператора відображається значення параметра, що перевищив уставку, і час відповідної події.
 У разі одночасної появи декількох подій вони візуалізуються відповідно до заданого пріоритету.
 Усі події, пов'язані з перевищенням уставок, запам'ятовуються й ідентифікуються в хронологічному порядку з виникненням можливості подальшого перегляду (глибина зберігання –

36 подій) та квітування оператором.

Прикладна програма, що функціонує у вбудованому процесорі контролера, після завантаження із середовища розробки на ПЕОМ не потребує встановлення додаткового програмного забезпечення [3].

Програмне забезпечення цехового сервера на базі промислової ЕОМ складається з відеокадрів “Мнемосхема”, “Тренди двигуна”, “Тренди нагнітача”, “Події”, “Конфігурування” та “Цех”.

Усі відеокадри складаються з зон постійної та змінної інформації.

До зон постійно відображуваної інформації належать:

- панель цехового рівня з відображенням кнопок перемикання між агрегатами у верхній частині екрана з візуалізацією поточних значень вимірюваних параметрів;
- панель вибору режиму відображення з кнопками перемикання між відеокадрами;
- панель протоколу подій у нижній частині екрана.

У середині екрана розташовується зона змінної інформації, яка змінюється при натисканні на кнопки панелі вибору режиму відображення (зміні відеокадрів).

На відеокадрі “Мнемосхема” розташовано мнемосхему ГПА з відображенням місць установки датчиків, триколірних стрічкових і цифрових індикаторів поточних значень вібрації за кожним з вимірювальних каналів, покажчики встановлених рівнів уставок.

Стрічкові та цифрові індикатори заповнюються зеленим, жовтим або червоним кольорами залежно від поточного значення відповідного параметра. На змінному полі відеокадрів “Тренди двигуна” та “Тренди нагнітача” відображаються реальні тренди відповідних вимірюваних параметрів з можливістю одночасної візуалізації до восьми трендів (рис. 4).

На зазначених відеокадрах реалізовано функції прокрутки, масштабування, встановлення маркерів, друку та багатьох інших функцій щодо керування режимом відображення графіків.



Рис. 4. Змінне поле відеокадру “Тренди двигуна” Крім того, забезпечена можливість перегляду “історичних” трендів за запитом оператора з уведенням періоду часу.

Глибина зберігання реальних трендів вимірюваних параметрів – не менше одного місяця з частотою записів не менше одного разу за 1 с.

Глибина зберігання агрегатних міжремонтних архівів – не менше трьох років з частотою записів не менше одного разу за 5 хв (середні або максимальні значення).

Глибина зберігання агрегатних аварійних архівів при виникненні подій типу “Аварія” (3–5 хв до аварії та 3–5 хв після неї) не обмежена.

На змінному полі відеокадру “Події” відображається архів протоколу подій за всіма агрегатами цеху з зазначенням типу подій, назв каналів, відповідних дат і часу їх виникнення (рис. 5).

| Мнемосхема | | Тренди двигуна | | Тренди нагнітача | | Події | | Конфігурув | |
|------------|---------------------|----------------|--|------------------|--|-------|--|------------|--|
| Дата | Час | Подія | Канал | | | | | | |
| 15/07/2005 | Розблоковано | | Агр.№2. Попередження. Осьовий зсув + | | | | | | |
| 15/07/2005 | Розблоковано | | Агр.№2. Попередження. Осьовий зсув - | | | | | | |
| 15/07/2005 | Розблоковано | | Агр.№2. Попередження. Нагнітач P2 | | | | | | |
| 15/07/2005 | Заблоковано | | Агр.№1. Попередження. Передня опора, вертикальна | | | | | | |
| 15/07/2005 | Небезпечна вібрація | | Агр.№1. Передня опора двигуна: Горизонтальна | | | | | | |

Рис. 5. Змінне поле відеокадру “Події”

Протокол подій припускає необхідність квітування оператором подій типу “Аварія” та “Попередження”.

На змінному полі відеокадру “Конфігурування” для кожного ГПА можливо переглянути та відредагувати параметри уставок та затримок їх спрацювання після коректного введення оператором паролю (рис. 6).

| Події | | Конфігурування | | Цех | |
|-----------------------------------|-------|----------------|------|-----|--|
| Газотурбінний двигун ГТН-6 | | | | | |
| Уставка "Аварія", мм/с | 11.2 | | 0.0 | | |
| Уставка "Попередження", мм/с | 7.2 | | 0.0 | | |
| Затримка часу спрацювання уставки | | | | | |
| Аварія, с | 3.00 | | 0.00 | | |
| Попередження, с | 2.00 | | 0.00 | | |
| Нагнітач | | | | | |
| Уставка "Аварія", мкм | 110 | | 0 | | |
| Уставка "Попередження", мкм | 90 | | 0 | | |
| Осьовий зсув | | | | | |
| Уставка "Аварія (-)", мкм | -1200 | | 0 | | |
| Уставка "Попередження (-)", мкм | -900 | | 0 | | |
| Уставка "Попередження (+)", мкм | 900 | | 0 | | |
| Уставка "Аварія (+)", мкм | 1200 | | 0 | | |
| Затримка часу спрацювання уставки | | | | | |
| Аварія, с | 3.0 | | 0.0 | | |
| Попередження, с | 2.0 | | 0.0 | | |

Рис. 6. Змінне поле відеокадру “Конфігурування”

Відеокадр “Цех” дозволяє переглянути числові значення вимірених поточних значень вібрації та осьового зсуву за всіма агрегатами цеху (рис. 7).

| Події | Конфігурування | Цех |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Газотурбінний двигун ГТН-6 | | |
| Параметри вібрації | | |
| Передня опора (мм/с) | Верт. 5.62 Гор. 5.68 | Верт. 0.00 Гор. 0.00 |
| Середня опора (мм/с) | 6.30 3.26 | 0.00 0.00 |
| Задня опора (мм/с) | 6.80 5.04 | 0.00 0.00 |
| Нагнітач | | |
| Радіальна вібрація (мкм) | P1 78 P2 72 | P1 0 P2 0 |
| Осьовий зсув (мкм) | -551 | 0 |

Рис. 7. Змінне поле відеокадру “Цех”

До додаткових функцій програмного забезпечення комплексу належать:

- формування табличного звіту про поточні значення всіх вимірювальних параметрів за кожним агрегатом або за тим, що вказано оператором;
- формування табличного звіту про мінімальні та максимальні значення всіх вимірювальних параметрів за кожним агрегатом за заданий період часу або вказаним оператором;
- виконання експорту табличних звітів у текстовий (*.tbl), HTML (*.htm), Excel (*.xls), Word (*.doc) та інші формати;
- виконання експорту трендів вимірюваних параметрів з бази даних у текстовий формат або файл спеціального формату;
- мобільна утиліта для перегляду табличних звітів, міжремонтних, аварійних та експортованих архівів трендів параметрів на будь-якій ПЕОМ або через Internet.

Мобільна програма для перегляду табличних звітів та архівів трендів дозволяє виконувати додаткові функції трендового аналізу, наприклад, поканальне накладання міжремонтних трендів для аналізу якості ремонтів та ін.

Указані додаткові функції можуть реалізовуватись як на цеховому сервері, так і на віддаленій ПЕОМ через стандартну мережу Internet [4].

Перелік компресорних станцій, на яких встановлено комплекс “Віза-РС” і кількість охоплених ГПА, наведено в таблиці.

Наявний на сьогодні досвід застосування комплексу “Віза-РС” свідчить про його високу ефективність у вирішенні задач віброконтролю та аварійного захисту ГПА. Так, 10 березня 2005 р. на одному з ГПА ГТН-6 комплексом “Віза-РС” було зафіксовано:

– рівень вібрації на середній опорі двигуна ГТН-6 у вертикальному напрямку становив близько 8,0 мм/с, що відповідає більше ніж попереджувальна уставка, яка становить близько 7,1 мм/с;

– рівень вібрації на опорі силової турбіни в горизонтальному напрямку близько 12 мм/с, що відповідає більше ніж аварійна уставка, яка становить близько 11,2 мм/с.

Однак, незважаючи на відповідні повідомлення комплексу “Віза-РС”, обслуговуючим персоналом було продовжено експлуатацію зазначеного ГПА (аварійний захист ГПА за сигналами комплексу “Віза-РС” було вимкнено). Аварійне зупинення ГПА №1 відбулося 14 березня 2005 р. о 6:31:50. У результаті було з’ясовано, що на ГПА зруйновано робочі лопатки силової турбіни, що призвело до серйозних пошкоджень двигуна.

У разі підключення комплексу “Віза-РС” до системи автоматичного керування зупинення ГПА №1 відбулося би 10 березня 2005 р., що дозволило б зберегти двигун, значно зменшити витрати на ремонт агрегату.

Комплексом “Віза-РС” 1 серпня 2005 р. на одному з ГПА СТД-4000 було зафіксовано підвищення:

- віброшвидкості заднього опорного підшипника шестерні редуктора у вертикальному напрямку (точка V41) з 2 до 2,7 мм/с;
- віброшвидкості заднього опорного підшипника шестерні редуктора в осьовому напрямку (точка V42) з 1,2 до 2,4 мм/с (рис. 8, а);

Компресорні станції, на яких встановлено комплекс “Віза-РС”

| Управління магістральних газопроводів | Компресорна станція | ГПА | |
|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------|
| | | Тип | Кількість |
| Черкаси-трансгаз | КС-36-Б «Іллініці» | ЕГПА-12500 | 7 |
| Київ-трансгаз | КС-3 «Боярка» | ЕГПА-4000 | 12 |
| | КС-2 «Гребенківська» | ГТН-6 | 6 |
| | КС-3 «Глушківська» | ГТН-6 | 6 |
| | КС-1 «Ромненська» | ГТН-6 | 6 |

- радіального вібропереміщення вала нагнітача (точка D52) з 15 до 55 мкм;
- радіального вібропереміщення вала нагнітача (точка D51) з 30 до 80 мкм (рис. 8, б).

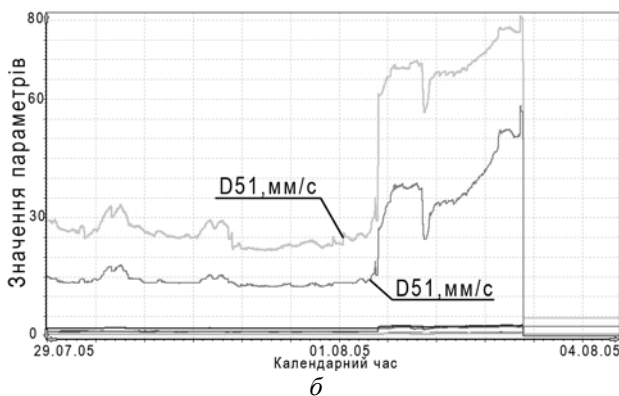
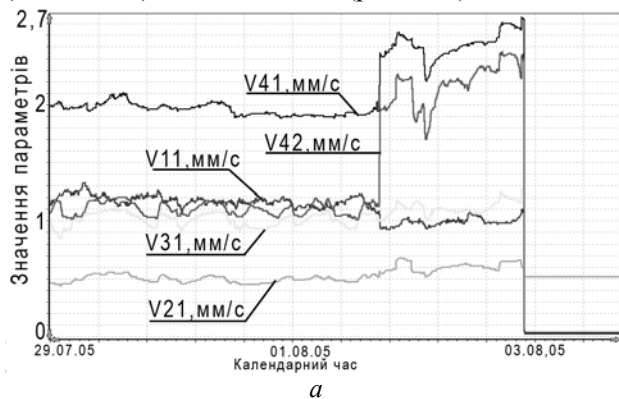


Рис. 8. Зарєєстроване комплексом “Віза-РС” збільшення значень вібропараметрів редуктора (а), нагнітача (б) ГПА STD-4000

У результаті агрегат було зупинено для з’ясування причин зростання вібрації. Під час проведення 6 вересня 2005 р. розкриття нагнітача Н280-11-6 ГПА було проведено огляд вузлів та виявлено:

- руйнування всіх заклепок основного та покривного дисків колеса ротора нагнітача;
- відшарування та викришування бабітової заливки по вкладишах опорного та опорно-упорного підшипників;
- руйнування всіх чотирьох кілець ущільнення “Склар”.

Таким чином, ГПА було своєчасно зупинено, ремонт обійшовся мінімальними витратами.

Однак комплекс “Віза-РС” дозволяє виконувати вимірювання та аналіз параметрів вібрації тільки за загальним рівнем (за середнім квадратичним значенням).

Для необхідності реалізації більш поглиблених функцій, ТОВ “Котрис” розроблено систему стаціонарного моніторингу та діагностування компресорного цеху з реалізацією:

- моніторингу технічного стану з використанням межових спектральних профілів;
- хвильового аналізу;
- трендового аналізу;
- статистичного аналізу;
- спектрального аналізу;
- 1/3 октавного аналізу;
- регресійного аналізу;
- аналізу траєкторії руху валів (побудова фігури Ліссажу або векторної діаграми);
- режиму балансування валів;
- аналізу даних розбіг/вибіг.

Висновок

Комплексне вирішення завдань віброконтролю та аварійного захисту разом з реалізацією сучасних методів спектральної вібродіагностики дозволяє не тільки запобігти серйозним руйнуванням силового обладнання, але й перейти від експлуатації обладнання за ресурсом до його експлуатації за фактичним технічним станом.

Література

1. Крылов Г.В., Матвеев А.В., Степанов О.А., Яковлев Е.Н. Эксплуатация газопроводов Западной Сибири. – Л.: Надра, 1985. – 288 с.
2. Карасев В.А., Максимов В.П., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1978. – 132 с.
3. Комплекс вибрационного контроля и защиты «Виза-РС»: Руководство по эксплуатации. – К.: Котрис, 2004. – 28 с.
4. Комплекс вибрационного контроля и защиты «Виза-РС». Руководство оператора. – К.: Котрис, 2004. – 20 с.

Стаття надійшла до редакції 13.01.06.

Представлен разработанный авторами комплекс “Виза-РС”, предназначенный для измерения и отображения параметров вибрации, формирования сигнала о превышении уставок в систему автоматического управления газоперекачивающего агрегата.

Writers wanted to introduce and develop complex “Viza-PC” which meant for dimensioning and reflecting operation vibrofactors, forming the signal for tolerance buildup in system automatic control gascompressor unit.