

УДК. 681.5(043.2)

## Система стаціонарного моніторингу та діагностики газоперекачувального агрегата ГТК-10

### System of stationary monitoring and diagnostics of gas pumping unit GTK-10

*О. О. Чердинцев, канд. техн. наук, К. М. Торхов*  
*ООО «Котрис», Київ, Україна,*  
*Е. П. Ясиніцький, канд. техн. наук, І. Е. Ясиніцька*  
*Національний авіаційний університет, Київ, Україна*

**Мета:** Створення системи, яку призначено для поглибленого аналізу вібрації з метою прогнозування технічного стану газоперекачувального агрегата і переведення його на експлуатацію за технічним станом.

**Методи дослідження.** Збір та обробка статистичних даних по відмовах парку газоперекачувальних агрегатів, обумовлених підвищеним рівнем вібрації.

**Результати дослідження.** Розроблено сучасну систему вібраційного моніторингу на базі новітніх технологій, яка забезпечує контроль, обробку та візуалізацію для оперативного персоналу вібраційних і технологічних параметрів газоперекачувального агрегата та дозволяє оперативне реагування на виявлені відхилення в технічному стані.

**Висновки.** Впровадження системи стаціонарного моніторингу та діагностики газоперекачувального агрегата ГТК-10 дозволило забезпечити своєчасне виявлення порушення стабільності параметрів вібрації та розпізнавання причин підвищення.

**Ключеві слова:** вібрація, контролер, мнемосхема, пульт керування, автоматизація, панель оператора, автоматизоване робоче місце, спектральний аналіз.

#### Вступ

Газоперекачувальний агрегат призначено для компримування природного газу на компресорних станціях газопроводів і підземних сховищ.

Цей агрегат складається з нагнітача природного газу, привода нагнітача, всмоктуючого і вихлопного пристроїв (у разі газотурбінного привода), систем автоматики, маслосистеми, паливноповітряних і масляних комунікацій та допоміжного обладнання.



Рисунок 1 — Газоперекачувальний агрегат

Газотурбінну установку ГТК-10 (рисунк1), яка входить до складу агрегата, виконано по відкритому циклу, з регенерацією тепла за схемою з «розрізним валом» (з вільною силовою турбіною). Це забезпечує, незважаючи на порівняльну простоту конструкції, високу економічність і маневреність установки, тобто найбільш повне виконання вимог, пропонованих до умов роботи у системі газопроводів.

### Задача та об'єкт досліджень

Об'єктом контролю є вібраційний стан газоперекачувального агрегата, який складається з газотурбінної установки ГТК-10 і нагнітача 520-12-1-відцентрового компресора. Цей стан характеризується вібрацією корпусів опор у вертикальній площині, а також вібропереміщенням вала нагнітача у горизонтальній площині. Задача досліджень — підвищення техніко-економічних характеристик агрегата шляхом переведення його на експлуатацію «за технічним станом».

При експлуатації «за технічним станом» техобслуговування, заміна вузлів і агрегатів, а також і ремонт (у тому числі капітальний) проводяться у залежності від фактичного стану кожного двигуна, а не через задане число мотогодин, що в свою чергу збільшує експлуатаційний ресурс двигуна. Вібрація описується відповідним законом коливань і характеризується певними параметрами цього закону. Гармонійна вібрація описується трьома незалежними параметрами: амплітудою, частотою і початковою фазою. Моніторинг роботи машин технологічних параметрів повинен використовувати спостереження за змінами вібраційного стану машини. Робота машини — мінливий процес, і дані обробки повинні включати динамічні компоненти спостережуваних величин. Зміни у процесі роботи або додаткові відомості, що спричиняють підвищену вібрацію, можуть бути першими тривожними сигналами наступних проблем. Вібрація машини, що несе інформацію про симптоми проблем, спричинена змінами вхідних сил або динамічної жорсткості (передавальної функції). Вібрація також несе інформацію про характер і можливе джерело несправностей. Як робочі, так і вібраційні параметри повинні відслідковуватися по трендах, ідеально, якщо вони будуть представлені у взаємопов'язаних форматах.

Внаслідок того, що ротори машин є їх обертальною частиною, вони надто піддаються до механічної вібрації, та є важливим інформаційним джерелом вібрації. Більшість несправностей характеризується прямою передачею енергії обертання ротора у вібраційну енергію різних форм. Що до останніх, поперечні моди ротора викликають найбільше занепокоєння. Більшість з них представляють найнижчі моди структури машини. Вібрація ротора в кінці кінців передається рамі, корпусу, фундаменту. Ясно, що вимірювання вібрації треба здійснювати в її джерелі, щоб правильно оцінити зміну стану машини. Ось чому загалом прийнято використовувати два неконтактних датчика, що встановлюються в конфігурації ХУ на/або поруч з кожним радіальним підшипником для замірів вертикальної вібрації статичної лінії центральної осі ротора та горизонтального зміщення по відношенню до встановленої арматури.

Газотурбінні двигуни застосовуються у газотранспортній промисловості в якості привода нагнітача. У зв'язку з цим підвищується значимість усіх техніко-економічних характеристик, що визначають якість двигуна. Особливі вимоги пред'являються до надійності і ресурсу як до головних факторів підвищення економічної ефективності газотурбінної установки. Надійність і ресурс значною мірою визначаються рівнем вібраційного напруженості двигунів. В даний час автоматизація вібродіагностування різноманітного обладнання стримується основним чином через відсутність відповідного програмного забезпечення.

### Вирішення проблеми

Система стаціонарного моніторингу та діагностики газоперекачувального агрегата ГТК-10 (ССМД) на рисунку 2 забезпечує поглиблений аналіз вібрації, що в свою чергу допомагає експлуатуючому персоналу своєчасно виявляти порушення стабільності параметрів вібрації й розпізнавати причини підвищення вібрації для забезпечення експлуатаційної надійності компресорного цеху [2].

Основною функцією системи є контроль та автоматична обробка вібраційних і технологічних параметрів сигналів газоперекачувального агрегата й моніторингу їх стану з видачею необхідної інформації оперативному й обслуговуючому персоналу шляхом зрозумілої візуалізації як на шафі автоматики (рисунок 3), так і на АРМ диспетчера станції (рисунок 4). Ця структура забезпечує дублювання інформації для оперативного персоналу і для диспетчерського, що дозволяє оперативне реагування на виявлені відхилення у технічному стані та автоматичне попередження про відмови обладнання, а також контроль та моніторинг вібраційного стану двигуна та нагнітача навіть у позаштатних ситуаціях. Місцева панель оператора дозволяє контролювати віброшвидкість корпусу опори, величини обертів та проводити первинний аналіз оборотних гармонік.

Основні дефекти, які супроводжується високим рівнем вібрації (дисбаланс, розцентровки, викривлення корпусних деталей і т.д.), пов'язані з частотою обертання ротора і кратними до неї гармонічними складовими. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили знайти закономірності у вібраційних процесах, порушуваних при появі цих дефектів [1]. Дисбаланс роторів у експлуатаційних умовах може значно перевищувати допустимі норми. Це відбувається в разі обриву пера лопатки ОК, турбіни або часткової полумки лопатки по вищим модам власних коливань, виникнення теплових дисбалансів, статичних прогинів ротора, викривлення корпусних деталей і т. д (рисунок 5). Закон розподілу рівнів роторних гармонік при великих значеннях дисбалансу роторів газотурбінної установки вивчався при проведенні спеціальних експериментальних досліджень.



Рисунок 2 — Основні блоки системи



Рисунок 3 — Шафа автоматики

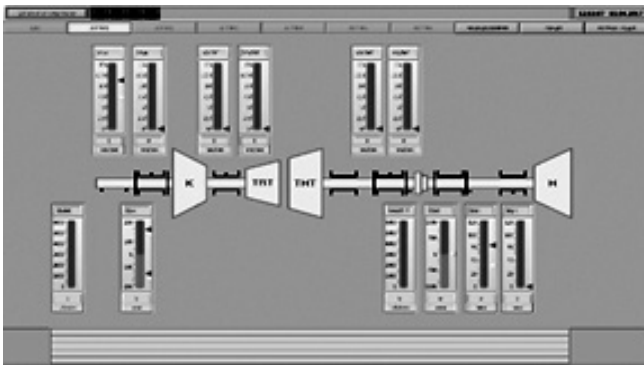


Рисунок 4 — АРМ диспетчера

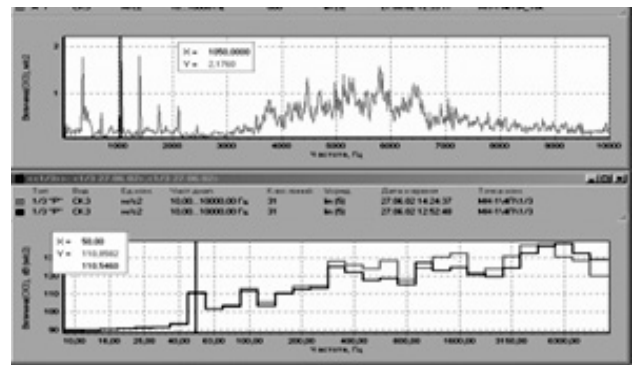


Рисунок 5 — Рівні вібрації

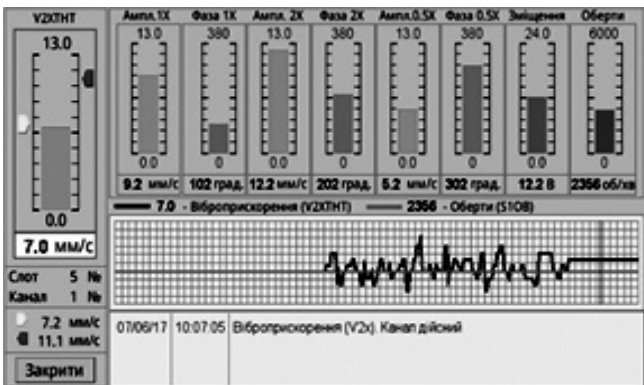


Рисунок 6 — Оборотні гармоніки

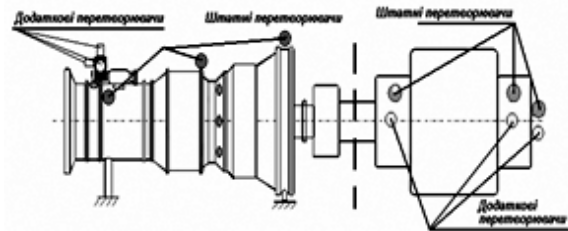


Рисунок 7 — Основні блоки системи

Дослідження вібраційного стану газових турбін в експлуатаційних умовах засвідчили, що при виникненні різних дефектів існує залежність рівнів роторних гармонік (рисунок 6). Наявність яскраво виражених дискретних гармонічних складових у спектрах вібрації підтверджує, що вібраційні процеси для усіх типів турбін є полігармонічними, з великим відношенням «сигнал — шум». Зміна рівнів роторних гармонік за експлуатаційних умов, є діагностичною ознакою виникнення дефектів і ступеня їх розвитку.

Через те що на компресорній станції зазвичай немає спеціалістів з вібрації двигуна, дуже гостро становиться питання щодо зберігання та архівування даних, для передачі в спеціалізований центр діагностики для аналізу стану агрегата. Ключовою функцією є тренди та порівняння їх у відношенні до кожного з агрегатів, це дозволяє усунути суб'єктивні фактори, які могли впливати на кожний агрегат. У реальних умовах траплялись випадки, коли сигнали аварії фіксувались на справних агрегатах, до яких призводили зовнішні фактори, підвищена тектонічна активність тощо. Саме для усунення цих факторів використовується порівняльний аналіз.

Для виміру вібрації на опорах підшипників і корпусах агрегатів (згідно п.5.1 ГОСТ ІСО 2954-97) використовуються перетворювач вібрації інерційного типу (рисунок 8), що дозволяє вимірювати вібрацію щодо деякої нерухомої системи координат, яка визначається положенням перетворювача.

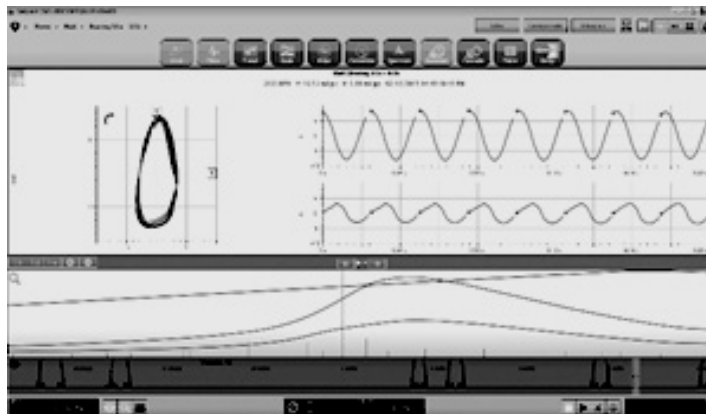


Рисунок 7 — Вібромоніторинг

Введення до експлуатації системи стаціонарного моніторингу та діагностики на базі обладнання компанії *Setpoint* (США) та подальший її розвиток дозволить проводити поглиблений аналіз вібраційних характеристик газоперекачувального агрегата (плановий та неплановий), що забезпечує в автоматизованому режимі, під управлінням навченого експерта-діагноста відповідної кваліфікації, визначення наступних параметрів:

- спектр випадкової вібрації (рисунок 9) — сукупність відповідних гармонійним складовим значень величини, що характеризує коливання (вібрацію), в якій вказані значення розташовуються в порядку зростання частот гармонійних складових;
- параметри амплітудно-частотних характеристик для режимів розгону й вибігу параметрів орбіти руху вала нагнітача в горизонтальному напрямку. Для розуміння природи несправності ці параметри особливо корисні: вони демонструють докладний знімок дійсного руху ротора (рисунок 9);
- параметри фігур Лісажу орбіти вала з проведенням вимірювань синхронізовано з обертанням вала нагнітача;
- формування діагностичних ознак появи ймовірних несправностей та дефектів механічної частини газоперекачувального агрегата і видачу відповідних повідомлень для подальшого аналізу експертом-діагностом;
- прогнозування технічного стану на основі моніторингу доремонтного та післяремонтного вібраційного обстеження газоперекачувального агрегата.

Для якісної оцінки вібрації машини й прийняття рішень про необхідні дії в конкретній ситуації встановлені наступні зони стану (ГОСТ ІСО 10816-4, ГОСТ ІСО 7919-4, СОУ 60.3-30019801-012:2004 та ДСТУ 3161.).

**Зона А (оцінка «добре»)** — в цю зону потрапляє, як правило, вібрація нових агрегатів, які вводяться в експлуатацію. Агрегати мають номінальні технічні параметри і працюють на номінальному режимі.

**Зона В (оцінка «прийнятно»)** — агрегати, вібрація яких потрапляє в цю зону, мають допустимі відхилення технічних параметрів і працюють на номінальному режимі, звичайно вважаються придатними для експлуатації без обмеження терміну.

**Зона С (оцінка «допустимо»)** — агрегати, вібрація яких потрапляє в цю зону, які мають гранично допустимі відхилення технічних параметрів, звичайно вважаються непридатними для тривалої безперервної експлуатації. Дані агрегати можуть працювати обмежений період часу до початку ремонтних робіт.

Досягнення вібраційного рівня «допустимо» потребує вжиття термінових заходів службою експлуатації компресорної станції для виявлення причин підвищеної вібрації та усунення виявленого дефекту.

**Зона D (оцінка «недопустимо»)** — рівні вібрації сягають або перевищують нормативні граничні значення, подальша експлуатація агрегата стає недопустимою через високу вірогідність аварії.

При тривалій експлуатації агрегатів установлюють обмеження функціонування, пов'язані з вібрацією. Ці обмеження мають наступні форми.

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ** — для вказівки, що вібрація або зміни вібрації досягли певного рівня, коли може знадобитися здійснення відновних заходів. Як правило, при досягненні рівня ПОПЕРЕДЖЕННЯ агрегат можна експлуатувати протягом деякого періоду часу, поки проводять дослідження причин зміни вібрації й визначають комплекс необхідних заходів,

**ЗУПИНКА** — для визначення значень вібрації, при перевищенні якого подальша експлуатація агрегата може призвести до його ушкоджень. При досягненні рівня ЗУПИНКА слід прийняти негайні заходи щодо зниження

вібрації або зупинити агрегат. Внаслідок різниці в динамічних навантаженнях і жорсткостях опор для різних положень і орієнтації датчиків вібрації встановлюються різні рівні ПОПЕРЕДЖЕННЯ й ЗУПИНКА.

Вібраційний стан агрегата оцінюють за результатами вимірів середнього квадратичного значення віброшвидкості опор валопроводу в діапазоні частот від 10 до 1000 Гц (Vr.m.s.). Основним нормованим параметром, по якому визначають тривалість припустимої роботи агрегата в режимі, що встановився, є максимальне значення Vr.m.s. по усіх точках і напрямкам вимірів.

Середнє квадратичне значення віброшвидкості в діапазоні частот виміру визначають відповідно до ГОСТ ІСО 10816-1 по формулі

$$v_e = \sqrt{T^{-1} \int_0^T v^2(t) dt}$$

де  $v(t)$  — віброшвидкість у діапазоні частот в  $\dots$ ,  $t$ ,  $T$  — період вибірки, який повинен принаймні на порядок перевищувати період кожного з основних частотних компонентів.

Середнє квадратичне значення віброшвидкості в широкому діапазоні частот є узагальненою енергетичною характеристикою агрегата й у більшості випадків досить надійно визначає його вібраційний стан.

### Висновки

Система побудована на сучасній елементній базі всесвітньо відомого розробника систем вібромоніторингу *SetPoint* (США), що підвищує надійність роботи.

Впровадження системи стаціонарного моніторингу та діагностики КЦ дозволило забезпечити підвищення надійності та довговічності роботи газоперкачувального агрегата, скорочення витрат на його ремонт, покращення техніко-економічних показників роботи газоперкачувального агрегата, підвищення надійності роботи обладнання контролю вібрації за рахунок використання в них нових перспективних програмно-технічних засобів.

### Література

1. Ясиніцький, Е.Р. Прогнозування технічного стану газоперкачувальних агрегатів з використанням методів регресійного аналізу вібраційних параметрів / Е. Р. Ясиніцький, М. Б. Налісний // Вісник Національного авіаційного університету.— 2005. — №3. — С. 132—136.
2. Ясиніцький, Е. Р. Комплекс віброконтролю та захисту газоперкачувального агрегата «Виза-РС» / Е. Р. Ясиніцький, С. В. Антонов, С. О. Пустовой, С. В. Избаш, О. Б. Шопяк. — Вісник Національного авіаційного університету. — 2006. — №1. — С. 109—113.
3. Гольдин, А. С. Вибрация роторных машин: 2-е изд. исправл. / А.С. Гольдин. — М.: Машиностроение, 2000. — 344 с.
4. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балийкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова, Е. И. Хомякова. — М.: Наука, 1984. — 120 с.
5. СОУ 60.3-30019801-004:2004. Системи автоматичного керування газоперкачувальними агрегатами. Основні технічні вимоги.

### References

1. Yasynitskiy, E.P., Nalisnyi, M. B. (2005). Prognozuvania tekhnichnogo stanu gazoperekachuvalnykh agregativ z vykorystanniam metodiv regresiinogo analizu vibratsiinykh parametrov [Prognosis of technical pumping of gas pumping units for vibration methods of registration analysis of various parameters ]. — *Visnyk Natsionalnogo aviatsiynogo universytetu [Bulletin of the National Aviation University]*, 3, 132—136.
2. Yasynitskiy, E. P., Antonov, S. V., Pustovoi, S. O., Izbash, S. V., Shopiak, O. B. (2006). Kompleks vibrokontrolyu ta zakhystu gazoperekachuvalnogo agregata «Viza-RS» [Complex vibrokontrolyu zahystu gas pumping unit «Visa-RS». *Visnyk Natsionalnogo aviatsiynogo universytetu [Bulletin of the National Aviation University]*, 1, 109—113. [In Ukrainian]
3. Goldin, A. S. (2000). *Vibratsia rotornykh mashyn [Vibration rotary machines]* — Moskow: Mashinostroenie, [In Russian].
4. Balytskiy, F. Ya, Ivanova, M. A., Sokolova, A. G. & Khomiakova, E. I. (1994) *Vibroarusticheskaya diagnostika zarozhdayushchikhsia defektov [Vibroacoustic diagnostics of incipient defects]* Moskow: Nauka [In Russian].
5. Systemy avtomatychnogo keruvannia gazoperekachuvalnymy agregatamy. Osnovni tekhnichni vymogy [Automatic control system of gas transfer units. The main technical requirements] SOU 60.3-30019801-004:2004 from April 2004. Kyiv [In Ukrainian].

Надійшла 12.03.2019 року

УДК 681.5(043.2)

## Система стационарного мониторинга и диагностики газоперекачивающего агрегата ГТК-10

*О. О. Чердинцев, К. М. Торхов, Е. П. Ясиницкий, И. Е. Ясиницка*

**Цель.** Создание системы предназначенной для углубленного анализа вибрации с целью прогнозирования технического состояния ГПА и перевода его на эксплуатацию по техническому состоянию.

**Методы исследования.** Сбор и обработка статистических данных по отказам парка газоперекачивающих агрегатов обусловленных повышенным уровнем вибрации.

**Результаты исследования.** Разработана современная система вибрационного мониторинга на базе новейших технологий которая обеспечивают контроль, обработку и визуализацию для оперативного персонала вибрационных и технологических параметров ГПА и позволяет обеспечивать оперативное реагирование на выявленные отклонения в техническом состоянии.

**Выводы.** Внедрение системы стационарного мониторинга и диагностики газоперекачивающего агрегата ГТК-10 позволило обеспечить своевременное выявление нарушения стабильности параметров вибрации и распознавания причин повышения.

**Ключевые слова:** вибрация, контроллер, мнемосхема, пульт управления, автоматизация, панель оператора, автоматизированное рабочее место, спектральный анализ.

UDC 681.5(043.2)

## The system of stationary monitoring and diagnostics of gas-pumping unit GTK-10

*O. O. Cherdyntcev, K. M. Torkhov, E. P. Yasynitskiy, I. E. Yasynitska*

**Aim.** Creation of a system for in-depth analysis of vibration in order to predict the technical state of the GPA and its transfer to operation in a state of technical condition.

**Methods of research.** Collection and processing of statistical data on the failure of the park of gas-pumping units due to the increased level of vibration.

**Results of the research.** A modern vibration monitoring system based on the latest technologies is developed which provides control, processing and visualization for operational personnel of the vibration and technological parameters of the GPA and allows to provide an operational response to detecting deviations in the technical state.

**Conclusions.** Implementation of the system of in-situ monitoring and diagnostics of the gas-pumping unit GTK-10 allowed to ensure timely detection of the vibration stability stability and recognition of the reasons for the increase.

**Key words:** vibration, controller, mimic, control panel, automation, operator panel, workstation, spectral analysis

### Відомості про авторів

Ясиницкий Эдуард Петрович  
(+38) (044) 419-52-02, e-mail: kafad@nau.edu.ua  
Ясиницкий Эдуард Петрович  
(+38) (044) 419-52-02, e-mail: kafad@nau.edu.ua  
Yasynitskiy Eduard Petrovych  
(+38) (044) 419-52-02, e-mail: kafad@nau.edu.ua

Ясиницка Ирина Эдуардовна  
(+38) (044) 406-71-70,  
e-mail: kafad@nau.edu.ua  
Ясиницкая Ирина Эдуардовна  
(+38) (044) 406-71-70,  
e-mail: kafad@nau.edu.ua  
Yasynitska Iryna Eduardivna  
(+38) (044) 406-71-70,  
e-mail: kafad@nau.edu.ua

Торхов Кирило Михайлович  
(+38) 063-167-87-68, e-mail: tkm@kotris.ua  
Торхов Кирилл Михайлович  
(+38) 063-167-87-68, e-mail: tkm@kotris.ua  
Torkhov Kyrylo Mykhailovych  
(+38) 063-167-87-68, e-mail: tkm@kotris.ua

Чердинцев Олег Олексійович  
(+38) 067-547-81-28,  
e-mail: oleg@kotris.ua  
Чердынцев Олег Алексеевич  
(+38) 067-547-81-28  
e-mail: oleg@kotris.ua  
Cherdyntsev Oleg Oleksiovych  
(+38) 067-547-81-28  
e-mail: oleg@kotris.ua