

**Прокопенко О.О.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Антоненко Н.С.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Гулей О.Б.**

Українська інженерно-педагогічна академія

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ Й НАПРЯМИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

*У статті проведено аналіз розвитку технологій забезпечення необхідного рівня надійності обладнання в газовому комплексі України. Розглянуто методичні підходи й технічні засоби щодо забезпечення такого рівня, які в цілому базуються на принципах і підходах до експлуатації об'єктів «за станом», замість планової експлуатації їх «за ресурсом». Реалізуються такі підходи виключно методами неруйнівного контролю об'єктів газотранспортної системи.*

*Метою роботи є огляд і порівняльна оцінка низки проблем і завдань, які пов'язані зі створенням сучасної системи вібраційного контролю й упровадженням діагностики «за станом» для компресорних станцій газотранспортної системи України. На базі виконаного огляду науково-технічних публікацій запропоновані й обґрунтовані оцінки суттєвих аспектів методів ідентифікації для систем періодичної та безперервної діагностики елементів газоперекачувального обладнання «за станом».*

*Розглянуто та проаналізовано обмеження принципового характеру, які знижують ефективність наявних методів вібродіагностики, що ґрунтуються на статистичній обробці вібраційного сигналу обладнання компресорних станцій і використанні баз даних із досвіду практичної експлуатації обладнання. Проведено порівняльний аналіз методів оцінки реального стану обладнання компресорних станцій і стратегії прогнозування його ресурсу й передаварійного стану. Проаналізовано застосовність методів і відповідних пристроїв для оцінки реального стану обладнання компресорних станцій за допомогою функцій когерентності, кореляції та кепстру, для визначення місця витoku газу в газопроводі й величини витoku газу через запірну арматуру в разі втрати нею герметичності. Оцінено можливість виділення вібраційного вкладу несправностей кожного з агрегатів обладнання компресорних станцій у сумарну вібрацію газоперекачувальних агрегатів, використовуючи при цьому спектрально-кореляційний аналіз результатів вимірювання вібраційного сигналу у визначених контрольних точках.*

**Ключові слова:** технічний стан газотранспортного обладнання, експлуатація об'єктів «за станом», неруйнівний контроль, газотранспортна система, обладнання компресорних станцій, вібраційний сигнал, спектр, спектрально-кореляційний аналіз.

**Постановка проблеми.** Газотранспортна система (далі – ГТС) України становить 38,55 тис. км газопроводів із компресорними станціями (далі – КС), у тому числі магістральних – понад 22 тис. км., 13 підземних сховищ газу, мережі газорозподільних і газовимірювальних станцій, 71 КС і 1450 газорозподільних станцій. Кількість газоперекачувальних агрегатів (далі – ГПА) становить 692 одиниці, з них – 438 із газотурбінним приводом [1; 2].

Сьогодні близько 80% ГТС України експлуатуються понад 25 років. Так, більш ніж 17% лінійної частини магістральних газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, а близько 50% мають малонадійне та неякісне антикорозійне покриття [1; 2; 3].

Така ситуація призводить до численних непланових зупинок роботи ГТС із наслідками різного ступеня тяжкості для технічного стану обладнання й порушень вимог безпеки праці. Так, за термін з 2002 року до 2009 року на магістралях ГТС України відбулося 415 випадків аварійних ситуацій і відмов [3]. Тому в Концепції розвитку, модернізації і переоснащення ГТС (затверджена урядом у 2009 році) зазначалося, що обладнання ГТС морально й фізично застаріло, ГПА компресорних станцій працюють неефективно. До цього варто зазначити, що за термін часу з 2010 року до 2016 року близько 36% аварійних ситуацій ГТС виникли з причин старіння саме обладнання КС. Із цього випливає, що умовою розвитку галузі є

насамперед надійність роботи ГТС, яка, у свою чергу, значною мірою визначається ступенем зносу ГПА.

Ще одним важливим чинником розвитку ГТС України є сучасна тенденція до безвахтового обслуговування ГТС, яка вимагає діагностичного обстеження технічного стану обладнання КС у режимі реального часу за умови безперервної експлуатації. Тим самим сучасні ГТС разом із САУ контролю утворюють великі об'єднані багатоконпонентні структури [4].

Але вирішення цієї проблеми ускладнено тим, що для забезпечення безвідмовної роботи ГПА сьогодні традиційно використовують систему планово-запобіжних ремонтів (далі – ППР). Ця система базується на запобіганні відмовам і забезпеченні необхідного технічного стану ГПА шляхом проведення комплексу заходів згідно з розробленими графіками ППР, які регламентовані галузевими нормативними документами.

Згідно зі стратегією експлуатації, за ППР будь-який ГПА, час роботи якого досягає терміну чергового ремонту, може бути виведеним у ремонт у справному стані. З іншого боку, якщо в міжремонтний період у будь-якому ГПА під час роботи стрімко почне розвиватися дефект, це може призвести до виходу його з ладу раніше досягнення терміну ППР, унаслідок чого ГПА вимагатиме ремонтно-відновлюваних робіт. Тому комплекс заходів ППР не забезпечує достатньої надійності агрегатів і призводить до необґрунтованих витрат їх деталей і вузлів, зайвих ремонтів і простоїв.

Можна констатувати, що найбільш перспективним підходом до експлуатації ГТС є перехід на обслуговування «за технічним станом», коли операції з обслуговування визначаються фактичним технічним станом агрегату. Тому науково-технічне забезпечення цього переходу є актуальним і безумовним завданням для газової галузі [1; 4; 7; 8; 10–12, 15–17].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації профілактичних і відновлювальних робіт і ремонтів на ОКС присвячено багато досліджень із використанням теорії надійності й масового обслуговування [4–7] та ін. Аналіз цих робіт показав, що найбільш оптимальною є система обслуговування обладнання «за технічним станом» [4; 6; 8–10; 14–17]. Перехід до цієї системи є можливим тільки на основі розвинутої методології та технічних засобів, які забезпечують безперервну діагностику ГПА в режимі реального часу.

Вирішенню проблем, розробці й упровадженню методів діагностування технічного стану

ГПА для забезпечення енергоефективності газотранспортних підприємств присвячено велику кількість наукових публікацій [1; 4; 6; 8–12; 14–17].

Так, у роботі [11] автор констатує, що найбільша кількість досліджень з аналізу стану газотранспортної стосується оцінки технічного стану ОКС, а саме моніторингу параметрів ГПА. Далі він робить висновок, що аналіз великої кількості робіт із цього напрямку дослідження свідчить про відсутність сьогодні єдиних підходів до комплексності аналізу параметрів і характеристик умов експлуатації обладнання об'єктів ГТС.

У свою чергу, з матеріалів роботи [12] випливає, що найбільш ефективним напрямом технічної діагностики ГТС є вібродіагностика в контролі передаварійного стану газотурбінних установок (далі – ГТУ), що входять до складу ГПА. Автор підтверджує цей висновок даними експлуатаційної статистики ГПА за умови віброконтролю технічного стану ГТУ. Також у роботі наводиться думка, що основною проблемою методів вібродіагностики ГТС нині є відсутність ефективних способів обробки безпосередніх сигналів систем контролю. Загалом ці способи є базованими як на детерміністському підході (спектральні характеристики процесу), так і на стохастичному описі (оцінки кореляційних функцій, щільності розподілу, тощо), методи обробки яких безперервно вдосконалюють [12].

Аналіз проблем вібродіагностики стану ГТС говорить про тенденцію пошуку рішення їх за допомогою спектрально-кореляційного та когерентно-кепстрального аналізів віброакустичного (далі – ВА) сигналу, який супроводжує роботу ГПА. З іншого боку, з факторів, що найбільше перешкоджають успішному розвитку вібродіагностики ГПА «за станом», треба відмітити відсутність достовірно встановленої залежності між дефектами та відповідними спектральними, кореляційними, когерентними й кепстральними параметрами вібрації. Для цього не вироблені норми та допустимі величини параметрів вібрації. Немає класифікації дефектів, що спричиняють вібрацію обладнання ГПА [4; 8; 11–17].

З іншого боку, навіть за умови успішної розробки засобів безперервної діагностики ГПА газова галузь не готова й не завжди здатна економічно ефективно здійснювати такі комплексні проекти. Тому не можна виключати з практики контролю ГПА варіанти ручного збору даних для періодичного діагностування за допомогою, наприклад, колекторів-збирачів з подальшою обробкою цих даних на ПЕОМ. Тут необхідна

розробка діагностичних баз даних та універсальних переносних вібродіагностичним (далі – ВД) приладів для визначення технічного стану (далі – ТС) і дефектів ГПА [4; 6; 8; 12; 14-16].

**Постановка завдання.** На підставі даних літературного огляду сформулювати низку проблем і завдань, які пов'язані зі створенням сучасної системи вібраційного контролю й упровадженням діагностики «за станом» для обладнання КС на ГТС України. У результаті поставлено завдання щодо оцінки суттєвих аспектів методів ідентифікації для систем періодичної та безперервної діагностики елементів ГПА «за станом»:

1. Розглянути і проаналізувати обмеження принципового характеру, які знижують ефективність наявних методів вібродіагностики, що ґрунтуються на статистичній обробці вібраційного сигналу (далі – ВС) ОКС і використанні баз даних із досвіду практичної експлуатації обладнання.

2. Провести порівняльний аналіз методів оцінки реального стану ОКС, виходячи з розподілу спектральних складових вібрації, а також стратегії прогнозування ресурсу та передаварійного стану ОКС за допомогою тренду спектральних складників вібрації.

3. Проаналізувати методи й відповідні пристрої для оцінки реального стану ОКС за допомогою функцій когерентності, кореляції та кепстру, для визначення місця витoku газу в газопроводі й величини витoku газу через запірну арматуру при втраті нею герметичності.

4. Оцінити можливість виділення вібраційного вкладу несправностей кожного з агрегатів обладнання КС у сумарну вібрацію ГПА, використовуючи при цьому спектрально-кореляційний аналіз результатів вимірювання ВС у визначених точках.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Упровадження системи технічного обслуговування «за станом» базується на глибоко розвиненій системі діагностування та прогнозування технічного стану ГПА.

Необхідно зазначити, що кількість параметрів і змінних стану, які характеризують об'єкт у реальному режимі часу в ході експлуатації ГПА, перевищує 600 одиниць [12]. Тому вихідний контроль стану ГПА в реальному режимі часу зводиться до комплексу окремих метрологічних завдань, які часто самі ще не мають задовільного рішення. Для цього потрібні ефективні системи прямого й непрямого вимірювання та оцінок різнорідних фізичних величин у складних умовах роботи.

У свою чергу, за результатами огляду можна стверджувати, що найбільша кількість досліджень

стосується оцінки технічного стану ГТУ, здебільшого моніторингу параметрів ОКС. Це відповідає вимогам надійності ГТУ як механічно й термічно високо навантаженого обладнання, до якого відносять турбінні та компресорні робочі лопатки.

У газотурбінних ГТУ насамперед не вдається уникнути пошкоджень робочих лопаток, обумовлених резонансними коливаннями, оскільки частоту власних коливань неможливо відокремити від можливих резонансів. Установлено, що причинами підвищеної вібрації лопаток [4; 8–12; 14–16] є:

- збільшення дисбалансу обертових деталей ротора;
- неконсервативні сили масляного шару підшипників ковзання;
- ослаблення або зникнення натягу на вкладишах підшипників;
- деформація корпусу в разі неприпустимого теплового розширення;
- перекося й розхитаність у підшипниках кочення й ковзання;
- порушення центрування ГТУ.

У відцентровому нагнітачі та його обв'язці виявлено високочастотні вібрації лопаток, що призводять до неприпустимих динамічних напружень елементів і вузлів. У свою чергу, по трубопроводах відбуваються перетікання крізь запірну арматуру, які призводять до великих утрат газу.

До теперішнього часу для віброконтролю і знаходження дефектів ОКС використовувалися методи спектрального аналізу вібрації й пристрої реєстрації загального рівня вібрації. Спектральний аналіз, заснований на емпіричних даних експлуатації, відображено в низці стандартів і норм щодо загального рівня вібрації [13; 16; 17]. Однак він не дає змогу контролювати передаварійний стан окремих деталей і вузлів ОКС.

Щодо трубної обв'язки не існує норм і недостатньо повно розроблені методи аналізу високочастотних вібрацій. Визначення втрат газу при перетіканнях у трубі й у кранах, засноване на різниці спектрів і кореляційної функції сигналу шуму витoku, має низку недоліків та обмежень у порівнянні з використанням перехресного кепстру й функції когерентності.

У свою чергу, недоліки, притаманні методам і засобам вібраційного контролю, обумовлюють низку невирішених науково-практичних проблем, пов'язаних із контролем технічного стану ОКС [7; 8; 12; 14-17].

Перспективним напрямом дослідження технічного стану ГТС є нормування та прогнозування граничних параметрів вібрації ГПА для віброкон-

тролю пошкоджень і передаварійного стану ОКС, що потребує комплексного підходу шляхом вирішення таких завдань [8-10; 12; 15-17]:

1) створення класифікації напрямів віброакустичної діагностики, у тому числі класифікації методів і засобів вібраційного контролю передаварійного стану деталей і вузлів обладнання компресорів;

2) розробка математичних моделей механічних коливань ГПА для оцінки амплітуд роторних гармонік і субгармонік спектру швидкостей вібрацій корпусів підшипників бездефектного агрегату й у разі появи характерних його дефектів;

3) установлення властивостей перехресного кепстру вузькосмугового випадкового сигналу для ідентифікації джерел дефектів, виявлення місць течі та механічних напружень у газопроводі;

4) розробка математичної моделі нормування високочастотної вібрації ГПА й обв'язки відцентрових нагнітачів (далі – ВЦН), лопаткових гармонік віброшвидкостей, визначення співвідношення амплітуд лопаткових і бічних смуг частот при зміні частоти ВС лопаток, а також за наявності характерних несправностей лопаткового апарату й функціонального стану ГПА;

5) установлення властивостей перехресного кепстру вузькосмугового випадкового сигналу для ідентифікації джерел дефектів, виявлення місць течі й механічних напружень у газопроводі;

6) визначення втрат газу за допомогою спектральної щільності та когерентності вібрації корпусу запірної арматури, що збуджується шумом перетікання негерметичного крана;

7) розробка комп'ютерного програмного забезпечення для обробки віброакустичних сигналів;

8) оцінювання похибки вимірювання й обробки віброакустичних сигналів для запропонованих методів.

Основними етапами дослідження технічного стану ОКС мають бути:

1) формулювання проблеми вібродіагностики ОКС;

2) розробка алгоритму та програми ЕОМ для спектрально-кореляційної обробки віброакустичного сигналу;

3) розробка способу поділу дефектів ГПА, обумовлених періодичними сигналами однакової частоти, за допомогою автокепстру;

4) отримання в явному вигляді залежності амплітуд лопаткових частот швидкості вібрації корпусів ОКС від коефіцієнта корисної дії (далі – ККД), а також втрати потужності від перетікання ГТУ і ВЦН;

5) експериментальне встановлення залежності низькочастотної самозбуджувальної вібрації обв'язки ВЦН від швидкості потоку газу, числа Струхалія, акустичних та оболонкових резонансних коливань газопроводу;

6) установлення характеру зміни амплітуди роторних гармонік спектра вібрації парку ГПА;

7) розробка алгоритму розрахунку коефіцієнтів технічного стану ГТУ, ГПА і ВЦН;

8) формування співвідношення амплітуд роторної, половинної й подвійної гармоніки вібрації корпусу ГПА за наявності дефектів ОКС.

Практична реалізація вказаних етапів надасть інформацію про природу вібраційних процесів і можливість нормування й розрахунку очікуваних параметрів вібрації ще на стадії проектування зразків нової техніки. Для цього доцільною є класифікація устаткування КС, яке можна поділити на чотири групи за їх призначенням і застосуванням.

До першої групи віднесемо обладнання, що застосовують для безпосереднього перекачування газу, - ГПА: привід і нагнітач.

До другої групи належать системи забезпечення ГПА (маслосистема, автоматика, контрольно-вимірювальні прилади (КВП), пристрої забору повітря (ПЗП), агрегати повітряного охолодження (АПО) газу тощо).

До третьої групи віднесемо обладнання технологічної обв'язки трубопроводів нагнітача (крани, запірну арматуру з електродвигунами, опори трубопроводів, пиловловлювачі, вузли підготовки й очищення газу, турбодетандери, трубопровід обв'язки, регулювальні клапани).

До четвертої групи належить допоміжне обладнання КС (дизельні двигуни, електродвигуни, повітродувки, насоси, підйомні крани тощо).

Об'єктом дослідження при аналізі технічного стану газотранспортного підприємства є обладнання, що включає такі основні елементи газоперекачувальної системи (рисунок 1): ГТУ (електродвигун); ВЦН; кран № 1; кран № 2; кран № 3; трубна обв'язка ВЦН; прилегла частина газопроводу; байпасні крани; крани, що мають вихід на свічку.

Газоперекачувальна система має бути оснащеною віброакустичними засобами вимірювання, що включають пристрої спектрального, кореляційного, кепстрального й когерентного аналізу вібрації ОКС.

Таким чином, об'єктом і предметом дослідження при ВД є спектральний, кореляційний, когерентний і кепстральний віброконтроль і вібродіагностика поточного, дефектного й пере-

даварійного стану газотранспортного обладнання (ГПА, ГТУ, ВЦН), обв'язки та запірної арматури за параметрами вібрації, що супроводжує роботу обладнання, в умовах промислової експлуатації на КС без його зупинки та розбирання, тобто неруйнівними методами.

Розглянемо, яким чином нині відбувається контроль поточного й передаварійного стану обладнання у вітчизняній газовій промисловості.

Для газоперекачувальної техніки в АТ «Укртрансгаз» типовий регламент її обслуговування - при якому на весь період призначають усі види ППР і визначають жорсткі терміни їх проведення. Крім того, для кожного ППР установлюють суворий обсяг (із планованими трудовими й матеріальними витратами) виконуваних робіт на кожному етапі експлуатації ГПА. Ці заходи призначають із досвіду експлуатації ГПА з урахуванням наявної статистики з відмов. У міру накопичення статистичних даних ці ППР мають уточнюватися. За даними ТОВ «Трансгаздіагностика», у ППР вводяться до 40% ГПА, які цих ремонтів у цей час не потребують [14].

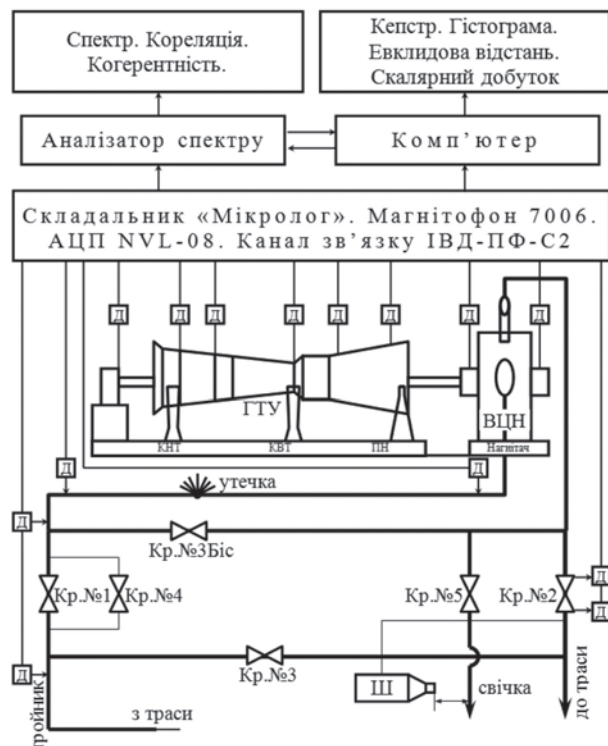


Рис. 1. Схема вимірювання й обробки віброакустичного сигналу ОКС

Теоретично обґрунтовано [7], що навіть експлуатація до вироблення ресурсу (без ремонтних і профілактичних робіт) до повного руйнування й заміни об'єкта є економічно вигіднішою, ніж експлуатація з ППР. Відзначається, що ППР застосовують як вимушений (тимчасовий) захід на стадії доведення коштовних об'єктів, призначених для тривалої експлуатації.

Через те що всі ППР незалежно від вироблення ГПА повного ресурсу призначають із однаковими обсягами робіт, передбачається здійснення профілактики з повним відновленням технічного стану. На практиці повне відновлення технічного стану ГПА здійснити вдається (імовірно) тільки на початку експлуатації. Однак із плином часу в силу старіння системи профілактичні роботи вже не можуть повністю відновити систему і проведення таких ППР є економічно не виправданим. При розгляді витрат на ППР для ГПА, які не потребували відновлення (обсяг і витрати ті самі), стає очевидним, що вони до цих пір не враховуються в собівартості транспорту газу. Дослідження [8] показали, що ремонти в цьому випадку значно погіршують технічний стан і прискорюють старіння агрегату.

У свою чергу, система обслуговування за технічним станом передбачає вибір реальних співвідношень між обсягом і термінами ППР на всіх етапах експлуатації газотранспортного обладнання. Для призначення ППР використовують інформацію не лише про поведінку ГПА в експлуатаційних умовах за останній проміжок часу, а й про його стан у моменти проведення контрольних перевірок.

Працездатність ГПА в процесі експлуатації характеризують  $j$  параметрів ( $j$  - число параметрів, яке залежить від глибини діагностування та кількості дефектів, що можуть бути розпізнаними). При  $\xi(t) < \xi_{i0}(t)$  агрегат вважають працездатним. На кожному етапі (контрольні перевірки) існує своє початкове значення цього параметра. При досягненні  $\xi_j$  певного рівня зародження дефекту рекомендується контролювати стан ГПА з меншим інтервалом. У свою чергу, при досягненні величиною  $\xi_j$  межі допустимого рівня, яка відповідає передаварійному стану агрегату, необхідно зробити профілактику або ремонт ГПА.

Таким чином, планомірний контроль технічного стану ГПА виключає проведення профілактики й (або) ремонтів для агрегатів із допустимим рівнем коефіцієнта технічного стану.

Дослідження [8] показали ефективність застосування цієї системи, за якої знижуються середні питомі витрати на один крок контролю й сумарні витрати на ППР. Зменшується число замінених елементів і час простою об'єкта в ремонті. Але такий підхід до ППР потребує створення деяких передумов, основні з яких включають вирішення таких завдань:

– накопичення значимої множини статистичних даних, отриманих під час експлуатації, що включають виявлені дефектні елементи й експертні оцінки причин відповідних відхилень параметрів від рівня бездефектного ГПА (створення бібліотеки несправностей);

– розробку сукупності методів і засобів для безпосереднього вимірювання й оцінки величин, що характеризують стан обладнання;

– розробку методики, яка дає змогу на підставі даних вимірювань визначити технічний стан, що існує в цей момент часу, у разі початку розвитку дефекту запобігти його подальшому розвитку.

Теоретичну основу для вирішення зазначених проблем забезпечують принципи й методи діагностики складних технічних систем «за станом».

**Висновки.** Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Відомі методи ВД, засновані на статистичній обробці даних вібраційних вимірювань у ході експлуатації (без застосування спеціально організованих експериментів і методів параметричної ідентифікації джерел вібрації), відчувають такі обмеження принципового характеру:

а) труднощі задовільного пояснення появи дискретних частотних викидів спектра віброколивальних;

б) відсутність аналітичних залежностей між видом складників спектру та кількісною характеристикою несправностей;

2. Способи ідентифікації дефектів передаварійного стану ОКС шляхом обробки вібросигналу за допомогою стандартних методів спектрального аналізу (без використання когерентних, кепстральних і кореляційних залежностей вібросигналу):

а) призводять до помилок під час ідентифікації дефектів ГПА;

б) не визначають наявності джерела витоку в ГТС, його місцезнаходження та величину витоку газу в запірній арматурі.

3. Технічний стан ОКС характеризує вібрація корпусів обладнання, а кожен дефект робить свій внесок у сумарну вібрацію, а саме:

а) вібрації корпусів ОКС містять суцільний безперервний спектр із дискретними складниками, що становлять роторні та субгармонічні амплітуди частот обертання, автоколивання резонансного характеру та лопаткові вібрації з бічними смугами частот;

б) рівні віброшвидкостей дискретних складників спектру на величину від 10 дБ до 30 дБ перевищують рівень безперервного спектру;

в) справний і дефектний стан обладнання повністю визначають співвідношення рівнів дискретних складників спектру, а суцільний спектр є широкосмуговим шумом немінучих перешкод.

4. Наявні математичні моделі оцінок спектру сигналів від справного та несправного ГПА дають змогу вирішити такі завдання:

а) спланувати дослідження вібровипробувань і виділити інформативну частину в спектрах вібрації ОКС;

б) отримати оцінку залежності параметрів технічного стану від рівнів складників спектрів віброшвидкостей корпусів ОКС;

в) експериментальним шляхом дослідити відмінності в технічних станах ОКС і виявити відповідні цим відмінностям кількості рівнів спектральних складників.

5. Розрахункове моделювання перехресного кепстру вібросигналу від корпусів ОКС (як випадкового процесу або детермінованої вібрації, зашумленої широкосмуговим шумом) показало, що кепстр у цьому випадку є схожим на кореляційну функцію такого шуму. Ця властивість кепстру використана для ідентифікації трактів поширення сигналу, де застосування кореляційної функції є обмеженим, що дає змогу:

а) ідентифікувати джерело детермінованої вібрації;

б) розробити спосіб визначення координат мікрОВитоків газу в газопроводі та спосіб оцінки статичної напруги в його стінках.

6. Використання функцій когерентності сигналу ВА для експериментально-розрахункових досліджень протікання газу через запірну арматуру ГКС дало можливість оцінити залежності величин цих протікань від сумарного рівня вібрації крана (для частотних діапазонів, що відповідають третій октаві).

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

#### Список літератури:

1. Горбійчук М.І., Когутяк М.І., Скріпка О.А. Контроль технічного стану газоперекачувальних агрегатів. *Методи та прилади контролю якості*. 2005. № 13. С. 18–19.

2. Характеристика газотранспортної системи України / С. Януль, К. Павлов, М. Коротя, С. Галянт. *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2019. № 1 (17). С. 31–38.

3. Мандрик О.М. Аналіз причин аварійних ситуацій та руйнувань магістральних газопроводів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.1. С. 156–162.

4. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Москва : Недра, 1987. 197 с.

5. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. Москва : Наука, 1984. 120 с.
6. Ігуменцев Є.О., Прокопенко О.О. Підвищення безпеки експлуатації газотранспортного комплексу України. *Якість технологій та освіти* : збірник наук. пр. Укр. інж.-пед. акад. Харків, 2011. Вип. 2. С. 101–104.
7. Смирнов Н.Н., Цукович А.А., Загребальний В.И. О применении технической диагностики для определения сроков замены самолетных агрегатов. *Техническая диагностика* : сборник. Москва : Наука, 1972. С. 18–26.
8. Васильев Ю.Н., Бескелетный М.Е., Ігуменцев Е.А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных перекачивающих агрегатов. Москва : Недра, 1987. 197 с.
9. Зарицкий С.П. Основные направления работ по разработке и внедрению в отрасли методов, средств и систем технической диагностики оборудования КС. *Диагностика оборудования и трубопроводов*. 1995. № 5. С. 3–17.
10. Ільченко Б.С. Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів : монографія. Харків : ХНАМГ, 2011. 228 с.
11. Романова К.О. Підвищення енерго-екологічної ефективності експлуатації енергетичних об'єктів ідентифікацією фактичного стану обладнання : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 «Екологічна безпека» / Н.-д. установа «Укр. НДІ екол. Проблем». Харків, 2019. 21 с.
12. Акимов В.И. Влияние неоднородности и колебаний эксплуатационных параметров работы ГПА на техническое состояние узлов газотурбинного привода : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)». Уфа, 2020. 25 с.
13. Регламент измерений, необходимых для технической диагностики газоперекачивающих агрегатов, технологических объектов и общестанционного оборудования компрессорных станций. Москва : ВНИИ-ГАЗПРОМ, 1984. 46 с.
14. Ігуменцев Е.А. Исследование вибрации ГТУ в условиях эксплуатации. *Сборник ВНИИЭГАЗПРОМА. Серия «Транспорт и хранение газа»*. 1982. № 5. С. 7–9.
15. Ігуменцев Е.А., Прокопенко Е.А. Вибродиагностика ГПА на КС «Зеньков». *Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Нові рішення в сучасних технологіях»* : сборник научных трудов. 2010. № 46. С. 63–67.
16. Прокопенко О.О., Антоненко Н.С. Класифікація основних напрямків віброакустичної діагностики передаварійного стану обладнання компресорних станцій. *53 Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників Української інженерно-педагогічної академії. Секція «Енергетика»* : збірник тез доповідей. Харків, 2020. С. 65.
17. Ігуменцев Е.А., Прокопенко Е.А. Вибродиагностика газоперекачивающего агрегата. *Научные известия НТСМ*. 2016. № 1 (187). С. 90–93.

**Prokopenko O.O., Antonenko N.S., Hulei O.B. TECHNICAL CONDITION OF GAS TRANSMITTING EQUIPMENT, PROBLEM ANALYSIS AND DIRECTIONS FOR SOLVING PROBLEMS**

*The article analyzes the development of modern technologies to ensure the necessary level of safety and reliability of equipment in the gas complex of Ukraine. Methodological approaches and technical means of solving these problems, which in general, are based on the principles and approaches to the operation of objects “by state” instead of their planned operation “by resource”, are considered. Such approaches are implemented exclusively by methods of non-destructive testing of gas transmission system facilities. The aim of the article is to substantiate the direction of solutions to a number of problems and tasks related to the creation of a modern system of vibration control and the introduction of diagnostics “by state” for the gas transmission system of Ukraine on the basis of a review of scientific and technical publications and an assessment of the essential aspects of identification methods for systems of periodic and continuous diagnostics of the GPU elements “by state”.*

*The fundamental limitations that reduce the effectiveness of existing methods of vibration diagnostics based on statistical processing of the vibration signal of the equipment of compressor stations and the use of databases on the experience of practical operation of equipment are considered and analyzed. A comparative analysis of methods for assessing the actual state of the equipment of compressor stations and strategies for forecasting its resource and pre-emergency condition is carried out. The applicability of methods and corresponding devices for assessing the actual state of the equipment of compressor stations using the functions of coherence, correlation and cepstrum, to determine the place of gas leakage in the gas pipeline and the amount of gas leakage through the shut-off valves in case of loss of tightness is analyzed. The possibility of isolating the vibrational contribution of malfunctions of each unit of equipment of compressor stations to the total vibration of gas pumping units is evaluated, using the spectral-correlation analysis of the results of measuring the vibration signal at certain control points.*

**Key words:** technical condition of gas transmitting equipment, operation of facilities according to their condition, non-destructive testing, gas transmitting system, equipment of compressor stations, vibration signal, spectrum, spectral and correlation analysis.