

622.691.4.052(043)
Р83

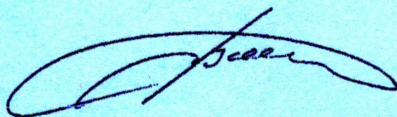
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

РУДКО Володимир Васильович

УДК 621.622

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ
НА ОСНОВІ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ
ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища



АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м Івано-Франківськ – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Грудз Ярослав Володимирович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтозховищ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Тимків Дмитро Федорович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики (м. Івано-Франківськ).

кандидат технічних наук **Лінчевський Михайло Петрович**, ПАТ «Газтрансит», голова правління (м. Київ)

Захист відбудеться 22 березня 2012 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 17 лютого 2012 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 20.052.04,
кандидат технічних наук, доцент



Пилипів Л.Д.



an2248

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Надійність експлуатації газотранспортних систем значною мірою визначається досконалістю системи обслуговування, яка залежить як від системи проведення планово-попереджувальних ремонтів та рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу, так і від системи контролю працездатності та ремонтпридатності обладнання. Задача експлуатації газоперекачувального обладнання та технологічних трубопроводів компресорних станцій полягає в попередженні відмов та підтриманні технічного стану на заданому рівні за допомогою контролю технічного стану та проведення комплексу заходів планово-попереджувальних ремонтів.

На даний час у газотранспортній галузі намічається перехід до прогресивних форм експлуатації обладнання – обслуговування за реальним станом. Перехід до такої форми експлуатації можливий на основі розвитку та впровадження автоматизованих систем управління обладнанням, зокрема, посиленні діагностичної функції контролю з використанням різних вимірювальних засобів та застосуванням ЕОМ.

Технічна діагностика вирішує наступні основні задачі:

- діагнозу, тобто оцінки технічного стану об'єкта за сукупністю параметрів, що контролюються;
- генезису, тобто пошуку причин відмов та локалізації несправностей;
- прогнозу технічного стану об'єкту та необхідних мір по підтримці працездатності.

У наш час рівень складності технічних об'єктів став випереджати рівень якості та надійності елементів, на базі яких створюються об'єкти, і за тривалістю функціонування вони не задовольняють поставленим вимогам, що викликає необхідність виконання профілактичних робіт по відновленню працездатності, час і обсяг яких належить визначити.

Підвищення експлуатаційної надійності можливе, зокрема, за рахунок прогнозу технічного стану обладнання та трубопроводів, що забезпечує його раціональне використання і дозволяє попередити аварійні відмови, збільшити міжремонтні періоди та скоротити час і обсяг ремонту.

Оцінюючи наведене, можна зробити висновок про значний рівень актуальності проблеми діагностування, прогнозування та підтримки на належному рівні технічного стану компресорних станцій магістральних газопроводів, зокрема їх обладнання та технологічних трубопроводів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота носить науково-прикладний характер і входить у комплекс тематичних планів НАК «Нафтогаз України», спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортного комплексу і окреслених Національною програмою «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 рр.», і виконана в рамках держбюджетної теми «Удосконалення наукових основ

управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення методів діагностування, обслуговування та прогнозування технічного стану обладнання компресорних станцій магістральних газопроводів.

Поставлена мета досягається шляхом реалізації наступних завдань:

1. Оцінка діагностичних ознак для з'ясування експлуатаційних несправностей газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів.
2. Створення діагностичної моделі ГПА на основі теорії подібності та розмірностей.
3. Розробка методів ідентифікації несправностей газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів.
4. Розробка методів прогнозування технічного стану газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів.
5. Апробація у виробничих умовах запропонованих заходів і засобів та розробка рекомендацій подальшого підвищення надійності.

Об'єктом дослідження є газоперекачувальні агрегати та технологічні трубопроводи компресорних станцій газотранспортних систем ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України».

Предметом дослідження є оцінка технічного стану газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій (КС) магістральних газопроводів для забезпечення експлуатаційної надійності.

Методи дослідження: системний аналіз експлуатаційних параметрів ГПА, традиційні методи аналізу показників експлуатації ГПА, методи побудови діагностичних моделей ГПА, кореляційно-регресійний аналіз, факторний аналіз, методи математичного прогнозування, виявлення впливу організаційно-технічних чинників на ефективність експлуатації.

Положення, що захищаються. Залежності впливу параметрів діагностування елементів ГПА компресорних станцій на їх технічний стан та забезпечення працездатності.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено рекомендації для оцінки працездатності елементів ГПА КС магістральних газопроводів за структурними моделями, побудованими в комплексних параметрах із використанням методів подібності.
2. Дана класифікація експлуатаційних несправностей ГПА.
3. Запропоновано діагностичну модель агрегату, розроблено методи формування матриць станів із урахуванням несправностей і алгоритм розв'язання рівнянь моделі з метою визначення діагностичних параметрів
4. Показано, що можна надати перевагу детермінованому підходу до розпізнавання несправностей за термогазодинамічними параметрами перед імовірнісним.

5. Розроблено методику ідентифікації несправностей на ранній стадії їхнього розвитку при певному відхиленні контрольованих параметрів від номінальних значень.

6. Розроблено рекомендації по частоті опитування діагностичних параметрів у залежності від характеру їх змін.

Практичне значення отриманих результатів.

Для діагностичних моделей ГПА розроблено алгоритми та програми розрахунків, результати отримані для агрегатів типу ГТК-10 та ГПА-Ц-6,3 із відцентровими нагнітачами різних модифікацій.

Розроблено алгоритм визначення діагностичних параметрів і на основі реалізації моделей обрано п'ятнадцять термогазодинамічних параметрів для описання ознак класів несправних станів.

На базі запропонованого підходу побудовано діагностичну таблицю, яка включає одинадцять несправностей, пов'язаних зі станом проточної частини ГПА.

Розроблено рекомендації по частоті опитування діагностичних параметрів у залежності від характеру їхніх змін та алгоритми прогнозування працездатності ГПА методами допускового контролю.

На основі розв'язку розглянутих задач створено комплекс програм, що дозволяє виявити комплекс діагностичних параметрів і побудувати графіки-еталони для оперативного визначення несправностей ГПА в результаті обробки інформації про характер змін контрольованих параметрів. Розроблений комплекс алгоритмів і програм та методи забезпечення працездатного стану технологічних трубопроводів компресорних станцій використовувалися на КС УМГ "Прикарпаттрансгаз". Економічний ефект від впровадження склав 132, 5 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. На основі структурних моделей, побудованих у комплексних параметрах, розроблено методи оцінки працездатності елементів ГПА КС магістральних газопроводів [1,2].

Запропоновано діагностичну модель агрегату та класифікацію експлуатаційних несправностей ГПА, розроблено методи формування матриць станів із урахуванням несправностей і алгоритм розв'язання рівнянь моделі з метою визначення діагностичних параметрів [1,6].

Розроблено методику ідентифікації несправностей на ранній стадії їхнього розвитку при певному відхиленні контрольованих параметрів від номінальних значень та рекомендації по частоті опитування діагностичних параметрів у залежності від характеру їх змін [2,3].

Автор брав безпосередню участь у розробці та впровадженні у виробництво запропонованої техніки і технологій [4,5,6].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на:

-Науково-практичній конференції факультету нафтогазопроводів. - Івано-Франківськ, 7-8 травня 1998 року.

-Міжнародній науково-технічній конференції "Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці, м.Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007 року.

-Нараді ДК Укртрансгаз НАК "Нафтогаз України" "Проблеми довгострокових реконструкцій ПСГ та шляхи їх вирішення", 17-20 квітня 2007 р., м.Яремче

-Всеукраїнській науково-практичній конференції «Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів галузі», м. Івано-Франківськ, 2-3 вересня 2010 року.

Результати досліджень, викладених у дисертаційній роботі, в повному обсязі доповідалися на наукових семінарах кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтоосховищ та факультету нафтогазопровідів ІФНТУНГ.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 друкованих праць, із яких два патенти.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5-ти розділів, висновків та додатків, які викладені на 149 стор. машинописного тексту і містять 29 табл., 32 рис. Список використаних літературних джерел містить 125 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика проблеми, обґрунтовано актуальність тематики, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність досліджень, а також особистий внесок автора в їх проведення.

Перший розділ присвячено характеристиці української газотранспортної системи, газоперекачувальних агрегатів на її компресорних станціях, надійності їх експлуатації, а також питанням аналізу розробок із технічної діагностики агрегатів, на основі якого конкретизовано задачі досліджень.

Газотранспортна система України складається з 37,6 тис. км газопроводів різного призначення та продуктивності; 73 компресорних станцій із 110 компресорними цехами, де встановлено 703 газоперекачувальні агрегати загальною потужністю 5,4 тис. МВт; 1607 газорозподільних станцій; 13 підземних сховищ газу загальною місткістю за активним газом 32,0 млрд. м³ та об'єктів інфраструктури.

Принципи реалізації державної політики щодо функціонування газотранспортної системи України, підтримання її в належному технічному стані та забезпечення надійності функціонування визначені Законами України "Про трубопровідний транспорт" та "Про нафту і газ", Енергетичною стратегією України на період до 2030 року.

Загальні засади розвитку ГТС України диктуються збільшенням обсягів транзитного транспортування природного газу з місць його видобування родовищ Сибіру - до основних споживачів, які представлені в основному промисловими підприємствами та побутовим сектором Західної Європи. На

шляху потужних газових потоків зі сходу на захід простягається територія України, якій належить бути основним газовим транзитним транспортером.

Компресорні станції системи дальнього транспортування газу призначені для підвищення енергії газового потоку, необхідної для його руху з заданою витратою по лінійних ділянках. Основним обладнанням компресорних станцій є газоперекачувальні агрегати, в яких здійснюється компримування газу, тобто передача механічної енергії приводу газовому потоку. Основною функцією, котра визначає якість функціонування системи газопостачання є безперебійність постачання споживачам газу потрібної якості. Для систем газопостачання прийнято класифікацію завдань в області дослідження надійності, яка складаються з п'яти основних класів, а саме: концептуальних, інформаційних, функціональних, нормативних та оптимізаційних

Керування надійністю при одному і тому ж рівні використання агрегатів досягається шляхом виявлення та попередження відмов. Своєчасне виявлення відмов дозволяє, з одного боку, запобігти подальшим поломкам, аваріям ГПА, з іншого – оперативно припинити зниження ефективності їх експлуатації

Основою планування технічного обслуговування є прогнозування його стану. Зараз намітилися два шляхи вирішення задачі прогнозування: за сукупністю зразків готового обладнання та індивідуальне прогнозування за окремими зразками. Задача індивідуального прогнозування особливо важлива для практики, тому що вартість окремих зразків об'єктів, які контролюються, велика, а кількість складних об'єктів порівняно мала. Ускладнення технологічних та виробничих процесів призвело до необхідності використання методів планування експерименту та прогнозування якості вихідної продукції на базі управління багатofакторними технологічними процесами, оптимізації технології виготовлення.

Технічна діагностика за використанням математичних методів може бути ймовірнісною, коли внутрішні зв'язки агрегатів не розглядаються, а для оцінки стану агрегату використовуються статистичні характеристики параметрів стану, що контролюються, та детермінованою. Детермінована діагностика припускає, що об'єкт діагностики складається з ряду, функціонально пов'язаних підсистем, в яких протікають робочі процеси. Для опису робочих процесів використовуються детерміновані математичні моделі.

Оцінці та прогнозуванню працездатності ГПА за інтегральними параметрами - ефективній потужності та витраті паливного газу - присвячені роботи Б.П. Поршакова, А.В. Матвеева, В.А. Щуровського. Характер зміни потужності на компресорних станціях та причини її зниження аналізуються ймовірнісними методами в роботах В.Л. Цегельникова, методами регресійного аналізу в роботах Б.П. Поршакова, І.А. Іванова, а також детермінованими методами математичного моделювання в роботах В.А. Щуровського. У вітчизняній та зарубіжній практиці методи

визначення несправностей елементів у період функціонування ГПА знаходяться в стадії дослідження.

У другому розділі приведено результати досліджень з оцінки технічного стану газоперекачувального агрегату.

Основною визначальною характеристикою стану ГПА є працездатність, під якою слід розуміти його стан, при якому агрегат спроможний виробити певну величину потужності з допустимою економічністю протягом часу, що визначається ресурсом, забезпечуючи при цьому певні динамічні якості. ГПА складається з ряду елементів, працездатність кожного з яких визначає працездатність агрегату в цілому, і ці елементи потребують самостійної оцінки їхньої працездатності. Під працездатністю елемента слід розуміти такий стан, при якому він спроможний забезпечувати характеристики, які вимагаються протягом часу, визначеного ресурсом вузла до ремонту. Визначення працездатності агрегату дозволяє дати її кількісну характеристику у вигляді енергетичної оцінки, тобто ефективної потужності – N_e , яку спроможний виробити ГПА за ресурс, що залишився. Верхня границя зони повної втрати працездатності визначається потужністю $N_{e \text{ гран}}$, за якої агрегат перестав виконувати свої функції. Границя нормальної часткової втрати працездатності визначається допустимими змінами ефективної потужності за весь ресурс, що залишився, яка, виходячи з досвіду експлуатації та техніко-економічних показників, приймається в межах 15%

Математична модель для схеми газоперекачувального агрегату базується на принципі структурної побудови та складається з повної системи рівнянь, що описують характеристики елементів, зв'язок між елементами та регулюючі пристрої. Багаточисельність вихідних незалежних змінних ускладнює побудову математичних моделей агрегату та його елементів. Будь-яку систему рівнянь, яка містить в собі запис законів, що управляють явищами, можна сформулювати як співвідношення між безрозмірними величинами. Перехід від фізичних величин до комплексних параметрів призводить до зменшення кількості змінних при більш чіткому виявленню внутрішніх зв'язків, які характеризують агрегат.

Залежність ступеня підвищення тиску від інших величин можна уявити рядом однорідних за розмірністю членів, кожен із яких має вигляд

$$\varepsilon, \eta, \tau = C \cdot G^a \cdot T^b \cdot P^c \cdot n^d \cdot D^e \cdot K^f \cdot R^g \cdot \mu^m \cdot Z^n, \quad (1)$$

де ε - ступінь підвищення тиску; η - ККД; τ - відношення кінцевої та початкової температур; G - масова витрата газу; P , T - тиск, температура; n - швидкість обертання ротора; D - діаметр; K - показник адиабати; R - газова стала; μ - абсолютна вязкість; Z - коефіцієнт стисливості.

На основі теорії розмірностей приведені залежності зведено до ідентичних функцій комплексних безрозмірних параметрів. Характеристики будь-якої лопаткової машини за умови геометричної, газодинамічної та теплової подібності можуть бути виражені будь-якими двома параметрами. У

завданні, що розглядається. в якості таких параметрів взято ε та η . У свою чергу, кожен із вихідних параметрів лопаткової машини є функцією двох незалежних аргументів, в якості яких доцільно використовувати комплексний параметр, а також частоту обертання або витрату повітря. Оскільки незалежних параметрів тільки два, то записувати більшу кількість рівнянь для задання характеристики лопаткової машини (за умови справедливості подібності) немає сенсу, оскільки вони не несуть необхідної інформації та обтяжують побудову математичної моделі агрегату.

Характеристики нагнітача, осьового компресору та турбіни в зазначеній системі параметрів є з достатньою точністю наближення лінійними по всьому діапазоні режимів роботи ГПА. Лінійність характеристик дозволяє з великою точністю апроксимувати їх рівняннями першого ступеня у вигляді

$$A = \frac{a_1 n_{np} - a_2 \varepsilon + a_3}{a_4 \varepsilon + a_5}, \quad B = \frac{b_1 G_{np} - b_2 n_{np} - b_3}{b_4 G_{np} - b_5}. \quad (2)$$

Можливість апроксимації характеристик лопаткової машини лінійними залежностями полегшує їхнє використання для вирішення завдань технічної діагностики.

При оцінці технічного стану елементів агрегату порівнюються вихідні та експлуатаційні характеристики.

Оцінка технічного стану елемента проводиться наступним чином. Зміряються режимні параметри: частота обертання, ступінь стиску, температура та витрата робочого тіла. Щоб виключити вплив зовнішніх умов, розраховуються наведені значення параметрів, комплекс А та ККД

За вихідною характеристикою знаходимо за заміряним значенням $\varepsilon_{зам}$ та $n_{пр.вих.}$, що відповідає вихідному режиму. За різницею $n_{пр.зам.}$ та $n_{пр.вих.}$ можна судити про зміну частоти обертання ОК або ВН.

За характеристикою ефективності визначається вихідне значення комплексу В, що відповідає $n_{пр.вих.}$, за яким розраховується к.к.д. елемента, що відповідає його вихідному стану

$$\eta_{вих.} = \frac{A}{B}.$$

Різниця між $\eta_{вих.}$ та $\eta_{зам}$ характеризує зміну к.к.д., що відбулася.

При розходженні параметрів $A_{вих.}$ та $A_{зам.}$, $B_{вих.}$ та $B_{зам.}$ у межах 3%, що відповідає максимальній погрішності апроксимації діагностичних характеристик та точності вимірювання режимних параметрів сучасними контрольно вимірювальними приладами, можна вважати, що технічний стан елемента ГПА відповідає його нормальній працездатності. Розходження цих параметрів, яке перевищує 3%, свідчить про порушення нормальної

працездатності елементів обладнання та потребує призначення профілактичних заходів для її поновлення.

Аналогічний принцип використано для діагностування камери згоряння ГТУ. Застосування методів теорії розмірностей в даному випадку формує наступну залежність

$$\tau_c = 1 + \frac{\tau}{C_{pm}} \cdot \frac{\eta \cdot Q_p^H \cdot G_T}{\sqrt{T_a} \cdot P_a} \cdot \frac{P_a}{G_1 \sqrt{T_a}} \quad (3)$$

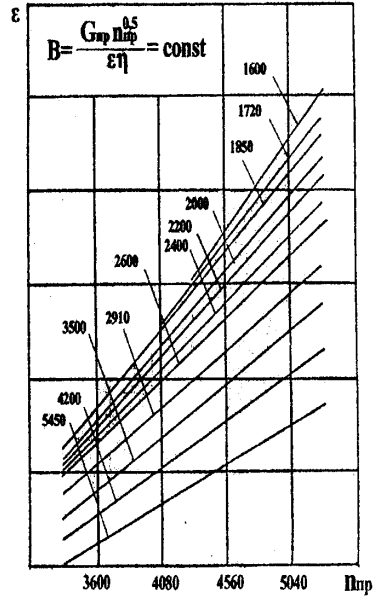
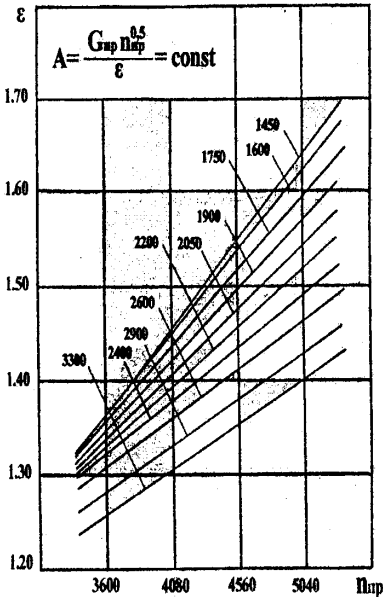


Рисунок 1 - Характеристики ВН 520-12-2 у комплексних параметрах для оцінки працездатності

Рівняння зв'язків між елементами ГПА зумовлені конструктивною схемою агрегату, наявністю регулювання елементів і відбором потужності та повітря. Для розглянутої конструктивної схеми агрегату рівняння зв'язків містять:

1. Умови рівності частоти обертання роторів.
2. Умови рівності потужностей.
3. Умови рівності ступенів стиску й розширення.
4. Умови рівності витрат на вході в компресор і турбину.
5. Додаткові співвідношення між вхідними й вихідними параметрами кожного елемента, а також рівняння, що описують вихідні характеристики агрегату.

На основі вивчення результатів розрахунку для ГПА типу ГТК-10, а також відповідних їм відцентрових нагнітачів (ВН) різних модифікацій, розроблено алгоритм і програму розрахунку характеристик елементів ГПА в комплексних параметрах.

Третій розділ присвячено визначенню діагностичних параметрів для виявлення експлуатаційних несправностей газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів.

Інформацією про несправні стани є реалізації деяких параметрів робочого процесу, які можуть бути прийняті як діагностичні ознаки. Реалізація ознак і ймовірності несправних станів визначають апіорні відомості про стан агрегату. В загальному випадку кількість несправних станів і їх класів нескінченно велика. Для формулювання й рішення завдання розпізнавання допускається, що всі несправності можна об'єднати в кінцеве число класів, кожен із яких характеризується кінцевим числом ознак. До певного класу відносяться несправності одного найменування й виду.

Несправності газоперекачувального агрегату запропоновано класифікувати таким чином:

- а) за приналежністю до окремих вузлів;
- б) за впливом на працездатність:
 - несправності, що приводять до зниження ресурсу вузлів і деталей;
 - несправності, що приводять до зміни характеристик функціонування;
- в) за ознаками, що їх описують:
 - несправності, діагностичні параметри яких визначаються прямим виміром;
 - несправності, що діагностуються за непрямими ознаками;
 - несправності, оцінювані за умовами, що приводять до їх виникнення.

На основі узагальнення досвіду експлуатації за даними ВРТП "Укренергосервіс" розроблений перелік можливих несправностей ГПА.

Вибір методу визначення діагностичних параметрів для ідентифікації експлуатаційних несправностей газоперекачувальних агрегатів залежить від вимірювального оснащення та вимагає створення математичної моделі. Для потужних дорогих машин, якими є газоперекачувальні агрегати, найбільш прийнятними методами визначення діагностичних параметрів є методи математичного моделювання.

Формування моделі засноване на представленні ГПА у вигляді елементарних вузлів, - а саме: осьовий компресор, камера згоряння, регенератор, турбіна високого тиску (ТВТ), турбіна низького тиску (ТНТ), газоповітряний тракт, відцентровий нагнітач, - функціонально пов'язаних між собою. Кожен елемент описується диференціальним або алгебраїчним рівнянням, що зв'язує вихідні та вхідні параметри й відображає термогазодинамічні процеси, котрі протікають в елементі. Зв'язки між вузлами визначаються рівняннями спільної роботи елементів ГПА

$$AY = BX, \quad (4)$$

де $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ - вектор-стовпець параметрів, які характеризують ефективність функціонування вузлів агрегату, а також задають режим роботи. Значення цих параметрів піддаються виміру; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор-стовпець параметрів стану, котрі характеризують якість процесів, що протікають у вузлах агрегату, і досконалість проточної частини в поточний момент часу.

У даній роботі для рішення задачі визначення діагностичних термогазодинамічних параметрів використана широка модель, що містить рівняння, які описують термогазодинамічні процеси, котрі протікають в елементах агрегату в період його функціонування. Об'єднання математичних описів окремих вузлів ГТУ в єдиний алгоритм проводиться з урахуванням рівнянь спільної роботи, які визначають зв'язки між елементами моделі й узгодженість між робочими параметрами.

У статичному режимі: рівняння балансу ступеня стиску й загального ступеня розширення

$$\varepsilon_{\text{мед}} \cdot \varepsilon_{\text{мнд}} = \varepsilon_k \cdot \sigma_{\text{ак}} \cdot \sigma_{\text{вд}} \cdot \sigma_{\text{нд}}, \quad (5)$$

рівняння балансу витрат

$$G_2 = \xi G_b, \quad (6)$$

рівняння рівності потужності

$$N_{\text{ТВТ}} = \eta_{\text{мех}} \cdot N_{\text{ок}}; \quad N_{\text{ТНТ}} = \eta_i \cdot N_{\text{Н}}, \quad (7)$$

рівняння рівності число обертів

$$n_k = n_{\text{ТВТ}}; \quad n_{\text{Н}} = n_{\text{ТНТ}}. \quad (8)$$

Взаємозв'язок параметрів, які визначають роботу нагнітача, виражається його витратною та енергетичною характеристиками. Лінеаризація рівнянь, що зв'язують параметри агрегату, проводиться при послідовному логарифмуванні та диференціюванні рівнянь. У результаті отримані відносні зміни параметрів і чисельні коефіцієнти, рівні частковим похідним у початковій точці на заданому початковому режимі. Кожному вихідному рівнянню процесу, заданому аналітично або графічно, відповідає одне рівняння у малих відхиленнях, яке включає зміни у змінних параметрах. Таким чином, в системі рівнянь в малих відхиленнях міститься тільки та інформація, яка утримується у вихідних рівняннях.

У період експлуатації стан ГПА контролюється за характером змін робочих параметрів Y_i . Із них вибирають ті параметри, які найбільше змінюються порівняно з іншими при появі несправностей. Діагностичні

параметри розраховуються в результаті розв'язання системи рівнянь із урахуванням несправностей

$$Y = A^{-1}BX = DX \quad (9)$$

Задачу можна розв'язати, якщо матриця коефіцієнтів A буде мати обернену матрицю A^{-1} . Із цього слідує, що кількість невідомих повинна дорівнювати числу рівнянь, жоден рядок чи стовпець матриці A не повинен бути лінійною комбінацією інших її рядків чи стовпців. Для розв'язання системи за розробленим алгоритмом створена компютерна програма, розрахунки проводились для ГПА типу ГТК-10.

У **четвертому розділі** приведено методи ідентифікації несправностей газоперекачувальних агрегатів.

Одна з основних задач технічної діагностики – ідентифікація несправностей на ранній стадії базується на теорії розпізнавання образів. Несправні стани ГПА розбиваються на кінцеве число класів, в якості класів прийнято несправні стани, що найчастіше зустрічаються при експлуатації та моделюються за допомогою вибраної діагностичної моделі агрегату. Розглядаються два стани агрегату: у випадку справного стану значення діагностичного параметру віднесено до класу K_1 , (діагностичний параметр розподіляється за законом $f_1(y)$), у випадку несправного стану – до класу K_2 , (діагностичний параметр розподіляється за законом $f_2(y)$). Прийнято, що ознакою приналежності стану ГПА до класу K_1 є значення ознаки з математичним очікуванням μ_{y_1} . Значення параметра μ_{y_2} є ознакою належності стану агрегату до несправного класу K_2 .

За вимірним значенням параметра y_i необхідно прийняти рішення про приналежність стану до класу K_1 (гіпотеза H_1) або до класу K_2 (гіпотеза H_2). Якби в усіх випадках за наявності справного стану (справедлива гіпотеза H_1) виконувалась рівність $y_i = \mu_{y_1}$, а за наявності несправного стану – рівність $y_i = \mu_{y_2}$, не виникала б неясність у виборі рішення. Через дію випадкових причин y_i може приймати різні значення. При виборі рішення про належність стану до одного з класів, вибирається та перевіряється за певним правилом одна з гіпотез. Такою ознакою у даному випадку є розподіл всього інтервалу вимірів y_i на два класи та вибір порогового значення. Гіпотеза H_1 приймається у випадку, коли $y_i < y_p$, а гіпотеза H_2 , - коли $y_i > y_p$.

За наявності можливості отримання детермінованої моделі об'єкта, що діагностується, задача розпізнавання класу несправності спрощується. Детермінована система використовує сукупність ознак, яка певним чином характеризує стан агрегату і побудована на логічних системах розпізнавання з використанням методів булевої алгебри. Логічні ознаки несправностей розглядаються як елементарні висловлювання, до яких відноситься прямий спосіб визначення параметрів стану. Логічні ознаки можуть бути кількісними, тобто визначати відповідність ознаки межах певної інтервалу, відповідаючи при цьому значенням "справний" – "несправний".

Також є ознаки, які показують на наявність чи відсутність деяких властивостей у несправності, що розпізнається, – якісні ознаки. Математична модель агрегату з урахуванням несправностей дозволяє визначити діагностичні ознаки та сформулювати правила розпізнавання класів несправностей.

Метод оцінки стану ГПА за термогазодинамічними параметрами базується на аналізі характеру зміни параметрів стану за результатами вимірювань робочих параметрів, що контролюються в процесі експлуатації, величині та знаку їх відхилення від номінальних значень для заданого режиму. У зв'язку з тим, що при експлуатації агрегатів на компресорних станціях не мають, як правило, обладнання для вимірів робочих параметрів, то деякі параметри, наприклад η_c , N_c , розраховуються за діагностичною моделлю. Значення робочих параметрів справних агрегатів можуть відрізнитися одне від одного на деяку величину, також будуть відрізнитися і зміни параметрів внаслідок зносу, тому діагностична модель у кожному конкретному випадку повинна розроблятися для конкретного агрегату за результатами випробувань.

За результатами аналізу розрахунків діагностичної моделі побудовано залежності змін діагностичних ознак від параметрів стану. Приклад таких залежностей для ГПА типу ГТК-10 представлено на рисунку 2. Діагностичні ознаки для кожної несправності мають різні величини та напрям змін. Абсолютна величина зміни діагностичної ознаки залежить від значення коефіцієнтів моделі та дещо відрізняється для різних типів агрегатів. Тим не менш, сама по собі наявність ознаки чи її відсутність, а також напрям її змін характерні для визначеного класу несправностей в газоперекачувальних агрегатах компресорних станцій магістральних газопроводів.

П'ятий розділ присвячений аналізу та розробці методів прогнозування технічного стану газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів.

Ефективність транспортування газу можна підвищити за рахунок підтримки готовності газоперекачувального обладнання за допомогою технічного обслуговування – проведення комплексу профілактичних робіт з відновленням працездатності ГПА.

Прогноз стану полягає у встановленні моменту часу виникнення несправності та досягнення ГПА стану втрати працездатності. Ця інформація є базою для планування термінів і об'ємів технічного обслуговування та ремонтів, оптимізації режимів роботи, необхідного об'єму поставки запасних частин. Інформація спостереження за станом агрегату в минулому є вихідною при плануванні та інформації про майбутнє.

Методи прогнозування шляхом екстраполяції результатів вимірів параметрів найповніше враховують індивідуальні особливості контролюваного об'єкта і за наявності зв'язку між послідовними вимірами дозволяють отримати, кращу точність прогнозу в порівнянні з іншими методами. Практичне застосування цих методів забезпечує підвищення

ефективності використання інформації про стан ГПА, яка формується у вигляді результатів вимірів параметрів, накопичених під час експлуатації, для попередження выдмов.

Математичний апарат прогнозування включає елементи числового аналізу та теорії випадкових функцій.

Нехай контрольований процес, який характеризує стан об'єкта діагностики, приймає значення $y(\tau_0), y(\tau_1), \dots, y(\tau_n)$ у періоди часу τ_n^* , зафіксовані вимірювальними приладами. Необхідно за відомими значеннями $y_i(\tau)$ контрольованої функції в минулому ($\tau_i \in \tau^*$) передбачити значення величин $y(\tau_{n+1}, \dots, \tau_{n+m})$, де $\tau_{n+1} \in \tau > \tau^*$.

Нехай функція $y(\tau)$ задана дискретними значеннями $y(\tau_0), y(\tau_1), y(\tau_2), \dots, y(\tau_n)$. Необхідно підібрати такий аналітичний вираз $Y(\tau)$, щоб у моменти часу $\tau_i \in \tau^*$ дотримувались умови $Y(\tau_0) = y(\tau_0), \dots, Y(\tau_1) = y(\tau_1), Y(\tau_n) = y(\tau_n)$. Нехай в якості прогнозуючої функції обрано многочлен $Y(\tau)$ у вигляді

$$Y(\tau) = \sum_{i=1}^k A_i F_i(\tau),$$

Задача зводиться до побудови складових функцій $F_i(\tau)$ та їх вагових коефіцієнтів A_i . При поліноміальному представленні $F(\tau) = \sum_{i=0}^k \alpha_i \tau^i$ процедура вимагає визначення коефіцієнтів поліному $\alpha_i = f[y(\tau_i)]$

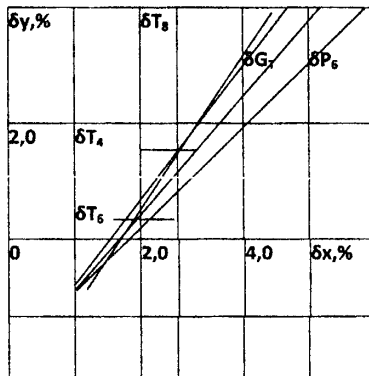


Рисунок 2 - Графік для розпізнавання зміни стану проточної частини турбіни

Коефіцієнти прогнозних поліномів знаходяться на основі обробки диспетчерської інформації за контрольованими робочими параметрами, тобто неперервна функція $y(t)$ замінюється її оцінкою $\hat{y}(t)$. Оцінка частоти опитування робочих параметрів проведена на основі апріорних даних про надійність системи. Період опитування температури вибирається так, щоб знизити ймовірність появи відмови газоперекачувального обладнання.

Критерієм оцінки технічного стану агрегату є коефіцієнт відношення потужності

$$K_{Ne} = \frac{N_{e_{\text{нр}}}^t}{N_e^0} \geq 0,95$$

Для оцінки значення потужності на майбутній момент контролю будується апроксимуюча функція та визначаються її коефіцієнти. Оскільки вимірювання робочих параметрів на компресорних станціях проводиться через невеликі інтервали часу, то короткострокове прогнозування діагностичних параметрів досить добре описується лінійними моделями.



Рисунок 3 - Прогнозування швидкості обертання ТНТ

Висновок про справність агрегату в майбутньому по відношенню до моменту контролю робиться на підставі значення робочого параметра, який очікується.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу науково-практичну задачу, котра полягає у встановленні закономірностей між параметрами режиму роботи ГПА та його технічним станом, що дозволило вдосконалити систему діагностування технічного стану елементів агрегату, а саме:

1. Розроблено рекомендації для оцінки працездатності елементів ГПА КС магістральних газопроводів за структурними моделями, побудованими в комплексних параметрах із використанням методів подібності. Для діагностичних моделей ГПА розроблено алгоритми та програми розрахунків. Основні результати отримані на основі досліджень, проведених на агрегатах типу ГТК-10 та ГПА-Ц-6,3 із відцентровими нагнітачами різних модифікацій.
2. Дана класифікація експлуатаційних несправностей ГПА. Запропоновано діагностичну модель агрегату, розроблено методи формування матриць станів із урахуванням несправностей і алгоритм розв'язання рівнянь моделі з ціллю визначення діагностичних параметрів. Як результат аналізу розв'язань рівнянь моделей обрано п'ятнадцять термогазодинамічних параметрів, щоб описати ознаки класів несправних станів.
3. Показано, що можна надати перевагу детермінованому підходу до розпізнавання несправностей за термогазодинамічними параметрами перед імовірнісним. На базі детермінованого підходу побудовано діагностичну таблицю, яка включає одинадцять несправностей, пов'язаних із станом проточної частини ГПА, вироблено вирішальне правило з використанням принципів булевої алгебри для виявлення несправностей за обраними діагностичними ознаками. Розроблено методику ідентифікації несправностей на ранній стадії їхнього розвитку при відхиленні контрольованих параметрів від номінальних значень у межах 7 – 12%.
4. Розроблено рекомендації по частоті опитування діагностичних параметрів у залежності від характеру їхніх змін та алгоритми прогнозування працездатності ГПА методами допускового контролю.
5. На основі розв'язання розглянутих задач створено комплекс програм, що дозволяє виявити масив діагностичних параметрів та побудувати графіки-еталони для оперативного визначення несправностей ГПА в результаті обробки інформації про характер змін контрольованих параметрів.

Розроблений комплекс алгоритмів і програм використовувався для оперативних розрахунків на КС УМГ "Прикарпаттрансгаз". Економічний ефект від його впровадження склав 132, 5 тис. грн./ рік.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних виданнях:

1. Грудз В.Я. Ідентифікація несправностей газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів. /В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Рудко //Науковий вісник ІФНТУНГ.- №1(27). - 2011.- С.53-56.
2. Грудз В.Я. Оцінка технічного стану елементів газоперекачувального агрегату компресорної станції магістрального газопроводу / В.Я. Грудз, Я.В.Грудз, В.В. Рудко // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.- №1(38).- 2011.- С. 88-90
3. Мамонов А.И. Оценка технического состояния составных частей ГПА-25И по вибрационным характеристикам и декларация его безопасности / А. И. Мамонов, В.В. Рудко, А.А. Стеценко // Вибрация машин №2(17).- 2009.- С. 22-30.
4. Пат. 90628 Україна, МПК⁷ F02C 7/04. Комплексний повітроочисний пристрій газотурбінного двигуна/ Олянич М.В, Соляник В.Г., Рудко В.В. Проценко О.О.; патентовласник Автори .-№ а 2009 04073, заявл. 27.04.2009; опубл. 25.06.2009. Бюл. №9. – 6 с.
5. Пат.89739 Україна, МПК⁷ F28D 1/00. Апарат повітряного охолодження масла/ Олянич М.В, Соляник В.Г., Рудко В.В. Проценко О.О.; патентовласник Автори .-№ а 2009 02005, заявл. 06.03.2009; опубл. 10.06.2009. Бюл. №4. – 4 с.
6. Крижанівський Є.І. Дослідження ізоляційних та антикорозійних характеристик модифікованих бітумно-полімерних покриттів./ Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, В.В. Рудко та ін.// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ №1(26).- 2008.- С. 57-59

АНОТАЦІЯ

Рудко В.В. - Підвищення працездатності компресорних станцій на основі діагностування стану газоперекачувальних агрегатів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2011.

Дисертацію присвячено удосконаленню технологій діагностування газоперекачувальних агрегатів в умовах компресорних станцій магістральних газопроводів для забезпечення їх працездатності. В роботі виконано дослідження впливу параметрів діагностування елементів ГПА компресорних станцій на їх технічний стан та забезпечення працездатності. Для цього створено математичні моделі та приведено результати досліджень з оцінки технічного стану газоперекачувального агрегату, визначено

діагностичні параметри для виявлення експлуатаційних несправностей, розроблено методи їх ідентифікації та прогнозування технічного стану ГПА. Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, працездатність, діагностична ознака, технічний стан, прогнозування.

АННОТАЦИЯ

Рудко В.В. - Повышение работоспособности компрессорных станций на основе диагностирования состояния газоперекачивающих агрегатов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2011.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологий диагностирования газоперекачивающих агрегатов в условиях компрессорных станций магистральных газопроводов для обеспечения их работоспособности. В работе выполнено исследование влияния параметров диагностирования элементов ГПА компрессорных станций на их техническое состояние и обеспечение работоспособности. Для этого созданы математические модели и приведены результаты исследований по оценке технического состояния газоперекачивающего агрегата, определены диагностические параметры для выявления эксплуатационных неисправностей, разработаны методы их идентификации и прогнозирования технического состояния ГПА.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, работоспособность, диагностический признак, техническое состояние, прогнозирование.

ANNOTATION

Rudko V.V. is Increase of capacity of the compressor stations on the basis of diagnosing the state of compressor units. The manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.15.13 - Pipeline Transport, Oil and Gas Storages. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2011.

Dissertation is devoted the improvement of technologies of diagnosing of aggregates for pumping over of gas in the conditions of the compressor stations of main gas pipelines for providing of their capacity. Research of influence of parameters of diagnosing of elements of aggregates is in-process executed for pumping over of gas of the compressor stations on their technical state and providing of capacity. For this purpose mathematical models are created and the

results of researches are resulted from the estimation of the technical state of aggregates for pumping over of gas, certainly diagnostic parameters for the exposure of operating disrepairs, the methods of their authentication and prognostication of the technical state of aggregate are developed for pumping over of gas

Description of the gas-transport system of Ukraine, compressor stations and their equipment is given in the first section. On the basis of analysis of literary sources the basic tasks of researches are formed

In the second section for the estimation of capacity of elements of aggregates for pumping over of gas descriptions are built on the basis of application of mathematical models, developed with the use of methods of theory of similarity.

As a result of analysis of operating data on the refuses of aggregates for pumping over of gas and classification of disrepairs a functional diagnostic model is select in the third section, the methods of forming of matrices of the state of aggregate taking into account disrepairs and algorithm of decision of equalizations of model are developed with the purpose of exposure of complex of diagnostic parameters.

In a fourth section a comparative analysis is conducted and it is rotined that the determined method for recognition of disrepairs appears better probabilistic. A method and observeridentifier disrepairs is developed on the early stage of development in the period of functioning of aggregate after diagnostic parameters. As a result of analysis and generalization of decisions a diagnostic table was formed and a decision rule for the operative exposure of disrepair with the use of boole algebra was build.

Developed recommendation for the estimation of capacity of elements of aggregate for pumping over of gas of the compressor station of main gas pipeline on structural models, to built in complex parameters with the use of methods of theory of similarity.

Developed recommendation on frequency of questioning of diagnostic parameters depending on character of their changes and algorithms of prognostication of capacity of machines by the methods of control.

On the basis of decision of troubleshooting problems the complex of the programs, allowing to determine the array of diagnostic parameters and build the standard graphs for operative determination of disrepairs as a result of treatment of information about character of change of the controlled parameters, is created. Drawn on the developed complex of algorithms and programs for operative calculations on the compressor stations.

Keywords: aggregate for pumping over of gas, capacity, diagnostic sign, technical state, prognostication,