

621.512

K72

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОСТИВ ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.51.004

**МЕТОДИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ
ПОРШНЕВИХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ
КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ**

Спеціальність 05.15.13 - Нафтогазопроводи, бази і сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ- 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Грудз Володимир Ярославович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтогосховищ, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Заміховський Леонід Михайлович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики, м. Івано-Франківськ.
кандидат технічних наук

Козак Володимир Романович, головний інженер філії управління "Укравтогаз" ДК "Укртрансгаз" НАК "Нафтогаз України", м. Київ.

Провідна установа: Інжинірінгово-виробниче підприємство "Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу (ВНІПТтрансгаз), м. Київ.

Захист відбудеться 10 грудня 2003 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради _____ технічному

універси

76019, У

З дисерт

Івано-Фр

за адресс

Автореф

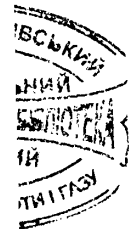
Вчений с

вченої ра

кандидат

і газу

15.





an725

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Газоперекачувальні агрегати на компресорних станціях (КС) підземних сховищ газу (ПСГ) працюють в екстремальних умовах. Ступені стиску газу змінюються в дуже широких межах, що зумовлює режими експлуатації машин, далекі від оптимальних. Тому важливою умовою вибору типу перекачувального агрегату є можливість швидкого оперативного регулювання режиму його роботи. Крім того, слід відмітити, що високі тиски в сховищі можуть призвести до виникнення помпажу в машинах лопаткового типу. В зв'язку з сказаним на КС ПСГ найчастіше встановлюються поршневі газоперекачувальні агрегати /ПГПА/.

При експлуатації знижується продуктивність і ефективність ПГПА, що вимагає спеціальних заходів для забезпечення заданих об'ємів перекачки й потужності КС при різних режимах перекачування газу. Таким заходом є використання системи попереджувальних і відновних ремонтів, призначених для підтримки технічного стану ПГПА на належному рівні. Несвочасне проведення ремонтів призводить до різкого зниження ефективності ПГПА і зростанню питомих витрат на компримування і зберігання газу.

У зв'язку з цим, розробка і впровадження методів, що дозволяють вчасно призначати попереджувальні ремонти, забезпечить підвищення ефективності роботи КС у процесі експлуатації. Найбільше зниження питомих витрат на транспорт і зберігання газу досягається при призначенні ремонтів за результатами технічного діагностування. Тому підвищення ефективності КС при експлуатації і зниження питомих витрат на транспорт газу при росту обсягів видобутку газу представляється дуже актуальним.

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

Робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів НАК "Нафтогаз України", спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортного комплексу (в тому числі ПСГ) і окреслених Національною програмою "Нафта і газ України до 2010 року".

Мета і задачі досліджень. Розробка і вдосконалення методів технічної діагностики ПГПА для КС системи підземного зберігання газу (ПЗГ) для забезпечення перекачування заданих об'ємів газу і зниження питомих витрат на компримування.

На основі аналізу експлуатаційних показників роботи ПГПА на компресорних станціях системи ПЗГ, а також з урахуванням результатів робіт дослідників у цій області, поставлена мета досягається через реалізацію наступних задач:

-визначення вузлів поршневих газоперекачувальних агрегатів, відмови яких призводять до зниження продуктивності й ефективності КС і побудова

математичної моделі компресора для умов роботи агрегатів на КС системи ППГА, що дозволяє ідентифікувати параметри відмов вузлів;

-визначення узагальненого параметра технічного стану компресора відповідно до технології перекачування газу КС;

-оцінка енерговитрат на КС за величинами параметрів відмов і розробка методу своєчасного призначення ремонтно-відновних операцій;

-розробка простих, недорогих методів діагностування вузлів, що забезпечують підвищення середніх у часі продуктивності й ефективності КС;

-експериментальне дослідження розроблених методів діагностики на компресорній станції підземного сховища газу.

Об'єкт дослідження: поршневі газоперекачувальні агрегати компресорних станцій підземних сховищ газу.

Предмет дослідження: діагностування стану компресорних циліндрів ППГА.

Методи дослідження: методи математичного моделювання газотермо-динамічних процесів в циліндрах ППГА, проведення наукового експерименту, статистична обробка експлуатаційних параметрів роботи агрегату.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Для оцінки параметрів відмов на КС побудована математична модель робочих процесів компресора ППГА й алгоритм ідентифікації.
2. Запропоновано з метою діагностики стану компресорного циліндра використовувати характеристики реального газу, перераховувати параметри процесу до однакової вологості, структурний параметр відмови оцінювати перетином щілини негерметичності ущільнення, оцінювати обсяг мертвого простору, враховувати запізнювання закриття клапанів. У результаті зменшений обсяг вихідної інформації, спрощені діагностування, параметри відмовлень ідентифікуються з точністю до 5%, що на 20-40% точніше, ніж при оцінці існуючими методами.
3. Установлено, що єдиним узагальненим параметром технічного стану компресора ППГА в умовах експлуатації КС є температура нагнітання. Відповідно до цього отримані формули: для оцінки технічного стану величиною енерговитрат через відмови, для оцінки зниження продуктивності до ефективності ППГА і КС за рівнем технічного стану і для оцінки технічного стану компресора і КС при паралельній роботі ППГА за технологією перекачування на КС.

4. Розроблено математичну модель, розрахункові залежності, алгоритм для оцінки з необхідною точністю технічного стану клапанів компресорів КС для призначення попереджувальних ремонтів.
5. Створено алгоритм пошуку мінімуму експлуатаційних витрат за результатами технічного діагностування і характеристикам режиму КС для призначення попереджувальних ремонтів з метою підвищення середніх у часі ефективності і продуктивності КС.

Практичне значення одержаних результатів. Створено алгоритми і програми, що дозволяють: розраховувати величини структурних параметрів відмов компресора ПГПА для оцінки технічного стану, розраховувати величини узагальненого параметра технічного стану компресора для регулювання роботою ПГПА на КС, регулювання ефективності КС; розраховувати енерговитрати через відмови за результатами експлуатаційних вимірів для оперативного виявлення й оцінки відмови; розраховувати вартісні характеристики відмов за результатами контролю технічного стану; розраховувати питомі експлуатаційні витрати і визначати момент проведення попереджувального ремонту з умови їхньої мінімізації за результатами контролю технічного стану. Проведення попереджувальних ремонтів відповідно до рекомендацій, установлюваними за результатами розрахунків по розроблених програмах, дозволяє збільшити середню в часі продуктивність КС на 3,7%, знизити витрати паливного газу на 4%, оптимізувати розподіл експлуатаційних витрат і зменшити експлуатаційні витрати на 2,2%. Результати роботи впроваджені на КС Богородчанського ПСГ УМГ "Прикарпаттрансгаз", економічний ефект складає 42 тис. грн. у рік.

Особистий внесок здобувача.

1. Автором запропоновано з метою діагностики стану компресорного циліндра структурний параметр відмови оцінювати перетином негерметичності ущільнення з врахуванням властивостей компримованого газу, його вологості, оцінки обсягу мертвого простору і врахування запізнювання закриття клапанів, що дозволило спростити методуку діагностування не знижуючи при цьому точності прогнозу [2].

2. На основі реалізації розробленої математичної моделі автором встановлено, що єдиним узагальненим параметром технічного стану компресора ПГПА в умовах експлуатації КС є температура нагнітання і Відповідно до цього отримані розрахункові діагностичні формули Розроблено математичну модель, розрахункові залежності, алгоритм для оцінки з необхідною точністю технічного стану клапанів компресорів КС для призначення попереджувальних ремонтів.[2,3,5]

3. Автором розроблено математичну модель і алгоритм для оцінки технічного стану клапанів компресорів КС для призначення попереджувальних ремонтів та алгоритм пошуку мінімуму експлуатаційних витрат за результатами технічного діагностування і характеристикам режиму КС з метою підвищення середніх у часі ефективності і продуктивності КС [1,2,4].

4. Автор брав безпосередню участь в експериментальній перевірці запропонованих методів технічної діагностики циліндра ПГПА і впровадженні результатів в практику експлуатації на КС Богородчанського ПСГ [5,6].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в доповідях і повідомленнях на:

- 6-тій міжнародній конференції "Нафта і газ України - 2000" (Івано-Франківськ, 2000);
- науково-практичній конференції "Шляхи підвищення надійності і ефективності роботи трубопровідного транспорту".(Івано-Франківськ, 2000);
- науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2002)
- нараді фахівців НАК "Нафтогаз України" та ОАО "Газпром" з питань науково-технічного співробітництва в галузі транспортування природного газу (Яремче, 2002)

В повному обсязі результати досліджень доповідалися і обговорювалися на розширеному засіданні кафедри транспорту і зберігання нафти і газу та науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 друкованих робіт, в тому числі 3 у фахових виданнях України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, підсумкових висновків, списку літератури і 5 додатків. Зміст викладений на 162 сторінках машинописного тексту, 15 малюнках, 9 таблицях. Бібліографія включає 100 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** показується актуальність розробки методів технічної діагностики для КС із ПГПА у світлі аналізу впливу технічного стану на надійність і ефективність роботи системи газопостачання.

В першому розділі на підставі аналізу відмов ПГПА і результатів економічного аналізу експлуатаційних витрат на КС, встановлено, що найменш надійними є вузли компресора ПГПА, відмови яких викликають основні енерговитрати, перевитрати паливного газу. Робиться висновок про доцільність розробки методів діагностування і призначення ремонтів, встановлюються вимоги експлуатації КС до таких методів, що включають необхідність визначення енерговитрат у вузлах.

В огляді досліджень по питанню діагностування компресора розглядаються методи; засновані на вірогідних, гідроакустичних і термодинамічних принципах. Встановлюється, що термодинамічні методи можуть визначати технічний стан і енерговитрат у вузлах компресора. Великий внесок у рішення цього питання внесли вчені Кадаров Н.Б., Пластинин П.И., Фотин Б.С., Купелевич А.С., Кулаев Д. Х., М'ясників В.Г., Соложенцев Е.Д., Миллз Л.Д. і ін.

На основі критичного аналізу змісту попередніх досліджень, відповідно до установлених вимог до методів діагностики і призначення ремонтів, формулюються задачі дослідження.

В другому розділі розробляється математична модель робочих процесів у циліндрі для ідентифікації структурних параметрів відмов - перетинів негерметичності, що є причиною зниження продуктивності й ефективності ПГПА. Ці параметри оцінюються на процесах розширення газу з мертвого простору і стиску. В основу моделі покладений перший закон термодинаміки для нестационарних процесів відкритих гомогенних систем при припущенні адіабатичного характеру витікання газу через перетини негерметичності:

$$\Delta U = Q_{1-2} - L_{1-2} + \sum_{k=1}^n \int_{t_1}^{t_2} i_k dG_k, \quad /1/$$

де: ΔU - зміна внутрішньої енергії; Q_{1-2} - тепло, передане за час $t_1 - t_2$; L_{1-2} - робота, виконана за цей же час; i_k - питома ентальпія газу за нагнітальним клапаном; G_k - масова витрата газу.

Початкова умова процесу розширення визначається моментом закриття клапана і характеризується відносним відхиленням температури від температури нагнітання в ізохорному процесі ідеального газу:

$$\delta T = -\frac{\varphi \theta'}{1 + \varphi \theta'}; \theta' = \frac{V_0}{V_1} - \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^n; \varphi = \frac{P_0}{P_1}, \quad /2/$$

де: P, V, n - тиск, об"єм і показник політропи розширення; індекси 0, 1 відповідають моментам положення поршня в верхній мертвій точці і закриття клапана.

Кінцева умова визначається процесом стиску в іншій порожнині:

$$t_k = t; p(t_k) = \max P(t) \quad /3/$$

По закінченні процесу розширення, робочий процес моделюється ізобарою до моменту t_k . Тиск, індикований в двох порожнинах циліндра, є граничною умовою.

Рівняння /1/ доповнене рівнянням стану реального газу $PV=ZRT$,

$$Z = d_1 + d_2 \tau + \pi [d_3 \pi + d_3 + \tau (d_4 + d_{b,\tau})] \quad /4/$$

і виразами основних характеристик:

$$\begin{cases} u = a_1 + a_2 \bar{d}_A + a_3 T + a_4 \bar{d}_A T + a_5 T^2 + a_6 \bar{d}_A^2 + a_7 \bar{d}_A^2 T \\ \bar{d}_A = \frac{d_A}{100} \end{cases} \quad /5/$$

$$N_U = \dot{d} d_p, d_p = \text{Re}^X, Q = \alpha \int_1^{t_k} \bar{F} d_p T dt - \alpha T_{CT} \int_1^{t_k} \bar{F} d_p dt \quad /6/$$

Параметри d_i розраховуються по спеціальній програмі, складеної мовою Фортран; параметри a_i - по параметрах, отриманим для кожного компонента газу, і принципу адитивності; d, T_{CT} - постійні оцінювані на моделі /1/. На основі аналізу запропоновано перетини негерметичності вважати щільними. Це дозволяє ідентифікувати перетини негерметичності поршневих і штокових ущільнень і невеликі зміни перетинів негерметичності в початковій стадії розвитку відмов.

На КС ПСГ вологість газу може призводити до зміни як технологічних, так і економічних показників ІППА. В умовах вологого газу закон $P(t)$ перераховується в кожній точці за умовою ізобарно-адіабатного впорскування по різниці температур:

$$\Delta T = T_n - T_c = i \frac{(d_n - d_c)}{C_{pc}} \quad /7/$$

де d_n, d_c - паровміст; C_{pc} - ізобарна теплоємність.

Повна модель процесів будується, як перевизначена система трансцендентних рівнянь виду /1/ і /4/, складених для точок процесів. Параметри оцінюються в ітераційній процедурі в такий спосіб. Об'єм, температура, основні характеристики моделі, обчислені за значеннями параметрів на поточній ітерації, використовуються для побудови лінеаризованої системи рівнянь, тотожної вихідній з точністю до значень комплексів характеристик, що є співмножниками при оцінюваних

параметрах. Різниця оцінок параметрів на цій моделі і вихідних оцінках складають нову систему рівнянь, для розв'язання якої вибирається модифікований метод Ньютона-Рафсона. Алгоритм реалізований у програмі, складеній алгоритмічною мовою BASIC. Приклади реалізації методу для реальних умов експлуатації ПГПА на компресорній станції Богородчанського ПСГ подані на рис. 1.

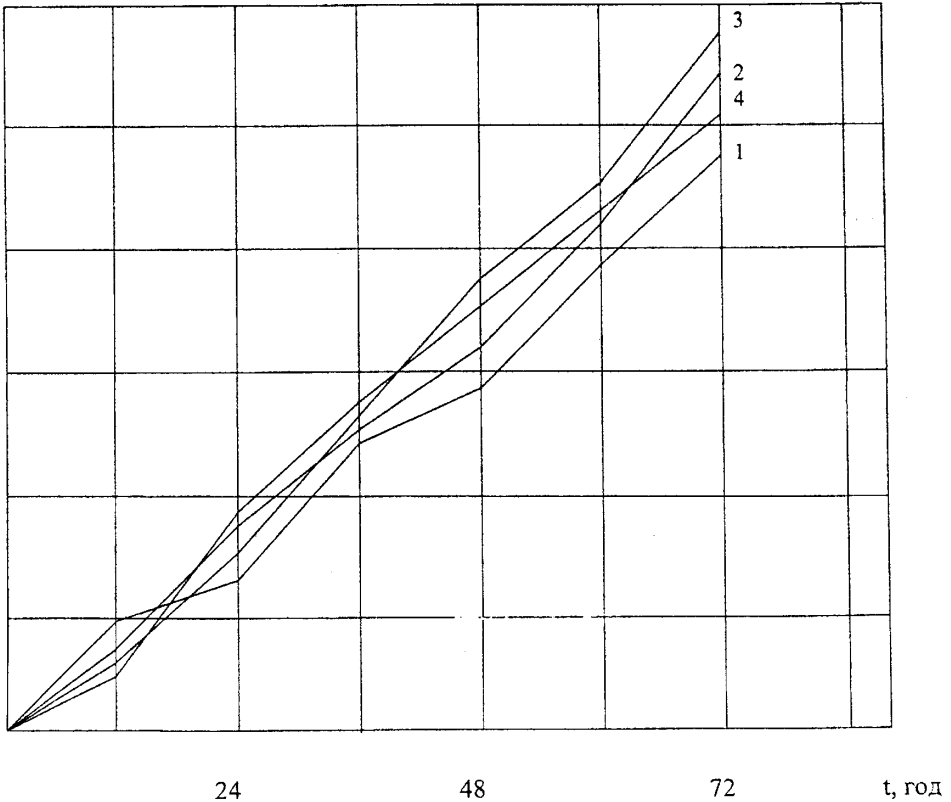


Рисунок 1 - Результати розрахунку тренду відносних перерізів негерметичності для ГМК №7 КС Богородчанського ПСГ. (На графіках вказані номери порожнин компресорних циліндрів з сторони кришки)

Тому що визначення параметрів відмов цим методом вимагає значного часу для збору і підготовки інформації, а також для проведення обчислень, то для забезпечення можливості оперативного керування роботою ПГПА на КС, запропоновано знайти узагальнений параметр /УП/ технічного стану компресора дня технології перекачування газу на КС. Для того, щоб підвищити середні в часі продуктивність і ефективність КС, необхідно розробити метод своєчасного призначення ремонтів за результатами діагностування відповідно до мети - зниженням питомих витрат на перекачування газу на КС. Ці питання розглядаються в **третьому розділі**.

Установлюються вимоги експлуатації КС до УП, що включають: необхідність визначення енерговитрат для контролю і керування включенням ПГПА для забезпечення ефективної роботи КС при заданій продуктивності до режиму перекачування; необхідність безпосереднього виміру. Пошук УП проводиться в два етапи. На першому етапі визначається термодинамічний аргумент УП. Аргумент визначається по якісній графу-моделі робочого процесу, побудованої для технології перекачування газу на КС системи газопостачання: забезпечення заданої продуктивності при сталому режимі перекачування. Таким аргументом є температура нагнітання. На другому етапі пошуку встановлюється термодинамічна характеристика, що змінюється при розвитку відмов.

За результатами впливу перетоків і втрат тиску в клапанах, що викликають зниження продуктивності й ефективності компресора на показники політроп процесів, роботу компримування, температуру нагнітання, зроблений висновок, що єдиним показником, що відповідає цій умові, є температура нагнітання. Відносні енерговитрати через відмови H оцінюються за температурою нагнітання T_H і параметрами технологічного режиму в порівнянні розглянутих характеристик з стандартними (індекс С):

$$H = \frac{l_0 - l_{0c}}{l_{0c}} = \frac{i_H - i_{HC}}{l_{0c}}, \quad l_0 = \int_0^{t_0} V dp \quad /8/$$

чи для ідеального газу /оцінка на 8-12% менше/:

$$H = \frac{\Delta T_H}{T_{HC} - T_B} \cdot \frac{1}{\eta_c} = \frac{T_H - \Psi T_B}{(\Psi - 1) T_B} \cdot \frac{1}{\eta_c}, \quad \Psi = \varepsilon^{\frac{\kappa-1}{\kappa \eta_c}}, \quad \varepsilon = \frac{P_H}{P_B}, \quad /9/$$

де: η - політропний ККД; індекси "В" і "Н" відповідають входу і нагнітанняю.

Величина зниження продуктивності визначається за умовою слабкої залежності роботи компримування від відмов типу перетоку й оцінюється коефіцієнтом зниження подачі λ :

$$\lambda = \frac{\dot{G}}{\dot{G}_c} = \frac{1}{1+H} \quad /10/$$

Важливу роль у питаннях точності розрахунку відносних енерговитрат і величини зниження продуктивності ПГПА грають похибки виміру температур і тисків. З метою уточнення оцінок цих характеристик, температуру нагнітання порожнин компресорних циліндрів пропонується визначати за результатами виміру температури нагнітання циліндра і поверхонь кришок клапанів з врахуванням коефіцієнта зниження подачі за рівняннями, складеним відповідно до закону змішування газів у потоці:

$$T_H^2 - T_H \left\{ \frac{(B-1)(\bar{c}\tau+1) + (\bar{c} + \tau)AT_H^{TP}}{A\tau(\bar{c}+1)} \right\} - \frac{T_H^{TP}(1-B)}{A\tau} = 0, \quad A = \frac{1}{(\Psi-1)T_B\eta_c}, \quad B = A\Psi T_B \quad /11/$$

Величина похибки характеристики H дозволяє використовувати її як міру енерговитрат. Таким чином, температура нагнітання є шуканим і єдиним УП.

Для того, щоб використовувати оцінки енерговитрат для призначення попереджувальних ремонтів з метою підвищення продуктивності, ефективності КС, необхідно враховувати всю сукупність експлуатаційних витрат на КС, що зв'язуються цільовою функцією.

Допустимі значення відносних енерговитрат і міжремонтний інтервал часу для одиничного ПГПА можуть бути знайдені аналітично відповідно до цільової функції - мінімумом суми експлуатаційних витрат і втрат через недоподачу газу споживачу при умовах $\varepsilon = idem, l_{oc} = idem$:

$$\bar{c}_0 = \min \sum_i \left(\frac{\bar{V}_i}{D_i} \right)^{d_i} \bar{P}_i, \quad H_i = \bar{V}_i^{d_i} \quad /12/$$

$$0 < D_i, \quad \forall i = \overline{1, n}$$

У відповідності з цим допустимі значення відносних енерговитрат і міжремонтних інтервалів часу визначаються:

$$H_i = D_i = \left[\frac{(\bar{d}_i + 1) \bar{P}_{0i} \cdot \bar{V}_i \cdot 1}{\Pi \bar{d}_i} \right], \quad t_{su} = \left[\frac{(\bar{d}_i + 1) \bar{P}_{0i}}{\Pi \bar{d}_i \cdot \bar{V}_i} \right]^{\frac{1}{d_i + 1}} \quad /13/$$

де $\Pi = \frac{C \dot{G}_i l_{0i}}{\eta_i \eta_x}$ - вартість потужності в стандартній порожнині.

Для КС систем газопостачання, що поєднує сукупність паралельно включених ПГПА, необхідно враховувати технологію перекачування газу -

підтримка продуктивності КС за рахунок регулювання. Витрати на енергоспоживання на КС складають:

$$\Delta Z = H_i \gamma_i C' \dot{G} l_0, \quad C' = \frac{P}{\dot{G}_i t_0} \quad /14/$$

де

$$\gamma_i = \frac{H_k + 1}{H_i + 1}, \quad \gamma_i \in [0.87, 1.16] \quad /15/$$

γ_i - характеристика, що враховує вплив спільної роботи ПГПА на КС відповідно до технології перекачування на відносні енерговитрати в окремому вузлі; H_k - відносні енерговитрати КС чи порожнини, що включається для компенсації недоподачі газу через відмови. Технологія транспорту і зберігання газу визначає коливальний характер режимів компримування КС, тому визначення допустимих значень виробляється чисельним методом відповідно до цільової функції для КС систем ПСГ:

$$\bar{c}_0 = \min_{0 < D_i, \forall i = 1, n} \sum_i \bar{c}_i = \min_{0 < D_i, \forall i = 1, n} \sum_{i_{M_i}} \frac{1}{i_{M_i}} \cdot (\bar{P}_{0i} + S(t_{M_i})) \quad /16/$$

Алгоритм визначення $H_i = D_i$ передбачає покрокове переміщення до мінімуму \bar{c}_i у залежності від результатів діагностування через j -й щотижневий між контрольний період, знайдений відповідно до точності розрахунків і величиною мінімального середнього наробітку на відмовлення вузлів компресора.

З метою зниження витрат на діагностування, забезпечення оперативного виявлення, оцінки відмов для КС ПСГ з ПГПА, у **четвертому розділі** розробляється спрощений метод технічної діагностики. Спрощення виявляється можливим, якщо визначати тільки стан клапанів, тому що ремонти клапанів виробляються оперативно без підключення резерву, оскільки час компенсації недоподачі газу через простій при ремонті t_{BII} , обумовлений рівнем енерговитрат у моменти зупинки, типом використовуваного ПГПА на КС і обсягом стравлюваного при зупинці газу V_0 : для клапанів оцінюється в 21 годину і може бути визнано припустимим, тоді як для поршневого і штокового ущільнень 660 година і 1980 година відповідно

$$t'_K = \left(n_K - 1 + \frac{n_u}{H} \right) t_{BII} + \left(1 + \frac{1}{n_u} \right) \frac{n_u \bar{V}_0}{Q_0} \quad /17/$$

Можливість обмеження числа оцінюваних відмов обумовлена також істотно більшою надійністю й ефективністю поршневих і штокових ущільнень в умовах КС систем ПСГ.

Технічний стан нагнітального клапана пропонується оцінювати як різницю відносних енерговитрат у порожнині в цілому і у всмоктувальному клапані, одержання яких найбільш просте.

Незалежна оцінка енерговитрат усмоктувального клапана установлюється відповідно до закону змішування в потоці маси перетоку і маси, обумовленої продуктивністю порожнини, і діагностичним параметром - температурою кришки клапана з урахуванням коефіцієнта зниження подачі через відмову в клапані. Вплив технологічного режиму і технічного стану порожнини в цілому враховується характеристикою відносного збільшення середньоінтегральної температури перетоку стосовно температури початку стиску $\Psi(\varepsilon, \eta, \kappa)$, що визначається за температурою газу в усмоктувальному трубопроводі і температурним коефіцієнтом:

$$\begin{cases} H_B = H'_B - H_{BC}, H_{BC} = H'_B(\theta_C, \Delta, \xi_C), \xi = \xi(\bar{\Psi}, \eta, \kappa) \\ H'_B = \frac{\theta - 1}{(\theta + \Delta)\xi - \theta} \end{cases} \quad /18/$$

$$H_H = H - H_B \quad /19/$$

де H_{BC} - експериментальна характеристика, обумовлена типом використовованого на КС клапана і ПГПА.

Відповідно до методу розробляється алгоритм діагностування й алгоритм контролю технічного стану на КС із ПГПА, що поєднує сукупність заходів щодо діагностування, у відповідності з вартістю і можливістю розроблених методів, і заходами щодо прийняття рішень про проведення ремонтів. Метод діагностики клапанів приймається як основний.

Результати експериментальних досліджень розроблених методів на КС приводяться в **п'ятому розділі**. Тут доводиться необхідність експериментальних досліджень, визначається критерій для оцінки точності розрахунків і експериментальних вимірів.

У зв'язку з тим, що призначення ремонтів на КС здійснюється по величині енерговитрат, що зв'язані з температурою нагнітання, як критерій точності оцінок перетинів негерметичності приймається величина похибки відносних енерговитрат, обумовлена похибкою виміру температури нагнітання (рівною 1%):

$$\sum_{i=1}^n g_i \delta F_i = (f_{\xi} - 1) \delta G_i \quad /20/$$

де δG - відносна похибка визначення масової продуктивності, обумовлена з умови:

$$\Delta H = \frac{\delta G}{\lambda(1 - \delta G)} \quad /21/$$

Встановлене відповідно до цього значення відносної допустимої похибки ідентифікації перетину негерметичності $\delta F = 0,05$ використовується в методі ідентифікації перетинів негерметичності як критерій зупинки ітераційного процесу

У зв'язку з тим, що метод ідентифікації параметрів відмов розроблений для КС систем підземного зберігання газу, становить інтерес дослідження цього методу на типовій КС із ПГПА. У якості такої КС обрана КС Богородчанського ПСГ, тому що на ній використовуються найбільш розповсюджені модифікації компресорів, що уніфіковані. На цій КС установлені ПГПА типу МК-8М, режими роботи цієї КС визначаються напрямком перекачування - або відбір, або закачка в ПСГ. Для експерименту обраний режим, при якому найбільш складно проводити ідентифікацію параметрів з ступенем стиску 1.2. Отримані в результаті експерименту осцилограми запису тисків, фіксації температур, складу газу оброблялися відповідно до методу діагностування. Результати обробки показали, що найбільша розбіжність між значеннями енерговитрат, отриманими за величинами перетинів негерметичності, і відповідними їм фактичними значеннями складала 2,8% і не перевищила допустимої величини.

Експеримент для визначення характеристики енерговитрат спрощеного методу діагностики проводився на моделі робочого процесу за спеціальною програмою, складеною мовою BASIC. Можливість експерименту на моделі обумовлена тим, що характеристика Ψ є функцією технічного стану порожниці в цілому. За результатами розрахунків будується $\Psi(\varepsilon, \eta)$ а потім характеристика $\xi(\varepsilon, \eta)$:

$$\begin{cases} \text{для } \varepsilon \in [1,15, 1,55] \\ \xi = (-0.19702\varepsilon + 0.18867)\eta + (0.40591\varepsilon + 0.61398) \\ \text{для } \varepsilon \in [1,55, 2,0] \\ \xi = (-0.15857\varepsilon + 0.12884)\eta + (0.31968\varepsilon + 0.74764) \end{cases} \quad /22/$$

У результаті аналізу впливу похибок виміру параметрів-аргументів для визначення енерговитрат у клапанах встановлено, що для визначення енерговитрат у клапанах можуть використовуватися штатні прилади КС.

Величини незворотних енерговитрат у клапанах H_{BC} визначалися в пасивному експерименті, проведеному також в умовах КС Богородчанського ПСГ, і заключним у вимірі параметрів-аргументів за допомогою штатних приладів у стандартних компресорів при різних ступенях підвищення тиску на КС. У результаті розрахунку величин непереробних енерговитрат H_{BC} був встановлений істотно нелінійний характер залежності $H_{BC}(\varepsilon)$ крутопадаючої в інтервалі 1,2 - 1,5 і зростаючої

в інтервалі 1,5 - 2 (рис. 2). Для перевірки відповідності моделі, що використовують перетини негерметичності як структурні параметри, фактичним енерговитратам, за результатами експерименту обчислювалися перетини негерметичності, у залежності від масової продуктивності герметичної порожнини $/G_i/$, інтеграла масової швидкості витікання за один оборот вала $/\bar{G}_{nm}/$ коефіцієнта зниження подачі:

$$F_i = \frac{H_i}{1+H} \cdot f_i, \quad f_i = \frac{\dot{G}_i \cdot t_q}{\bar{G}_{nm}} \quad /23/$$

За результатами розрахунків робиться висновок про те, що енерговитрати $H_{жк}(\varepsilon)$ визначаються величиною еквівалентного перетину негерметичності і співвідношенням /23/, відповідно до якого будується кусково-лінійна регресія $H_{жк}(\varepsilon, \bar{W}) \bar{W} = V_n \sqrt{Z_n R T_n}$. Енерговитрати у вузлах визначаються відповідно за адитивністю відносних енерговитрат H :

$$H_i = \frac{F_i \bar{G}_{nm}}{\dot{G}_i t_q} \quad /24/$$

За результатами експериментальних досліджень установлюється можливість застосування розроблених методів для КС систем ПСГ з ПГПА і необхідність автоматизації робіт з діагностування, призначенню ремонтів, оцінці ефективності роботи КС.

Розроблені методи діагностики і призначення ремонтів і програми методів були впроваджені на КС Богородчанського ПСГ для збільшення середньої в часі продуктивності й ефективності роботи КС. Підвищення продуктивності й ефективності роботи КС забезпечувалося збільшенням продуктивності й ефективності ПГПА за рахунок контролю їхнього технічного стану, проведення своєчасного попереджувального ремонту, що виключає різке зниження показників через розвиток відмов. В результаті своєчасного проведення ремонтів за результатами діагностування максимальні енерговитрати через відмови знизилися в середньому на 20%, середня продуктивність збільшилася на 3,7%, витрата паливного газу зменшився на 4%. У результаті оптимізації міжремонтних інтервалів часу, проведення ремонтно-відновлювальних операцій по технічному стані, була виключена необхідність застосування ППР по наробітку вузлів. оптимальний розподіл експлуатаційних витрат на ремонти і через енерговитрат у результаті відмовлень дозволило за рахунок зниження витрати паливного газу знизити питомі витрати на транспорт газу й одержати економічний ефект у 42 тис. грн. у рік на КС, що складає 4 тис. грн. на кожен працюючий ПГПА на КС

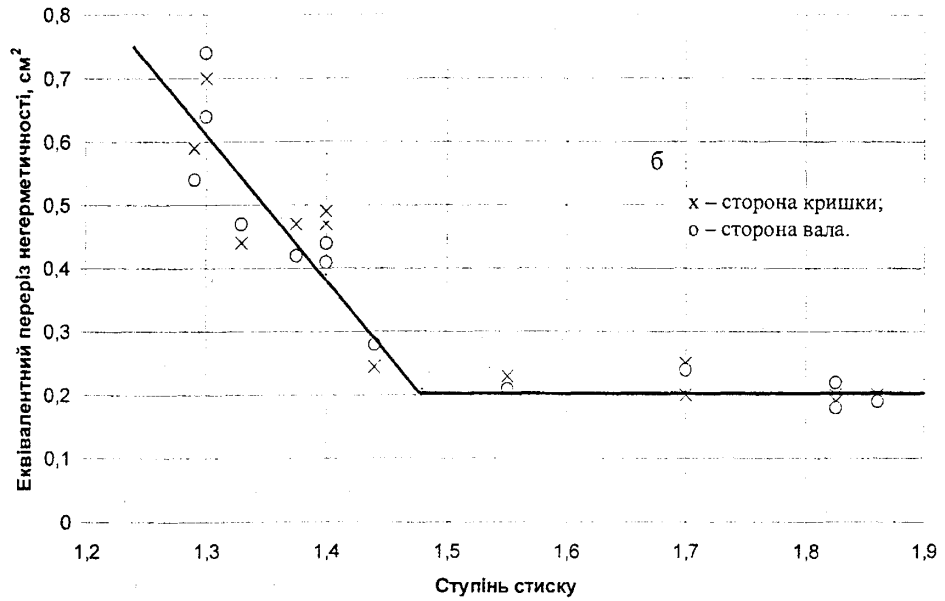
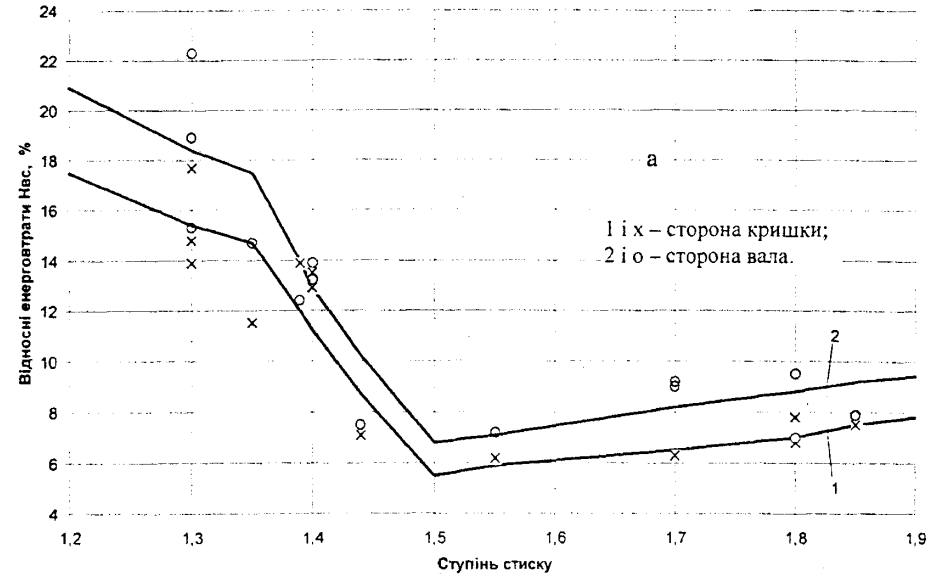


Рисунок 2 - Вплив ступеня підвищення тиску на величину номінальних відносних енерговтрат (а) і перетин негерметичності (б) клапана

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. При розробці методу ідентифікації перетинів негерметичності компресорного циліндра ПГПА на КС системи ПЗГ необхідно враховувати "реальність" і вологість газу, особливості витікання газу через щілини з тертям, невизначеність величини мертвого простору, запізнювання закриття клапанів. Облік цих факторів дозволяє на 20-40% підвищити точність визначення енерговитрат через відмовлення, і використовувати отримані оцінки для своєчасного назначення ремонтно-відбудовчих операцій. Ідентифікацію перетинів негерметичності пропонується проводити відповідно до розробленого алгоритму, що дозволяє оцінювати параметри відмовлення з допустимою точністю 5%.

2. Єдиним узагальненим параметром технічного стану компресора ПГПА на КС в умовах технології перекачування газу є температура нагнітання, по величині якої можуть бути визначені енерговитрати й ефективність окремих ПГПА і КС у цілому, а також зниження продуктивності, що пропонується визначати за "коефіцієнтом зниження подачі". Показано, що технологія перекачування газу на КС, разом з параметрами відмовлень, визначає енерговитрати через відмови в ПГПА й ефективність КС. Вплив технології перекачування на енерговитрати й ефективність виражається спеціальною характеристикою.

3. Ремонтно-відновні операції призначаються за рівнем енерговитрат що з необхідною точністю можуть бути визначені розробленим методом технічної діагностики клапанів.

4. Збільшення продуктивності КС і ефективності компримування газу на КС пропонується здійснювати за рахунок попереджувальних ремонтів вузлів, що відмовили, ПГПА по досягненні допустимих значень, енерговитратами в цих вузлах. Допустимі значення у середньому на 20% менші граничних і визначаються за результатами контролю технічного стану з використанням розроблених алгоритмів і програм методів діагностики.

5. Продуктивність КС системи ПЗГ підвищується на 3,7%, витрати паливного газу знижується на 4%, експлуатаційні витрати зменшуються на 2,2% у результаті впровадження запропонованого й експериментально випробуваного методу технічної діагностики ПГПА.

Основний зміст роботи опубліковано в наступних роботах:

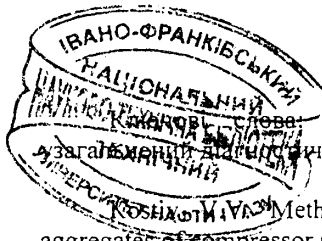
1. Грудз В.Я., Костів В.В. Вплив властивостей газу на режим роботи поршневого газомотокомпресора. // Збірник «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ». - Івано-Франківськ. - №1(2).-2001 р.-С.79-82.
2. Грудз В.Я., Костів В.В., Грудз Я.В. Термогазодинамічні основи створення діагностичної моделі циліндра поршневого компресора. // Збірник «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ». - Івано-Франківськ. - №2(3).- 2002 р.-С.22-24.
3. Грудз В.Я., Костів В.В., Михалків В.Б., Грудз В.Я. Температура нагнітання компресорного циліндра як узагальнений діагностичний параметр. // Збірник «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ». - Івано-Франківськ. - №3(4).-2002 р.-С.79-82.
4. Костів В.В. Узагальнений параметр як якісна характеристика технічного стану циліндра газомотокомпресора. // Тези доповіді на конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - Івано-Франківськ. - 2002 р. -С.37.
5. Грудз В.Я., Костів В.В. Засади вибору узагальненого параметра для діагностування стану циліндра компресора. // Тези доповіді на конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - Івано-Франківськ. - 2002 р.-С. 36.
6. Костів В.В. Експериментальне дослідження діагностичних параметрів циліндра компресора. //Матеріали наук.-практ. конф. "Шляхи підвищення надійності і ефективності роботи трубопровідного транспорту".- Івано-Франківськ. - 2000. -С.31-32

АНОТАЦІЯ

Костів В.В. Методи параметричного діагностування поршневих газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій підземних сховищ газу. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2003.

Запропоновано метод параметричного діагностування компресорних циліндрів ПГПА, що базується на аналізі тренду перетинів негерметичності, приведено методику його практичної реалізації на основі вимірювань параметрів режиму роботи. Показано, що узагальнюючим діагностичним параметром для оцінки стану циліндра може служити температура газу на виході циліндра. На цій основі розроблено два методи діагностування стану циліндра. Проведено серії експериментів в промислових умовах, результати яких підтверджують теоретичні положення.



компресор, циліндр, перетин негерметичності, параметр, обслуговування

THE SUMMARY

Methods of parametric diagnosing piston gas-pumping aggregates of compressor stations of underground farms of gas. - Manuscript.

Thesis on deriving of a scientific extent of the candidate of engineering science behind a speciality 05.15.13 - Oil and gas pipelines, plants and farms. The Ivano-Frankivsk national engineering university of oil and gas. Ivano-Frankivsk, 2003.

The method of parametric diagnosing of compressor barrels ПГПА is proposed, which one is founded on analysis to a trend of sections ungermethy, the method of application of his (its) practical realisation is reduced on the basis of measuring arguments of mode of operations. Is rotined, that generalising diagnostic argument for a state estimation of the barrel can be served by (with) temperature of gas on an exit of the barrel. On this ground (basis) two methods of diagnosing of a state of the barrel are designed. The serials of experiments in industrial conditions are held, the results confirm which one idealised positions.

Key words: the compressor, barrel, section ungermethy, generalised diagnostic argument, servicing.

АННОТАЦИЯ

Костив В.В. Методы параметрического диагностирования поршневых газонереканивающихся агрегатов компрессорных станций подземных хранилищ газа. - Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.15.13 - нефтегазоводовы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2003.

Предложены методы параметрического диагностирования компрессорных цилиндров ПГПА, которые базируются на анализе тренду сечений негерметичности, приведена методика его практической реализации на основе измерений параметров режима работы.

Для идентификации структурных параметров отказов - сечений негерметичности, которая есть причиной снижения производительности и эффективность ПГПА разработанная математическая модель рабочих процессов в цилиндре. В основу модели положенный первый закон термодинамики для нестационарных процессов открытых гомогенных систем при предположении адиабатического характера истечения газа через сечения негерметичности.

Определение параметров отказов этим методом требует значительного времени для сбора и подготовки информации, а также для проведения

вычислений, поэтому для обеспечения возможности оперативного управления работой ПТНА на КС, предложено найти обобщенный параметр технического состояния компрессора для технологии перекачивания газа на КС. Устанавливается термодинамическая характеристика, которая представляет относительное увеличение удельной работы цикла при развитии отказов от стандартного уровня и есть характеристикой относительных энергопотерь.

По результатам влияния перетоков и потерь давления в клапанах, которые вызовут снижение производительности, сделан вывод, который единственным показателем, отвечающим этому условию, есть температура нагнетания. Относительные энергопотери через отказы оцениваются за температурой нагнетания и параметрами технологического режима при сравнении рассмотренных характеристик со стандартными.

Допустимые значения относительных энергопотерь и межремонтный интервал времени для единичного ПТНА искались аналитически соответственно функции цели - минимумом суммы эксплуатационных затрат.

С целью снижения затрат на диагностирование, обеспечение оперативного выявления, оценки отказов для КС ПСГ с ПТНА, разработан упрощенный метод диагностики, определяемый только состояние клапанов. Соответственно методу разработан алгоритм диагностирования и алгоритм контроля технического состояния ПТНА в соответствии с стоимостью и возможностями разработанных методов, и мероприятиями по принятию решений о проведении ремонтов.

Проведен серии экспериментов в промышленных условиях, результаты которых подтверждают теоретические положения.

Ключевые слова: компрессор, цилиндр, сечение негерметичности, обобщенный диагностический параметр, обслуживание