

622.691.4.052
Б43

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу



БЕЛЛАУАР АБДЕРРАХМАН

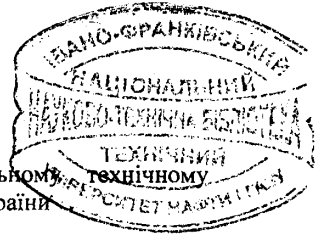
УДК 622.276.054
622.691.4.052 (043)
Б43

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ
СТАНЦІЙ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2010



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
Копей Богдан Володимирович
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, зав. кафедри
морських нафтогазових технологій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук **Говдяк Роман Михайлович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ (м.Івано-Франківськ)

кандидат технічних наук **Соляник Володимир Григорович**, заступник директора, головний інженер ВРТП «Укргазінсервіс», м. Київ.

Захист відбудеться 09 грудня 2010 р. о 14 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 5 листопада 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

Л.Д.Пилипів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безперервне перекачування природного газу неможливе без ефективної і надійної роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА). В Україні, Алжирі, Росії та інших країнах налічуються тисячі одиниць ГПА різного типу, потужності і конструкцій. Основними напрямками розвитку і оптимізації роботи парку ГПА є підвищення їх надійності (безвідмовності роботи, ресурсу, ремонтпридатності), ефективності і економічності. Ці завдання до певної міри є суперечливими, оскільки наявні конструктивні недоліки важко виправити в процесі експлуатації ГПА. Принципові можливості вдосконалення експлуатації і ремонту ГПА, що відповідають сучасним технічним вимогам і вимогам безпеки, засновані на вирішенні теоретичних і практичних завдань аналізу надійності і безвідмовності складних технічних систем. Сучасна техніка вимагає створення універсальних методів достовірної оцінки праездатності устаткування, перш за все діагностики, яка дозволяє розрахувати граничний стан вузла і провести його заміну. Удосконалювати окремі вузли (наприклад, лабіринтне ущільнення (ЛУ)) можна на основі сучасних методів параметричної оптимізації з використанням методу скінченних елементів. Але цей вузол працює в умовах вібрацій, зношування, пошкоджень. Тому розроблення ефективних методів контролю технологічних параметрів ГПА з відцентровим нагнітачем (ВН) в період експлуатації, виявлення дефектів і несправностей на ранній стадії їх виникнення, а також визначення залишкового ресурсу є вельми актуальною проблемою. Оцінка технічного стану потенційно небезпечних елементів технічної системи базується, здебільшого, на структурному аналізі надійності її компонентів, динамічних методах контролю (діагностика за параметрами вібрації і термогазодинамічними характеристиками). Успіх діагностування значною мірою зумовлений правильністю вибору інформативних параметрів для побудови принципових діагностичних моделей об'єкта і моделей розпізнавання та ідентифікації даних вимірювальних систем. Проте, актуальним залишається виявлення несправностей, що важко піддаються розпізнаванню за результатами кількісного і якісного оцінювання функціональних і вібраційних параметрів. Тому розглянуті в дисертації питання підвищення інформативності критеріїв ідентифікації дефектів, несправностей, вдосконалення окремих вузлів методами комп'ютерного параметричного моделювання, оцінка і підвищення залишкового ресурсу ГПА є актуальними.

Розв'язання вказаних технічних проблем дасть змогу запобігти непередбаченим відмовам і аварійним зупинкам.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в рамках Національної програми "Нафта і газ України до 2010 року" і входить до комплексу тематичних планів НАК "Нафтогаз України", а також "Концепції розвитку, модернізації і переноса газотранспортної системи України на 2009-2015 рр."

НТБ
ІФНТУНГ



Мета роботи. Підвищення ефективності експлуатації ГПА шляхом реалізації науково-методичного підходу до кількісної і якісної оцінки надійності ГПА з врахуванням впливу комплексних параметрів і вдосконаленої конструкції лабіринтного ущільнення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати чинники і параметри роботи ГПА і виявити інформаційні показники, за якими можна визначити технічний стан ГПА;
- розробити математичну модель для визначення залежності напрацювання ГПА від експлуатаційних чинників, що характеризують його технічний стан;
- проаналізувати роботу лабіринтних ущільнень ГПА шляхом параметричного тривимірного моделювання з використанням методу скінченних елементів і скласти програму управління геометричними параметрами їх конструкцій;
- удосконалити конструкцію лабіринтного ущільнення ГПА з метою зменшення перетікання газу;
- проаналізувати чинники, що характеризують надійність і ефективність експлуатації ГПА, і уточнити періодичність технічного обслуговування ГПА за поточним технічним станом на основі аналізу АВС і з використанням комп'ютерних баз даних.

Об'єктом дослідження є ГПА з газотурбінним приводом на компресорних станціях.

Предметом дослідження є методи підвищення ефективності експлуатації та надійності ГПА шляхом вдосконалення лабіринтного ущільнення.

Методи дослідження. Поставлені завдання вирішувалися шляхом проведення теоретичних і натурних досліджень на базі компресорної станції (КС) Хасси-рмель (Алжир), що базуються на теорії надійності складних систем, методах математичної статистики і теорії ймовірності, методах комп'ютерного параметричного тривимірного моделювання та методах інженерних наближень.

Положення, що захищаються. Підвищення ефективності експлуатації і надійності ГПА шляхом удосконалення конструкції лабіринтного ущільнення методом скінченних елементів.

Наукова новизна одержаних результатів.

На підставі виконаних досліджень отримані такі результати:

- створено метод оцінки технічного стану ГПА, що базується на врахуванні комплексних чинників і параметрів його роботи;
- розроблено наукові основи параметричного моделювання лабіринтних ущільнень методом скінченних елементів;
- запропоновано методику, що дає змогу на основі аналізу АВС уточнити періодичність технічного обслуговування за поточним технічним станом.

Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених досліджень апробовані в експлуатаційних службах КС Богородчанського лінійного виробничого управління магістральних газопроводів (ЛВУМГ) управління магістральних газопроводів (УМГ) “Прикарпаттрансгаз” і Хасси-рмель (Алжир), а також використовуються під час проведення лекційних та практичних занять за

напрямами надійності і діагностування енергетичного устаткування нафтогазових об'єктів студентами спеціальності «Машини та обладнання нафтової і газової промисловості» та «Проектування, спорудження і експлуатація газонафтопроводів, баз і сховищ».

Публікації та особистий внесок здобувача.

Відображені у дисертації результати досліджень опубліковані у 17-и працях, серед яких 11 – у наукових фахових виданнях, з них 1- одноосібно, 6 – у збірниках праць та тезах конференцій; також отримано один патент на корисну модель.

Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. У співавторстві здобувачем розроблена основна ідея, проведено експерименти, підготовлені матеріали до опублікування. Постановка завдань, аналіз і трактування результатів проведено спільно з науковим керівником.

Здобувачем проведено аналіз чинників і параметрів, що визначають надійність і технічний стан ГПА з урахуванням необхідної кількості запасних частин і кількості стендів для ремонту агрегатів [1], описано принципи вибору стратегії технічного обслуговування ГПА за поточним технічним станом на основі аналізу АВС і з використанням комп'ютерних баз даних [2], визначено необхідне число ремонтів з метою забезпечення коефіцієнта готовності машин, що реалізується як функція оптимальних величин ресурсу машини, тривалості функціонування до першого профілактичного ремонту, тривалості роботи між профілактичними ремонтами, коефіцієнтами варіації цих характеристик [3], визначено залежність об'єму запасних частин від кількості стендів парку ГПА [4], виявлено основні чинники, що впливають на технічний стан ГПА [5], визначено і побудовано графічну залежність напрацювання ГПА від чинників, що характеризують його технічний стан ГПА [6,16]. Отримано залежності рівнів вібрації від напрацювання агрегату [7], запропоновано метод нанесення зносостійкого покриття для підвищення довговічності лопатей турбін ГПА [8,12], проаналізовано різні типи лабіринтних ущільнень турбомашин і на основі їх геометричних параметрів розроблено метод дослідження та оптимізації конструкції лабіринтного ущільнення; модернізовано конструкції лабіринтних ущільнень для ГПА [9-11,13-15,17,18]

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на:

науковому семінарі кафедри нафтогазового обладнання (м. Івано-Франківськ, 2009 р.);

розширеному науковому семінарі кафедри «Спорудження і ремонту нафтогазопроводів, нафтобаз і сховищ» (м. Івано-Франківськ, 2009 р.);

міжнародній науково-технічній конференції молодих учених "Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії" (м. Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р.);

всеукраїнській конференції молодих учених "Сучасне матеріалознавство: матеріали і технології" СММТ-2008 (м. Київ, 12-14 листопада 2008 р.);

міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи" (м. Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р.);

міжнародній науково-практичній конференції "Наука в інформаційному просторі" (м. Дніпропетровськ, 30-31 жовтня 2009 р.);

міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми трибології" (м. Київ, 19-21 травня 2010 р.);

5-му міжнародному симпозиумі по вуглеводнях і хімії (м. Сіді-Фредж, Алжир, 23-25 травня 2010 р.).

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, бібліографії і п'яти додатків. Робота викладена на 138 сторінках машинописного тексту, містить 35 рисунків, 19 таблиць та список літератури із 110 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* подається загальна характеристика дисертаційної роботи. Розкрито суть проблеми прогнозування та підвищення ресурсу газоперекачувальних агрегатів. Обґрунтовано актуальність теми, що дало можливість сформулювати мету та основні завдання дослідження. Розкрито наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У **першому розділі** аналізується стан проблеми і проводиться постановка завдань дослідження. Наводиться аналіз технічного стану ГПА і характеристика сучасного парку РАТ «Газпром» в Росії, а також парки управління магістральних газопроводів (УМГ) "Прикарпатрансгаз" і УМГ "Черкаситрансгаз", що експлуатуються ДК "Укртрансгаз".

Для детальнішого ознайомлення з системою ГПА із відцентровим нагнітачем проведено аналіз конструктивних особливостей ГПА та їх лабіринтних ущільнень.

Далі в роботі зроблено огляд літератури з питань надійності газоперекачувальних агрегатів і контроль їх вібростану. Наука про надійність сформована на стику фундаментальних математичних та природничих наук і вивчає методи забезпечення стабільності роботи об'єктів у процесі проектування, виробництва, приймання, експлуатації та зберігання, а також встановлює кількісні показники надійності та досліджує їх зв'язок з показниками ефективності.

Дослідженню завдань підвищення ефективності експлуатації і надійності ГПА присвячені роботи багатьох українських та зарубіжних вчених. Серед них Аксьонов Д.Т., Сухарев М.Б., Ставровський В.Л., Грудз В.Я., Тимків Д.Ф., Карасевич А.М., Березін Е.Р., Бікчентай Р.Н., Ізбаш В.І., Ковалко М.П., Ушаков І.А., Говдяк Р.М., Гораль Л.Т., Кубарев І.А., Канарчук В.Є., Проніков А.С, Гриценко А.І., Ігуменцев Е.А., Іванов В.А., Іванов І.А., Лопатін А.С., Острейковський В.А., Поршаков Б.П., Саприкин С.А., Шабаров А.Б., Яковлев Е.І. та ін.

Комплексний підхід до вирішення питань підвищення надійності устаткування КС забезпечує істотний економічний ефект у ході експлуатації ГТС.

У процесі експлуатації ГПА часто виникають відмови, що викликає необхідність планової або аварійної їх зупинки з метою проведення ремонту. Тому оцінка технічного стану потенційно небезпечних елементів ГПА, що базується на структурному аналізі надійності її компонентів і динамічних методах контролю, є актуальним завданням. Ресурси елементів газоперекачувальних агрегатів, таких як підшипники газової турбіни та ЦБН, газові та масляні лабіринтові ущільнення, лопатки диска турбін ВД та НД, елементи камери згоряння і осьового компресора можна визначити як напрацювання до критичного стану, протягом якого доцільно і допустимо використовувати агрегати в конкретних умовах експлуатації. Критерій оцінки залишкового ресурсу визначається виконанням вимог максимального ефекту в експлуатації і забезпеченням функціонування агрегатів з допустимим рівнем надійності. Таким чином, техніко-економічний зміст поняття ресурсу ГПА вимагає врахування багатьох чинників, у тому числі фізичних, що визначають зміну властивостей агрегатів в часі, і економічних, які визначають доцільність подальшого збільшення ресурсу в конкретних умовах експлуатації, обслуговування та ремонту.

Під час оцінювання технічного стану особливу роль відіграє правильний вибір інформаційних критеріїв ідентифікації несправностей, одним з яких, безсумнівно важливим, є вібрація підшипників турбіни та нагнітача, спричинена їх зношуванням.

Вібродіагностика дає змогу з високим ступенем достовірності визначити технічний стан агрегату і прогнозувати його напрацювання до поточного ремонту, однак оцінка ресурсу ГПА за рівнем їх вібраційних характеристик до теперішнього часу практично не проводилася.

Оцінка технічного стану проводилася за комплексними показниками надійності, що об'єктивно відображають технічний стан об'єкта протягом усього періоду експлуатації до його списання. Перевірка агрегату і його окремих вузлів на безвідмовність входить як в до завдання прогнозування його ресурсу, так і оцінки ступеня організації системи технічного обслуговування.

В умовах безперервного зростання експлуатаційних витрат намітилася тенденція до переходу від планового обслуговування ГПА природного газу до обслуговування за їх фактичним технічним станом. Відзначено, що більш прогресивною визнається система прогнозування індивідуального ресурсу, при якій кожен агрегат має свій графік технічного обслуговування. Це вимагає розробки нових, адаптованих, більш «гнучких» методів проведення попереджувальних ремонтів з урахуванням їх вартості.

В результаті проведеного аналізу доведена необхідність створення організаційно-технічного методу, здатного вирішувати завдання виявлення і ідентифікації дефектів, прогнозування залишкового ресурсу ГПА та усунення відмов до моменту їх настання.

Аналіз причин відмов ГПА показав, значна їх частина зумовлена зношуванням та забрудненням лабіринтових ущільнень, що збільшує перетікання через них робочого середовища, тому їх вдосконалення уможливить підвищення ефективності і надійності ГПА. За допомогою параметричної оптимізації можна мінімізувати витрати на проведення складних експериментальних досліджень і вибрати

раціональні геометричні розміри ЛУ, проте в літературі практично відсутні дані щодо використання сучасних комп'ютерних методів (наприклад, методу скінченних елементів), що уможливають проведення оптимального вибору параметрів ЛУ.

У другому розділі виявлено інформаційні показники, за якими можна визначити технічний стан ГПА і побудувати математичну модель для визначення таких його станів, як "попередження" і "зупинка". З цією метою кожні 2000 годин напрацювання визначалися такі показники стану ГПА, як температура викиду, ступінь підвищення тиску, осьовий зсув турбіни нагнітача, а також вібраційний стан агрегату: віброшвидкість підшипників № 1 і № 4 турбіни, горизонтальні і вертикальні складові амплітуди опорного (ОП) і опорно-упорного (ОУП) підшипників нагнітача.

Обстеження наземного механічного технологічного устаткування проводилося відповідно до відомих методик. За отриманими експериментальними даними були побудовані графіки зміни інформаційних ознак у функції від часу напрацювання, аналіз яких вказав на наявність між ними певної закономірності.

Найбільш поширеним методом виявлення закономірності є апроксимація даних многочленом невисокого порядку ($n \leq 3$) за методом найменших квадратів.

Поліном порядку n має вигляд

$$y = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n. \quad (1)$$

Мінімізація цього полінома призводить до такого результату:

$$\bar{a} = CF^T \bar{Y}, \quad (2)$$

де $\bar{a}^T = (a_0, a_1, \dots, a_n)$ – вектор оцінок параметрів полінома (1);

$C = M^{-1}$ – дисперсійна матриця, де $M = F^T F$ – матриця Фішера.

F – матриця розміром $N \times (n+1)$;

$\bar{Y}^T = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_N)$ – вектор даних.

У нашому випадку був вибраний поліном першого порядку ($n=1$):

$$y = a_0 + a_1 u, \quad (3)$$

де u – виражається часом $t = k\Delta t$ (Δt напрацювання ГПА кожні 2000 год.), а y – один з дев'яти інформаційних параметрів ГПА.

У результаті обчислень за формулою (2) визначені параметри a_0 і a_1 регресійної моделі (3) (табл. 1). Результати аналізу свідчать, що цілий ряд значень коефіцієнта a_1 наближається до нуля, тому постає питання: чи дійсно $a_1 = 0$, і його відмінність від нуля, є випадковою, чи насправді вихідні дані мають тренд?

Висунемо гіпотезу $H_0: a_1 = 0$ і альтернативну гіпотезу $H_1: a_1 \neq 0$.

Введемо безрозмірну величину $t_{n'}$ – статистику Стьюдента

$$t_{n'} = \frac{a_1 - \mu_0}{S_{a_1}},$$

де $\mu_0 = M[a_1]$ – математичне очікування випадкової величини a_1 ;

$S_{a_i}^2$ – оцінка дисперсії випадкової величини a_i .

Дисперсія $S_{a_i}^2$ обчислюється за формулою

$$S_{a_i}^2 = (c_{i,i})S_v^2,$$

де $c_{i,i}$ – діагональний елемент дисперсійної матриці C ;

$$S_v^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{j=0}^{N-1} (\bar{y}_j - y_j)^2 - \text{дисперсія початкової величини.}$$

Якщо виконується умова $|a_i| < t_{1-\alpha/2} S_{a_i}$, (де $t_{1-\alpha/2}$ – ступенів свободи статистика Стьюдента) то гіпотеза H_0 приймається.

Результати обчислень, зведені до табл. 1, свідчать, що справедливою є як гіпотеза H_0 , так і альтернативна гіпотеза H_1 .

Таблиця 1

Аналіз технічного агрегату (через 2000 годин напрацювання)

Показники технічного стану ГПА		Параметри регресії		Гіпотеза H_0 ($a_i = 0$)		
		a_0	a_1			
Вібрація	Турбіна	Температура викиду	510,4667	0,5333	Приймається	
		підшипник № 1	5,5467	-0,1576	Не приймається	
	підшипник № 4	3,0533	-0,1206	Приймається		
	Нагнітач	ОП	горизонтальна	17,8	1,8364	Не приймається
			вертикальна	13,8	1,1091	Не приймається
		ОУП	горизонтальна	12,9333	0,0303	Приймається
вертикальна			10,7333	0,3939	Не приймається	
Осьовий зсув		0,2527	-0,0048	Приймається		
Ступінь підвищення тиску		1,348	0,0054	Приймається		

Для інформаційних параметрів, перелік яких наведений у табл. 1, рівень довіри $\alpha = 0.1$. Як приклад аналізу одного з інформаційних показників розглянемо горизонтальну складову вібрації опорного підшипника нагнітача.

Відповідно з формули (2) були знайдені коефіцієнти моделі (3) $a_0 = 17.8$, $a_1 = 1.8364$. Оскільки перевіряється гіпотеза $a_1 = 0$, то $\mu_0 = M[a_1] = 0$. Знаходимо $S_{a_1}^2 = 0.35396$, а для рівня довіри $\alpha = 0.1$ і $N - 2$ ступенів свободи статистика Стьюдента $t_{1-\alpha/2} = 1.8595$. Так як $a_1 = 1.8364$ і $t_{1-\alpha/2} S_{a_1} = 0.6582$, то має місце нерівність $|a_1| > t_{1-\alpha/2} S_{a_1}$, тому приймається альтернативна гіпотеза H_1 ($a_1 \neq 0$). Детальні результати аналізу відтворює рис. 1.

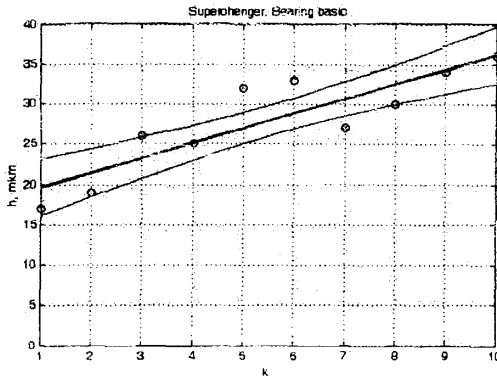


Рис. 1. Зміна в часі вібраційного стану опорного підшипника нагнітача (горизонтальна складова вібрації)

Методом статистичного аналізу було виявлено, що тільки частина з інформаційних параметрів впливають на величину напрацювання ГПА (T_w). Серед них: віброшвидкість підшипника № 1 (v_h), горизонтальні (a_h) та вертикальні (a_v) складові амплітуди ОП та вертикальна складова (A_h) амплітуди ОУП. Отже, шукатимемо залежність

$$T_w = f(v_h, a_h, a_v, A_h). \quad (4)$$

Завдання полягає в тому, щоб за результатами експериментального дослідження ідентифікувати залежність (4), яку можна подати як функціональну залежність між відомим набором чинників $\bar{x}^T = (v_h, a_h, a_v, A_h)$ і величиною $T_w = f(\bar{x})$.

Для вибору структури емпіричної моделі був запропонований індуктивний метод самоорганізації моделей.

Позначимо: $y = T_w$; $x_1 = v_h$; $x_2 = a_h$; $x_3 = a_v$; $x_4 = A_h$. При реалізації індуктивного методу моделювання вважається, що модель (4) задана у вигляді залежності полінома. Виберемо модель, в якій $n = 2$. Як критерій селекції був вибраний критерій регулярності. З використанням генетичного алгоритму отримано такий результат:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_1^2 + a_6 x_1 x_2 + a_7 x_2^2 + a_8 x_1 x_3 + a_9 x_2 x_3 + a_{10} x_1^2 + a_{11} x_1 x_4 + a_{12} x_2 x_4 + a_{13} x_3 x_4 + a_{14} x_4^2. \quad (5)$$

Для побудови моделі оптимальної складності був вибраний критерій зміщення, а кількість моделей, що підлягають відбору, – три. Розрахунок коефіцієнтів часткових моделей здійснювалось за методом найменших квадратів.

У MatLab створено програму, за допомогою якої отримана залежність (4) у вигляді полінома (5). Результат роботи програми наочно представлені в табл. 2 і на рис. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів полінома (5)

Коефіцієнти моделей	Моделі оптимальної складності		
	Перша модель	Друга модель	Третя модель
a_0	-0.0753312	0.0410446	0.0505501
a_1	0.679601	0	0
a_2	1.08041	0	0
a_3	0.123268	0	0
a_4	-0.769022	0	0
a_5	-0.265478	0	0
a_6	0	0	0
a_7	0	0	0
a_8	-1.3184	0	0
a_9	-1.94017	0	0.398625
a_{10}	1.1254	0.187766	0
a_{11}	0	0	0
a_{12}	0	-0.0242062	0
a_{13}	2.0461	1.55785	1.20654
a_{14}	0.232751	0	0

В результаті отримано три моделі

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_1^2 + a_6x_1x_3 + a_9x_2x_3 + a_{10}x_3^2 + a_{13}x_3x_4 + a_{14}x_4^2, \quad (6)$$

$$y = a_0 + a_{10}x_3^2 + a_{12}x_2x_4 + a_{13}x_3x_4, \quad (7)$$

$$y = a_0 + a_{10}x_3^2 + a_{13}x_3x_4. \quad (8)$$

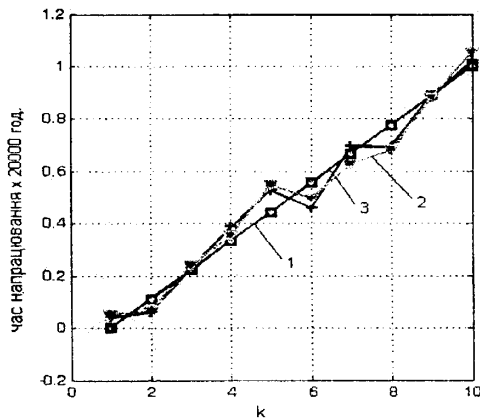


Рис. 2. Результати перевірки моделей на адекватність:

1 - перша модель, 2 - друга модель, 3 - третя модель; k - експериментальні (вимірювальні) точки кожні 2000 годин

Критерій регулярності $\Delta^2(B)$ для кожної з трьох моделей має такі значення:

для першої моделі – $5,4298310^{-15}$;

для другої моделі – $0,0943417$;

для третьої моделі – $0,0972551$.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що найточніше результати експерименту апроксимує залежність (5), позначена цифрою «1» на рисунку 2.

Отримане рівняння дає змогу за показниками вібрації (віброшвидкість підшипника № 1, горизонтальні і вертикальні амплітуди ОП і вертикальна складова амплітуди ОУП), прогнозувати значення часу напрацювання ГПА і, як наслідок, визначати його технічний стан як «попередження», або як «зупинка». Остання обставина відкриває можливості для переходу від планового обслуговування ГПА до обслуговування за його фактичним технічним станом.

Отримано залежності рівнів вібрації від напрацювання агрегату (рис. 3). Результати статистичної обробки аналогічних залежностей для інших агрегатів використовуються для прогнозування вібраційного стану ГПА і планування робіт з їх ремонту.

Дослідження спектрів вібрації проводилося нами на ГПА типу ГТК-101, встановлених на КС Хассі-рмель (Алжир).

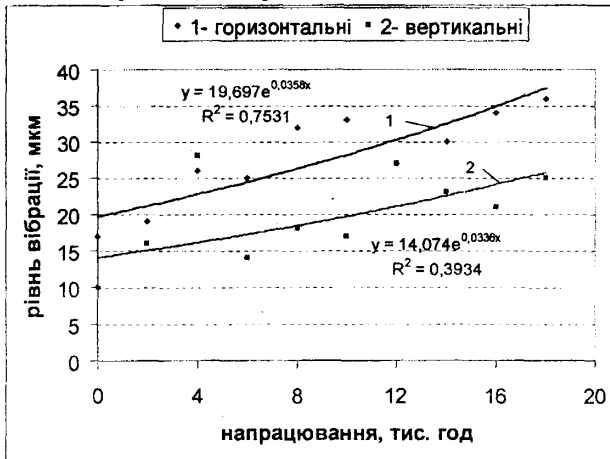


Рис. 3. Рівень горизонтальних і вертикальних вібрацій опорного підшипника нагнітача в часі і рівняння регресії, що описують їх

За отриманими даними (рис. 3) можна оцінити граничний стан підшипника нагнітача ГПА і прогнозувати його ресурс. Наприклад, граничними величинами амплітуд коливань опорного підшипника є рівні вібрацій 65 мкм (попереджувальна величина) і 75 мкм (гранична амплітуда, що змушує зупинити агрегат). Тоді ресурс ГПА за рівнем вібрацій сягає: за 30 тис. годин роботи – 57,7 мкм, за 35 тис. годин – 70 мкм, а за напрацювання понад 37 тис. годин необхідно зупинити агрегат.

У третьому розділі автор запропонував модернізувати конфігурацію лабіринтного ущільнення з метою зменшення перетікання робочого середовища через нього, що підвищить коефіцієнт корисної дії (ККД) і надійність ГПА з ВН шляхом оптимізації основних геометричних параметрів ЛУ і введення додаткових перешкод на шляху руху робочого середовища. Для удосконалення конструкції використовувалася кінцево-елементна модель потоку газу в каналах лабіринта.

За допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks створено параметричну тривимірну комп'ютерну модель ЛУ, зручну для удосконалення конструкції тим, що існує можливість легко змінювати окремі геометричні її параметри. Таким чином, можна визначити вплив окремих параметрів (табл. 3) на характеристики ЛУ.

Границі допустимих значень параметрів вибиралися з умови можливості побудови моделі і, відповідно до меж параметрів вже існуючих конструкцій.

Таблиця 3

Параметри моделі, що підлягають оптимізації

№ п/п	Параметр	Позначення	Назва в тривимірній моделі	Початкове і граничне значення, крок	Границі допустимих значень
1	Радіус границі камери лабіринта	R_1, R_2 (R_{12})	D1@Ескізі1 D7@Ескізі1	від 0 до 1,5 мм з кроком 0,1 мм	$0,01 \leq R_{12} \leq 1,5$
2	Радіус заокруглення вхідної кромки гребеня ущільнювача (у бік більшого тиску)	Rv_1	D16@Ескізі1	від 0 до 0,689 мм з кроком 0,1 мм	$0,01 \leq Rv_1 \leq 0,689$
3	Радіус заокруглення вихідної кромки гребеня ущільнювача (у бік нижчого тиску)	Rv_2	D17@Ескізі1	від 0 до 0,689 мм з кроком 0,1 мм	$0,01 \leq Rv_2 \leq 0,689$
4	Радіус двостороннього заокруглення кромки гребеня ущільнювача	Rv_1, Rv_2 (Rv_{12})	D16@Ескізі1 + D17@Ескізі1	від 0 до 0,3445 мм (0,689/2) з кроком 0,1 мм	$0,01 \leq Rv_{12} \leq 0,344$
5	Кут нахилу гребеня	Asl	D8@Ескізі1	від 90° до 70° з кроком 5°	$90^\circ \leq Asl \leq 70^\circ$

Для автоматизації перебудови моделі розроблено комп'ютерну програму на мові VBA, що взаємодіє з SolidWorks за допомогою інтерфейсу програмування SolidWorks (Application Programming Interface). Використовуючи її, можна легко змінювати значення параметрів моделі від початкового значення до граничного заданим кроком.

Оптимізація конструкції ЛУ для ГПА полягає в розробці виробу з необхідною конфігурацією гребеня і камери, радіуси камер ЛУ (R_1, R_2), радіуси заокруглення кромки гребеня (Rv_1, Rv_2) ущільнювача і нахил гребеня (Asl) (табл. 3), що забезпечує мінімальні перетікання газу в останньому зазорі; крім того, оптимізація конструкції ЛУ дасть змогу зменшити об'єм використovanого для його виготовлення

матеріалу. Як критерій оптимізації, згідно формул А. Стодоли і Мартіна вибрано мінімальний тиск в останньому зазорі ЛУ. Ці формули можна застосувати для відносного порівняння ефективності різних варіантів конструкції ЛУ в процесі зміни їх певних геометричних параметрів.

Відомо, що завданням оптимізації в математиці називається задача про знаходження екстремуму (мінімуму або максимуму) дійсної функції в деякій області. Існує велика кількість методів багатовимірної оптимізації: прямі методи (повного перебору, Гауса, Гауса-Зейделя), методи першого порядку (градієнтні), методи другого порядку (Ньютона-Рафсона), стохастичні методи (Монте-Карло, генетичні алгоритми).

Для зменшення кількості розрахунків кінцево-елементної моделі можна використовувати методи планування експериментів при пошуку оптимальних параметрів. Автором був обраний метод Гауса-Зейделя, як найаочніший і простий, причому основний недолік цього методу – низька швидкість обчислення – в даному випадку не є істотним, оскільки застосовується незначна кількість незалежних змінних, а крок зміни їх значень – великий.

Згідно з методом Гауса-Зейделя спочатку необхідно змінювати значення однієї незалежної змінної від мінімального до максимального з вибраним кроком; значення інших змінних при цьому фіксуються. Спочатку для розрахованої початкової звичайно-елементної моделі радіуси границі камер ЛУ (R_1, R_2), радіуси заокруглення кромки гребеня (Rv_1, Rv_2) ушільнювача і його нахил (Asl) приймали рівними значенням відповідних параметрів найбільш поширених ЛУ: $R_1=0$ мм, $R_2=0$ мм ($R_{12}=0$), $Rv_1=0$ мм, $Rv_2=0$ мм, $Asl=90^\circ$. Далі змінювали першу незалежну змінну – радіус границі ЛУ (R_1 і R_2 одночасно (R_{12})) від 0 до 1,5 мм з кроком 0,1 мм. При цьому решта змінних дорівнювала початковим.

Далі фіксували значення $R_{12}=0,2$ мм (оптимальне значення, отримане в першому кроці експерименту) і змінювали значення Rv_1 від початкового до граничного із заданим кроком (табл. 3). При цьому решта змінних дорівнювала початковим. Цю процедуру проводили по черзі для всіх змінних.

Приклад залежності середнього тиску в останньому зазорі ЛУ від зміни одного

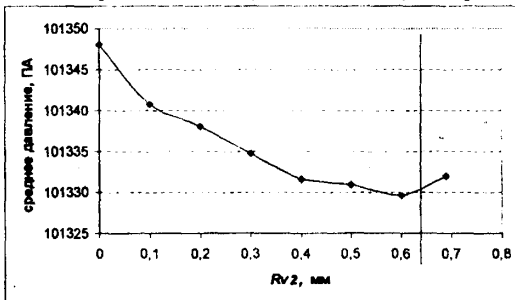


Рис. 4. Залежність тиску в останньому зазорі ЛУ від радіуса заокруглення вихідної кромки гребеня ушільнювача

параметра ЛУ (радіуса заокруглення вихідної кромки гребеня ущільнювача (Rv_2)) при фіксуванні рештки параметрів (R_{12} і Rv_1 – оптимальні значення, отримані в попередніх кроках експерименту, а Asl – початкове значення), зображено на рис. 4.

Використовуючи отримані результати, можна вибрати необхідні параметри ЛУ залежно від умов його роботи. Оптимальний варіант конструкції згідно з методом Гаусса-Зейделя: $R_1=0,2$ мм, $R_2=0,2$ мм, $Rv_1=0$ мм, $Rv_2=0,6$ мм, $Asl=80^\circ$.

Продовження експериментів дало змогу знайти конструкцію ще більш наближену до оптимальної.

За результатами проведених комп'ютерних експериментів можна наближено оцінити функціональну залежність при $Asl = 90^\circ$:

$$p = f(R_{12}, Rv_1, Rv_2). \quad (9)$$

Приймемо значення: $y = p$; $x_1 = R_{12}$; $x_2 = Rv_1$; $x_3 = Rv_2$. За допомогою програмного пакету Maple отримана залежність (9) у вигляді двох поліноміальних залежностей першого і другого ступенів (10) і (11)

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3, \quad (10)$$

де $a_0 = 101347,0127$; $a_1 = 1,6888$; $a_2 = 26,467$; $a_3 = -36,39$.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_2 + a_4x_2^2 + a_5x_3 + a_6x_3^2 + a_7x_1x_2 + a_8x_1x_3 + a_9x_2x_3. \quad (11)$$

де $a_0 = 101348,9987$; $a_1 = -3,5194$; $a_2 = 2,3123$; $a_3 = 28,3583$; $a_4 = 6,775$; $a_5 = -64,1732$; $a_6 = 60,0143$; $a_7 = 0,77897$; $a_8 = -2,9995$; $a_9 = -70,39298$.

Зазначене вище дозволяє зробити наступні висновки. Радіуси границі камери лабіринта незначно впливають на тиск в останньому зазорі. Збільшення радіуса заокруглення вихідної кромки ущільнювального гребеня істотно зменшує тиск в останньому зазорі: його оптимальне значення знаходиться в межах 0.577...0.688 мм. Оптимальне значення радіусу округлення вхідної кромки ущільнювального гребеня знаходиться в межах 0...0.2 мм.

На рис. 5 показаний оптимальний варіант конструкції: $R_1=0,2$ мм, $R_2=0,2$ мм, $Rv_1=0$ мм, $Rv_2=0,6$ мм, $Asl=80^\circ$.

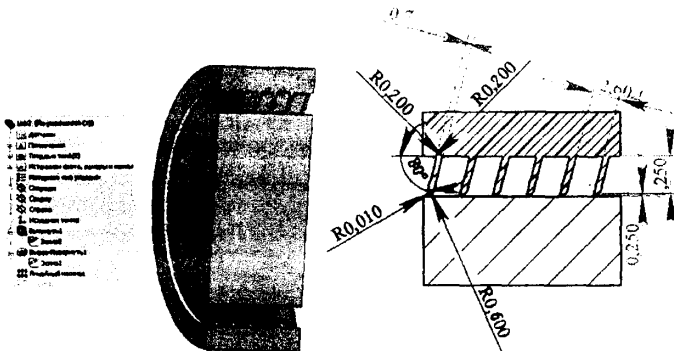


Рис. 5. Вдосконалена конструкція ЛУ

Розроблено також конструкцію лабіринтного ушілення із закругленими виступами на валу і подовженням камери, що збільшує шлях руху газу всередині камери. Це сприяє зменшенню швидкості газу в камері і зниженню тиску в останньому зазорі, що забезпечує мінімальні перетікання газу через ЛУ (рис. 6).

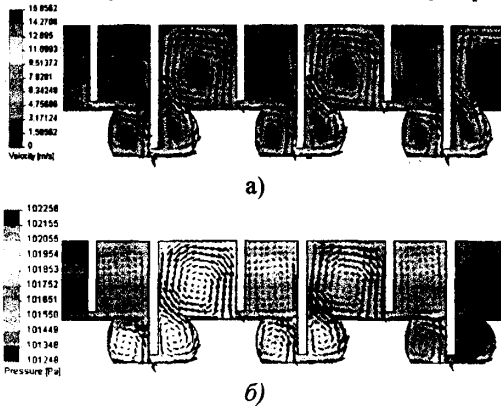


Рис. 6. Швидкість руху робочого середовища (а) і робочий тиск (б) в ЛУ з виступами

У четвертому розділі визначено основні показники надійності ГПА. Проведена перевірка Колмогорова і за допомогою рівняння Вейбула розрахована ймовірність безвідмовної роботи основних вузлів ГПА від їх напрацювання. На прикладі відцентрового нагнітача RF-2BB-30, виготовленого фірмою "Купер-Бессемер" (США), яким укомплектовано турбокомпресори ГТК-101, що експлуатуються на КС №1 Хассі-рмель (Алжир), розроблено стратегію технічного обслуговування і оптимальні графіки планово-запобіжних ремонтів ГПА. У роботі визначено основні види відмов і розраховано характеристики вказаних вузлів ГПА. Особливу цінність представляє оцінка параметрів його надійності: ймовірність безвідмовної роботи, середній час безвідмовної роботи, а також закон розподілу напрацювань на відмову, що дає змогу здійснювати контроль рівня надійності в процесі експлуатації, визначати об'єм і терміни профілактичного обслуговування, планувати витрату запасних частин і матеріалів, прогнозувати величину залишкового ресурсу, планувати заходи щодо підтримки і підвищення надійності ГПА.

Якнайповніше і об'єктивно характеристики надійності можуть бути отримані лише в результаті визначення закону розподілу ймовірності напрацювання об'єкта на відмову. З метою визначення параметрів закону Вейбула використовували стандартну програму MathCAD, в яку ввели дані з напрацювань на відмову ГПА. В результаті розрахунку отримали: $R(t)$, $F(t)$, $\beta = 0,53$, $\eta = 1107$ і коефіцієнт лінійної кореляції (R), що дорівнює 0,9585. Потім був побудований графік.

Далі вказано на користь від ведення обліку даних по відмовах устаткування для діагностування і складання рекомендацій щодо технічного обслуговування або оновлення парку ГПА.

Метод ABC - аналіз, заснований на вивченні минулого періоду, що дає змогу дуже просто і дуже об'єктивно виявити залежно від певного критерію найбільш помітні ознаки. Крива ABC, побудована за результатами цього методу, використовується в MS Access - програмному забезпеченні великої доступності для створення історії відмов. Цей метод був апробований на ГПА, і отримані результати підтвердили його точність. Існує можливість розробки стратегії обслуговування за даними, що містяться в базі даних НРГ (Надійність, Ремонтпридатність, Готовність).

Крива ABC уможливує вибір ремонтних робіт певної тривалості і з систематичним характером, синтез яких дає змогу визначити найбільш відповідний тип підготовки до ремонту.

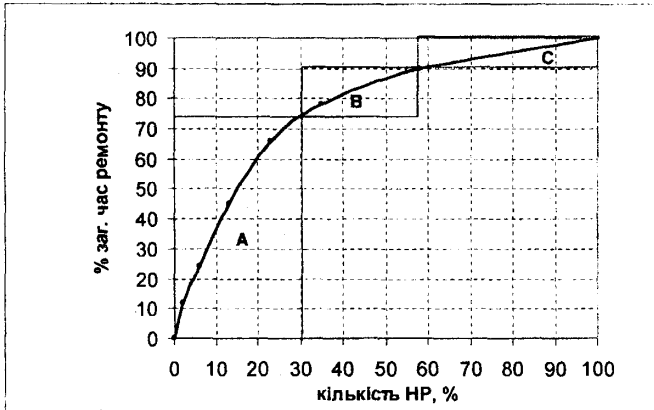


Рис 7. Крива ABC

У нашому прикладі запити надійшли з класифікацією нарядів на ремонт (НР) по годинах, залежно від тривалості ремонтів у минулому. Спостерігали 581 аварію загальною тривалістю 7250 годин. Аналіз кривої ABC (рис. 7), побудованій за результатами аналізу отриманих даних, свідчить, що в зоні А розташовуються 30 % (або 177 НР) аварій, на усунення наслідків яких необхідне виконання складних робіт (тривалістю >11 год.), що становить 74 % (5502 год.) від загального часу, витраченого на ремонт.

Тут потрібна організована політика попереджувального систематичного або попереджувального обслуговування за технічним станом ГПА. В зоні В розташовуються роботи меншої складності, що становлять 27 % НР (157 НР) та займають 17 % загального часу (1232 год.): 5% їх тривалості від 11 до 20 год., а 12 % від 6 до 10 год. Тут менші вимоги до попереджувальних методів, також тут застосовна політика обслуговування за потребою. В зоні С - роботи без підготовки

до ремонту (за винятком повторних або складних робіт) для 43 % НР (250 НР), які покривають 9 % (~653 год.) від загального часу. Для того, щоб передбачити об'єм ремонтних робіт в процесі експлуатації певної кількості машин, розроблено практичний метод, за яким можна визначити кількість ремонтів у будь-який момент часу протягом планованого періоду. Метою методу прогнозування ГПА є визначення оптимального числа ремонтів, що проводять щорічно в певному інтервалі часу, з врахуванням кількості вже проведених на кінець цього періоду, і машин, що перебувають в процесі безперервного оновлення.

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведених досліджень, аналізу діагностичної інформації, а також узагальнення досвіду експлуатації газоперекачувальних агрегатів з відцентровими нагнітачами класифіковано чинники і параметри їх роботи. Статистичний аналіз інформаційних показників роботи ГПА свідчить, що частина з них не змінюється в часі і не впливає на технічний стан ГПА, а інша змінюється в часі внаслідок зношування їх механічних деталей, що може призвести до необхідності зупинки агрегату для його подальшого ремонту.

2. За виявленими чинниками, що характеризують технічний стан ГПА, розроблено метод самоорганізації моделей і отримано рівняння регресії, що дає змогу за показниками вібрації прогнозувати значення часу напрацювання і визначати технічний стан ГПА як "попередження" або "зупинка", що відкриває можливості для переходу від планового обслуговування цих агрегатів до обслуговування за їх фактичним технічним станом.

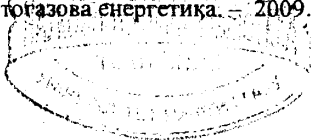
3. Створення тривимірної параметричної комп'ютерної моделі лабіринтного ущільнення і розробленої автором методики моделювання її параметрів за допомогою комплексу програм SolidWorks - CosmosFloWorks 2009 дозволило досліджувати роботу лабіринтових ущільнень за різних режимів роботи ГПА з відцентровим нагнітачем, різних ступенях зношування гребенів лабіринтного ущільнення і виступів на валу, а також дало змогу визначити основні геометричні параметри конструкції ЛУ для його удосконалення.

4. За допомогою методу оптимізації Гаусса-Зейделя вдосконалено конструкцію ЛУ і отримано математичну модель, яка дала змогу приблизно оцінити залежність тиску в останньому зазорі від основних геометричних параметрів. Результати оптимізації свідчать, що шляхом зміни геометричних розмірів і форми ущільнюючої лабіринтних гребенів з нахилом їх у бік більшого тиску під кутом 80° за радіуса границі камери 0,2 мм і радіуса заокруглення вихідної кромки гребеня ущільнювача 0,6 мм можна істотно зменшити перетікання газу і мастила через лабіринтне ущільнення, що вплине на їх витрату і осьовий зсув ротора. Закруглення виступів на валу і камери ущільнення збільшить шлях руху і, відповідно, швидкість газу, що сприятиме зниженню тиску в останньому зазорі і забезпечить мінімальне перетікання газу через ЛУ.

5. Визначено основні показники надійності ГПА. За допомогою рівняння Вейбула розраховано ймовірність безвідмовної роботи основних вузлів ГПА від їх напрацювання, що дало змогу виробити стратегії технічного обслуговування і оптимальні графіки планово-запобіжних ремонтів. На основі аналізу ABC рекомендується підсилити увагу ремонтам категорії А – 30 % машин і аварій, що є причиною 74 % затрат на технічне обслуговування ГПА і вимагає організованої політики попереджувального систематичного або попереджувального обслуговування за технічним станом з постійним контролем ключових точок агрегату з метою підвищення надійності цих машин. Також необхідний точний розрахунок об'єму запасних частин за результатами систематичного аналізу документів по відмовах, особливо банку даних "Історія ремонту", що базується на програмному забезпеченні MS ACCESS. Ведення статистики, пов'язаної із зупинками ГПА і його ремонтами, слугуватиме базою для розрахунку надійності, ремонтопридатності і готовності, що дасть змогу перейти до удосконалення критичних вузлів і деталей машин і оптимізувати управління потоком запасних частин.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Копей Б.В. Надежность газоперекачивающих агрегатов с центробежным нагнетателем RF-2ВВ-30 "КУПЕР-БЕССЕМЕР"/ Б.В. Копей, А. Беллауар, Н. Абдельбаки // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2009. – № 3(21). – С. 92-98.
2. Копей Б.В. Выбор стратегий технического обслуживания газоперекачивающих агрегатов на основании компьютерных баз данных и анализа ABC / Б.В. Копей, А. Беллауар, Ю.И. Парайко // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2009. № 4. – С. 38–42.
3. Копей Б.В. Моделирование и оптимизация расходов на предупредительные ремонты парка газоперекачивающих агрегатов / Б.В. Копей, А. Беллауар, А. Бенмуна // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 3(32). – С. 85–92.
4. Копей Б.В. Зависимость объема запасных частей от количества стендов для ремонта ГПА / Б.В. Копей, А. Беллауар, А. Бенмуна // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 2(27). – С. 86–92.
5. Горбійчук М.І. Інформаційні показники технічного стану газоперекачувальних агрегатів природного газу / М.І. Горбійчук, Б.В. Копей, А. Беллауар та ін. // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – №20. – С. 47–50.
6. Горбійчук М.І. Вплив факторів роботи газоперекачувальних агрегатів на їх напрацювання / М.І. Горбійчук, Б.В. Копей, А. Беллауар, І.В. Щупак // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 3(8). – С. 55–58.
7. Копей Б.В. Прогнозирование ресурса газоперекачивающих агрегатов по уровню вибраций подшипников нагнетателя / Б.В. Копей, М.И. Горбійчук, А. Беллауар // Нефтегазовая энергетика. – 2009. – № 1(10). – С. 45–56.



8. Богорош О.Т. Жаропрочные сплавы и износостойкие покрытия для лопаток турбин газоперекачивающих агрегатов / О.Т. Богорош, Б.В. Копей, А. Беллауар // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2008. – Т. 30 (специальный выпуск). – С. 653–670.
9. Копей Б.В. Усовершенствование лабиринтного узла уплотнения "газ - масло" газоперекачивающего агрегата / Б.В. Копей, А. Беллауар, В.Б. Копей // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* – 2009. – № 1(30). – С. 79–87.
10. Беллауар А. Улучшение конструкции лабиринтного уплотнения газоперекачивающего агрегата / А. Беллауар, Б. В. Копей, Н. Абдельбаки // *Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. Зб.* – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С. 99–109.
11. Беллауар А. Исследование протечек газа в лабиринтном уплотнении газоперекачивающих агрегатов / А. Беллауар // *Науковий вісник ІФНТУНГ.* – 2010. – № 2(24). – С. 107 – 110.
12. Зносостійкі покриття з оксидів титана і цирконію, одержані осадженням з колоїдних розчинів / О.Т. Богорош, Б.В. Копей, А. Беллауар : тези Всеукраїнської конференції молодих вчених ["Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології"], (Київ, 12–14 листопада 2008р.). – К: ММТ, 2008.
13. Вдосконалення лабиринтного ущільнення ГПА / Копей Б.В., Беллауар А., Абдельбаки Н., Копей В.Б. : анотації Міжнародної науково-технічної конференції ["Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи"], (Івано-Франківськ, 20–23 жовтня 2009р.). – Івано-Франківськ : Факел, 2009. – 131 с.
14. Усовершенствование лабиринтного узла уплотнения "газ-масло" ГПА / Копей Б.В., Беллауар А., Копей В.Б. : анотації Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених ["Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії"], (Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р.). – Івано-Франківськ : Факел, 2008. – 31 с.
15. Конечно-элементный анализ потока газа в каналах лабиринтных уплотнений турбомашин / Копей Б.В., Беллауар А., Копей В.Б. : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. ["Наука в інформаційному просторі"], (Дніпропетровськ, 30-31 жовтня 2009 року.): В 6 т. — Т. 1. - Дніпропетровськ: Біла К.О., 2009. - С. 32 - 37.
16. Influencing of work factors of gas pumping units on their life. Book of abstracts. / Bellaouar A., Kopey B.V., Abdelbaki N. : The 5-th international symposium on hydrocarbons and chemistry (ISHC5), (Sidi Fredj, Algiers, May the 23rd to 25th, 2010). – p. 107.
17. Пути улучшения конструкции лабиринтного уплотнения газоперекачивающего агрегата / Беллауар А., Копей Б.В., Абдельбаки Н. : тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції ["Сучасні проблеми трибології"], (Київ, 19-21 травня 2010 р.). – К.: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. – 90 с.
18. Пат. 48899 Украина, МПК F 16 J 15/44. Лабиринтное уплотнение [Текст] / Копей Б. В., Беллауар А., Копей В.Б.; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковский нац. техн. университет нефти и газа. — № u200910348; заявл. 12.10.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл. №7 – 3 с.

АНОТАЦІЯ

БЕЛЛАУАР А. – Підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій шляхом вдосконалення конструктивних елементів 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, 2010.

Робота присвячена питанням удосконалення конструкцій елементів газоперекачувальних агрегатів (ГПА) з відцентровим нагнітачем (ЦБН) компресорних станцій. Проаналізовані надійність ГПА, спосіб її підвищення і її зв'язок із залишковим ресурсом, а також вплив вібрації на технічний стан ГПА і можливості використання її для проведення діагностування і віброконтролю ГПА.

Виявлено інформаційні показники, за якими можна визначити технічний стан ГПА; розроблено метод самоорганізації моделей і отримано рівняння регресії; створено тривимірну параметричну комп'ютерну модель ЛУ; складено програму управління геометричними параметрами ЛУ; оптимізовано конструкцію лабіринтного ущільнення ГПА з ВН за критерієм мінімального тиску в останньому зазорі ЛУ; проаналізовано дані по відмовах ГПА; побудовано графік залежності кількості нарядів на ремонт від часу, витраченого на ремонт (крива АВС); уточнено періодичність технічного обслуговування ГПА за їх поточним технічним станом на основі аналізу АВС і з використанням комп'ютерних баз даних.

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, ефективність, надійність, технічне обслуговування, вібродіагностика, інформаційні показники, лабіринтне ущільнення.

АННОТАЦИЯ

БЕЛЛАУАР А. – Повышение эффективности эксплуатации компрессорных станций путем усовершенствования конструктивных элементов 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, 2010.

Работа посвящена вопросам усовершенствования конструкций элементов газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с центробежным нагнетателем (ЦБН) компрессорных станций. Цель работы состоит в повышении работоспособности ГПА путем реализации научно-методического подхода к количественной и качественной оценке надежности ГПА с учетом влияния комплексных параметров и применения усовершенствованной конструкции лабиринтного уплотнения.

Проанализированы: технические характеристики и конструктивные особенности ГПА с ЦБН и их лабиринтных уплотнений; надежность ГПА, способ ее повышения и ее связь с остаточным ресурсом; причины вибрации и их влияние на техническое состояние ГПА. Рассмотрена порядок проведения диагностирования и виброконтроля ГПА в условиях компрессорной станции. На основании проведенного анализа современного состояния проблемы сформулированы задачи диссертационной работы.

На основании анализа диагностической информации, выявлены информационные показатели, по которым можно определить техническое состояние ГПА. Статистический анализ информационных показателей работы ГПА показал, что часть из них не изменяется во времени и не влияет на техническое состояние ГПА, а другая часть изменяется во времени в результате износа их механических деталей, что может привести к необходимости остановки агрегата для его последующего ремонта. Установлено, что главным фактором влияния является вибрация.

Разработан метод самоорганизации моделей и получено уравнение регрессии, позволяющее по показателям вибрации прогнозировать значение времени наработки и определять техническое состояние ГПА, а также оценено возможное изменение технического состояния ГПА в процессе эксплуатации.

Создана трехмерная параметрическая компьютерная модель лабиринтного уплотнения и составлена программа управления ее геометрическими параметрами. Проведен анализ работы лабиринтных уплотнения ГПА с ЦБН с использованием метода конечных элементов. Установлено, что изменение основных геометрических параметров ЛУ влияет на перетекание рабочей среды через ЛУ.

Оптимизирован узел лабиринтного уплотнения ГПА по критерию минимального давления в последнем зазоре ЛУ с помощью метода Гаусса-Зейделя.

Усовершенствована конструкция лабиринтного уплотнения с выступами.

Проанализированы факторы, характеризующие надежность ГПА и рассчитана с помощью уравнения Вейбулла вероятность безотказной работы основных узлов ГПА от их наработки.

Проанализированы данные по отказам ГПА и классифицированы их наряды на ремонт во времени и построено график зависимости количества нарядов на ремонт от времени, затраченного на ремонт (кривая ABC).

Уточнена периодичность технического обслуживания ГПА по их текущему техническому состоянию на основе анализа ABC и с использованием компьютерных баз данных.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, эффективность, надежность, техническое обслуживание, вибродиагностика, информационные показатели, лабиринтное уплотнение.

SUMMARY

Bellaouar A. – Increase of operational efficiency of compressor stations by improving the design elements of the gas-pumping units. – Manuscript.

Thesis for a degree of candidate of technical sciences on a specialty 05.15.13 - “Pipeline transportation, oil and gas storage”. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2010.

The present thesis is devoted to the problems of improving the design elements of the gas-pumping units (GPU) with centrifugal compressor (CC) of compressor stations. The reliability of GPU, methods of its improvement and its connection with residual life, as well as influence of vibration on technical state of GPU and potential for its use aiming at GPU diagnosis and vibration-based diagnostics are analyzed.

Information indexes to determine technical state of GPU are exposed; method of self-organization of models and regression equation are obtained; three-dimensional parametric computer model labyrinth seal is created; the program to manage geometrics of labyrinth seal is made; construction of GPU with CC labyrinth seal on the criterion of the least pressure in the last gap is optimized; information on the malfunctions of GPU is analyzed; dependence of the repair work orders amount on the time expanded on the repair (ABC curve) is diagrammed; periodicity of maintenance of GPU on their current technical state based on the analysis of ABC and with a use of computer databases is specified.

Key words: gas-pumping unit, efficiency, reliability, maintenance, vibration-based diagnostics, information indexes, labyrinth seal.



an2131