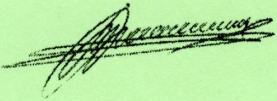


622.691.4.052(043)
С79

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

СТЕП'ЮК Михайло Дмитрович



УДК 622.691.4.052.012.004.67

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ
КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ**

Спеціальність 05.15.13 - Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

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



Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Гораль Ліліана Тарасівна
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри організації праці і виробництва

Офіційні опоненти:

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

кандидат технічних наук **Розгонюк Василь Васильович**, представництво ТзОВ «Газпромекспорт» в Україні, заступник керівника (м.Київ)

Захист відбудеться 13 травня 2010 р. о 10 год.00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, вул. С.П. Королька, 76019, м. Івано-Франківськ

З дисерт.
Івано-Ф.
за адрес

Авторед

Вчений
спеціалі
кандидат

газу

ів



ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Неухильне зростання ролі трубопровідного транспорту газу як засобу диверсифікації енергетичних джерел та життєва необхідність визначального для енергетичної стратегії України раціонального використання енергоресурсів, вимагає вирішення задачі підвищення надійності та ефективності роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій (КС), які змінюють свою структуру та технологічне навантаження, а також піддаються з часом фізичному та моральному старінню. Відомі на сьогодні методи удосконалення ремонтів та обслуговування газотранспортних систем не дають змоги вирішити питання підвищення надійності ГПА із врахуванням їх поточного стану. Ефективність експлуатації газоперекачувальних агрегатів може бути підвищена шляхом правильного встановлення термінів і послідовності проведення планово-попереджувальних ремонтів за реальним технічним станом агрегату, який, як відомо, може змінюватись і безперервно і дискретно. Тому для оцінки технічного стану ГПА необхідно звузити коло визначальних параметрів і вибрати один узагальнюючий, який найбільш повно характеризує би надійність агрегату. В такій постановці задача забезпечення надійності експлуатації ГПА може бути практично реалізована, а її результати використані при плануванні технічного обслуговування агрегату.

В даній роботі основна увага приділена газоперекачувальним агрегатам, так як вони є тим основним обладнанням, яке впливає на виробничі потужності компресорних станцій та газотранспортної системи в цілому.

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 і окреслених Національною програмою «Нафта і газ України до 2010 року», а також «Концепцією розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 рр.»

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення методів обслуговування обладнання компресорних станцій магістральних газопроводів для підвищення його експлуатаційної надійності.

Поставлена мета досягається шляхом реалізації наступних завдань:

1. Визначення основних критеріїв експлуатаційної надійності газоперекачувальних агрегатів.
2. Оцінка надійності компресорних станцій з різними схемами технологічних з'єднань ГПА.
3. Аналіз експлуатаційних характеристик агрегатів для встановлення причин відхилень фактичних ремонтних циклів ГПА від нормативних.

4. Проведення математичного моделювання впливу показників ремонтного обслуговування ГПА на основні економічні показники діяльності підприємства.

Об'єктом дослідження є газоперекачувальні агрегати компресорних станцій магістральних газопроводів УМГ «Прикарпаттрансгаз» ДК «Укртрансгаз».

Предметом дослідження є методи обслуговування газоперекачувальних агрегатів

Методи дослідження: системний аналіз експлуатаційних параметрів ГПА, традиційні методи аналізу (порівняння, елімінування, статистика), графічні методи побудови ремонтних циклів та експлуатаційних характеристик ГПА, економіко-математичні методи і моделі (кореляційно-регресійний аналіз, факторний аналіз, методи математичного програмування) виявлення впливу організаційно-технічних чинників на надійність газопостачання.

Положення, що захищаються. Залежність надійності функціонування газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій від ефективності обслуговування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що *вперше*

- на основі статистичного аналізу показників надійності ГПА, встановлено технічні та експлуатаційні характеристики системи, якими визначається характер обслуговування агрегатів;
- розроблена математична модель впливу технічного стану ГПА на показники надійності газопостачання та отримані розрахункові залежності і алгоритм застосування моделі ;
- отримано залежність впливу організаційно-технічних чинників організації ремонтів ГПА на економічні показники діяльності підприємства.

Удосконалено

- дослідження показників надійності і законів розподілу продуктивності для реальних одно- і багатоцехових КС.

Практичне значення отриманих результатів. Встановлені залежності кількості аварійних зупинок від наробітку агрегату, що дозволить планувати проведення ремонтів ГПА за їх фактичним станом;

розроблено математичну модель впливу основних організаційно-технічних чинників експлуатації ГПА на результати діяльності підприємства;

запропоновано методику оцінки надійності різних схем з'єднань ГПА на компресорній станції .

Методичні положення та результати дисертації впроваджені в роботі Богородчанського ВУПЗГ та ВРТП «Укргазенергосервіс» (Акт про впровадження від 25.12. 2009р. та Комплексна галузева методика «Типові розрахунки показників надійності систем газонафтопостачання» від 25.12.2009р.)

Особистий внесок здобувача. Вивчені особливості ремонту газоперекачувальних агрегатів, а також їх види. Доведено необхідність реконструкції та модернізації ГПА компресорних станцій [1].

Проведено аналіз технічного стану основного обладнання КС, витрати підприємства на їх утримання та розроблені рекомендації щодо подальшої їх експлуатації [2].

Вироблений механізм розв'язку задач дослідження надійності безперебійного газопостачання. Запропоновано методи дослідження і прогнозування надійності ГПА компресорних станцій, як одного із основних елементів газотранспортної системи [8].

Розглянувши основні показники надійності газотранспортної локальної системи, знайдено серед них визначальні, за допомогою яких можна давати оцінку надійності системи [3].

Провівши обробку статистичних даних і здійснивши математичне моделювання, визначено лінійні залежності кількості аварійних зупинок від напрацювання агрегатів КС [7].

Автором проведено оцінку основних показників надійності ГПА компресорних станцій газопроводу «Союз» і «Уренгой-Помари-Ужгород» та запропоновано методику визначення комплексного показника надійності - коефіцієнта готовності [8].

Розглянуто необхідність впровадження системи енергозбереження на підприємствах газотранспортної галузі. Обґрунтовано основні напрямки енергозберігаючої політики на різних рівнях управління [4].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на:

- міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи», 20-23 жовтня 2009 р., м.Івано-Франківськ;
- міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці, 16-20 квітня 2007, м.Івано-Франківськ;
- 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 «Оптимізація наукових досліджень – 2009», 17 червня, 2009 р. м.Миколаїв;
- всеукраїнській науково-практичній конференції «Передовий науково-практичний досвід – 2009», 17 вересня 2009 р. м.Миколаїв;
- 5-й Міжнародній навчально-науково-практичній конференції «Трубопровідний транспорт нафти і газу» м.Уфа, Росія

Публікації. За темою дисертації опубліковано в фахових журналах 6 статей, з них 1 одноосібно; 3 тези конференції.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 4-х розділів, загальних висновків, та додатків. Основний зміст дисертації

викладено на 189 стор. машинописного тексту, містить 47 табл., 23 рис. Перелік використаних джерел містить 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну, практичне значення та апробацію отриманих результатів.

В першому розділі наведена характеристика сучасного стану УМГ «Прикарпатттарнсагаз» - однієї із ланок газотранспортної системи України, яка підпорядкована ДК «Укртраснагаз».

Для детальнішого ознайомлення з підприємством та визначення ефективності виробничо-господарської діяльності УМГ «Прикарпаттраснагаз» протягом 2005-2008 р.р. проведено аналіз динаміки його основних техніко-економічних показників.

Далі в роботі зроблено огляд літератури з питань надійності. Як прикладна галузь знань, наука про надійність базується на фундаментальних математичних та природничих науках. В даний час вже накопичений достатній досвід для формулювання основних положень науки про надійність машин і визначення її місця серед інших галузей знань.

Питанням надійності експлуатації машин і ГПА зокрема присвячені праці багатьох українських та зарубіжних вчених. Серед них Сухарев М.Б., Ставровський Е.Р., Карасевич А.М., Грудз В.Я., Тимків Д.Ф., Ковалко М.П., Гораль Л.Т., Проніков А.С., Райншке К., Ушаков І.А., Кубарев І.А., Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М., Беляєв М.С., Гнеденко Б.В., Соловйов А.Д. та ін.

Надійність роботи системи газопостачання, її підсистем й об'єктів залежить від багатьох чинників, серед яких можна виділити такі:

- рівень надійності елементів устаткування, що входять до системи;
- рівень експлуатації й керування системою;
- склад елементів, що входять у систему і структура зв'язків між ними;
- обсяг і структура резервування.

Надійність і технологічні характеристики елементів цих систем (середній час міжремонтного напрацювання, середній час аварійних і планових ремонтів і час очікування ремонтів, продуктивність елементів) багато в чому залежать від якості устаткування й рівня експлуатації систем.

Визначено теоретичні основи надійності ГПА та описано задачі їх технічного діагностування. Для систем газопостачання можна прийняти класифікацію завдань в області дослідження надійності, що складаються з п'яти основних класів, а саме: концептуальних, інформаційних, функціональних, нормативних та оптимізаційних.

Проведено основні критерії надійності функціонування компресорної станції як локальної системи в єдиній структурі паливо-енергетичного господарства України. Розглянувши основні показники надійності

газотранспортної локальної системи, що є характерними для «джерела» і «споживача» продукції, знайдено серед них визначальні, за допомогою яких можна давати оцінку надійності системи. Так основною характеристикою можливості локальної системи як джерела виконання заданих функцій є потенційна продуктивність (або потужність) ω в певний період часу. «Споживач» характеризується значенням попиту (або плановою продуктивністю) v в той же період (потребою в газі, плановим завданням щодо закачування або відбору газу, необхідним обсягом транспортування газу). Величини ω та v змінні в часі і залежать від багатьох чинників.

Для визначення основних показників надійності, що є характерними для обох локальних систем, розглянуто спільну роботу «джерела» й «споживача». Відповідно до умови матеріального балансу, в будь-який момент часу потік від «споживача» до «джерела» дорівнює найменшій з величин продуктивності та потреби в продукції. Таким чином, $q = \min\{\omega, v\}$. Розглянута нами локальна системи є безумовною, оскільки характеризується, в основному, лише певним недопостачанням продукції порівняно з попитом, а не повною відмовою системи. Тому тут необхідно використати параметри надійності, що вказують на ступінь недопостачання продукції за час T , протягом якого $\omega < v$. Миттєве недопостачання визначається різницею цих величин $q_- = v - \omega$, а середнє за час T недопостачання залежністю

$$\bar{q}_- = \frac{1}{T} \int_0^T q_-(t) dt. \quad (1)$$

Необхідність оцінки середньої або інтегральної величини недопостачання газу споживачам під час дослідження надійності та резервів не викликає сумнівів, оскільки саме ця величина визначає глибину збитку від невиконання вимог контрактів щодо постачання продукції споживачам. Даний показник буде мати значний вплив і на обґрунтування оптимальних резервів системи, проте обсяг недопостачання газу в натуральному виразі не дає можливості порівнювати різні за продуктивністю системи. Тому ми пропонуємо використовувати для характеристики надійності магістрального транспортування відносне недопостачання газу за час T або *коефіцієнт недопостачання*

$$K_- = \frac{Q_-}{V} = \frac{\bar{q}_-}{v}, \quad (2)$$

де $Q_- = \bar{q}_- \cdot T$ – сумарне недопостачання за певний проміжок часу, для якого ведеться аналіз,

$V = \bar{v} \cdot T$ – сумарна потреба в природному газі за цей час.

Вважаємо, що зручно також використати поняття *коефіцієнта продуктивності локальної системи*

$$\pi = 1 - \frac{Q_-}{V} = 1 - \frac{\bar{q}_-}{v} = 1 - K_- = \frac{\omega}{v} \quad (3)$$

аналогічно прийнятому в енергетиці «індексу надійності».

Отже, на нашу думку, для повної оцінки надійності локальної газотранспортної системи варто використати коефіцієнт готовності і коефіцієнт продуктивності системи, а під час аналізу абсолютного збитку через ненадійність системи – також і обсяг недопостачання продукції (природного газу). У той же час при оцінці надійності окремих елементів локальної системи можна обмежитися лише одним з показників надійності – коефіцієнтом готовності.

Визначена ймовірність стану системи p_k , яка виражається через інтенсивності відмов і відновлення. Для систем тривалої дії процес достатньо повно описується параметрами p_k :

$$p_k = \frac{\theta_k}{\sum_{k=0}^N \theta_k}, \quad (4)$$

$$\text{де } \theta_k = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_k}; k \neq 0; \theta_0 = 1$$

Параметри процесу λ_k, μ_k подаються наступними формулами:

для навантаженого резерву (резервні елементи працюють)

$$\begin{aligned} \lambda_k &= (n + m - k) \lambda; \\ \mu_k &= \begin{cases} k \mu, & k \leq r \\ r \mu, & k > r \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

для ненавантаженого резерву (резервні елементи не працюють)

$$\lambda_k = \begin{cases} \lambda n, & \text{при } k \leq m \\ (n + m - k) \lambda, & \text{при } k > m \end{cases} \quad (6)$$

Щоб ця система мала розв'язок задаються ймовірністю початкових станів процесу $p_k(0)$.

Через знайдені ймовірності легко можна виразити всі параметри надійності системи. Характеристики надійності достатньо однорідні. Величини θ_k фактично залежать не від інтенсивності відмов λ і відновлення μ , а лиш від їх частки λ/μ . Звідси випливає, що як ймовірності p_k , так і характеристики надійності (коефіцієнт продуктивності, коефіцієнт готовності системи, якість ремонтного обслуговування, ремонтоздатність системи) не змінюються при одночасній пропорційній зміні значень λ і μ .

В другому розділі зроблено аналіз статистики відмов і початкових показників надійності агрегатів. Найчастішими причинами аварійних зупинок кожного ГПА та КС в цілому по УМГ «Прикарпаттрансгаз» є відмови або несправності КВП і АСУ (близько 50% для кожного ГПА), перебої живлення та відмови чи несправності вузлів і деталей. Тому планування відновлювальних заходів для ГПА та КС необхідно здійснювати з врахуванням цих чинників.

При аналізі статистичних даних і оцінці надійності об'єктів газопостачання варто вдаватися до комплексних показників надійності. Головний з них – коефіцієнт готовності, тобто ймовірність того, що пропускна здатність буде номінальною.

Запропонована методика розрахунку коефіцієнта готовності заснована на обліку сумарного часу вимушеного простою, що включає і час простою через відсутність запасних частин, не узгоджується з логічним визначенням цього показника. Час цих простоїв може складати до декількох сотень годин. Облік їх при усереднюванні показників спотворює дійсну картину визначення середніх величин. Цей час необхідно виключати із статистики, а показники надійності в цьому випадку необхідно розраховувати самостійно при меншому числі резервних ГПА, або цей час слід додавати до часу капітального ремонту. В результаті правильного обліку часу вимушеного простою характеристика інтенсивності відновлення і коефіцієнт готовності ГПА збільшаться.

Розрахована інтенсивність відмов ГПА є в межах від $1,8 \cdot 10^{-3}$ до $5,6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$, а інтенсивність відновлення - в межах від 0,02 до $0,28 \frac{1}{\text{год}}$. Ці

показники згідно із статистичними даними розподіляються між нагнітачами, приводами, контрольно-вимірювальними приладами і автоматикою.

Варто зауважити, що надійність компресорних станцій є досить високою. Це пояснюється, насамперед, великим значенням резерву через неповне завантаження потужностей КС, модернізацією агрегатів, проведенням заходів щодо поліпшення організації ремонту, зростаючим рівнем технічного обслуговування і культури експлуатації.

Для визначення рівня надійності агрегатів УМГ «Прикарпаттрансгаз», проведено аналіз балансу робочого часу ГПА з використанням формулярів роботи агрегатів кожної КС. Час знаходження ГПА у резерві зростає від 53% до 63%, що пояснюється особливістю технологічного процесу і режимами роботи ГТС, які регламентуються режимним відділом ОДУ ДК «Укртрансгаз». По КС УМГ спостерігається нерівномірність у використанні ГПА, що пояснюється використанням агрегатів різних типів та різних потужностей. Щодо часу знаходження ГПА у ремонті, то він коливається в межах $12\% \div 14\%$.

За допомогою методів екстраполяції для кількості аварійних зупинок сформовано такі моделі, як лінійна, логарифмічна, степенева, експоненціальна функція та поліном m -го ступеня.

Вибір виду функції, котра описує залежність кількості аварійних зупинок від напрацювання ГПА, здійснено емпірично. Аналіз проведено для ГПА КС-21 газопроводу «Союз» та КС-39 газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» (УПУ). Правильність побудови економетричної моделі перевірено засобами кореляційного аналізу: визначенням коефіцієнтів кореляції та детермінації. Найбільш адекватною із запропонованих моделей є лінійна функція з коефіцієнтами рівняння a та b . Коефіцієнт детермінації при її використанні $r^2 = 0,9671$. На рис.1 подано графічне зображення залежності кількості аварійних зупинок від напрацювання ГПА2 КС-21, а в табл.1 наведено математичні моделі всіх ГПА КС-21 та КС-39 магістральних газопроводів.

Кількість аварійних зупинок

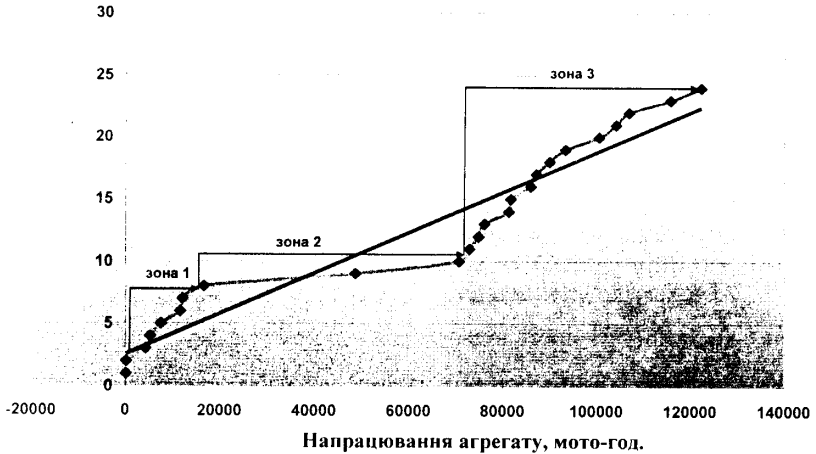


Рис. 1. Модель залежності кількості аварійних зупинок від напрацювання ГПА2 КС-21

Для всіх ГПА газопроводу «Союз» та «Уренгой-Помари-Ужгород» (УПУ) існує три зони фактичної частоти кількості аварійних зупинок. Майже для всіх ГПА в 1-й (0 ÷ 20000 мото-год.) та 3-й (80000 ÷ 120000 мото-год.) зоні щільність аварійних зупинок ГПА є дуже високою, що пояснюється відповідно: 1-а зона – новизною обладнання; відпрацюванням алгоритмів по системах запуску, контролю роботи, захисту, зупинок та ін.; налагодженням механічної частини (підшипники, насоси, редуктори та ін.); людським фактором; 3-а зона – значним терміном експлуатації; старінням обладнання; відсутністю оригінальних запасних частин; відсутністю елементної бази для систем автоматики і т.п

Таблиця 1

Моделі залежностей кількості аварійних зупинок від напрацювання ГПА на КС УМГ «Прикарпаттрансгаз»

Агрегат	a	b	$y(t) = ax + b$
КС газопроводу «Союз»			
ГПА 1(ГТК -10і)	0,0002	2,8471	$Y=0,0002x+2,8471$
ГПА 2(ГТК -10і)	0,0002	2,554	$Y=0,0002x+2,554$
ГПА 3(ГТК -10і)	0,0002	4,0774	$Y=0,0002x+4,0774$
ГПА 4(ГТК -10і)	0,0001	3,5232	$Y=0,0001x+3,5232$
ГПА 5(ГТК -10і)	0,0001	5,5836	$Y=0,0001x+5,5836$
ГПА 6(ГТК -10і)	0,0001	3,5283	$Y=0,0001x+3,5283$
ГПА 7(ГТК -10і)	0,0001	4,4395	$Y=0,0001x+4,4395$
КС газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород»			
ГПА 1(ГТК -25і)	0,0004	1,7678	$Y=0,0004x+1,7678$
ГПА 2(ГТК -25і)	0,0004	5,7593	$Y=0,0004x+5,7593$
ГПА 3(ГТК -25і)	0,0005	-0,7473	$Y=0,0005x-0,7473$

Процес старіння, що має місце при експлуатації традиційного обладнання компресорних станцій, зручно формулювати в термінах функції інтенсивності відмов. В простішому випадку, коли процеси старіння відсутні, має місце постійність інтенсивності відмов, що відповідає випадку експоненціального розподілу. В число параметричних сімейств розподілу часу безвідмовної роботи, у котрих інтенсивність відмов монотонно змінюється в часі (зростає або падає), входять розподіл Вейбулла, гамма-розподіл, усічений нормальний розподіл. В теорії надійності для опису часу безвідмовної роботи обладнання часто використовується розподіл Вейбулла-Гнєденко.

Частковими випадками розподілу Вейбулла є експоненціальний і релєвський розподіл. Для спрощення моделей використовувався експоненціальний закон розподілу. При цьому припускається, що необхідно перевірити статистичні дані про відмови ГПА на виконання експоненціального закону розподілу. Функція розподілу після нескладних перетворень має вигляд:

$$\ln \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] = \lambda t. \quad (7)$$

Якщо накопичені частоти відмов представити в логарифмічному масштабі, а по осі абсцис відкласти час між відмовами, то в результаті одержимо лінійну залежність. Для ілюстрації приведемо приклад. Перевірка закону розподілу безвідмовної роботи агрегату 2 типу ГТК-10і газопроводу «Союз», на відповідність експоненціальному закону дала позитивні результати. Прямі відповідності показані на рис.2.

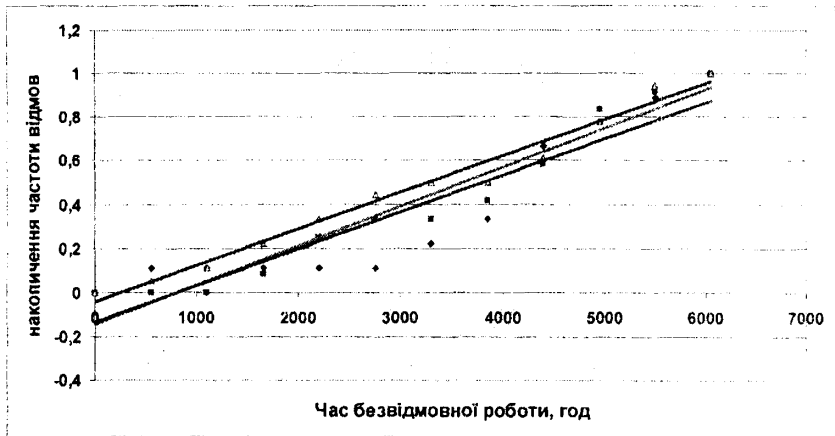


Рис.2. Визначення відповідності розподілу часу безвідмовної роботи ГПА2 експоненціальному закону за період 2000,2003 та 2006 років:

◆ 2000 ■ 2003 ▲ 2006 — лінійний (2006) — лінійний (2003) — лінійний (2000)

Проведено розрахунок надійності різних технологічних з'єднань ГПА на КС. Проаналізовано основні схеми з'єднання агрегатів, які використовуються при проектуванні КС, і виведено відповідні розрахункові формули. При цьому зроблено припущення, що параметри λ і μ є заданими для компресорних агрегатів. Відповідно до формул (5) та (6) розраховано фінальну ймовірність простої системи, для якої n елементів знаходяться в робочому стані і мають небезпеку відмови рівну λ ; m елементів знаходяться в резерві (з тією ж небезпекою відмов при навантаженому резерві). Кожен елемент, що відмовив, поступає на обслуговування. Ремонт проводять r ремонтних бригад, кожна з яких може ремонтувати тільки один елемент. Випадковий час ремонту елемента розподіляється за експоненціальним законом з параметром μ . Якщо $n=1, m=0, r=1$, тоді $\lambda_0 = \lambda; \mu_1 = \mu$, далі $\theta_0 = 1$;

$$\theta = \frac{\lambda}{\mu} \text{ і } p_0 = \frac{1}{1 + \lambda/\mu}, p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0$$

Аналіз показав, що в найближчій перспективі застосовуватиметься декілька основних схем з'єднання газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях. Основні з них показані на рис. 3.

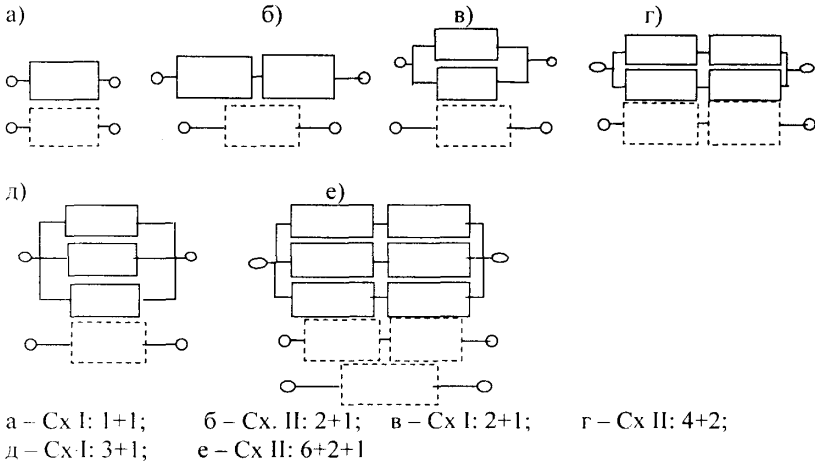


Рис. 3. Основні схеми з'єднання ГПА на одноцехових КС

У таблиці 2 приведені необхідні розрахункові співвідношення для визначення коефіцієнта продуктивності, ймовірності станів і інших допоміжних величин для ряду технологічних схем, поданих на рисунку 3.

Тут відношення інтенсивності і відновлення представлено через $\nu = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{T_a}{T_p}$ (число відмов за час відновлення). Числові значення ν агрегатів деяких типів

за даними статистики наступні: ГТК-10-2 $\nu = 0,003$; ГТК-10-4 $\nu = 0,0227$; ГТН-16 $\nu = 0,09289$; ГТНР-10 $\nu = 0,0593$; ГТК-25i $\nu = 0,02145$; ГТК-10i $\nu = 0,0764$.

Розглянуто питання способу оцінки надійності діючих БЦКС. Для такого типу КС характерна неуніверсальна схема з'єднання агрегатів, тобто така схема, в якій не передбачено підключення якого-небудь ГПА замість будь-якого іншого.

Таблиця 2

Основні формули для розрахунку показників надійності КС з різними схемами з'єднання ГПА

Схема КС	Коефіцієнт продуктивності, виражений через ймовірності, $\pi_{кс}$	Відносна продуктивність β	Коефіцієнт продуктивності $\pi_{кс}$, виражений через початкові показники надійності, $\nu = \frac{\lambda}{\mu}$	Коефіцієнт повної готовності $R_{КС}$
СХ I: 1+0	p_0	—	$\frac{1}{1+\nu}$	p_0
СХ I: 1+1	$p_0 + p_1$	—	$\frac{1}{1+\nu+\nu^2}$	$p_0 + p_1$
СХ I: 2+1	$p_0 + p_1$	—	$\frac{1+2\nu}{1+2\nu+4\nu^2+4\nu^3}$	$p_0 + p_1$
СХ II: 2+1	$p_0 + p_1$	—	$\frac{1+2\nu}{1+2\nu+4\nu^2+4\nu^3}$	$p_0 + p_1$
СХ II: 4+0	$p_0 + \beta_1(p_1 + p_2)$	0,5	$\frac{1+2\nu+6\nu^2}{1+4\nu+12\nu^2+24\nu^3}$	p_0
СХ II: 4+2	$p_0 + p_1 + p_2 + \beta_2(p_3 + p_4)$	0,5	$\frac{1+4\nu+16\nu^2+32\nu^3}{1+4\nu+16\nu^2+64\nu^3}$	$p_0 + p_1 + p_2$
СХ I: 3+1	$p_0 + p_1 + \beta_2 p_2 + \beta_3 p_3$	$\frac{2}{3},$ $\frac{1}{3}$	$\frac{1+3\nu+6\nu^2+6\nu^3}{1+3\nu+9\nu^2+18\nu^3+18\nu^4}$	$p_0 + p_1$
СХ II: 6+3	$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + \beta_4(p_3 + p_4) + \beta_5(p_6 + p_7)$	$\frac{2}{3},$ $\frac{1}{3}$	$\frac{1+6\nu+36\nu^2+216\nu^3+864\nu^4}{1+6\nu+36\nu^2+216\nu^3+1296\nu^4+6480\nu^5}$	$p_0 + p_1 + p_2 + p_3$

Оскільки цехи на багатоцехових КС, як правило, працюють паралельно, сума коефіцієнтів відносних продуктивностей цехів α при справному стані цехів рівна одиниці. Даний коефіцієнт для однієї групи послідовно сполучених ГПА рівний $\frac{1}{n}$ (за умови, що всі ГПА на КС однотипні), де n – кількість паралельних груп ГПА у всіх цехах КС. Для знаходження ймовірності відповідних станів багатоцехових КС треба

перебрати всі можливі варіанти станів цехів, отримуючи ймовірність станів КС перемножуванням ймовірності станів цехів (рис.4).

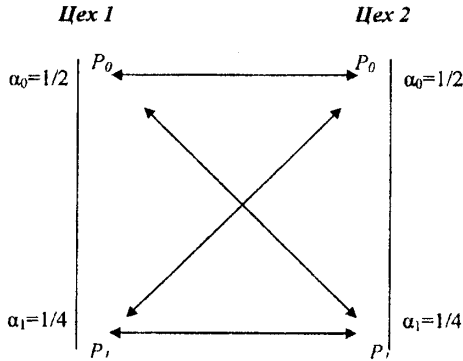


Рис. 4. Схема станів двоцехової КС

У тому випадку, коли в цеху з чотирьох робочих ГПА тільки один резервний, вказану вище ймовірність обчислюють поелементно, а потім їх групують. Коефіцієнт продуктивності двоцехової КС визначається за формулою

$$\pi = 2p_0^2\alpha_0 + p_0p_1(\alpha_0 + \alpha_1) + 2p_1^2\alpha_1, \quad (8)$$

де p_0 – сумарна ймовірність безвідмовної роботи КС коли не виходить з ладу жодна з паралельних груп агрегатів чи коли одна група агрегатів несправна і замінюється резервною; p_1 – ймовірність, коли дві групи агрегатів в цеху несправні; α_i – коефіцієнт відносних продуктивностей цехів.

Окрім того, здійснено обґрунтування вимог до надійності ГПА великої одиначної потужності. Обробка статистики відмов по ГПА пока зала, що розподіл часу безвідмовної роботи і відновлення підкоряються експоненціальному закону. Цієї умови достатньо для застосування теорії про прості потоки відмов. Згідно з даною теорією, основним параметром оцінки надійності вважається коефіцієнт готовності, що є ймовірністю часу безвідмовної роботи елемента або системи. Для КС з різними структурними схемами коефіцієнт готовності також матиме різне значення.

В роботі наведено приклади розрахунку коефіцієнта готовності КС при певних значеннях часу безвідмовної роботи газоперекачувальних агрегатів T_p і часу відновлення T_r при схемі підключення ГПА в дві групи (по дві машини послідовно) і різному числі резервних агрегатів. З даних розрахунків визначено, що коефіцієнт готовності тим нижчий, чим більший час відновлення, і тим вищий, чим більше число резервних машин і час безвідмовної роботи кожного агрегату.

В третьому розділі проведено аналіз організації системи ремонтно-відновлювальних робіт ГПА та визначено резерви підвищення надійності агрегатів.

Під час довготривалого багатofакторного виробничого експерименту зібрано статистичні дані щодо технічного стану всіх типів ГПА УМГ «Прикарпаттрансгаз», їх рівня напруцювання, причин відмов та витрат на ремонтні роботи, величина яких залежить від конструктивних особливостей агрегатів, умов їх експлуатації, складності конструкції, типу приводу та інших характеристик. Це дозволило провести якісне дослідження структури ремонтного циклу ГПА, що знаходяться в умовах КС УМГ «Прикарпаттрансгаз».

В структурі ремонтного циклу кожного ГПА спостерігаються відхилення між нормативним і фактичним періодами проведення середніх і капітальних ремонтів. Це свідчить про збільшену необхідність та частоту проведення ремонтів, викликану зношенням основних вузлів ГПА. При цьому висока частота ремонтів сприяє уникненню аварійних зупинок. При напруцюванні близькому до 100000 мото-год. на всі ГПА КС-21 продовжено моторесурс і тому ремонтний цикл фактичний і теоретичний знов практично збігаються, але збільшується частота аварійних зупинок. Нами визначені основні причини аварій та розрахована частота відмов ГПА. Проведення ремонтів за фактичним технічним станом ГПА дозволило б зменшити кількість аварійних ситуацій та підвищити надійність агрегатів і компресорних станцій.

Розглянуто питання впливу якості та своєчасності проведення ремонтних робіт на показники надійності газопостачання. Як було відмічено, складність застосування марківських моделей, які ми широко використовуємо, полягає в тому, що тривалість планового ремонту не носить випадкового характеру. Проте система ППР, як би вона добре не була організована, на практиці відхиляється від графіка через деякі непередбачені обставини. Ми пропонуємо використовувати статистичне моделювання, як найбільш універсальний метод, вживаний для побудови змішаних, тобто детерміновано-імовірнісних моделей оцінки надійності. Його цінність полягає ще і в тому, що можуть бути розглянуті і вирішені багато завдань надійності в рамках єдиного математичного методу.

Профілактичне ремонтне обслуговування, здійснюване згідно ремонтного циклу, що включає поточний, середній і капітальний ремонт, виконується відповідно до детермінованого міжремонтного періоду τ^* , згідно якому через n_1 поточних ремонтів проводиться середній і через n_2 середніх - капітальний. У організації ремонтно-відновлювальної системи можна знайти елементи оптимізації, що полягають в порівнянні витрат на резервування засобів для проведення РВР і можливого збитку в газотранспортних системах через невчасне проведення аварійного ремонту.

Розраховано коефіцієнт готовності компресорних цехів та визначено обсяги недопостачання природного газу споживачам при різних схемах підключення ГПА, різних тривалостях проведення аварійних ремонтів та різних типах ГПА. Наприклад, при використанні схеми II - 3+0 (для ГТК-25i), в разі аварійної поломки тривалістю (середньостатистичною) 2 год,

будемо мати недовідпуск газу обсягом 3558,3 тис.м³. При схемі II – 5+0 (для ГТК-10i) при тривалості аварійного ремонту 2 год для 1-го ГПА, будемо мати недовідпуск природного газу в кількості 1500 тис.м³. Сумарний недовідпуск газу по КС становитиме 5058,3 тис.м³/добу. Із врахуванням часу на капітальний ремонт, матимемо 151,7 млн.м³/рік.

Таким чином, ремонтні і відновні роботи, їх правильна організація роблять істотний вплив на підвищення надійності компресорного устаткування, лінійної частини газопроводів і взагалі Єдиної системи газопостачання в цілому.

В четвертому розділі на основі розгляду кошторису витрат на ремонтні роботи, проведено аналіз витрат на ремонти ГПА. Встановлено, що найбільша частка витрат припадає на підготовчо-заклучні роботи. Розглянуто характерні статті витрат на ремонти ГПА різних типів. Проведено їх порівняльну характеристику. Виявлено, що найменшими є витрати на капітальний і середній ремонт ГПА типу STD-4000 і найбільшими на ГПА типу ГТК-25i, що обумовлено конструктивними особливостями.

Маючи статистичні дані високого рівня інформативності, визначено структуру вартості ремонтних робіт та проведено їх прогнозування на наступний рік для всіх типів ГПА, що експлуатуються УМГ «Прикарпаттрансгаз» за логарифмічними залежностями, які найбільш адекватно описують фактичні дані (з врахуванням збільшуючого інфляційного коефіцієнта).

Проведено факторний і кореляційно регресійний аналіз впливу вибраних чинників на собівартість транспортування 1000 м³ природного газу та обсягу його транспортування. Логічний аналіз особливостей галузі, який включає використання техніки, технології, засобів праці, людських ресурсів, а також врахування того, що між функцією і незалежними змінними не повинно існувати функціональної залежності, дозволив підібрати наступні показники для введення в модель

X1 – встановлена потужність КС;

X2 – напрацювання КС;

X3 – частка знаходження ГПА в ППР в загальному часі роботи;

X4 – частка вартості ремонтів ГПА в загальній вартості ремонтів;

X5 – частка вартості використаних запчастин в загальній вартості ремонтів,

X6 – загальна вартість капітальних ремонтів.

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$Y_1 = -116,24 - 0,34 \cdot X_1 + 0,0003 \cdot X_2 - 0,32 \cdot X_3, \quad (11)$$

$$Y_2 = -31260430,76 + 156281,5 \cdot X_1 - 291399,41 \cdot X_3 + 607,55 \cdot X_6, \quad (12),$$

де Y_1 – собівартість транспортування 1000 м³ природного газу, Y_2 – обсяг його транспортування.

Коефіцієнт множинної кореляції рівний відповідно для функцій Y_1 та Y_2 0,755 та 0,8474 вказує на сильний кореляційний зв'язок досліджуваної функції і незалежних змінних, які увійшли в рівняння, а коефіцієнт

детермінації рівний відповідно 0,57 та 0,718 вказує на те, що зміна Y_1 на 57 % обумовлена зміною цих показників, а зміна Y_2 – на 71,8%. Невелике відхилення між ним і нормованим коефіцієнтом детермінації говорить про те що фактори та кількість спостережень було підбрано вірно.

Проведення дисперсійного аналізу або перевірка параметрів рівняння на значимість з використанням критерію Фішера показала, що дана модель адекватна і її можна використовувати для подальшого аналізу. Побудована кореляційно-регресійна модель відповідає основним статистичним вимогам істотності, адекватності та стійкості розв'язку, про що свідчать відповідно розраховані в програмному забезпеченні Excel коефіцієнти множинної кореляції та детермінації, F-критерію Фішера, отриманих значень довірчих інтервалів для коефіцієнтів рівняння.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного статистичного аналізу експлуатації газоперекачувальних агрегатів в умовах компресорних станцій УМГ «Прикарпаттрансгаз», встановлено значення показників надійності для компресорних станцій магістральних газопроводів «Союз» та «Уренгой-Помари-Ужгород» та всіх ГПА типу ГТК-10і та ГТК-25і. Основним критерієм надійності газопостачання вибрано коефіцієнт готовності системи, значення якого для даних КС становить відповідно 0,9965 та 0,9775. Проведено математичне моделювання впливу технічного стану ГПА на показники надійності. Шляхом перевірки відповідності статистичних даних про відмови ГПА теоретичним законам, встановлено, що ймовірність часу безвідмовної роботи та відновлення ГПА змінюється за експоненціальним законом.
2. Дослідження показників надійності і законів розподілу продуктивності для одно- і багатоцехових КС проведено за допомогою комп'ютерної програми, завдяки якій розраховано обсяг транспортування газу КС при різних схемах підключення агрегатів і різних початкових станах. Дана оцінка показників надійності ГПА великої одиничної потужності, що експлуатуються в різних умовах обслуговування. Доведено, що багатоагрегатна КС з невеликим відсотком резервування є більш надійною, тобто краще пристосованою для виконання планової продуктивності, ніж КС з малою кількістю ГПА великої потужності.
3. Проведено аналіз експлуатаційних характеристик газоперекачувальних агрегатів та встановлені причини відхилення фактичних ремонтних циклів від нормативних. Такими причинами, зокрема, є відмови пов'язані з КВПіА, перерви в електропостачанні та механічні поломки деталей і вузлів. Підтверджено, що проведення ремонтів ГПА за реальним технічним станом підвищить їх надійність та надійність ГТС загалом.
4. Оцінено вплив організаційно-технічних заходів та характеристик на економічні показники діяльності підприємства. Шляхом економіко-математичного аналізу визначено, що на рівень собівартості

транспортування природного газу істотний вплив мають такі характеристики надійності, як середнє значення встановленої потужності КС, наробіток КС, частка знаходження ГПА в ППР. Ці ж характеристики мають значний вплив і на обсяг транспортування природного газу.

5. Дослідно-промислова апробація проведення ремонтних робіт за фактичним технічним станом ГПА, проведена в Богородчанському ВУПЗГ для ГПА типу МК-8, показала високу ефективність і дозволила здійснити безаварійне закачування природного газу в ПСГ протягом всього встановленого терміну.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Гораль Л.Т. Ремонт, модернізація та реконструкція компресорних станцій як запорука стабільної роботи ГТС України / Л.Т.Гораль, М.Д.Степ'юк, Я.Р.Порада // Нафтова і газова промисловість. – 2008. - №4. – С.52-54.
2. Гораль Л.Т. Обґрунтування доцільності утримання об'єктів вітчизняної газотранспортної системи в сучасних умовах /Л.Т.Гораль, М.О.Данилюк, І.М.Метошоп, М.Д.Степ'юк// Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. - №2(18). – С.144-149.
3. Степ'юк М.Д. Критерії надійності функціонування локальної системи / М.Д.Степ'юк// Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. - №1(19). – С.114-117.
4. Степ'юк М.Д. Проблеми енергозбереження газотранспортних підприємств в умовах кризи /М.Д.Степ'юк, Л.Т. Гораль, В.І.Мілевська // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. - №3(21). – С.136-140
5. Степ'юк М.Д. Прогнозування надійності ГПА – основа безперебійного газопостачання /М.Д.Степ'юк, Л.Т.Гораль // Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський шоквартальний науково-технічний журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. - №4 (9). – С.27-31
6. Е.Д.Кузьменко. Моніторинг зсувних процесів на трасах газопроводів /Е.Д.Кузьменко, О.М.Журавель, В.П.Рудко, М.Д. Степ'юк// Нафтова і газова промисловість. – 2009. - №3. – С.55-57

У інших виданнях:

7. Степ'юк М.Д. Моделювання залежності кількості аварійних зупинок від напрацювання ГПА в умовах КС / М.Д.Степ'юк// Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Передовий науково-практичний досвід – 2009»: Миколаїв, НУК.– С.159-164
8. Степ'юк М.Д. Основні показники експлуатаційної надійності ГПА/ М.Д.Степ'юк// Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Оптимізація наукових досліджень – 2009»: Миколаїв, НУК.– С.228-230

9. Запухляк В.Б. Методи безвогневого врізання в діючі трубопроводи / В.Б.Запухляк, Т.П.Шиян, М.Д.Степ'юк // Анотації міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи»: Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. – С.134
10. Пат. 79417С2 Україна. МПК(2006). F16L55/18. Спосіб ремонту протяжної лінійної ділянки діючого трубопроводу / Бут В.С., Лохман І.В., Дрогомирецький М.М., Рудко В.П., Ковалів Є.О., Степ'юк М.Д., заявник і патентовласник ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України». Бюл. №8, 2007р.
11. Пат. 31337 Україна. МПК (1998) АВ01Д53/18 Україна. Пристрій для рівномірного розподілу газу в горизонтальному абсорбері / Козак Ф.В., Дем'янчук Я.М., Розгонюк В.В., Ковалів Є.О., Слободян В.І., Степ'юк М.Д. Заявник і патентовласник ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України». Бюл. №7-ІІ, 2000 р.
12. Пат. Україна. МПК (2008) В23К31/10 Спосіб ремонту корозійних дефектів, розміщених поблизу зварного шва та на зварному шві трубопроводу./ Бут В.С., Лохман І.В., Дрогомирецький М.М., Рудко В.П., Ковалів Є.О., Степ'юк М.Д. Заявник і патентовласник ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України». Бюл. №4, 2009 р.

АНОТАЦІЯ

Степ'юк М.Д. Удосконалення методів обслуговування обладнання компресорних станцій для підвищення експлуатаційної надійності. – 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.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методів обслуговування обладнання компресорних станцій магістральних газопроводів для підвищення його експлуатаційної надійності.

Встановлено технічні та експлуатаційні характеристики системи, якими визначається характер обслуговування газоперекачувальних агрегатів; створено математичну модель впливу технічного стану ГПА на показники надійності газопостачання та отримано розрахункові залежності і алгоритм застосування моделі; отримано залежність впливу організаційно-технічних чинників організації ремонтів ГПА на економічні показники діяльності підприємства; проведено дослідження показників надійності і законів розподілу продуктивності для реальних одно- і багатощохвних КС.

Ключові слова: газоперекачувальні агрегати, експлуатаційна надійність, обслуговування, система планово-попереджувальних ремонтів

АННОТАЦИЯ

Степьюк М.Д. Усовершенствование методов обслуживания оборудования компрессорных станций для повышения эксплуатационной надёжности. – рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2010.

Диссертационная работа посвящается усовершенствованию методов обслуживания оборудования компрессорных станций магистральных газопроводов для повышения его эксплуатационной надёжности.

Установлено технические и эксплуатационные характеристики системы, которыми определяется характер обслуживания газоперекачивающих агрегатов; создана математическая модель влияния технического состояния ГПА на показатели надёжности газоснабжения и получены расчётные зависимости и алгоритм применения модели; получена зависимость влияния организационно-технических факторов организации ремонтов ГПА на экономические показатели деятельности предприятия; проведено исследование показателей надёжности и законов распределения производительности для фактических одно- и многоцеховых КС.

Ключевые слова: газоперекачивающие агрегаты, эксплуатационная надёжность, обслуживание, система планово-предупредительных ремонтов.

SUMMARY

Stepyuk M.D. Improvement of maintenance methods of compressor station equipment for the increase of in-service reliability. – Manuscript.

Thesis on gaining of scientific degree of the candidate of technical sciences according to the major 05.15.13 – Pipeline transportation, oil reservoirs and gas holders – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2010

The thesis is devoted to the improvement of maintenance methods of compressor station equipment for enhancement of in-service reliability in the compressor stations of trunk (main) gas pipelines.

The maintenance analysis of gas-compressor units (GCU) conducted at BC “Ukrtransgas” permits to determine the structure of repair actions, typical for the above-mentioned enterprise and find main criteria of selecting gas-compressor units for repair. Such criteria are failure frequency and rate. They characterize designate the necessity of GCU selection for the repair according to technical state. Due to the analysis of statistical data the reasons have been revealed of forced stops of gas-compressor units at compressor stations of the Department of Main Gas Pipelines “Prykarpattransgas”. For all gas-compressor units and compressor stations of main gas pipelines “Soyuz” and “Urengoy-Pomary-Uzhgorod” there have been calculated the indices of in-service reliabilities and determined their availability factor. Balance analysis of operating time for GCU as well as mathematical modeling of dependences of the number of GCU emergency

stops on the units' operating time have been conducted to determine the reliability level of units at the DMGP "Prykarpattransgas" and forecast the indices of their technical state. Besides, it has been found that these dependencies are adequately described by linear functions.

To predict the duration of GCU no-failure operation, verification of probability distribution laws have been conducted for GCU no-failure operation time and resumption on their correspondence to the theoretical laws. On the basis of statistical sample of GCU exploitation at the compressor stations of DMGP "Prykarpattransgas", such probability distribution has been identified as exponential. The methodology has been developed to evaluate reliability of compressor stations situated in the same shed but having different connection diagrams of units. The work also covers calculation results of productivity factor expressed through initial reliability indices. With the application of Monte-Carlo method there was carried out the reliability modeling of compressor stations situated in various sheds and received probability distribution laws of efficiency. For GCU with high unit capacity the laws have been defined for time distribution of no-failure operation and resumption. The assessment was given to the reliability of different diagrams of compressor stations at identical failure and resumption rates for GCU with high and low unit capacity. The reserves were defined to increase the quality of GCU resumption and reliability. In the work there has been determined that operational conditions of units and improvement of their repairability have great influence on the GCU reliability.

Main reasons of random and degradation GCU failures were ascertained on the basis of statistic data analysis of GCU exploitation forms. Units' failures appear frequently due to failure or malfunction of gaging devices and equipment, failure or malfunction of nodes and parts, electrical power interruption. The repair cycle structure of each units exploited at compressor stations of DMGP "Prykarpattransgas" has been analyzed and its comparison with regulatory values has been done.

The main reasons of deviations between theoretical and actual GCU repair cycle were shown. Statistical modeling of preventive maintenance of compressor stations has been considered as the most omnibus technique used for construction of mixed (e.g. deterministic - probabilistic) models of reliability assessment. The influence of GCU general overhaul on reliability of gas supply has been analyzed.

The structure of repair costs was defined. Taking into account the increasing inflation rate there has been conducted the forecast of repair cost for the next year for all types of GCU being currently exploited at DMGP "Prykarpattransgas" according to the logarithmic dependences that give the most adequate description of actual data. Factor and correlation-regression analysis of the impact of the repair logistical factors on cost price of natural gas transportation and its transportation rate has been fulfilled. The factors have been defined that have the greatest impact on the given engineering-and-economical performance.

Keywords: gas compressor units, operational reliability, maintenance, system of preventive maintenance.