

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ БОГОРОДЧАНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ «СОЮЗ»

М.Я. Дволітка

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 050 5646717,
email: mykhailo.dvolitka@gmail.com

Розглядаються питання дослідження технічного стану компресорної станції магістрального газопроводу методами статистичного моделювання. Проведено розрахунок показників надійності компресорної станції в розрізі цехів і термінів експлуатації, одержано числові характеристики та виконано їх аналіз. Встановлено, що впровадження відновлювальних заходів на КС -21 починаючи з 2004 року сприяло зростанню і підтриманню коефіцієнту надійності і готовності на належному рівні.

Ключові слова: компресорна станція, статистичне моделювання, коефіцієнт надійності

Рассматриваются вопросы исследования технического состояния компрессорной станции магистрального газопровода методами статистического моделирования. Проведен расчет показателей надежности компрессорной станции в разрезе цехов и сроков эксплуатации, получены числовые характеристики и выполнен их анализ. Установлено, что впровадження восстановительных мероприятий на КС -21 начиная с 2004 года способствовало росту и поддержанию коэффициента надежности и готовности на должном уровне.

Ключевые слова: компрессорная станция, статистическое моделирование, коэффициент надежности

The article deals with the study of the technical condition of GCS of the gas-main pipeline by means of the statistical modelling. The calculation of the reliability parameters of the compressor station in the context of units and working service has been carried out. The numerical characteristics have been obtained and their analysis has been conducted. It has been established that the introduction of rehabilitation measures at the KS-21 since 2004 has contributed to the growth and maintenance of the reliability and availability factors at an adequate level.

Keywords: compressor station, statistical modelling, reliability factor.

Вступ

Сьогодні прогнозування набуло широкого застосування. На його основі встановлюють необхідні умови для оптимізації керування процесом обслуговування газоперекачувальних агрегатів, безвідмовної експлуатації станцій і газопроводу загалом. Для оцінки надійності роботи ГПА як елемента КС і станції як системи використовується ряд загальноприйнятих показників, визначальними серед яких слід визнати коефіцієнт готовності і коефіцієнт надійності. Існує ряд методик для визначення цих показників на основі аналізу фактичної інформації про технічний стан системи, яка базується на характеристичі відмов обладнання. Розрахунок будь-яких показників, що характеризують стан об'єкта в майбутньому, ґрунтується на результатах прогнозування. Тому важливим аспектом оцінки технічного стану обладнання компресорних станцій є узагальнення показників надійності протягом певного часу.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Наукові основи дослідження надійності і прогнозування технічного стану машин закладено в працях Міхліна В.М. [2], Мозгалевського А.В. [3], Ставровського Е.Р. і Сухарева М.Г. [4], де розглядаються системи, пов'язані з складними технічними системами. Об'єкти і специфіка трубопровідного транспортування мають певні особливості щодо зміни технічного стану системи.

В працях Сухарева М.Г. і Ставровського Е.Р. наведено методи розрахунку основних показників надійності і оцінки їх часового тренду. Міхліним В.М. закладено основи теорії прогнозування стану об'єктів – прогностики – науки, що вивчає поведінку прогнозованих систем залежно від зміни прогнозуючих параметрів. Основна задача прогнозування полягає в передбаченні поведінки системи-функції за відомої поведінки системи-аргумента у визначений час чи у визначеній ситуації. Загалом процес прогнозування стану пропонується розбивати на цикли, цикли – на етапи.

У галузі трубопровідного транспорту визначальними роботами вважаються праці Бородавкіна П.П. [5], Паршакова Б.П. [6]. Однак розширення діапазону знань у даній галузі з плином часу експлуатації вимагає доопрацювання і конкретизації задач прогнозування технічного стану трубопроводів і обладнання компресорних станцій.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується дана стаття

У зв'язку зі старінням об'єктів систем транспортування газу на значні відстані велике значення надається питанням прогнозування ресурсу газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на компресорних станціях (КС), газопроводів і показників надійності їх експлуатації. Основною метою розрахунків є оцінка впливу оптимізації обслуговування обладнання з урахуван-

ням їх технічного стану на коефіцієнт готовності та коефіцієнт надійності ГПА.

Формулювання цілей статті

Завданням дослідження є оцінювання технічного стану газоперекачувальних агрегатів в умовах компресорних станцій магістральних газопроводів протягом заданого періоду часу і розроблення методів прогнозування експлуатаційної надійності газоперекачувального агрегата.

Виклад основного матеріалу

Газопровід є складною технічною системою з відновлювальними і резервованими елементами, яку можна умовно представити у вигляді ланцюга послідовно з'єднаних ланок — компресорних станцій і лінійних ділянок.

Надійність газотранспортної системи (ГТС) значною мірою визначається надійністю компресорних станцій, зокрема газоперекачуючих агрегатів. Врахування надійності діючої газотранспортної системи під час проектування і експлуатації газопровідних систем полягає в такому:

- оцінити можливі втрати пропускної здатності через відмови обладнання;
- обґрунтувати ефективність заходів з метою підвищення надійності.

Основною метою розрахунків є оцінка впливу надійності обладнання на пропускну здатність газопроводу.

Починаючи з 2004 року, в рамках газотранспортної системи зокрема МГ «СОЮЗ» був розроблений і послідовно упроваджений комплекс заходів щодо підвищення надійності і роботи. У даній статті ставиться завдання — оцінити ефективність упроваджених заходів щодо збільшення надійності компресорних цехів з газоперекачуючими агрегатами ГТК-10-1 магістрального газопроводу «СОЮЗ». Для цього проведені розрахунки двох основних показників надійності — коефіцієнта надійності (K_n) і коефіцієнта готовності (K_r) компресорного цеху за період з 2000 по 2010 роки із застосуванням методів теорії ймовірності системного аналізу.

Поділ ланки на елементи є умовним і визначається метою розрахунку і інформацією про надійність обладнання. Зазвичай елементами КС вважають газоперекачуючі агрегати (ГПА).

Надійність ГПА є його здатність виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах впродовж часу, що розглядається. Відмовою ГПА називається порушення його роботоздатності. При відмові ГПА виключається з робочого процесу і надходить в сферу обслуговування для відновлювального ремонту.

В кожний момент часу він може перебувати в одному з положень:

- в робочому;
- в аварійному (вимушеному) простої;
- у простої для проведення ППР;
- у ненавантаженому резерві.

Баланс часу перебування ГПА в різних станах виражається формулою:

$$T_k = T_p + T_{вн} + T_{пр} + T_{рез}, \quad (1)$$

де T_k — календарний час;

T_p — середнє напрацювання між двома відмовами;

$T_{вн}$ — середній час відновлення;

$T_{пр}$ — середній час планового ремонту;

$T_{рез}$ — час простою в резерві.

Вважається, що відмова ГПА може виникнути лише у тому випадку, якщо він перебуває в робочому стані. ГПА надходять в ППР тільки за наявності резервних агрегатів.

Відновленням називають процес виявлення і ліквідації відмов ГПА з метою відновлення їх роботоздатності.

Стан газоперекачуючих агрегатів компресорної станції визначає пропускну здатність всієї КС на даний момент часу.

Пропускна здатність КС визначається як максимальна кількість газу, яка може бути поставленою споживачу за одиницю часу при даному стані ГПА у встановленому режимі при дотриманні умов щодо якості підготовки газу і тиском, який отримують споживачі за умови гарантованої подачі газу в газопровід у необхідній кількості.

Зміна стану ГПА є випадковою подією, тому пропускна здатність КС як функція його стану може бути представлена як випадкова величина з кінцевим рядом значень.

$$q = q_0, q_1, \dots, q_n, \quad (2)$$

для її опису можна побудувати ряд розподілів

$$\begin{aligned} q_0 q_1 \dots q_n; \\ \pi_0 \pi_1 \dots \pi_n; \end{aligned} \quad (3)$$

$$q_0 > q_1 > \dots > q_n. \quad (4)$$

При цьому q_0 — пропускна здатність КС зі всіма діючими ГПА. Її називають номінальною.

Середня пропускна здатність за період часу T може бути обчислена за формулою

$$\pi_0 \cdot q_0 + \pi_1 \cdot q_1 + \dots + \pi_n \cdot q_n. \quad (5)$$

Коефіцієнт надійності КС є відношенням середньої пропускної здатності до номінальної

$$K_n = \frac{q}{q_0}. \quad (6)$$

Вірогідність того π_0 , що КС володіє номінальною пропускну здатністю, називається коефіцієнтом готовності компресорної станції.

Алгоритм розрахунку показників надійності покажемо на прикладі компресорного цеху КС-21 «СОЮЗ», на якому встановлено $m = 7$ агрегатів типу ГТК-10-1, з яких при номінальній схемі роботи $m_1 = 5$ знаходиться під навантаженням, і $m_2 = 2$ в ненавантаженому резерві. Схема обв'язки КЦ допускає заміну будь-якого агрегату, що відмовив, будь-яким резервним. В кожен момент часу в ППР перебуває не більше одного агрегату. Відключення

в ППР допускається лише у випадку, коли всі агрегати справні. Розрахунки ведемо для 2000 року, коли термін експлуатації обладнання становив 15 років. Основні показники надійності, що служать вхідними даними для розрахунків, подані в таблиці 1

Таблиця 1 – Показники надійності експлуатації КС Богородчани

№	Показник	2000 р.
1	Напрацювання на відмову, год.	1171
2	Середній час відновлення, год.	950
3	Міжремонтний ресурс, год.	41
4	Середня тривалість ППР, год.	820

Інтенсивність відмови елемента визначається за часом напрацювання на одну відмову

$$\omega = T_p - 1, \quad (7)$$

при $T_p = 1171$ год, $\omega = 0,00085$ год⁻¹.

Інтенсивність виходу на профілактичний ремонт визначається за міжремонтним ресурсом

$$\omega_{np} = T_{np} - 1, \quad (8)$$

при $T_{np} = 950$ год, $\omega_{np} = 0,000105$ год⁻¹.

Інтенсивність відновлення визначається за середнім часом відновлення

$$\mu = T_{en} - 1, \quad (9)$$

при $T_{en} = 41$ год, $\mu = 0,021$ год⁻¹.

Інтенсивність виходу з ППР визначається за середньою тривалістю ППР

$$\mu_{np} = T_{np} - 1, \quad (10)$$

при $T_{np} = 820$ год, $\mu_{np} = 0,00122$ год⁻¹.

Стан ланки визначається переліком діючих і пошкоджених елементів і їх положень. В кожний момент часу ланка може перебувати в одному з кінцевого числа станів. Ці стани нумеруються, причому нумерація залежить від схеми технологічних зв'язків між елементами. При розрахунку можна не розрізняти такі стани ланок, які допускають однакові схеми функціонування системи.

На КС -21 всі цехи з паралельною схемою обв'язки агрегатів, при цьому важливо, скільки агрегатів відмовили, але байдуже, які саме. Стани, що призводять до однієї і тієї ж схеми функціонування системи, об'єднуються в групи, яким привласнюємо номери 0,1,2..., причому номеру 0 відповідають всі ті стани, в яких ланка може функціонувати за номінальною схемою.

Спочатку складаємо графік переходів, в якому станом i відповідає вершина i , а переходу з стану i в стан j – спрямована дуга (i, j) . Далі визначаємо інтенсивності ω_j переходів системи з кожного стану i в суміжні стани j . Інтенсивність переходів вважаємо постійною.

Далі за допомогою побудованого графіка переходів складаємо систему з 16 рівнянь відносно невідомих ймовірностей π_i ($i = 0, 1, \dots, m$)

перебування ланки у відповідних станах в стаціонарному процесі (15 вершин графа плюс рівняння суми ймовірностей всіх станів =1):

У рівняннях першу суму беремо по всіх дугах, які виходять з вершини i , а другу – по всіх дугах, які входять у вершину i . Отриманий таким чином ряд розподілу $\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_m$ дозволяє знайти всі основні показники надійності та ефективності використання потужностей ланки.

$$\sum_{i \neq j} \omega_{ij} - \sum_{j \neq i} \omega_{ji} \cdot \pi_j = 0; \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^m \pi_j = 1. \quad (12)$$

Підставляючи інтенсивності $T_p, T_{en}, T_{np}, T_{рез}$ переходів для сусідніх станів для кожного цеху, складемо таблиці коефіцієнтів для формування матриці і розв'язування системи лінійних рівнянь (таблиця 1). Розв'язуємо систему лінійних рівнянь методом Гауса.

Для оцінки надійності одноцехової КС визначимо такі показники:

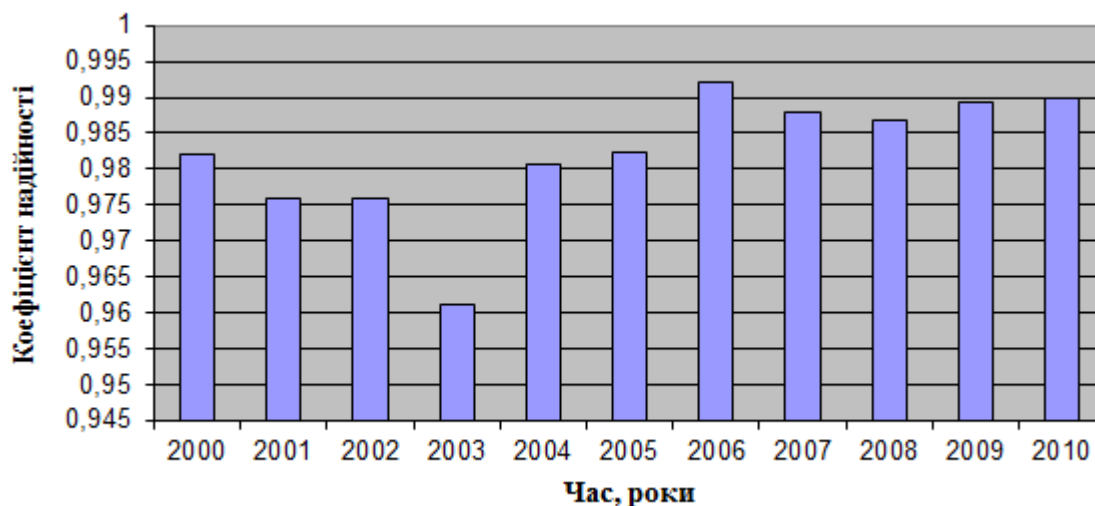
1. Коефіцієнт надійності КС – відношення середньої пропускної здатності до номінальної.

2. Коефіцієнт готовності – сума ймовірностей всіх тих станів, які допускають включення ГПА в кількості та за схемою, які передбачені проектом.

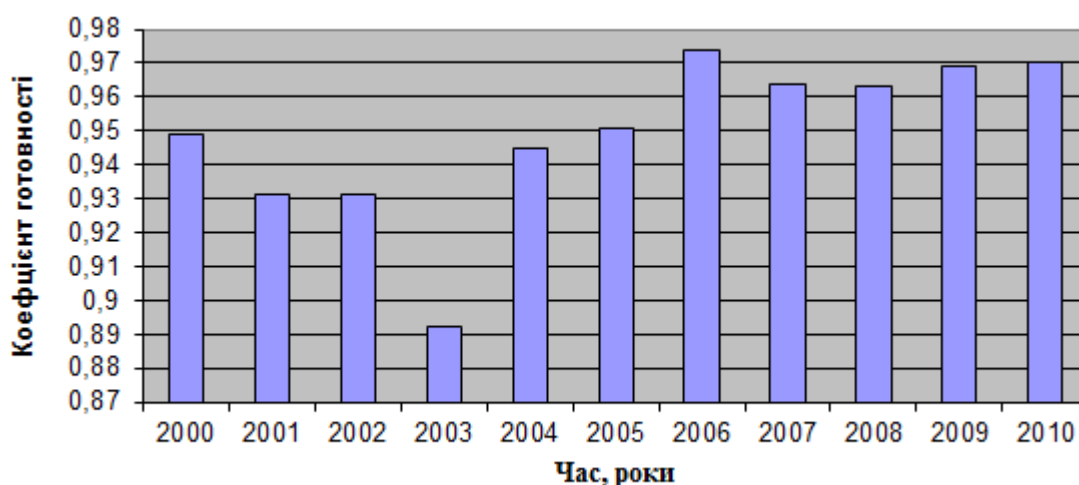
На рис. 1, 2 подаються результати розрахунків показників надійності для компресорного цеху КС Богородчани.

Висновки

У результаті проведення аналітичних і статистичних досліджень встановлено, що для компресорної станції в період з 2000 по 2003 роки спостерігається поступове зниження показників надійності, що свідчить про об'єктивний процес, пов'язаний із старінням устаткування. Запропоновано методи прогнозування експлуатаційної надійності газоперекачувального агрегата у заданий проміжок часу. Розрахунками встановлено, що максимумами коефіцієнтів надійності і готовності до рівня $K_n=0,99$, $K_r=0,97$ припадають на період впровадження відновлювальних заходів, а в подальшому спостерігається їх стабілізація на цьому рівні і поступове зниження.



Рисунк 1 – Коефіцієнт надійності на КС Богородчани



Рисунк 2 – Коефіцієнт готовності на КС Богородчани

Література

1 Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів: монографія / В.Я.Грудз, Д.Ф.Тимків, В.Б.Михалків, В.В.Костів. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2009. – 711 с.

2 Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1994. – 335 с.

3 Мозгалеvский А.В. Техническая диагностика / А.В. Мозгалеvский, Д.В. Гаспаров. – М.: Высшая школа, 1975. – 495 с.

4 Стаvровский Е.Р. Методы расчета надежности магистральных газопроводов / Е.Р. Стаvровский, М.Г. Сухарев, Н.М. Карасевич. – Новосибирск: Наука, 1982. – 92 с.

5 Бородавкин П.П. Трубопроводы в сложных условиях / П.П. Бородавкин, В.Я Таран. – М.: Недра, 1968. – 346 с.

6 Поршаков Б.П. Газотурбинные установки для транспорта газа / Б.П. Поршаков. – М.: Недра, 1982. – 321 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 22.03.18

Рекомендована до друку професором Грудзом В.Я. (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) професором Говдяком Р.М. (ТзОВ «ІК МАШЕКСПОРТ», м. Київ)