

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГАЗОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

В. Я. Грудз , Р. Ю. Малютін 

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +38 (0342) 72-71-38; e-mail: volodymyr.hrudz@nung.edu.ua*

Розглядається експлуатаційна надійність газотранспортної системи з позиції забезпечення споживачів енергоносіями у необхідних обсягах та з заданими параметрами якості. Метою дослідження є встановлення закономірностей зміни технічного стану елементів газотранспортної системи у часі та на цій основі розроблення принципу визначення тривалості безаварійної експлуатації і термінів проведення технічного обслуговування для досягнення заданого рівня надійності. У роботі запропоновано підхід до оцінювання надійності, який враховує як технічні, так і природно-кліматичні фактори, що впливають на стабільність функціонування системи транспортування природного газу.

Отримана математична модель визначення надійності газотранспортної системи базується на концепції найпростішого потоку відмов лінійної частини магістрального газопроводу та систем контролю. Модель дозволяє прогнозувати ймовірність відмови та визначати оптимальні інтервали технічного обслуговування з урахуванням експлуатаційних умов. Запропоновано та розглянуто на практичному прикладі методiku розрахунку термінів проведення технічних досліджень і регламентних робіт, спрямовану на забезпечення заданої надійності системи газопостачання.

На основі результатів виробничих спостережень і статистичного аналізу встановлено закономірності впливу зовнішніх факторів барометричного тиску, температури та вологості атмосферного повітря, а також відносної густини паливного газу на потужність і економічність роботи газоперекачувальних агрегатів. Виявлено, що природні фактори мають значний вплив на інтенсивність відмов у лінійній частині трубопроводів, а характер цього впливу змінюється залежно від проходження траси газопроводу через різні кліматичні зони. Отримані результати створюють основу для розроблення системи прогнозування технічного стану і планування технічного обслуговування, що забезпечить стабільну та ефективну роботу компресорних станцій як ключових елементів газотранспортної системи України.

Ключові слова: газотранспортна система, надійність, обслуговування, технічне дослідження, системи контролю.

Вступ

Магістральні газопроводи є об'єктами підвищеної небезпеки стосовно їх впливу на довкілля як з екологічної, так і з економічної точок зору. Тому при їх експлуатації особливу увагу приділяється встановленню закономірностей процесу старіння лінійної частини магістральних газопроводів в період їх тривалої експлуатації, оцінки показників надійності і прогнозування інтенсивності аварійних відмів на майбутній термін їх функціонування, на основі отриманої інформації оцінки можливості скорочення території охоронних зон лінійної частини та заходів безпеки подальшої роботи [1].

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Питання забезпечення надійності та ефективності функціонування газотранспортних систем широко досліджуються у працях вітчизняних і зарубіжних учених. У роботах І. Г. Костюка, В. В. Грудза, О. П. Сівка розглянуто методи технічної діагностики та прогнозування технічного стану елементів газопроводів на основі параметрів експлуатації та статистики відмов. Значну увагу приділено проблемі визначення впливу зовнішніх факторів, зокрема температури, вологості та барометричного тиску, на надійність магістральних газопроводів і роботу компресорних станцій.

У дослідженнях Ю. В. Вакуленка та С. М. Мельника проаналізовано моделі технічного обслуговування і ремонту газотранспортного обладнання з позиції мінімізації енергетичних втрат та підвищення міжремонтного ресурсу. Роботи зарубіжних авторів, зокрема J. Zhang, M. Khan та R. Anderson, присвячені математичному моделюванню надійності трубопровідних систем із використанням методів марковських процесів, стохастичного моделювання та машинного навчання для прогнозування відмов.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Попри значну кількість наукових праць, присвячених підвищенню надійності та ефективності функціонування газотранспортних систем, низка аспектів цієї проблеми залишається недостатньо вивченою. Зокрема, потребує подальшого розвитку методологія оцінювання надійності з урахуванням комплексного впливу зовнішніх природно-кліматичних та технологічних факторів на технічний стан лінійної частини газопроводів і компресорних станцій.

Недостатньо розробленими залишаються підходи до інтеграції результатів технічного діагностування з математичними моделями прогнозування відмов, що ускладнює обґрунтоване визначення термінів технічного обслуговування та міжремонтних інтервалів. Також малодослідженими є питання побудови адаптивних моделей, здатних враховувати змінні експлуатаційні умови, коливання параметрів сере-

довища та статистичну невизначеність у процесах деградації елементів системи.

Мета та завдання досліджень

Метою дослідження являється встановлення закономірностей тренду технічного стану газотранспортних систем і на їх основі розробки принципу розрахунку часу безаварійної експлуатації і термінів проведення технічного обслуговування для забезпечення заданого рівня надійності

Дослідження

Щоб оцінити значення імовірності відмов, необхідно порівнювати його з допустимим значенням надійності p_d , при цьому повинна виконуватися умова [4]:

$$p_d \leq p_n(\Delta\tau) < 1 \quad (1)$$

В процесі експлуатації газотранспортної системи рівень надійності поступово падає і на протязі часу τ_p досягає значення p_d , після чого необхідне проведення технічного обслуговування з метою запобігання співвідношення $p_n < p_d$. Для знаходження тривалості експлуатації до чергового технічного обслуговування на основі (1) одержано формулу

$$\tau_p = \frac{1}{\lambda_1} \ln \left[\frac{1}{p_d} \right] \quad (2)$$

Якщо в процесі проведення технічного обслуговування об'єкт газотранспортної системи виключається з експлуатації на час $\tau_{то}$, то для коефіцієнта готовності k_g отримаємо

$$k_g = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{то}} 100 \% \quad (3)$$

З метою збільшення значення коефіцієнта готовності k_g доцільно проводити в процесі обслуговування технічні дослідження, замінивши ними технічний огляд, при цьому визначаються параметри експлуатації об'єктів газотранспортної системи на основі інформації, отриманої за допомогою контролюно-вимірювальної системи, що скорочує тривалість діагностичних робіт, тобто формально тривалість процесу технічного дослідження $\tau_{тд}$ менша за тривалість технічного огляду $\tau_{тд} < \tau_{то}$, що призводить до зростання коефіцієнта готовності k_g

$$k_g = - \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{тд}} 100 \% \quad (4)$$

Принципова схема процесу обслуговування зображена на рис. 1.

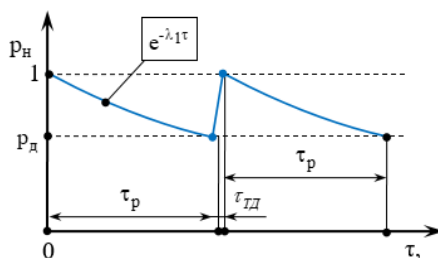


Рис. 1. Принципова схема процесу обслуговування

Ряд елементів газотранспортної системи неможливо відновити без зупинки експлуатації. При цьому технічне обслуговування, що проходить на непрацюючому об'єкті, може здійснюватися за схемою трьох видів: 1) запланована заміна систем, вузлів і деталей, мають найбільші динамічні навантаження; 2) дослідження параметрів систем, вузлів і деталей (з можливістю їх заміни), можливе тільки на непрацюючому об'єкті; 3) дослідження систем, вузлів і деталей (з можливістю їх заміни), відхилення параметрів яких виявлено в процесі технічного обстеження.

Перші два види технічного обслуговування проводяться через відомий запланований час напрацювання об'єкта, третій вид проводиться при виявленні відхилень параметрів роботи об'єкта від допустимих. Виявлення відхилень параметрів роботи об'єкта газотранспортної системи є попередженням відмови, яка може статися в системі або вузлі в результаті відхилення досліджуваного параметра. Так як відмова може бути реальною (що сталася) і попереджуваною (в результаті проведення обстеження), то можна розділити інтенсивність відмов на два види: 1) інтенсивність відмов, що сталися на об'єкті λ_{11} ; 2) інтенсивність відмов, попереджена в результаті дослідження λ_{12} .

Попереджувана відмова має підтвердиться після додаткових досліджень системи або вузла, параметр якого відхилився від норми. Якщо можливість відмови не підтверджується, то необхідно вдосконалювати методи діагностування. Величини λ_{11} і λ_{12} досліджуються окремо і далі досліджується їх сумарний результат $\lambda_1 = \lambda_{11} + \lambda_{12}$.

Схематична ілюстрація технічного обслуговування першого і другого виду зображені графічними залежностями на рис. 2.

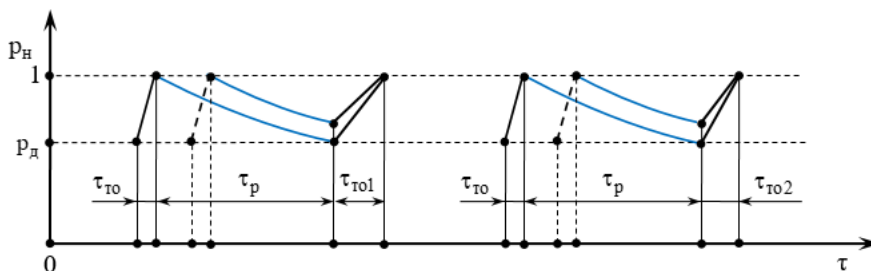


Рис. 2. Технічне обслуговування на непрацюючому об'єкті

Зауважимо, що система контрольно-вимірювальних приладів характеризується також певною надійністю, яка повинна бути вищою за надійність газотранспортної системи в цілому для забезпечення ефективного контролю за параметрами її експлуатації. Нехай інтенсивність відмов системи контролю складає λ_2 , причому $\lambda_2 < \lambda_1$. Тоді загальна надійність газотранспортної системи оцінюватиметься як $e^{-\lambda_1\tau}e^{-\lambda_2\tau} = e^{-(\lambda_1+\lambda_2)\tau}$, що дозволить визначити тривалість безаварійної роботи системи

$$\tau_{p1} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \ln \left[\frac{1}{p_d} \right] \quad (5)$$

Для наступного проміжку тривалості безаварійної роботи отримаємо

$$\tau_{p2} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left(\ln \left[\frac{1}{p_d} \right] - \lambda_2 \tau_{p1} \right) \quad (6)$$

Узагальнюючи, для i -того періоду матимемо

$$\tau_{pi} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left(\ln \left[\frac{1}{p_d} \right] - \lambda_2 \sum_{j=1}^{i-1} \tau_{pj} \right) \quad (7)$$

Загальну схему процесу забезпечення надійної експлуатації газотранспортної системи з урахуванням потоків відмов показано на рис. 3.

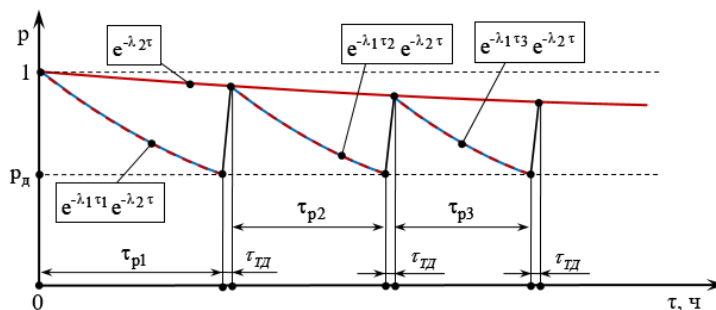


Рис. 3. Тривалість безаварійної експлуатації системи

Враховуючи, що $p_n \geq p_d$, приходимо до висновку, що $\tau_{p1} > \tau_{p2} > \tau_{p3} \dots > \tau_{pi}$, тобто з плином часу експлуатації міжремонтний період скорочується для забезпечення експлуатаційної надійності на заданому рівні.

Висновки

Отримана математична модель визначення надійності об'єктів газотранспортної системи на основі найпростішого потоку відмов, показано принцип розрахунку часу безаварійної експлуатації і термінів проведення технічного обслуговування для забезпечення заданого рівня надійності.

Література

1. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: *матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 20-21 травня 2021р.). – К.: Інтерсервіс, 2021. – с.158.
2. Грудз Я.В. Енергоефективність газотранспортних систем / Я.В. Грудз. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2012. – 208 с.
3. Грудз В.Я. Технічна діагностика трубопровідних систем/В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В Костів та ін. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2012. – 512 с.
4. Грудз В.Я. Математична модель магістрального газопроводу як єдиної енергосистеми / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, Л.Т. Гораль та ін. // *Міжнародна науково-технічна конференція «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи»* Івано-Франківськ 2009р. – С. 34-35.
5. Компресорні станції. Контроль теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачувальних агрегатів: СОУ 60.3-30019801-011:2004. – [Дійсний з 22.12.2004]. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2004. – 117 с.
6. Компресорне обладнання. Визначення вібраційних характеристик. Загальні вимоги: ДСТУ 3160-95. – [Дійсний з 01.07.1996]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 11 с.
7. Костів В.В. Узагальнений параметр як якісна характеристика технічного стану циліндра газомотокомпресора. В.В. Костів // *Тези доповіді на конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. Івано-Франківськ, 2002 р. – С. 37-38.

Стаття надійшла до редакційної колегії 30.10.2025 р.

Прийнято до друку 24.11.2025 р.

IMPROVING GAS SUPPLY RELIABILITY BASED ON IMPROVING TECHNICAL MAINTENANCE

V. Ya. Hrudz , R. Y. Malytin 

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, 15, Karpatska Street;*

tel. +38 (0342) 72-71-38; e-mail: volodymyr.hrudz@nung.edu.ua

The paper examines the operational reliability of the gas transmission system in terms of ensuring the supply of energy carriers to consumers in the required volumes and at the specified quality parameters. The purpose of the study is to establish the regularities of the technical condition trend of gas transmission systems over time and, based on this, to develop a principle for calculating the duration of failure-free operation and maintenance intervals to ensure the required reliability level. The proposed approach to reliability

assessment takes into account both technical and natural-climatic factors affecting the stability of natural gas transportation.

A mathematical model for determining the reliability of the gas transmission system was developed based on the concept of a simple failure flow of the pipeline's linear part and control systems. The model makes it possible to forecast failure probabilities and determine optimal maintenance intervals depending on operational conditions. A practical methodology for calculating the timing of technical research and maintenance activities aimed at maintaining a specified level of gas supply reliability is proposed and illustrated through a real-world example.

Based on production observations and statistical analysis, the study identifies the regularities of the influence of external factors barometric pressure, air temperature and humidity, as well as the relative density of the fuel gas on the power output and energy efficiency of gas compressor units. It was shown that natural environmental factors significantly affect the frequency of failures in the pipeline's linear section, and this effect varies depending on the pipeline route and climatic zone. The obtained results provide the basis for developing a system for predicting the technical condition and scheduling maintenance operations, which ensures stable and efficient operation of compressor stations as key elements of the gas transmission system of Ukraine.

Keywords: *gas transportation system, reliability, maintenance, technical research, control systems.*