

УДК 622. 692. 4

Карнаш М. О., Олійник А. П., Ключень А. М., Козут Г. М.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГТС УПРОВАДЖЕННЯМ НОВИХ СТАНДАРТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті розглянуто проблему забезпечення експлуатаційної надійності об'єктів ГТС через упровадження ефективних систем і засобів контролю впровадженням нових нормативних документів (стандартів) та визначенням ефективності їх впровадження. Проведено математичне моделювання процесів для вивчення впливу та змін, що виникають у результаті впровадження нових стандартів.

Ключові слова: газотранспортна система, експлуатаційна надійність, нормативні документи.

Упродовж останніх трьох років вітчизняний енергетичний ринок переживає глибоку трансформацію. Реформою охоплено й газотранспортну систему (ГТС), яка на сьогодні є єдиним шляхом безперебійного постачання природного газу в країни ЄС. За даними Центру імені Разумкова, стан ГТС добрий, система стресостійка, технологічний стан не відрізняється від аналогічних систем у Польщі, Угорщині чи Словаччині [1]. Однак, зважаючи на позитивні прогнози аналітиків, вимоги ЄС, після підписання Україною Угоди про Асоціацію [2], диктують необхідність впровадження змін, які регламентуватимуть підвищення ефективності та надійності функціонування ГТС, покращуватимуть якість її обслуговування, сприятимуть безпеці та стабільності. Водночас реалізація таких змін щодо модернізації ГТС, підтримання оптимального рівня її експлуатації зумовлює необхідність проведення розрахунків економічної ефективності заходів зі стандартизації та вирішення проблем зі складності її вирішення в контексті нафтогазової галузі, де багато інформації становить або комерційну таємницю, або є складним міксом інтелектуальної власності та ноу-хау.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Основними завданнями статті є дослідження питання впровадження ефективних систем і засобів контролю для забезпечення експлуатаційної надійності об'єктів ГТС через впровадження нових нормативних документів (стандартів) та визначення ефективності їх впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання підвищення надійності, що є одним із завдань інноваційного розвитку ГТС [3], висвітлено у багатьох працях українських та іноземних науковців (Беляєв М.С., Воропай Н.І., Гораль Л.Т., Гнеденко Б.В., Грудз В.Я., Дмитрієв М.М., Канарчук В.Є., Карасевич А.М., Ковалко М.П., Костецький Б.І., Кубарев І.А., Полянський С.К., Проніков А.С., Райншке К., Соловійов А.Д., Ставровський Е.Р., Степ'юк М.Д., Тимашев С.А., Тимків Д.Ф., Ушаков І.А., Харіоновський В.В.). Загальна тенденція всіх науково-практичних напрацювань, як зазначає Воропай Н.І., свідчить про те, що основними фундаментальними поняттями надійності енергетичної системи, складовою частиною якої й є ГТС, є поняття відмови та відновлення. Саме з цими поняттями і пов'язано вимірювання надійності – частоти (ймовірності) відмов, тривалості (ймовірності) відновлення. Відповідно все, пов'язане з частотою (ймовірністю) відмов, характеризує безвідмовність об'єкта енергетичної системи, а все, що характеризує тривалість (ймовірність) відновлення, – відновлюваність [4]. При цьому надійність слугує для оцінювання якості експлуатації такої системи і

реалізується практично через низку параметрів (коефіцієнти надійності й готовності, залишковий ресурс) [5].

Однак під час вивчення питань забезпечення надійності ГТС приділялося доволі мало уваги ролі нормативного забезпечення, яке б відповідало чинному законодавству, сучасному рівню науки й техніки та вимогам національних нормативних документів (ДСТУ), зокрема й гармонізованих з міжнародними та європейськими [6, 7].

Враховуючи вектор зовнішньої енергетичної політики України щодо розширення співробітництва України з ЄС, адаптація українських нормативних документів через гармонізацію з міжнародними та європейськими дає змогу досягти створення сприятливого інвестиційного клімату для залучення іноземного капіталу, підвищення енергетичної ефективності економіки, використання потенціалу енергозбереження, зменшення негативного впливу об'єктів галузі на навколишнє середовище, підвищити рівень надійності та безпеки [8–10]. Водночас перед підприємствами галузі постає проблема забезпечення НД, більшу частину яких (ГОСТ) або вже скасовано, або буде скасовано найближчим часом. Відсутність сучасних стандартів та нормативних документів, які описують чи регламентують ті або інші технологічні процеси, може створювати загрозу під час забезпечення надійної та безаварійної роботи ГТС України.

Актуальність вирішення такої проблеми полягає в тому, що на сьогодні немає єдиної методики щодо розрахунку економічної ефективності проведення заходів зі стандартизації, використання якої дало б змогу підприємствам наочно подати результати від провадження НД та вивільнені потужності/кошти, які б зменшували собівартість витрат на експлуатацію систем. Розроблення відповідної математичної моделі розрахунку, пристосованої до потреб нафтогазової галузі, зокрема й для ГТС, даватиме можливість визначити систему показників якості та необхідного рівня надійності для безперебійної роботи підприємств, аналізуванню впливу різних техніко-економічних чинників та параметрів, що впливають на економічну ефективність робіт зі стандартизації, ідентифікувати основні причини, що призводять до надлишкового використання виробничого фонду, та розробити рекомендації для оптимізації процесів планування, виконання та провадження результатів робіт зі стандартизації. Також така система може допомогти в плануванні розроблення стандартів для різних напрямків діяльності, які є важливими під час експлуатації ГТС України. У свою чергу це дозволило б ґрунтовніше провести планування робіт з національної стандартизації в контексті напрямів розроблення нових НД на заміну ГОСТ, беручи до уваги підходи ЄС щодо актуальності розроблюваних НД.

Виклад основного матеріалу. Проблема забезпечення експлуатаційної надійності об'єктів газотранспортної системи (магістральні трубопроводи, компресорні станції, підземні сховища газу тощо) актуальна з відомих причин. Тривалий термін експлуатації об'єктів, змінні режими експлуатації, економічні проблеми, що ускладнюють можливість ремонту й особливо ліквідації наслідків можливих аварійних ситуацій. Основним способом вирішення таких проблем є впровадження ефективних систем і засобів контролю відповідно до стандартів, нормативних документів з проектування, експлуатації і технічного обслуговування об'єктів ГТС. Для об'єктів, що створені та експлуатуються відповідно до різних стандартів на основі однієї й тієї самої інформації, можна приймати різні рішення щодо проведення комплексу заходів з метою попередження можливості виникнення аварійних ситуацій з тяжкими наслідками для економіки та екології регіонів, у яких розташовані об'єкти ГТС, а також забезпечити персонал та місцеве населення. Питання про те, наскільки ефективним буде впровадження нових стандартів, зокрема з технічного обслуговування та діагностики об'єктів, також потребує відповіді, оскільки введення нових стандартів, а відповідно і діагностичних систем, зумовлює певні матеріальні витрати.

Для визначення ефективності введення нових стандартів у сфері діагностування стану об'єктів ГТС використовують математичний апарат [11, 12], який дає можливість оцінити надійність досліджуваних об'єктів і визначити необхідну для її забезпечення кількість контрольних заходів за умови, що їх проводять з певною періодичністю.

Розглядають модельний випадок, у якому наявні конструкція та нормативна система її захисту. Під конструкцією розуміють об'єкт ГТС (трубопровід, ГПА, сховища газу тощо).

Усі величини, пов'язані з конструкцією, мають індекс «Кⁱ», де верхній індекс $i = 1, 2$ дає можливість аналізувати параметри надійності за умови використання двох стандартів для системи технічного обслуговування та діагностування об'єктів.

Якщо конструкція та система її захисту мають експоненційний розподіл відмов з параметрами λ_k^i та λ_d^i , при цьому під терміном «захист» розуміємо нормативну систему обслуговування, контролю й технічного діагностування, впроваджену для цього об'єкта ГТС, то функцію надійності системи одержуємо так:

– визначаємо ймовірність відмови системи захисту за час $d\tau$ для кожної з розглянутих v_{top} -можливих систем:

$$P_d^i = \lambda_d^i e^{-\lambda_d^i \times \tau} \cdot d\tau; \quad (1)$$

– визначаємо ймовірність відмови конструкції за умови, що система захисту відмовила в момент часу τ_1 за час $t = \tau$:

$$P_k^i = \int_0^t [1 - e^{-\lambda_k^i (t - \tau_1)}] d\tau; \quad (2)$$

– ймовірність відмови конструкції з захистом (за формулою повної ймовірності [z]):

$$Q_k = \int_0^t \lambda_d^i e^{-\lambda_d^i \times \tau} [1 - e^{-\lambda_k^i (t - \tau_1)}] d\tau. \quad (3)$$

Проводячи обчислення (3) для двох пар значень λ_k^i та λ_d^i і використовуючи формулу для оцінювання надійності системи, одержуємо таку залежність:

$$R^i(t) = 1 - Q_k = \frac{\lambda_d^i e^{-\lambda_k^i \times t} - \lambda_k^i e^{-\lambda_d^i \times t}}{\lambda_d^i - \lambda_k^i}. \quad (4)$$

Розглянемо практично важливий випадок, коли $\lambda_k^i = \lambda_d^i$, тоді:

$$R^i(t) = e^{-at}(1 + at), \quad (5)$$

де $a = \lambda_k^i = \lambda_d^i$.

Якщо величини $\lambda_k^i t$ та $\lambda_d^i t$ достатньо малі, то можна результати (4) і (5) розкласти в ряд Тейлора, при цьому для залежності (4) одержуємо:

$$R(t) = 1 - \frac{\lambda_d^i \lambda_k^i t^2}{2}, \quad (6)$$

а для залежності (5) одержуємо:

$$R(t) = 1 - a^2 t^2. \quad (7)$$

Залежності (6) і (7) застосовують для випадків, коли їх точність достатня для проведення практичних розрахунків.

Якщо вважати, що система захисту та контролю перевіряє об'єкт ГТС періодично і, за необхідності, миттєво усуваються негативні моменти (пошкодження, зміна технологічних параметрів тощо), то за терміну експлуатації T за M перевірянь з проміжком часу між перевітками ΔT одержуємо:

$$R^i(t) = [R^i(-\Delta T)] = \left[\frac{\lambda_d^i e^{-\lambda_k^i T} - \lambda_k^i e^{-\lambda_d^i T}}{\lambda_d^i - \lambda_k^i} \right] . \quad (8)$$

Отже, за заданого рівня надійності R_c^* можна встановити, як зміниться кількість необхідних контрольних заходів із введенням нових стандартів у системі діагностування. При цьому порівнюють кількості m_1 і m_2 , шукані як корені рівнянь.

Для m_1 :

$$R_c^* = \left[\frac{\lambda_d^1 e^{-\lambda_k^1 m_1} - \lambda_k^1 e^{-\lambda_d^1 m_1}}{\lambda_d^1 - \lambda_k^1} \right]^{m_1} , \quad (9)$$

а для m_2 :

$$R_c^* = \left[\frac{\lambda_d^2 e^{-\lambda_k^2 m_2} - \lambda_k^2 e^{-\lambda_d^2 m_2}}{\lambda_d^2 - \lambda_k^2} \right]^{m_2} . \quad (10)$$

Очевидно, що верхні індекси означають лише значення відповідних параметрів у використанні різних стандартів технічного обслуговування, контролю чи діагностики.

Рівняння (9) і (10), які необхідно розв'язати відносно m_1 і m_2 , є нелінійними алгебраїчними рівняннями, що розв'язуються з використанням відповідних чисельних методів [13].

Очевидно, що використання залежностей (6) та (7) дає можливість визначити відповідні кількості m_1 та m_2 з рівнянь:

$$m_i = \ln(R_c^*) / \ln(1 - \lambda_k^i \lambda_d^i \times 0,5 \frac{T^2}{m_i^2}) \quad (11)$$

або

$$m_i = \ln(R_c^*) / \ln(1 - \lambda_k^{i^2} \frac{T^2}{m_i^2}) , \quad (12)$$

якщо $\lambda_k^i = \lambda_d^i$.

Отже, порівнюючи одержані значення m_1 і m_2 , можна визначити, скільки контрольних заходів необхідно проводити на досліджуваному об'єкті ГТС, якщо використовувати різні нормативні підходи.

Очевидно, що визначальними параметрами при цьому будуть рівні надійності R_c^* , які доцільно брати однаковими для одного й того самого об'єкта ГТС, а також за даними опрацювання статистичних даних встановлювати значення $\lambda_k^1, \lambda_k^2, \lambda_d^1, \lambda_d^2$. Для модельного об'єкта (ділянки магістральних трубопроводів) за результатами розрахунків одержимо наступні результати (табл. 1). При цьому варто зазначити, що для ділянки діаметром 529

мм інтенсивність відмов приймали найвищою, а самі ділянки вибирали серед тих, що функціують у складних умовах експлуатації.

Таблиця 1

Кількість контрольних заходів для $R_c^* = 0,99$

Діаметр досліджуваної ділянки, мм	Кількість контрольних заходів за рік для діагностування	Кількість контрольних заходів для модифікованого стандарту
529	20	15
800	10	7
1020 і більше	3	1

Висновки. За результатами проведення досліджень можна дійти таких **висновків**.

1. Введення нових стандартів контролю технічного обслуговування та діагностування стану призводить до забезпечення заданого рівня надійності функціонування елементів ГТС зі значним значенням витрат на контрольні заходи.

2. Результати розрахунків суттєво залежать від експериментально визначених значень $\lambda_{к}^1$, $\lambda_{к}^2$, $\lambda_{д}^1$, $\lambda_{д}^2$, що призводить до необхідності організації відповідних статистичних досліджень інтенсивності відмов за різних стандартів обслуговування елементів ГТС України, створення відповідного банку даних.

3. Одержані значення інтенсивностей технічного обслуговування, надійності систем (залежності (1–5), (8–12)) можна використовувати для оцінювання довговічності відповідних елементів ГТС України [14, 15]. У свою чергу, такі дані можуть стати основою для розрахунку ефективності впроваджуваних заходів зі стандартизації, що є особливо актуальною для нафтогазової галузі загалом, оскільки специфіка її функціонування потребує окремо розроблених методик щодо врахування всіх факторів та чинників, які можуть впливати на безпечність, надійність функціонування всіх систем, і сприяти ефективному проведенню реформ на шляху до євроінтеграції та забезпечення енергетичної безпеки. Оскільки питання ефективності впроваджуваних заходів зі стандартизації у нафтогазовій галузі досліджено лише частково, автори планують надалі працювати над цією проблематикою, розвиваючи тему в наступних статтях. Крім того, попередні результати досліджень у цій статті використовуватимуть для розроблення методики оцінювання економічної ефективності розроблення нормативних документів нафтогазового комплексу, що є важливим критерієм для наукової та виробничої практики, який даватиме можливість зменшити капітальні й виробничі витрати, зокрема й на розроблення внутрішніх нормативних документів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рачок А. Успішна робота Енергетичного Союзу забезпечить послідовне, всеосяжне, а не вибіркоче дотримання законодавчих вимог [Електронний ресурс] / Стаття Центру імені Разумкова. – Режим доступу: http://old.razumkov.org.ua/ukr/article.php?news_id=1401. – Назва з екрана.
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс] / Міжнародний документ від 27.06.2014. Ратифікована 16.09.2014 – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/984_011. – Назва з екрана.
3. Гораль Л. Т. Проблеми і перспективи інноваційного розвитку газотранспортної системи України / Л. Т. Гораль // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. – № 2 (28). – С. 56–62.
4. Воропай Н. И. Надежность систем энергетики (Сборник рекомендуемых терминов). – М.: ИАЦ «Энергия», 2007. – 172 с.
5. Грудз В. Я. Обслуживания и ремонт газопроводов: монография / В. Я. Грудз, Д. Ф. Тимків, В.Б. Михалків, В.В. Костів. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2009. – 711 с.

6. Клюнь А. М. Роль нормативних документів у забезпеченні надійного та безпечного функціонування газотранспортної системи України – історія сьогодення та напрямки реформування // А. М. Клюнь, М. О. Карпаш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2017. – № 3(64). – С. 24–30.
7. Віткін Л. Світовий досвід та стратегія розвитку систем технічного регулювання / Л. Віткін // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2013. – № 4. – С. 3–11.
8. Бурлака В. Г. Сучасні тренди науково-технологічного розвитку та їх роль у нафтовому секторі [Електронний ресурс] / В. Г. Бурлака // Актуальні проблеми економіки. – 2013. – № 5. – С. 54–65. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2013_5_8. – Назва з екрана
9. Гінзбург М. Д. Європейські правила технічного регулювання і стандартизації та поступове запровадження їх в Україні / М. Д. Гінзбург, С. Є. Коваленко, А. М. Клюнь // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2016. – № 2. – С. 7–18.
10. Карпаш М. О. Переваги та проблеми впровадження міжнародних і європейських стандартів у нафтогазовій галузі України / М. О. Карпаш, Г. М. Когут, Н. Л. Тацакович, О. М. Карпаш // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – № 4. – С. 3–5.
11. Тимашев С. А. Надежность больших механических систем / С. А. Тимашев. – М. : Наука, 1982. – 184 с.
12. Надежность и долговечность машин / Под ред. Б. И. Костецкого // – К. : Техника, 1975. – 407 с.
13. Самарский А. Н. Численные методы. – М. : Наука, 1989. – 432 с.
14. Харионовский В. В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях / В. В. Харионовский // Л.: Недра, 1990. – 180 с.
15. Трубопроводный транспорт газа / За ред. М. П. Ковалка // – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. – 600 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГТС ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ СТАНДАРТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрена проблема обеспечения эксплуатационной надежности объектов ГТС через внедрение эффективных систем и средств контроля путем внедрения новых нормативных документов (стандартов) и определение эффективности их внедрения. Проведено математическое моделирование процессов для изучения влияния и изменений, возникающих в результате внедрения новых стандартов.

Ключевые слова: газотранспортная система, эксплуатационная надежность, нормативные документы.

GTS RELIABILITY IMPROVEMENT BY IMPLEMENTATION OF NEW STANDARDS FOR DIAGNOSTIC SYSTEMS BY REFERENCE TO OPERATING CONDITIONS

The problem of improvement the operational reliability of GTS facilities through the implementation of effective systems and controls by introducing new regulations (standards) with determination of their implementation effectiveness, is discussed in the article. Mathematical modeling of processes for studying the influence and changes arising from the implementation of new standards has been carried out.

Keywords: gas transportation system, operational reliability, normative documents.