

## ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЬНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ СПЕЦИФІКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

*І. І. Остапюк*

*Товариство з обмеженою відповідальністю «Інжинірингова компанія «Машекспорт»;  
04655, м. Київ, Кудрявський узвіз, 7, e-mail: Ostapiuk.Igor@ik-me.com*

*Проведено аналіз стану та причин зниження ефективності, безпеки і надано рекомендації стосовно шляхів їх підвищення з використанням сучасного технологічного, екологічного обладнання і проведення попереджувальних заходів. В теоретичному плані вирішується двопараметрична задача оптимізації періодичності контрольних перевірок і обслуговування газопроводів з використанням методу математичного моделювання, що само по собі має велике практичне значення у ході експлуатації магістральних газопроводів.*

*Ключові слова: магістральний газопровід, математична модель, контрольно-відновлювальні заходи, профілактика, ремонт.*

*Проведен анализ состояния и причин снижения эффективности, безопасности и предоставлены рекомендации относительно пути их повышения с использованием современного технологического, экологического оборудования и проведения предупредительных мероприятий. В теоретическом плане решается двухпараметрическая задача оптимизации периодичности контрольных проверок и обслуживания газопроводов с использованием метода математического моделирования, что само по себе имеет большое практическое значение при эксплуатации магистральных газопроводов.*

*Ключевые слова: магистральный газопровод, математическая модель, контрольно-восстановительные мероприятия, профилактика, ремонт.*

*The condition and causes which lead to declention of efficiency, safety are analyze. The ways of improvement with the use of modern technology, environmental technology and services are provided. In theory, the two-parameter optimization problem is solved by the frequency control checks and maintenance of gas pipelines with the use of mathematical modeling, which in itself is of great practical importance in gas pipelines.*

*Keywords: gas pipeline, a mathematical model, control and reduction procedures, prevention and repair.*

В умовах старіння магістральних газопроводів набуває актуальності проблема забезпечення надійності функціонування газотранспортної системи з метою безперебійного постачання і зниження втрат газу, запобігання виникненню аварій і забрудненню навколишнього середовища. Причому проблеми безпеки та екологічності магістрального транспортування газу вимагає особливої уваги з огляду на можливі катастрофічні наслідки аварій і несправностей.

Старіння газопроводів, що є причиною великого числа аварій і пошкоджень на лінійній частині, серйозно ускладнюють процес технічної експлуатації об'єктів газотранспортної системи, збільшують матеріальні витрати.

Аналіз стану магістральних газопроводів на основі ретроспективної інформації про аварії та пошкодження на лінійній частині свідчить про значні резерви підвищення експлуатаційної надійності газотранспортної системи. Ситуація на магістральних газопроводах характеризується високою інтенсивністю аварій за останні 5 років (0.53 випадків на рік на тисячу км). Спостерігається тривожна тенденція щодо збільшення числа пошкоджень і несправностей на магістральних газопроводах (6.5-7.0 випадків на рік на тисячу км).

Певною мірою забезпечити надійність транзитного транспортування газу системою українських газопроводів повинна мережа під-

земних сховищ газу (ПСГ), яка в разі виникнення аварії здатна прийняти надлишок газу і забезпечити постачання споживачам. Тому під час планування та оптимізації процесу обслуговування газотранспортної системи ПСГ повинні розглядатися як один з її елементів.

У нових умовах господарювання існує досить важливий економічний аспект цієї проблеми, оскільки аварії та пошкодження на лінійній частині газопроводу призводять до великих втрат газу, збитку від недопоставки палива, вимагають витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Як відомо, методи підвищення надійності газопровідних систем поділяються на доексплуатаційні (схемні і конструктивні) та експлуатаційні [1]. Впливати на надійність функціонуючого газопроводу можна, лише забезпечивши правильну технічну його експлуатацію. Експлуатація, крім безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного обладнання для виконання виробничих завдань з транспортування газу, включає в себе також систему технічного обслуговування і ремонту, що є сукупністю взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості об'єктів і її елементів.

Враховуючи той факт, що аварійність магістральних газопроводів залишається досить високою, а темпи їх "старіння" значно випере-

джають темпи виконання капітального ремонту, одним з головних засобів підтримки експлуатаційної надійності лінійної частини є система технічного обслуговування і ремонту.

Методи і підходи до вирішення перерахованих завдань базуються на результатах основоположних досліджень провідних вчених галузі В.Л. Березіна, П.П. Бородавкіна, Л.Г. Телегіна, Н.Х. Халлієва, Е.М. Ясіна, К.Е. Рашепкіна, З.Г. Галіулліна, А.Ф. Комягіна та ін.

Водночас, аналіз досвіду експлуатації газотранспортних систем і наукових досліджень у цій області свідчить про необхідність подальшого опрацювання завдань вдосконалення організації експлуатаційного обслуговування лінійної частини та її елементів.

З позицій системного аналізу система технічного обслуговування і ремонту характеризується певним складом, структурою і режимом функціонування [2]. В залежності від умов експлуатації ремонтно-експлуатаційні підрозділи мають різну потужність і структуру, ступінь централізації і концентрації матеріально-технічних та інших ресурсів.

Необхідно визнати, що найближчим часом навряд чи відбудуться істотні зміни в структурі, організації та принципах управління системою технічного обслуговування і ремонту. Не доводиться очікувати істотного збільшення виробничих потужностей та значного переозброєння ремонтно-експлуатаційних підрозділів. На сьогоднішній день більшість лінійно-експлуатаційних служб при лінійних виробничих управліннях не укомплектовані необхідною технікою у відповідності з діючими нормативними документами.

У зв'язку з вищевикладеним, вельми актуальними є завдання підвищення ефективності використання наявних ресурсів (матеріальних, технічних, людських та ін.), вдосконалення методів планування контрольно-відновлювальних заходів і управління ремонтно-експлуатаційними підрозділами в ході обслуговування лінійної частини з метою забезпечення надійної та безперебійної роботи газотранспортних систем.

Вирішувати подібне завдання можна на декількох рівнях. По-перше, на структурно-територіальному рівні виникає задача формування оптимальної схеми розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів різної спеціалізації і потужності в регіоні обслуговування складної газотранспортної системи. По-друге, на рівні сформованої регіональної системи технічного обслуговування та ремонту виникає питання про раціональне планування контрольно-відновлювальних заходів на лінійній частині і її елементах при обґрунтованому виборі стратегій обслуговування. По-третє, на рівні окремого контрольно-відновлювального заходу загальної системи технічного обслуговування та ремонту необхідно забезпечити розробку найбільш ефективних організаційно-технологічних і технічних рішень в ході керування процесом експлуатації окремих ділянок.

Системний підхід як головний принцип виконаних досліджень передбачає комплексний розгляд перерахованих вище завдань, їх спільне всебічне опрацювання в ході формалізації загальної універсальної математичної моделі системи технічного обслуговування та ремонту лінійної частини магістрального газопроводу, і видачу результатів у вигляді набору організаційно-технологічних рішень щодо її вдосконалення [3].

Однією з основних задач планування контрольно-відновлювальних заходів на лінійній частині газопроводу є розрахунок оптимального режиму (періодичності) обстеження траси газопроводу з виявленням свищів, витоків і ушкоджень. Основними методами виявлення ушкоджень і несправностей на лінійній частині є методи технічного діагностування та періодичного контролю.

Реалізація поставленої задачі здійснюється методом послідовного перебору варіантів. Здаючи дискретні величини  $\delta$  з визначеним кроком, прораховуються значення функції мети  $\bar{z}_{\Sigma}^{KB3}$ . Причому, можна вважати, що періодичність  $\delta$  [дів] приймає тільки цілочисленні значення.

Подібний підхід реалізуємо для розрахунку періодичності патрулювання як лінійної частини, так і зосереджених об'єктів магістральних газопроводів. Алгоритми розрахунків режиму контрольно-відновлювальних заходів за різних стратегій реалізовані на ПЕОМ у вигляді комплексу прикладних програм.

Аналіз практики експлуатації [4] газотранспортних систем, а також ряд нормативних документів, що регламентують проведення заходів щодо технічного обслуговування і ремонту (у тому числі і контролю), вказує на використання здебільшого сумісного методу патрулювання на рівні лінійних експлуатаційних служб. Йдеться про одночасну перевірку стану лінійної частини загалом та її елементів (зосереджених об'єктів) з виконанням дрібних профілактичних робіт. Це відноситься, як правило, до контрольних перевірок менш дорогими і продуктивними засобами (автомобільне та піше патрулювання). При використанні більш сучасних засобів контролю, таких як вертолітне патрулювання з лазерним устаткуванням, здійснюється лише пошук витоків і свищів на лінійній частині і її елементах (без проведення інших контрольних заходів профілактичного характеру). Зважаючи на те, що повітряне патрулювання здійснюється централізоване обслуговування (як правило на рівні планового) за графіком (також потребує розрахунку), задача оптимального поєднання контрольно-відновлювальних заходів і вибір їхньої періодичності викликає визначений практичний інтерес.

В загальному випадку оптимальна періодичність поєднаних контрольних перевірок визначається з умови:

$$\min_{\delta} \left[ \bar{z}_{\Sigma}^{KB3}(\delta) + N \bar{z}_{\Sigma}^{\omega}(\delta) \right], \quad (1)$$

де  $N$  – число контрольних зосереджених об'єктів на ділянці лінійної частини, що обслуговується.

Даний підхід реалізуємо у випадку взаємної кратності періодичності обстеження лінійної частини і зосереджених об'єктів. Іншими словами:

$$\begin{aligned} K\delta_{ЛЧ} &= m\delta_{зо} \\ K &= 1, 2, 3, \dots \\ m &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Тоді, оптимальна періодичність сполучених контрольних перевірок з урахуванням кратності періодів обслуговування визначається з умови:

$$\min_{\delta_{зо}; \delta_{ЛЧ}} \left[ \bar{z}_{\Sigma}^{KB3}(\delta_{ЛЧ}) + N\bar{z}_{\Sigma}^{зо}(\delta_{зо}) \right] \quad (3)$$

Інструментом для вирішення такої двопараметричної оптимізаційної задачі прийнято метод покоординатного спуску як один з поширених методів прямого пошуку для функції декількох змінних.

Розв'язання даної оптимізаційної задачі базується на математичних моделях контрольно-відновлювальних заходів. Алгоритми розрахунків реалізовані на ПЕОМ, що дає змогу проводити різноманітні розрахунки з метою пошуку найбільш оптимальних рішень.

За останні роки усе гостріше постає проблема забезпечення безпеки і екологічності газотранспортних систем у ході експлуатації. Потужність сучасних магістральних газопроводів є такою, що uszkodження на лінійній частині спричиняють не тільки значні втрати газу і витрати на ремонтно-відновлювальні роботи, але і є джерелами великих аварій з можливими катастрофічними наслідками (у тому числі з людськими жертвами), завдають шкоди екології. Особливо актуальна ця проблема для газопроводів, що пролягають у густозаселених районах.

У зв'язку з цим при плануванні контрольно-відновлювальних заходів на діючих газових магістралях необхідно посилити вимоги до лінійних експлуатаційних служб при плануванні та проведенні обслуговування і ремонту з метою забезпечення надійної й безвідмовної роботи системи.

У рамках розроблених математичних моделей контрольно-відновлювальних заходів на об'єктах лінійної частини становить інтерес часткова задача з оптимального планування контрольних перевірок траси газопроводу при обмеженнях на втрати газу (через uszkodження і при стравлювання газу в атмосферу). У загальному виді оптимальна періодичність контрольних перевірок визначається (для лінійної частини):

$$\begin{cases} \min_{\delta} (z_{ав} \bar{n}_{ав} + z_n \bar{n}_n + z_{пр} \delta^{-1}) \\ \bar{Q} \leq \bar{Q}_{доп} \end{cases} \quad (4)$$

де  $\bar{Q}_{доп}$  – деякий припустимий рівень збитку від втрати газу.

Дана оптимізаційна задача є екстремальною задачею з обмеженнями у вигляді нерівності, що зважається шляхом прямого пошуку в ході ітераційної процедури

Однак, часто на практиці виникає ситуація, коли оцінка показників надійності газотранспортної системи, що обслуговується, утруднена через нестачу статистичної (чи іншої) інформації. Найбільш складною є, як правило, оцінка функції розподілу випадкового часу існування uszkodження від його появи до самостійного прояву:  $\Phi(t)$ . За відсутності інформації про величину середнього часу життя uszkodження  $\tau_{сер}$  (у рамках двостадійної моделі развалу МГ) пропонується використовувати мінімаксий підхід, як один з розповсюджених методів розв'язання оптимізаційних задач у випадку неповної інформації про стан об'єкта. При мінімакському плануванні періодичність контрольних перевірок визначається з виразу:

$$\min_{\delta} \max_{\alpha} \bar{z}_{\Sigma}^{KB3}(\delta, \alpha), \quad (5)$$

де  $\alpha = \frac{1}{\tau_{сер}}$ .

Під час розрахунку мінімаксної періодичності на ЕОМ обсяг обчислень істотно більше, ніж у розглянутих вище оптимізаційних задачах.

Викликає інтерес адаптивний підхід до прийняття рішень у періодичності контрольно-відновлювальних заходів на початковому етапі експлуатації, що характеризується, як правило, чи відсутністю неповноти інформації про надійність системи. Завдання полягає в первісному плануванні контрольно-відновлювальних заходів на основі мінімаксного підходу з подальшим коректуванням режиму контролю в ході експлуатації. Інформація, що накопичується, дозволяє, з часом, оцінити значення  $\bar{n}_n^*$  і  $\bar{n}_{ав}^*$ . Тоді з співвідношення:

$$\bar{n}_n = \lambda - \bar{n}_{AB} = \frac{\lambda \cdot P}{\alpha \cdot \delta} \cdot \frac{(1 - e^{-\alpha \cdot \delta})}{1 - (1 - P)e^{-\alpha \cdot \delta}} \quad (6)$$

одержуємо вираз для оцінки  $\alpha^*$ :

$$\frac{1}{\alpha^*} \cdot \frac{(1 - e^{-\alpha^* \delta})}{1 - (1 - P)e^{-\alpha^* \delta}} = \frac{\delta}{P} \left[ 1 + \frac{\bar{n}_{AB}^*}{\bar{n}_n^*} \right]^{-1}, \quad (7)$$

де  $\bar{n}_n^*$ ,  $\bar{n}_{ав}^*$  – відповідно число аварій і uszkodжень, що з'явилися в період між останніми перевірками,

Отримане значення показника про (далі використовується при ухваленні рішення (коректування) по періодичності контрольних заходів в умовах наявності повної інформації (з обмеженнями чи без них).

З огляду на обставину, що прийняття експонентного характеру функції розподілу  $\Phi(t)$  є серйозним допущенням, доцільно систематично проводити переоцінку параметра  $\alpha$  за даними експлуатації і вносити відповідні корективи в періодичність перевірок. Це дасть змогу методом послідовних наближень вийти на опти-

мальне рішення в будь-якому випадку, навіть якщо істинна функція розподілу  $\Phi(t)$  недостатньо точно описується експонентним законом.

На ефективність контрольно-відновлювальних заходів істотно впливають параметри використаних технічних засобів контролю, що загалом характеризуються середніми витратами на перевірку  $Z_{пр}$  і повну імовірність виявлення ушкоджень за результатами обстеження  $P$ . У разі використання різних засобів контролю стану (герметичності) лінійної частини і транспортних засобів для проведення патрулювання траси показники  $Z_{пр}$  і  $P$  мають різні значення в широкому діапазоні.

З обліком цього представляється важливим розглянути задачу вибору найбільш доцільних технічних засобів і методів патрулювання з погляду економічної ефективності.

Задача зводиться до послідовної оптимізації функції мети ефективності контрольно-відновлювальних заходів за різних значень  $Z_{пр}$ ,  $P$  і періодичності  $\delta$ :

$$\min_{Z_{пр}, P} \min_{\delta} \bar{z}_{\Sigma}^{KB3}(\delta, Z_{пр}, P). \quad (8)$$

З випадку мінімаксного планування режиму контрольно-відновлювальних заходів отримуємо вираз:

$$\min_{Z_{пр}, P} \min_{\delta} \max_{\alpha} \bar{z}_{\Sigma}^{KB3}(\delta, Z_{пр}, P). \quad (9)$$

Необхідно зауважити, що значення показників  $Z_{пр}$  і  $P$  залежать від безлічі факторів. Крім здатності використовуваної апаратури і вартості її експлуатації, слід враховувати можливість об'єднання декількох різних технічних засобів при перевірках, проведення декількох контрольних проходів з метою підвищення вірогідності контролю, варійована швидкісними режимами при патрулюванні, впливу природно-кліматичних і сезонних умов експлуатації на процес обслуговування лінійної частини.

Залежно від умов експлуатації і структури конкретної газотранспортної системи змінюються й інші показники ремонтпридатності лінійної частини, такі як  $Z_{п}$ ,  $Z_{ав}$  та інші.

В зв'язку з цим важливим етапом проведення розрахунків з планування контрольно-відновлювальних заходів є оцінка показників ремонтпридатності ділянки газопроводу, що обслуговується на підставі статистичних чи даних непрямым шляхом.

Сформульовано вихідні дані для розрахунків за оцінкою ефективності контрольно-відновлювальних заходів на досліджуваних ділянках відповідно до розробленого вище алгоритму, які включають інформацію про конфігурацію газопровідної системи, рівні показників безвідмовності і ремонтпридатності лінійної частини, що діє в системі контролю (патрулювання) і технічного обслуговування, потужність й оснащеність ремонтно-експлуатаційних підрозділів.

Розрахунки і дослідження свідчать, що оптимальна періодичність патрулювання лінійної частини, що відповідає мінімальному значенню показника ефективності контрольно-відновлю-

вальних заходів, коливається в широких межах – від 3 до 55 доби – і істотно залежить від стану газотранспортної системи, показників ремонтпридатності лінійної частини на заданих ділянках, наслідків аварійних ситуацій на газопроводі, вартості і вірогідності прийнятих засобів контролю. Виконано розрахунки з метою оцінки ефективності використання альтернативних засобів контролю герметичності лінійної частини в ході патрулювання. За об'єкт дослідження прийнято окрему ділянку газопроводу із фіксованими показниками безвідмовності і ремонтпридатності. Обґрунтовано ефективність періодичного контролю стану лінійної частини шляхом автомобільного патрулювання з використанням газоаналізаторів.

Усе це підтверджує необхідність окремих розрахунків для планування режиму контрольно-відновлювальних заходів для кожної конкретної газотранспортної системи з урахуванням специфіки експлуатації. Отримані результати доводять ефективність застосування даної розробки в ході організації експлуатаційного обслуговування лінійної частини магістральних газопроводів.

### Література

- 1 Васильев Г.Г. Вопросы планирования организации ремонта газопроводов / Г.Г.Васильев, А.В.Шибнев, Е.И. Яковлев. – М.: ВНИИЭГАЗпром, 1989. – 59 с.
- 2 Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический поход / Ф.Байхельт, П.Франкен; пер. с нем. – М.: Радио о связь, 1988. – 392 с.
- 3 Райбман Н.С. Построение моделей процессов производства / Н.С.Райбман, В.Н.Чадаев. – М.: Энергия, 1976. – 374 с.
- 4 Королева И.А. Направления совершенствования систем управления газотранспортными комплексами в современных условиях // Тезисы докл. на всесоюз.научн.-техн. конф. «Проблемы развития нефтегазового комплекса страны» / Королева И.А., Ким А.О., Грудз В.Я. – Красный Курган, 1991. – 54 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
26.02.13

Рекомендована до друку  
професором **Грудзом В.Я.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Шелковським Б.І.**  
(Українська нафтогазова академія, м. Львів)