

Технічні науки

УДК 621.643.8

Чернецький Михайло Сергійович

аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Чернецкий Михаил Сергеевич

аспирант

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Chernetskyi Michael

Graduate Student

Ivano-Frankivsk National Technical University of Petroleum and State

Грудз Володимир Ярославович

доктор технічних наук, професор

професор кафедри газонафтопроводів та газонафтохранилищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Грудз Владимир Ярославович

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Grudz Volodymyr

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Professor of the Department of Gas and Oil Pipelines

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**РАЦІОНАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЬНО-
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ МАГІСТРАЛЬНОГО
ГАЗОПРОВОДУ НА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ**

**РАЦИОНАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА КОНТРОЛЬНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО
ГАЗОПРОВОДА НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
RATIONAL PLANNING CONTROL RECOVERY WORKS OF A MAIN
GAS PIPELINE ON A MATHEMATICAL MODEL**

Анотація. Розглядаються питання централізованого обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу. Створено економо-математичну модель процесу, яка розглядається як функція питомих витрат на обслуговування. Оптимізація процесу обслуговування дозволяє скоротити витрати на обслуговування.

Ключові слова: комплексна система, ремонт трубопроводів, контроль магістральних трубопроводів, попередження аварійності.

Аннотация. Рассматривается вопрос централизованного обслуживания линейной части магистрального газопровода. Создана экономо-математическая модель процесса, которая рассматривается как функция удельных затрат на обслуживание. Оптимизация процесса обслуживания разрешает сократить затраты на эксплуатацию.

Ключевые слова: комплексная система, ремонт трубопроводов, контроль магистральных трубопроводов, предупреждение аварийности.

Summary. Are examined question of the centralized maintenance of linear part of main gas pipeline. The ekonomo-mathematical model of process, which is examined as function specific expenses on service, is created. Optimization of process settles service to shorten expenses on exploitation.

Key words: integrated system, pipeline repair, control of main pipelines, accident prevention.

Одним з найважливіших понять, що характеризує систему з точки зору забезпечення споживачів газом, є надійність. Загальновідомо, що показники за надійності залежать від терміну служби об'єкту. Для магістральних газопроводів юридично встановлено граничний ресурс експлуатації 33 роки, після закінчення якого необхідна реконструкція або капітальний ремонт для відновлення показників надійності.

Серед газотранспортних магістралей України 17.27% експлуатуються вже понад 33 роки, а 13.66% до вказаної границі залишилось менше 10 років. Отже, 30.33% газопроводів від загальної їх протяжності вимагають невідкладних заходів не тільки для підвищення експлуатаційної надійності, але й забезпечення живучості.

Слід відзначити, що експлуатаційними службами ведуться роботи з діагностування стану газопроводів різноманітними методами, в тому числі з застосуванням інтелектуальних поршнів. Останні показали, що на окремих ділянках стан лінійної частини газопроводів критичний. Корозійні процеси призвели до зменшення робочої товщини стінки труб до такої міри, що подальша експлуатація газопроводів під робочим тиском є життєво небезпечною.

В таких умовах одним з найважливіших питань удосконалювання системи технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістральних газопроводів є вибір раціональної стратегії обслуговування з метою подальшого оптимального планування контрольно-відновлювальних заходів.

При формуванні стратегії обслуговування і ремонту необхідно враховувати специфіку реального процесу експлуатації лінійної частини, а також вимоги діючих нормативних документів, що накладають серйозні обмеження на можливі варіанти розрахункових схем технічного обслуговування і ремонту.

За основу розрахункової схеми контрольно-відновлювальних заходів приймається двох стадійна модель руйнування газопроводу, обговорена в попередньому параграфі. Стратегія формується у залежності від виду контролю, стану об'єктів, характеру ремонтно-експлуатаційних заходів і принципів впливу на систему за результатами контролю. Лінійна частина магістрального газопроводу (об'єкт) контрольно-відновлювального обслуговування може знаходитися в деякій кінцевій кількості станів $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$. Випадковий процес еволюції станів системи в часі описується функціями $X(t)$ зі ступінчастими траєкторіями. Аналіз практики експлуатації лінійної частини системи газопроводів, вимоги діючих галузевих нормативних документів дозволяють сформулювати наступні можливі стани системи:

$$X(t) = \begin{cases} E_1 - \text{справний стан} \\ E_2 - \text{не справний стан, але можлива робота} \\ E_3 - \text{непрацездатний (відмова)} \\ E_4 - \text{ремонтно - відновлювальне обслуговування} \\ E_5 - \text{контроль} \end{cases}$$

Розрахункова схема контрольно-відновлювальних заходів (стратегії) формується в такий спосіб:

- на магістральному газопроводі здійснюються строго періодичні перевірки стану (герметичності) лінійної частини (з періодом δ);
- у випадку виявлення несправностей і ушкоджень (свищі, витоків і прирівняні до них стани) здійснюються невідкладні відбудовні роботи;
- у випадку відмовлення (самотійного прояву ушкодження) у міжоглядовий період проводяться невідкладні аварійно-відбудовні роботи.

Граф переходів станів системи у ході контрольно-відновлювальних заходів представлений на рисунку 1.

Будемо вважати, що відмова на лінійній частині виявляються практично миттєво й абсолютно вірогідно. Вірогідність контролю характеризується повною імовірністю виявлення ушкодження P за результатами перевірки. Приймемо припущення, що заходи щодо технічного обслуговування і ремонту здійснюються практично миттєво (через непорівняно менші витрати часу стосовно δ) і не відбиваються на рівні показників надійності газопроводу.

Метою раціонального планування заходів щодо обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу полягає в мінімізації функції мети сумарних питомих витрат з обліком усіх її складових при обраній стратегії контрольно-відновлювальних заходів :

$$\Phi(Z_{\Sigma}^V) \Rightarrow \min \quad (1)$$

Така постановка задачі цілком традиційна [1]. Для її реалізації необхідно одержати інтегральний вираз функції мети (задача аналізу) і показників, її складових, а також знайти оптимальні (екстремальні) значення функції при різних вихідних даних і граничних умовах (задача синтезу). Головними принципами формалізації запропонованої математичної моделі є ймовірнісний підхід і облік фактора надійності лінійної частини магістрального газопроводу.

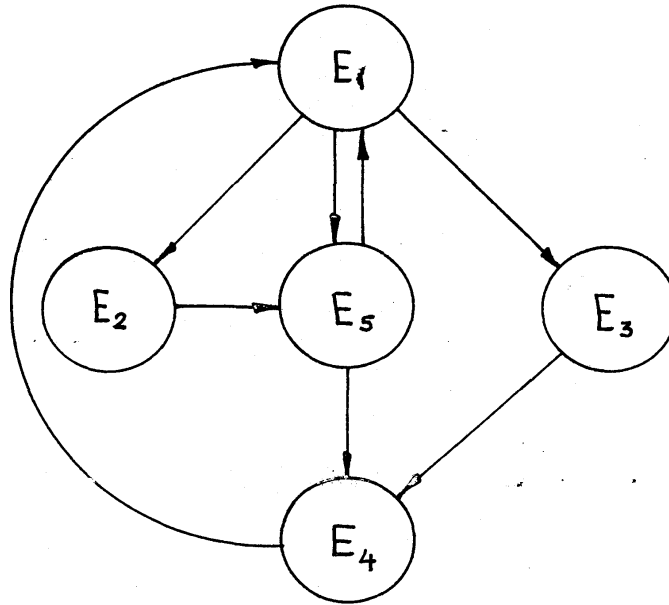


Рис. 1. Граф переходів станів лінійної частини магістральних газопроводів у ході контрольно-відновлювальних заходів

E_1 - справний стан; E_2 - несправний працездатний; E_3 - непрацездатний (відмова);
 E_4 - відновлення; E_5 - контроль

Пропонована розрахункова схема контрольно-відновлювальних заходів оцінюється наступним інтегральним показником:

$$Z_{\Sigma}^V = Z_{ав} \cdot \bar{n}_{ав} + Z_{п} \cdot \bar{n}_{п} + Z_{np} / \delta + \bar{Q} \quad (2)$$

де: $\bar{n}_{ав}, \bar{n}_{п}$ - узагальнені показники, що оцінюють відповідно середню питому інтенсивність усунення аварій і ушкоджень на ділянці, що обслуговується, 1/добу; $\bar{Q}$ - узагальнений показник з оцінки питомого збитку від втрат газу грн/добу;

$Z_{ав}, Z_{п}$ - показники ремонтпридатності лінійної частини, що оцінюють середні витрати (відповідно) на одну аварію, ушкодження.

З врахуванням обумовлених вище розрахункових схем руйнування й обслуговування лінійної частини вважаємо інтенсивність потоку відмовлень і ушкоджень λ постійною величиною, отже в випадку однопараметричного експонентного розподілу для характеристики безвідмовності системи можна обмежитися єдиним показником λ , 1/добу.

Процес розвитку ушкодження до його самостійного прояву (відмова) описується випадковим часом існування несправності з функцією розподілу $\Phi(t)$.

Серед показників ремонтпридатності (крім $Z_{ав}$, Z_n) і ефективності обслуговування газотранспортної системи необхідно враховувати:

- витрати на контрольні заходи (періодичне патрулювання) - $Z_{пр}$;
- збиток від утрат газу при стравлюванні в ході ремонту C ;
- середня питома величина збитку від одного ушкодження -(свища, витоку) - q ;
- імовірність виявлення ушкоджень за результатами перевірки - P ;
- періодичність контролю - δ , діб.

Розглянемо стаціонарний режим обслуговування необмеженої тривалості з періодичним контролем стану лінійної частини з частотою $1/\delta$ і дозволеною здатністю P .

Питоме число ушкоджень, виявлених за результатами перевірок які не проявилися самостійно, складає:

$$\begin{aligned}\pi_{II} &= \frac{1}{\delta} \left[\lambda \int_0^{\delta} P \bar{\Phi}(t) dt + \lambda \int_{\delta}^{\delta} P(1-P) \Phi(t) dt + \lambda \int_{2\delta}^{3\delta} P(1-P)^2 \Phi(t) dt + \dots \right] = \\ &= \frac{1}{\delta} \lambda P \sum_{K=0}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} \bar{\Phi}(t) dt\end{aligned}\quad (3)$$

де $\bar{\Phi}(t) = 1 - \Phi(t)$ - імовірність непереходу ушкоджень, що з'явилися, у відмовах за час t (функція надійності).

Відмова системи є результатом самостійного прояву ушкодження (несправності), що утворились у період між двома контрольними перевірками чи невиявленої під час попередніх контрольних оглядів.

Питоме число відмов (аварій) визначимо наступним чином:

$$\begin{aligned}\pi_{ab} &= \frac{1}{\delta} \left[\lambda \int_0^{\delta} \Phi(t) dt + \lambda \int_{\delta}^{2\delta} (1-P) [\bar{\Phi}(t-\delta) - \bar{\Phi}(t)] dt + \right. \\ &\quad \left. + \lambda \int_{2\delta}^{3\delta} (1-P)^2 [\bar{\Phi}(t-\delta) - \bar{\Phi}(t)] dt + \dots \right] = \\ &= \frac{1}{\delta} \lambda \int_0^{\delta} \Phi(t) dt + \frac{1}{\delta} \lambda \sum_{K=1}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} [\bar{\Phi}(t-\delta) - \bar{\Phi}(t)] dt\end{aligned}\quad (4)$$

Оцінку узагальненого показника питомого збитку від втрат газу в атмосферу доцільно провести в два етапи:

$$\bar{Q} = \bar{Q}_{ym} + \bar{Q}_{cmp} \quad (5)$$

де $\bar{Q}_{ym}$ - питомий збиток від утрат газу при несправностях (витоку, свищі); $\bar{Q}_{cmp}$ - питомий збиток від стравлювання газу з ділянки при проведенні відновлювальних робіт.

Оцінити питомий збиток від втрат газу від моменту появи ушкодження (витоку) до його ліквідації (після виявлення) досить складно. Апаратура, що здатна фіксувати обсяги витоків через мікросвищі і розємні з'єднання, відсутня. Системи безупинного контролю за герметичністю трубопроводів поки перебувають у стадії дослідно-теоретичних розробок [1]. Статистичні методи неприйнятні через відсутність подібної інформації. Необхідно відмітити, що величина питомих втрат газу через свищі і витоки має дуже широкий діапазон. З визначеним ступенем точності середні питомі втрати q можна визначати за непрямыми даними у залежності від параметрів (режиму) перекачування, характеру і розмірів ушкодження. Тоді питомий збиток від втрат газу через ушкодження із середньою щодобовою втратою q визначимо:

$$\begin{aligned}\bar{Q}_{ym} &= \frac{1}{\delta} \left[\lambda \int_0^{\delta} dt q \int_0^{\delta-t} \Phi(x) dx + \lambda \int_{\delta}^{2\delta} dt q \int_{t-\delta}^t (1-P) \bar{\Phi}(x) dx + \right. \\ &\quad \left. + \lambda \int_{2\delta}^{3\delta} dt q \int_{t-\delta}^t (1-P) \bar{\Phi}(x) dx + \dots \right] = \\ &= \frac{1}{\delta} \left[\lambda \int_0^{\delta} dt q \int_0^{\delta-t} \bar{\Phi}(x) dx + \lambda q \sum_{K=1}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dt \int_{t-\delta}^t \bar{\Phi}(x) dx \right]\end{aligned}\quad (6)$$

Як правило, найбільша питома вага в загальному обсязі втрат газу в атмосферу складають втрати при стравлюванні газу з ділянки газопроводу, що ремонтується. Об'єм стравленого газу визначається характеристиками ділянки (довжина перекритої ділянки між двома лінійними кранами; діаметр газопроводу) і параметрами газу, що перекачується, (тиск, температура, коефіцієнт стисливості). Не складає труднощів визначити середні значення витрат (збитку) C від втрат газу при стравлюванні перед проведенням вогневих робіт на трасі.

З врахуванням цього, питомий збиток від стравлювання газу з ділянок газотранспортної системи, що обслуговується, складає:

$$\bar{Q}_{cmp} = \frac{c}{\delta} (1 - P_{ne}) \quad (7)$$

де P_{ne} - повна імовірність невиявлення ушкоджень за результатами всіх перевірок у ході експлуатації лінійної частини.

$$\begin{aligned}P_{ne} &= \prod_{K=0}^{\infty} \prod_{t=0}^{\delta} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{(\lambda dt)^r}{r!} e^{-\lambda dt} \left[1 - \bar{\Phi}((K+1)\delta - t) (1-P)^K P \right]^r = \\ &= \prod_{K=0}^{\infty} \prod_{t=0}^{\delta} \exp \left\{ -\lambda P (1-P)^K \bar{\Phi}((K+1)\delta - t) dt \right\} = \\ &= \prod_{K=0}^{\infty} \exp \left\{ -\lambda P (1-P)^K \int_0^{\delta} \bar{\Phi}((K+1)\delta - t) dt \right\} = \\ &= \exp \left\{ -\lambda P \sum_{K=0}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} \bar{\Phi}(x) dx \right\}\end{aligned}\quad (8)$$

З врахуванням (6) - (8) вираз (5) матиме вид:

$$\begin{aligned} \bar{Q} = & \frac{1}{\delta} \left[\lambda \int_0^{\delta} dt q \int_0^{\delta-t} \bar{\Phi}(x) dx + \lambda q \sum_{K=1}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dt \int_{t-\delta}^t \bar{\Phi}(x) dx + \right. \\ & \left. + C \left(1 - \exp \left(- \lambda P \sum_{K=0}^{\infty} (1-P)^K \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} \bar{\Phi}(x) dx \right) \right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Приймаючи обумовлене вище припущення про експоненціальний характер функції розподілу випадкового часу існування ушкодження до самотійного прояву (відмова), середній час існування ушкодження τ_{cp} визначимо як математичне очікування випадкового наробітку на відмову ;

$$\begin{aligned} \tau_{cp} = M_{\xi} &= \int_0^{\infty} t d\Phi(t) = \int_0^{\infty} \bar{\Phi}(t) dt = \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\alpha} \end{aligned} \quad (10)$$

Зручніше записати:

$$\Phi(t) = 1 - \exp(-\alpha t) \quad (11)$$

де $\alpha = 1/\tau_{cp}$.

Опускаючи численні проміжні перетворення, з врахуванням (10), (11), одержимо вирази узагальнених показників (3), (4), (9) в остаточному виді:

$$\pi_n = \frac{\lambda P}{\alpha \delta} \cdot \frac{(1 - e^{-\alpha \delta})}{1 - (1-P)e^{-\lambda \delta}}; \quad (12)$$

$$\pi_{as} = \lambda - \pi_n; \quad (13)$$

$$\bar{Q} = \left(C + \frac{q}{\alpha} \right) (\lambda - \pi_n) + \frac{C}{\delta} [1 - \exp(-\pi_n \delta)] \quad (14)$$

Таким чином, функція мети середніх питомих сумарних витрат $\bar{3}_{\Sigma}^{KB3}$ на здійснення контрольно-відновлювальних заходів у рамках обраної стратегії має вигляд:

$$Z_{\Sigma}^v = \frac{Z_{np} + C}{\delta} + \lambda \left(Z_{av} + \frac{q}{\alpha} \right) - \left(Z_{av} - Z_n + \frac{q}{\alpha} \right) \pi_n - \frac{C}{\delta} \exp(-\pi_n \delta) \quad (15)$$

де π_n - описується виразом (12).

Розроблена математична модель оцінки ефективності контрольно-відновлювальних заходів у рамках прийнятої стратегії технічного обслуговування і ремонту досить адекватно описує реальний процес обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу і дозволяє вирішувати комплекс задач по його удосконалюванню.

Література

1. Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків та ін. // Івано-Франківськ, Лілея-НВ, 2009. 710 с.
2. Energy Charter Secretariat. Gas Transit Tariffs in selected Energy Charter Treaty Countries. URL: www.encharter.org. January 2006. 86 p.
3. Васильев Г.Г. Вопросы планирования организации ремонта газопроводов / Г.Г. Васильев, А.В. Шибнев, Е.И. Яковлев. М.: ВНИИЭГАЗпром, 1989. 59 с.
4. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. М.: Радио о связь, 1988. 392 с.
5. Райбман Н.С. Построение моделей процессов производства / Н.С. Райбман, В.Н. Чадаев. М.: Энергия, 1976. 374 с.
6. Королева И.А. Направления совершенствования систем управления газотранспортными комплексами в современных условиях: тез. 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.