

Технічні науки

УДК 621.643.8

Грудз Володимир Ярославович

доктор технічних наук, професор

професор кафедри газонафтопроводів та газонафтоховищ

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

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 Oil and Gas

**РАЦІОНАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ РЕМОНТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ
ГАЗОПРОВОДІВ**

**РАЦИОНАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕМОНТНО-
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ДЛЯ
ОБСЛУЖИВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
RATIONAL ACCOMMODATION OF REPAIR AND OPERATING
UNITS FOR MAINTENANCE OF MAIN PIPELINES**

Анотація. Розглядається задача підвищення експлуатаційної надійності газотранспортної системи за рахунок раціонального розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів в регіоні обслуговування газопроводів. Збільшення кількості і щільності розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів в регіоні обслуговування газопроводів дозволить скоротити час проведення ремонтно-відновлювальних робіт у випадку виникнення відмови на лінійній частині газопроводу з одного боку, та призведе до збільшення витрат на їх утримання з іншого. Тому залежність витрат на експлуатацію газотранспортної системи як функція параметрів її надійності повинна мати екстремум.

Побудована математична модель формування оптимальної схеми розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів в регіоні обслуговування газопроводів, яка дозволяє оптимізувати процес обслуговування, що підвищить надійність експлуатації газотранспортної системи.

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

Аннотация. Рассматривается задача повышения эксплуатационной надежности газотранспортной системы за счет рационального размещения ремонтно-эксплуатационных подразделов в регионе обслуживания газопроводов. Увеличение количества и плотности размещения ремонтных подразделов в регионе обслуживания газопроводов позволит сократить время проведения обновительных работ в случае возникновения отказа на линейной части газопровода с одной стороны, и

приведет к увеличению расходов на их содержание из другого. Поэтому зависимость расходов на эксплуатацию газотранспортной системы как функция параметров ее надежности должна иметь экстремум.

Построена математическая модель формирования оптимальной схемы размещения ремонтно-эксплуатационных подразделов в регионе обслуживания газопроводов, которая позволяет оптимизировать процесс обслуживания, которое повысит надежность эксплуатации газотранспортной системы.

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

Summary. The task of increase of operating reliability of the gas-transport system is examined due to the rational placing of repair-operating subsections in the region of maintenance of gas pipelines. The increase of amount and closeness of placing of repair subsections in the region of maintenance of gas pipelines will allow to shorten time of lead through of restoration works in the case of origin of refuse on linear part of gas pipeline from one side, and will result in the increase of charges on their maintenance from other. Therefore dependence of charges on exploitation of the gas-transport system as a function of parameters of its reliability must have extreme.

The mathematical model of forming of optimum chart of placing of repair-operating subsections is built in the region of maintenance of gas pipelines, which allows to optimize the process of service which will promote reliability of exploitation of the gas-transport system.

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

За останні роки транзитні поставки газу через територію України зростають. В умовах старіння магістральних газопроводів набуває актуальності задача забезпечення надійності функціонування

газотранспортної системи з метою безперебійного постачання газу, зниження втрат газу, запобігання аварій і забруднення навколишнього середовища. Причому проблеми безпеки і екологічності магістрального транспорту газу вимагає особливої уваги з обліком можливих катастрофічних наслідків аварій і несправностей.

Старіння газопроводів, велике число аварій і ушкоджень 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 й ушкодження на лінійній частині свідчить про значні резерви підвищення експлуатаційної надійності газотранспортної системи. Ситуація на магістральних газопроводах характеризується інтенсивністю аварій за останні 5 років (0.53 випадків в рік на тисячу км). Спостерігається тривожна тенденція збільшення числа ушкоджень і несправностей на магістральних газопроводах (6.5-7.0 випадків у рік на тисячу км).

В певній мірі забезпечити надійність транзитного транспортування газу по системі трансукраїнських газопроводів повинна мережа підземних сховищ газу (ПСГ), яка в випадку аварії здатна прийняти надлишок газу і забезпечити постачання споживачам. Тому при плануванні і оптимізації процесу обслуговування газотранспортної системи ПСГ повинні розглядатися як один з її елементів.

У нових умовах господарювання немаловажний економічний аспект цієї проблеми, оскільки аварії й ушкодження на лінійній частині призводять до великих втрат газу, збитків від недопоставки палива, вимагають витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Як відомо, методи підвищення надійності газопровідних систем поділяються на доексплуатаційні (схемні і конструктивні) і експлуатаційні. Впливати на надійність функціонуючого газопроводу можна, лише забезпечивши правильну технічну експлуатацію. Експлуатація, крім

безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного устаткування для виконання виробничих задач по транспортуванню газу, містить у собі також систему технічного обслуговування і ремонту, що представляє сукупність взаємозалежних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості об'єктів і їхніх елементів, що входять у систему.

З огляду на той факт, що аварійність магістральних газопроводів залишається досить високою, а темпи їх "старіння" значно випереджають темпи виконання капітального ремонту, одним з головних засобів підтримки експлуатаційної надійності лінійної частини є система технічного обслуговування і ремонту.

Методи і підходи до рішення перерахованих задач базуються на результатах основоположних досліджень провідних учених галузі В.Л. Березина, П.П. Бородавкіна, Л.Г. Телегіна, Н.Х. Халлієва, Е.М. Ясіна, К.Е. Рашепкіна, З.Г. Галиулліна, А.Ф. Комягіна й ін.

Разом з тим, аналіз досвіду експлуатації газотранспортних систем і наукових досліджень у цій області доводить необхідність подальшого пророблення задач удосконалювання організації експлуатаційного обслуговування лінійної частини і її елементів.

З позицій системного аналізу система технічного обслуговування і ремонту характеризується визначеним складом, структурою і режимом функціонування.

У залежності від умов експлуатації ремонтно-експлуатаційного підрозділу мають різну потужність і структуру, ступінь централізації і концентрації матеріально-технічних і інших ресурсів.

Необхідно відзначити, що в найближчий час навряд чи відбудуться істотні зміни в структурі, організації і принципах керування системою технічного обслуговування і ремонту. Не приходить очікувати істотного збільшення виробничих потужностей і значного переозброєння ремонтно-

експлуатаційних підрозділів. На сьогоднішній день більшість лінійно-експлуатаційних служб при лінійних виробничих управліннях не укомплектовані необхідною технікою відповідно до діючих нормативних документів.

У зв'язку з вищевикладеним, дуже актуальними є задачі підвищення ефективності використання наявних ресурсів (матеріальних, технічних, людських і ін.), удосконалювання планування контрольно-відновлювальних заходів і керування ремонтно-експлуатаційними підрозділами у ході обслуговування лінійної частини із метою забезпечення надійної і безперебійної роботи газотранспортних систем.

Зважуватися подібна задача може 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 і ремонту ціниться 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 і ремонту необхідно забезпечити вироблення найбільш ефективних організаційно-технологічних і технічних рішень у ході керування процесом експлуатації окремих ділянок.

Системний підхід, як головний принцип виконаних досліджень, передбачає комплексний розгляд перерахованих вище задач, їх спільне всебічне пророблення в ході формалізації загальної універсальної математичної моделі системи технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу, і видачу результатів у вигляді набору організаційно-технологічних рішень з її удосконалювання.

Задача формування оптимальної структурної схеми організації

регіональної системи технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу містить у собі наступні етапи:

- формалізація розрахункової схеми і формування вихідних даних по досліджуваній системі;
- формування альтернативних варіантів організації і розміщення підрозділів системи технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу;
- оцінка ефективності кожного з розглянутих варіантів;
- вибір оптимального варіанта, що відповідає мінімальному значенню функції мети.

Модель технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу базується на структурних схемах обслуговування відособленого газопроводу і складної регіональної системи магістрального газопроводу .

Дана модель дозволяє враховувати: нерівномірність розподілу показників безвідмовності по довжині газопроводів; істотне розходження наслідків аварій, що виникають на тих чи інших ділянках магістрального газопроводу; вплив природно-кліматичних і гідрогеологічних умов на трудомісткість робіт з технічного обслуговування і ремонту і розподіл показників ремонтпридатності по трасі; залежність рівня ремонтпридатності від потужності і комплектації ремонтно-експлуатаційних підрозділів технікою і персоналом, обраної технології робіт, прийнятої стратегії і режиму (періодичності) контрольних-відновлювальних заходів.

При розробці моделі обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу прийняті наступні допущення:

- ремонтно-відбудовчі роботи проводяться досить рідко і з високою інтенсивністю, що практично виключає можливість їхнього накладення й утворення черги;

- за кожною ділянкою, що обслуговується закріплено один ремонтно-експлуатаційний підрозділ, що виключає можливість взаємодопомоги і залучення додаткових потужностей при експлуатації лінійної частини;
- у силу незалежності функціонування ремонтно-експлуатаційний підрозділ узагальнений показник ефективності системи технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу (сукупності ремонтно-експлуатаційний підрозділ) є величина адитивна.

Розглянемо систему обслуговування відособленого газопроводу в рамках регіональної мережі магістральних газопроводів.

Середні сумарні питомі витрати в системі технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу у відповідності з обраним критерієм ефективності, визначаються витратами на створення і утримання ремонтно-експлуатаційного підрозділу, збитками від недопоставок газу споживачам, витратами на контрольно-відновлювальні і профілактичні заходи:

$$\bar{Z}_{\Sigma} = \bar{Z}_{РЕП} + \bar{Z}_{ТОР} + \bar{V}_{Щ} \quad (1)$$

У рамках запропонованої моделі обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу зручно розбити перерахунок показників ефективності по тимчасовій ознаці на одноразові витрати (капітальні вкладення) і поточні витрати:

$$\bar{Z}_{\Sigma} = \bar{Z}' + E_H \sum_i K_i (X_{РЕП_i}; Y_{РЕП_i}) \quad (2)$$

де \bar{Z}' - середні загальні питомі витрати на експлуатацію й обслуговування досліджуваного магістрального газопроводу; $K_i(X_{РЕП_i}, Y_{РЕП_i})$ - капітальні витрати на спорудження пунктів базування ремонтно-експлуатаційних підрозділів з координатами $(X_{РЕП_i}; Y_{РЕП_i})$, обслуговуючого і-ту ділянку магістрального газопроводу; E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

У силу прийнятих вище припущень, загальні питомі витрати в системі технічного обслуговування і ремонту досліджуваного

магістрального газопроводу складаються із середніх питомих витрат $Z^{i_{i+1}}$ по обслуговуванню i -тих відособлених ділянок с координатами границь ($x_i; x_{i+1}$):

$$\bar{Z}' = \sum_i \bar{Z}'_i(x_i, x_{i+1}) \quad (3)$$

Показник $Z^{i_{i+1}}$ складним образом залежить від ряду керованих і випадкових факторів, що визначають рівень безвідмовності і ремонтпридатності досліджуваної ділянки магістрального газопроводу, найбільш істотні характеристики траси в заданих границях, виробничі можливості сформульованого ремонтно-експлуатаційний підрозділ, величину наслідків відмовлень, ушкоджень лінійної частини:

$$\bar{Z}'_i(x_i, x_{i+1}) = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{dZ'_i(x)}{dx} dx \quad (4)$$

де $Z'_i(x)$ - функція середніх питомих експлуатаційних витрат від координати в межах досліджуваного i -го ділянки, що обслуговується визначеним ремонтно-експлуатаційний підрозділ про заданими характеристиками.

Таким чином, завдання полягає у визначенні показника $\frac{dZ^i}{dx}$ з врахуванням усіх його складових (неоднорідних характеристик), обчислення загального показника ефективності розглянутого варіанта організації системи технічного обслуговування і ремонту, зіставленні альтернативних варіантів і виборі оптимальної структурної схеми обслуговування, що забезпечує мінімальне значення функції мети:

$$\bar{Z}_\Sigma \rightarrow \min \quad (5)$$

З врахуванням сказаного сформовано показник

$$\frac{dZ^{i(x)}}{dx} \{ [Z_{avi}^{scn} + 2Z_{avi}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x) + Z_{avi}^{pem}(x)] \} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \bar{c}_i(x) [T_{avi}^{scn} + T_{avi}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x) + T_{avi}^{рем}(x)] \left\} \frac{d\bar{\Pi}_{avi}(x)}{dx} + \right. \\
 & + \{ [Z_{ni}^{scn} + 2Z_{ni}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x) + Z_{ni}^{рем}(x)] + \\
 & + \bar{c}_i(x) [T_{ni}^{scn} + T_{ni}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x) + T_{ni}^{рем}(x)] \left\} \frac{d\bar{\Pi}_{ni}(x)}{dx} + \right. \\
 & \left. + \frac{d\bar{Q}_i(x)}{dx}(x) + \frac{Z_{kni}}{\delta_{kn}}; \quad (6)
 \end{aligned}$$

де Z_{avi}^{scn} - допоміжні середні витрати даного ремонтно-експлуатаційного підрозділу при зборі, підготовці і проведенні аварійно-відновлювальних робіт;

$Z_{avi}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x)$ – середні транспортні витрати при проведенні аварійно-відновлювальних робіт на i -ій ділянці ремонтно-експлуатаційного підрозділу, розташованому в пункті як функція x ;

$Z_{avi}^{рем}(x)$ - середні витрати на проведення аварійно-відновлювальних робіт на i -ій ділянці лінійної частини;

$\bar{c}_i(x)$ - середній питомий збиток від недолачі (чи повного, припинення) подачі газу на i -ій ділянці;

T_{avi}^{scn} - середні тимчасові витрати на допоміжні заходи (збір, підготовка) при на i -ій ділянці;

$T_{avi}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x)$ – середня тривалість транспортування ремонтно-експлуатаційного підрозділу з пункту базування $(X_{PEPi}; Y_{PEPi})$ у точку X i -тої ділянки при аварійно-відновлювальних роботах;

$T_{avi}^{рем}(x)$ - витрати часу на аварійно-відновлювальних робіт на i -ій ділянці;

$\bar{Q}_i(x)$ - середні питомі втрати газу (у вартісному вираженні) на i -ій ділянці;

$\bar{\Pi}_{avi}(x)$ - середня питома інтенсивність усунення аварій на i -ій ділянці у міру їхнього самостійного прояву;

$\bar{\Pi}_{Pi}(x)$ - середня питома інтенсивність ліквідації ушкоджень в міру їхнього виявлення при періодичному контролі (патрулюванні) ;

Z_{KPi} - середні витрати на контрольно-профілактичні заходи в ході патрулювання і-тої ділянки;

δ_{KPi} - періодичність патрулювання (контролю, профілактики) на і-ій ділянці.

Показники

$Z_{ni}^{всн}; Z_{ni}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x); Z_{ni}^{рем}(x); T_{ni}^{всн}; T_{ni}^{mp}(X_{PEPi}; Y_{PEPi}; x); T_{ni}^{рем}(x);$ - аналогічні перерахованим вище при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт з усунення ушкоджень і несправностей (щілини, тріщини, витоку) на лінійній частині магістрального газопроводу. Їх виділення обумовлено істотними розходженнями в технології робіт, потреби в матеріально-технічних ресурсах, обсягах втрат і збитків при позаштатних ситуаціях.

Таким чином, величина питомих експлуатаційних витрат складається з власне експлуатаційних витрат і збитків від втрат і недопоставок газу.

Кожний з перерахованих показників залежить від різних факторів, що визначають умови експлуатації конкретної ділянки досліджуваної газотранспортної системи.

Величина капітальних витрат на ремонтно-експлуатаційний підрозділ, що базуються в пункті з координатами $(X_{PEPi}; Y_{PEPi})$ визначається:

$$K_i(x_{PEPi}; y_{PEPi}) = K_{BAZi} + K_{zani} + K_{Mi} + K_{Pi} \quad (7)$$

де $K_{BAZi}; K_{zani}; K_{Mi}; K_{Pi}$ - капітальні вкладення, відповідно: у будинки і спорудження; матеріально-технічні запаси і ресурси; машини, механізми і технічні засоби; соціально-побутові умови для персоналу ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Оцінка перерахованих показників не представляє складностей і легко виробляється по нормативних чи документах на підставі даних по

конкретному ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Характеристики $Z_{asi}^{BCП}$, $Z_{Пi}^{BCП}$, $T_{asi}^{BCП}$, $T_{Пi}^{BCП}$: залежать від осначеності і комплектації ремонтно-експлуатаційного підрозділу і визначаються непрямым шляхом чи шляхом обробки статистичної інформації про діяльність розглянутого ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Транспортні витрати засобів і часу визначаються складом підрозділів до місця виконання робіт, типом і кількістю транспортних засобів і є функцією плеча візки (координати). Для підрозділу з відомою осначеністю питомі транспортні витрати $Z_{ABPEПi}^{TP}$ - є умовно постійною величиною, оцінюваної окремо для кожного ремонтно-експлуатаційного підрозділу:

Тоді:

$$Z_{ABi}^{TP}(x_{PEПi}; y_{PEПi}; x) = Z_{ABPEПi}^{TP} \cdot S(x_{PEПi}; y_{PEПi}; x) \quad (8)$$

де $S(x_{PEПi}; y_{PEПi}; x)$ - плече возіння як функція координати.

При розгляді регіональної транспортної схеми (у декартових координатах) необхідно враховувати складну структуру дорожньої мережі. Для спрощення задачі в запропонованій моделі сформовані два можливих види транспортної схеми.

При відсутності розвинутої мережі доріг приймається традиційна схема транспортування РЕП по вдольтрасовим проїздах. В умовах розвинутої дорожньої мережі плече візки враховується як найкоротша відстань до будь-якої точки ЛЧ із поточною координатою X . Іншими словами:

$$S(x_{PEПi}; y_{PEПi}; x) = \begin{cases} y_{PEПi} + |x_{PEПi} - x|, \\ \sqrt{y_{PEПi}^2 + (x_{PEПi} - x)^2}, \end{cases} \quad (9)$$

Затратно-часові характеристики ремонтно-відновлювальних заходів $Z_{asi}^{BCП}$, $Z_{Пi}^{BCП}$, $T_{asi}^{BCП}$, $T_{Пi}^{BCП}$ (показники ремонтпридатності) визначаються

умовами виконання тих чи інших робіт, прийнятою технологією технічного обслуговування і ремонту, тривалістю й осначеністю ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Таким чином, побудована математична модель формування оптимальної схеми розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів у регіоні обслуговування газопроводів в комплексі з ПСГ в кінцевому рахунку дозволить оптимізувати процес обслуговування газотранспортної системи і підвищити надійність її експлуатації.

Література

1. Грудз В.Я., Тымків Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. Киев: УМК ВО, 1991. 160 с.
2. Обслуговування і ремонт газопроводів / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків та ін. Івано-Франківськ, Лілея-НВ, 2009. 710 с.
3. Трубопровідний транспорт газу./М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. К.: АренаЕКО, 2002 600 с.
4. Шибнев А.В. Определение потокораспределения и текущего состояния сложных систем газоснабжения ЭИ – Транспорт и хранение и использование газа в народном хозяйства. М. БНИИЭГАЗпром, 1983. №1. С. 14-16.