

$$t_{M_i} = \left[\frac{(\alpha_i + 1) P_{oi}}{\prod_j \alpha_j v_j} \right]^{\frac{1}{\alpha_i + 1}}, \quad (9)$$

Ці вирази визначають допустимі значення відносних енерговитрат і міжремонтні інтервали часу для будь-якого вузла циліндрової порожнини в циліндрі, об'єднаному системою паралельних циліндрів ПГПА.

Таким чином, на основі проведених досліджень встановлено, що ремонтно-відновлювальні операції призначаються за рівнем енерговитрат і з необхідною точністю можуть бути визначені розробленим методом технічної діагностики клапанів.

Збільшення продуктивності КС і ефективності компримування газу на КС пропонується здійснювати за рахунок попереджувальних ремонтів вузлів, що відмовили, ПГПА після досягнення допустимих значень, енерговитратами в цих вузлах. Допустимі значення у середньому на 20% менші граничних і визначаються за результатами контролю технічного стану з використанням розроблених алгоритмів і програм методів діагностики.

Продуктивність КС системи ПЗГ підвищується на 3,7%, витрати паливного газу знижується на 4%, експлуатаційні витрати зменшуються на 2,2% у результаті впровадження запропонованого й експериментально випробуваного методу технічної діагностики ПГПА.

Література

1. Грудз В.Я., Костів В.В., Грудз Я.В. Термогазодинамічні основи створення діагностичної моделі циліндра поршневого компресора. // Збірник «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ». – 2002. – №2(3). – С. 22-24.
2. Грудз В.Я., Тымків Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. – Киев: УМК ВО, 1991. – 160 с.

УДК 621.438:622

ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ РЕМОНТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПІДРОЗДІЛІВ У РЕГІОНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГАЗОПРОВОДІВ В КОМПЛЕКСІ З ПСГ

© В.Я. Грудз¹, Д.Ф. Тимків¹, В.М. Сусак²

1) ІФНТУНГ; 15, вул. Карпатська, м. Івано-Франківськ, 76019. E-mail: public@ifdtung.if.ua

2) НАК "Нафтогаз України"; 6, вул. Б. Хмельницького, м. Київ, 601001. E-mail: spas@ugp.viaduk.net

Построена математическая модель формирования оптимальной схемы размещения ремонтно-эксплуатационных подразделений в регионе обслуживания газопроводов в комплексе с ПХГ, которая позволяет оптимизировать процесс обслуживания, что повысит надежность эксплуатации газотранспортной системы.

A mathematical model of forming an optimum chart of repair-operating subdivisions placing in the region of gas pipelines maintenance in a complex with UGSF is built, which allows to optimize the process of service that will increase reliability of gas-transport system operation.

В умовах зростання транзиту газу через територію України і 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, значна кількість 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 надійнос-

ті газотранспортної системи. Ситуація на магістральних газопроводах характеризується інтенсивністю аварій за останні 5 років (0,53 випадків у 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).

Забезпечити, певною мірою, надійність транзитного транспортування газу по системі трансукраїнських газопроводів повинна мережа підземних сховищ газу (ПСГ), яка у випадку аварії здатна прийняти надлишок газу і забезпечити постачання споживачам. Тому під час планування і оптимізації процесу обслуговування газотранспортної системи ПСГ повинні розглядатися як один з її елементів.

У нових умовах господарювання економічний аспект цієї проблеми немаловажний, оскільки аварії й ушкодження на лінійній частині призводять до великих втрат газу, збитків від недопостачання 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, окрім безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного устаткування для виконання виробничих задач з транспортування газу, містить у собі також систему технічного обслуговування і ремонту, що є сукупністю 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 вирішення перерахованих задач базуються на результатах досліджень провідних учених 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 й ін.

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

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

Залежно від умов експлуатації, ремонтно-експлуатаційні підрозділи 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 доводиться очікувати істотного збільшення виробничих потужностей і значного переобладнання 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 з метою забезпечення надійної і безперебійної роботи газотранспортних систем.

Розглядати подібну задачу можна на декількох рівнях. По-перше, на структурно-територіальному рівні ставиться 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 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 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 опрацювання в ході формалізації загальної уні-

версальної 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 такі 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 природнокліматичних і гідрогеологічних умов на трудомісткість робіт з технічного обслуговування та 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) контрольно-відновлювальних заходів.

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

- ремонтно-відновлювальні 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, який 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 недопостачання газу споживачам, витратами на контрольно-відновлювальні і профілактичні заходи:

$$\bar{Z}_\Sigma = \bar{Z}_{РЕП} + \bar{Z}_{ТОР} + \bar{Y}_{Щ}$$

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:

$$\bar{Z}'_\Sigma = \bar{Z}' + E_n \sum_i K_i(X_{РЕП i}; Y_{РЕП i})$$

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 i -ту ділянку магістрального газопроводу; E_n – 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 $\bar{Z}'(x_i, x_{i+1})$ з обслуговування i -тих відособлених ділянок с координатами границь (x_i, x_{i+1}) :

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

Показник $\bar{Z}'_i(x_i, x_{i+1})$ значно залежить від ряду керованих і випадкових факторів, що визначають рівень безвідмовності і ремонтпридатності досліджуваної ділянки магістрального газопроводу, найбільш істотні характеристики траси в заданих межах, виробничі можливості сформованого ремонтно-експлуатаційного підрозділу, величину наслідків відмовлень, ушкоджень лінійної частини:

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

де $Z'_i(x)$ – функція середніх питомих експлуатаційних витрат від координати в межах досліджуваної i -ї ділянки, що обслуговується визначеним ремонтно-експлуатаційним підрозділом із заданими характеристиками

Таким чином, завдання полягає у визначенні показника $\frac{d\bar{Z}'_i(x)}{dx}$ з урахуванням усіх його складових (неоднорідних характеристик), обчислення загального показника ефективності розглянутого варіанта організації системи технічного обслуговування і ремонту, зіставлення альтернативних варіантів і виборі оптимальної структурної схеми обслуговування, що забезпечує мінімальне значення функції мети:

$$\bar{Z}_2 \rightarrow \min$$

З урахуванням сказаного сформовано показник

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{Z}'_i(x)}{dx} = & \left\{ Z_{аві}^{всн} + 2Z_{аві}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x) + Z_{аві}^{рем}(x) \right\} + \bar{c}_i(x) \left[T_{аві}^{всн} + T_{аві}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x) + T_{аві}^{рем}(x) \right] \frac{d\bar{\Pi}_{аві}(x)}{dx} + \\ & + \left\{ Z_{ні}^{всн} + 2Z_{ні}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x) + Z_{ні}^{рем}(x) \right\} + \bar{c}_i(x) \left[T_{ні}^{всн} + T_{ні}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x) + T_{ні}^{рем}(x) \right] \frac{d\bar{\Pi}_{ні}(x)}{dx} + \\ & + \frac{d\bar{Q}_i(x)}{dx} + \frac{Z_{кні}}{\delta_{кні}}; \end{aligned}$$

де $Z_{аві}^{всн}$ – допоміжні середні витрати даного ремонтно-експлуатаційного підрозділу на збір, підготовку і проведення аварійно-відновлювальних робіт;

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

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

$\bar{c}_i(x)$ – середній питомий збиток від недопостачання (повного чи часткового) газу на i -ій ділянці;

$T_{аві}^{всн}$ – середні тимчасові витрати на допоміжні заходи (збір, підготовка) на i -ій ділянці;

$T_{аві}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x)$ – середня тривалість транспортування ремонтно-експлуатаційного підрозділу з пункту базування $(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі})$ у точку X i -тої ділянки в ході аварійно-відновлювальних робіт;

$T_{аві}^{рем}(x)$ – витрати часу на аварійно-відновлювальні роботи на i -ій ділянці;

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

$\bar{\Pi}_{аві}(x)$ – середня питома інтенсивність усунення аварій на i -ій ділянці в разі їх самостійного виявлення;

$\bar{\Pi}_{пії}(x)$ – середня питома інтенсивність ліквідації ушкоджень у разі їхнього виявлення в ході періодичного контролю (патрулювання);

$Z_{кпії}$ – середні витрати на контрольно-профілактичні заходи в ході патрулювання i -тої ділянки;

$\delta_{кпії}$ – періодичність патрулювання (контролю, профілактики) на i -ій ділянці.

Показники $Z_{ні}^{всн}$; $Z_{ні}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x)$; $Z_{ні}^{рем}(x)$; $T_{ні}^{всн}$; $T_{ні}^{mp}(X_{РЕПі}; Y_{РЕПі}; x)$; $T_{ні}^{рем}(x)$; – аналогічні перерахованим вище в ході проведення ремонтно-відновлювальних робіт з усунення ушкоджень

і несправностей (щілини, тріщини, витоку) на лінійній частині магістрального газопроводу. Їх виділення зумовлено істотними розходженнями в технології робіт, потреби в матеріально-технічних ресурсах, обсягах втрат і збитків у позаштатних ситуаціях.

Таким чином, величина питомих експлуатаційних витрат складається з, власне, експлуатаційних витрат і збитків від втрат і недопостачання 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 $(X_{РЕПi}; Y_{РЕПi})$ визначається:

$$K_i(x_{РЕПi}; y_{РЕПi}) = K_{БАЗi} + K_{зани} + K_{Mi} + K_{Pi}$$

де $K_{БАЗi}$; $K_{зани}$; 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 є складною і легко відпрацьовується за нормативними документами чи на підставі даних по конкретному ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Характеристики $Z_{авi}^{ВСП}$, $Z_{Pi}^{ВСП}$, $T_{авi}^{ВСП}$, $T_{Pi}^{ВСП}$: залежать від оснащеності і комплектації ремонтно-експлуатаційного підрозділу і визначаються непрямим 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 перевезення (координати). Для підрозділу з відомою осначеністю питомі транспортні витрати $Z_{AB РЕПi}^{TP} (Pi)$ – є умовно постійною величиною,

що оцінюється окремо для кожного ремонтно-експлуатаційного підрозділу:

Тоді:

$$Z_{AB РЕПi}^{TP} (Pi)(x_{РЕПi}; y_{РЕПi}; x) = Z_{AB РЕПi}^{TP} (Pi) \cdot S(x_{РЕПi}; y_{РЕПi}; x)$$

де $S(x_{РЕПi}; y_{РЕПi}; x)$ – плече перевезення як функція координати.

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

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

$$S(x_{РЕПi}; y_{РЕПi}; x) = \begin{cases} y_{РЕПi} + |x_{РЕПi} - x|, & \text{– за відсутності розвинутої дорожньої мережі} \\ \sqrt{y_{РЕПi}^2 + (x_{РЕПi} - x)^2}, & \text{– в умовах розвинутої мережі доріг} \end{cases}$$

Витратно-часові характеристики ремонтно-відновлювальних заходів $Z_{авi}^{ВСП}$, $Z_{Pi}^{ВСП}$, $T_{авi}^{ВСП}$, $T_{Pi}^{ВСП}$ (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 у комплексі з ПСГ дозволить оптимізувати процес обслуговування газотранспортної системи і підвищити надійність її експлуатації.

Література

1. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. – Киев: УМК ВО, 1991. – 160 с.