

УДК 531.781.2

І. І. Капцов, В. Г. Котух, Н. І. Капцова, К. М. Палєєва, Є. О. Мартиненко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ДО ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРУБНОЇ АРМАТУРИ ТРАНСПОРТНИХ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ЗА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМ КРИТЕРІЄМ

У статті розглянуті питання, пов'язані зі ступенем придатності транспортних трубопровідних систем при використанні їх за призначенням і можливості їх технічного обслуговування. Виявлено причини зниження надійності і довговічності конструктивних елементів таких систем, а також основні енергетичні показники трубопровідного транспорту енергоносіїв. Показано, що оптимальною характеристикою транспортних трубопровідних систем слід вважати витрату енергії, віднесену до переміщення одиниці маси (об'єму) на одиницю довжини.

Ключові слова: *трубна арматура, трубопроводи, ефективність, надійність, довговічність, фактор, деформація, знос.*

Постановка задачі

У зв'язку з високими вимогами до якості й експлуатаційної надійності конструктивних елементів транспортних трубопровідних систем суттєво повинен змінюватися підхід до конструювання, розробки технології виготовлення, проведенню технічного догляду й ремонту трубної арматури. Обумовлено це тим, що трубну арматуру необхідно розглядати як систему, що «старіє», параметри якої змінюються в результаті зносу герметизуючи прецизійних пар, втоми, старіння матеріалів, що приводить до зниження надійності й довговічності виробів.

Експлуатаційна мінливість швидкісного напору енергоносія в транспортній трубній системі є традиційним предметом дослідження й нормування. До функцій трубної арматури входить здійснення дозування, контроль, герметизація трубопровідної транспортної системи, де у багатьох конструкціях арматури головним запірним вузлом є прецизійна пара. Залежність утікання енергоносія від зносу прецизійних пар трубопровідної арматури вивчена недостатньо, хоча результати досліджень вказують на доцільність цього фактору під час проектування, створення й експлуатації теплового, газового й іншого енергетичного обладнання транспортних трубопровідних систем.

Проблемам підвищення ефективності експлуатації транспортних трубопровідних систем присвячено багато робіт, що дозволило за останні роки суттєво підвищити технічний рівень і надійність конструкційних елементів газового обладнання й трубопровідних систем.

Однак зростання й розвиток нових технологій, комп'ютерної техніки трохи знизило інтерес до про-

блем надійності й довговічності запірної трубної арматури, до вивчення традиційної техніки і технології, а на практиці тільки через недосконалість конструкцій, технології виробництва, наприклад, кранів і вентилів, відбувається нерациональне використання енергоносія під час його транспортування від місць видобутку до споживача.

Незважаючи на тісний взаємозв'язок між технічними властивостями надійності конструктивних елементів транспортних трубопровідних систем, існують також економічні й екологічні зв'язки, які обумовлені допоміжними матеріалами, що використовуються, і витратами на їх створення, виробництво й експлуатацію.

Тому проблема, яка визначає закономірності формування показників надійності трубної арматури транспортних трубопровідних систем й екологічна безпека допоміжних матеріалів, що використовуються, під час виробництва й експлуатації з урахуванням технологічної спадковості на усіх стадіях життєдіяльності є актуальною.

Аналіз існуючих транспортних трубопровідних енергетичних систем і проблем надійності їх конструктивних елементів

Сучасні транспортні енергетичні системи – це трубопроводи з конструктивними елементами, а також різними спорудами на них, що призначені для транспортування рідких, газоподібних і твердих сипучих матеріалів від місць їх виробництва до місць переробки або споживання [1, 2, 3]. Залежно від виду продукту, який перекачується, транспортні трубопровідні системи поділяються на нафтові, газові, силові, вуглекислопровідні тощо. Основу тран-

спортної трубопровідної системи складає магістральний трубопровід – спорудження лінійного типу, що є безперервною трубою, уздовж якої розміщується споруди, які забезпечують перекачування транспортованого продукту при задалегідь заданими параметрами (тиск, температура, пропускна здатність тощо). На відміну від інших лінійних споруд, таких, як автошляхи, залізничні шляхи, магістральний трубопровід протягом усього строку експлуатації знаходяться в складному напруженому стані під впливом внутрішнього тиску продукту, що перекачується, і працює як посудина високого тиску [4].

Трубопроводи для видобування і транспортування газу, нафти й нафтопродуктів поділяють на чотири групи:

- промислові трубопроводи;
- технологічні трубопроводи;
- магістральні трубопроводи;
- розподільчі трубопроводи.

Промислові трубопроводи прокладаються від свердловини до установки підготовки газу, газового конденсату або нафти на промислах. Вони служать для збирання продуктів свердловин і їх транспортування на установки комплексної підготовки газу (УКПГ) або установки комплексної підготовки нафти (УКПН), а також подання очищеного газу, інгібітору або стічних вод під великим тиском в нафтові свердловини.

Технологічні трубопроводи прокладають прокладаються на території УКПГ і УКПН й призначені для з'єднання між собою технологічного обладнання, на якому здійснюється очищення нафти або газу від механічних домішок, води й інших компонентів.

Магістральні трубопроводи призначені для подальшого транспортування підготовлених на промислових спорудах нафти, газу, газового конденсату. Окрім того, магістральний трубопровід прокладається від газоперероблювальних і нафто перероблювальних (нафтопродуктопровід) заводів до районів їх споживання.

Розподільчі трубопроводи прокладаються від магістральних трубопроводів до місць безпосереднього споживання газу або нафтопродуктів.

До складу будь-якого трубопроводу входить арматура, яка є пристроями, призначеними для керування струмами рідини або газу, що транспортується по трубопроводах [5, 6].

Основними вимогами, що висуваються до арматури, є: тривалий термін служби; надійність й довговічність. За умовами роботи до арматури висуваються наступні вимоги: міцність, герметичність й надійність роботи, вибухонебезпечність й корозійна стійкість. Необхідна міцність арматури диктується робочим тиском в трубопроводі.

Аналіз показує, що транспортна трубопровідна система, яка на перший погляд здається простою,

яка легко піддається розрахункам інженерною спрудою, а трубно арматуру, її поведінку в період експлуатації прогнозувати надзвичайно складно.

Таким чином, біль глибоке вивчення проблем підвищення надійності й довговічності елементів транспортних трубних систем, в тому числі арматури, дозволить раціонально налагодити облік енергоносія, що транспортується, домагаючись зниження його утікання [7].

Постановка завдання

Основними завданнями даної статі є: аналіз особливостей транспортних трубопровідних систем, визначення місця трубної арматури в трубопровідній системі, теоретичне обґрунтування аспектів формування її надійності й зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, виявлення факторів, які впливають на надійність трубної арматури, побудова діаграми розподілу відмов, а також розробка номограми, яка дозволяє графічно визначити основні енергетичні параметри транспортних трубопровідних систем.

Викладання основного матеріалу

Технологічні й виробничі процеси, що об'єднують в єдиний комплекс транспортні засоби, машини, обладнання, засоби контролю, діагностування і керування, є складними динамічними системами [1, 8], які мають певну особливість. Характерною особливістю більшості систем є явно виражений і невизначений термін функціонування, обумовлений випадковими властивостями й характером взаємодії зовнішнього середовища на технологічні й виробничі процеси, непостійними у часі й просторі, а також більшою мінливістю різних факторів у часі [8, 9].

Відомо, що ступінь придатності трубопровідних систем й газового обладнання при використанні за призначенням й можливості їх технічного обслуговування визначають експлуатаційними характеристиками і, насамперед, їх надійністю й довговічністю.

Надійність має дві основні гілки: конструкційну й виробничу або технологічну й експлуатаційну. У процесі експлуатації на газове обладнання й трубопровідні системи впливає значна кількість факторів, що впливають на їх надійність. Такі фактори поділяємо на вхідні, клерувальні й випадкові:

– вхідні фактори пов'язані з проектуванням і виробництвом газового обладнання й трубопровідних систем, які можуть сприяти як підтримці достатньо високої надійності виробу, і її зниженню. До них відносяться усі заходи, пов'язані з вибором схемного й конструктивного рішення під час проектування виробів, забезпечення якості виготовлення деталей й складання сполучень й вузлів, якості тех-

нічного обслуговування і ремонту тощо;

– до клерувальних факторів відносяться характер прикладання навантаження, взаємодія деталей, сполучень і вузлів обладнання, різні впливи зовнішнього й внутрішнього середовища, технічний стан зварних швів газового обладнання й трубопровідних систем в процесі їх експлуатації;

– до випадкових факторів відносяться позаштатні ситуації на газопроводах і їх спорудах: недбалості експлуатаційників, які можуть викликати не проварювання, про палення й інші дефекти під час зварювання; катаклізми природи (опади, зсуви); попадання блискавки в діагностичну систему, абразивів і вологи в трубопроводи; вплив течії тощо.

За характером дії усі фактори поділяються на конструкційно-технологічні, виробничі і експлуатаційні.

До конструкційно-технологічних факторів відносяться:

- раціональність конструктивних схем газового обладнання і систем транспортування газу;
- кількість і якість комплектувальних елементів;
- правильність вибору матеріалів деталей;
- стандартизація і уніфікація вузлів;
- можливість ремонту, контролю технічного стану виробу в цілому тощо.

Розглянуті фактори забезпечують надійність, не руйнівність й довговічність вузлів і деталей на заданому рівні у процесах розрахункового або директивного строку експлуатації. У свою чергу, не руйнівність визначається необхідною міцністю, яка розрахована на дослідний робочий тиск продукту, що перекачується, газу, нафтопродуктів й інших енергоносіїв [2, 9]. Специфіка роботи газотранспортних систем і компресорних станцій, що входять до їх складу, апаратів з очищення газу, запірної арматури, приладів й інших пристроїв, високі тиски (3,5 – 10 МПа) при яких невеликі нещільності, мікротріщини, свищі приводять в цілому до великих втрат газу в процесі експлуатації. Технологічні операції, пов'язані з виробництвом і ремонтом газотранспортних систем, потребує урахування багатьох факторів підвищення надійності й довговічності усіх конструктивних елементів газотранспортних систем.

У даний час наукою доведено, а практикою підтверджено, що несучу здатність й надійність дуже складно заздалегідь точно передбачити, що є причиною можливого руйнування трубопровідної системи, а значить, й визначити їх число і розподіл у часі.

До виробничих факторів можна віднести:

- вибір раціональної технології виробництва й ремонту;
- якість виконання технологічних операцій;
- культура виробництва, кваліфікація робітників, технічний стан технологічного обладнання, сту-

пінь автоматизації тощо;

- якість обробки матеріалів й монтажу систем;
 - контроль на усіх етапах виробництва.
- До експлуатаційних факторів можна віднести:
- умови експлуатації обладнання й систем транспортування газу;
 - планування технічного обслуговування й ремонту;
 - удосконалення технології ремонту;
 - кваліфікація обслуговуючого й ремонтного персоналу;
 - контроль й прогнозування технічного стану елементів і обладнання в цілому.

Аналіз досягнення науки й передового досвіду показав, що основними причинами зниження надійності і довговічності конструктивних елементів газотранспортних систем:

- деформація й знос матеріалу;
- поломки деталей з причини втомних явищ, що виникають під дією навантажень;
- зміна розмірів деталей в рухомих сполученнях внаслідок зносу;
- прояв порушень технології при механіко-оброблених і зварювально-монтажних роботах як під час виробництва, так і під час ремонту;
- пікові навантаження й різкі коливання температури;
- несправність окремих деталей й вузлів внаслідок сумарного впливу зовнішніх умов, зносу, технологічної спадковості, старіння і втоми.

Відомо, що поверхні, що труться, деталей складових частин і складальних одиниць трубопровідної арматури повинні бути підготовлені до сприйняття навантажень за допомогою їх випробувань. У процесі випробувань або так званого обкачування відбувається припрацювання сполучених деталей прецензійної пари, у результаті чого знижується шорсткість обробленої поверхні, йде руйнування шаржованих зерен абразивно-доводочної суміші, а також частково усуваються відхилення мікрогеометрії [6, 10].

Характерні відмови газової арматури наведено на рис. 1 [11].

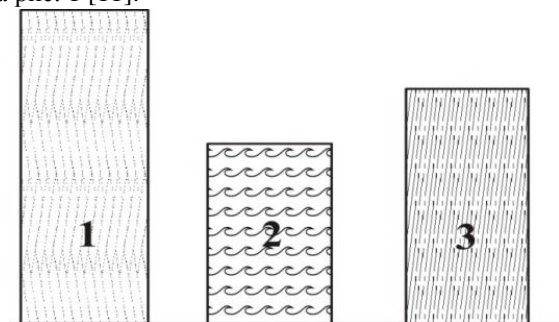


Рис. 1. Розподіл відмов трубої арматури:
1 – кулькові крани із пластмасовим ущільненням;
2 – кулькові металеві крани;
3 – пробкові крани

Проведені дослідження показують, що дефект кулькових пробкових кранів, що найчастіше зустрічається, – знос (старіння) пластмасового ущільнювального кільця, а пробкових кранів – абразивний знос. Найбільша кількість дефектів, пов'язаних з погіршенням герметичності, виникає у перший період експлуатації (до 30 – 40 %).

Одна з основних причин цих дефектів – неправильний вибір основних і допоміжних матеріалів під час конструювання й під час здійснення технологічного процесу виробництва і ремонту.

До відмов в початковий період, що зустрічаються найчастіше, можна віднести дефекти форм і розмірів прецизійних пар кранів, вентилів. Порушення технології фінішних операцій, і, насамперед, ведення процесу крупнозернистими абразивними пастами й жорсткими притирами різко погіршує не тільки шорсткість поверхні, але й веде до неточності форми й розмірів оброблюваного виробу. У результаті ведення доводочно-притиральних робіт, наприклад, кубанітовими (ельбаровими) абразивно-доводочними сумішами м'якого металу прецизійної пари різко посилює його шаржованість. У підсумку в ході експлуатації запірна частина арматури швидко зношується.

Несправність вентиля може з цієї ж причини виникнути у межах 2 – 3 місяців його експлуатації. Таким чином, ще раз можна вказати на те, що процес абразивної доводочно-притиральної обробки – це процес, що формує якість прецизійної пари. У процесі фінішної доводочно-притиральної обробки крупний одиничний інструмент, міцно закріплений у гнізді і такий, що методично крок за кроком оброблює поверхню, яка планомірно переміщується перед ним, при абразивній доводочно-притиральній обробці замінюється притиром, на поверхні якого знаходиться багато абразивних зерен у поєднанні з хімічно активними добавками, які по різному впливають на оброблювану поверхню [8, 10]. Вивчення даної проблеми дає можливість стверджувати, що залежно від щільності абразивного прошарку можливі три випадки стану технологічної системи «притир – абразивне зерно – оброблювана поверхня». Для спрощення поставленої задачі застосовують ряд припущень:

– марка матеріалу, їх твердість, шорсткість, товчність будуть для притиру й оброблюваної деталі у всіх трьох випадках постійними;

– крупність абразиву, склад рідкої фази абразивно-доводочної суміші й режиму обробки, також будуть аналогічними, змінною буде концентрація.

Виходячи з цього, проаналізуємо як і яким чином вплив концентрації мікропорошку відбивається на ефективності обробки. Раніше вказувалося на те, що знімання металу абразивними зернами за одиницю часу залежить не тільки від глибини цих подря-

пин, але й від якості їх на одиниці площі. При цьому розглядається кожне абразивне зерно як один різець, ефект обробки залежить не тільки від потужності зерен-різців, але й від кількості одночасно діючих зерен-різців на оброблюваний матеріал. Цей факт суттєво впливає на зносостійкість прецизійних пар арматури.

Комплексній оцінці ефективності втрат газу під час зниження гідравлічного стану і очищення газопроводів приділяється велика увага [2, 9, 10]. Оцінюючи показники витрат і втрат газу можна зробити висновок, що відсутність показника транспортної роботи ускладнює економічний аналіз й перспективне планування всередині галузі. Окрім того, транспортна робота враховує не тільки дальність передавання газу, але й надає можливість проводити кваліфікований аналіз й зіставлення економічних показників різних газопроводів:

$$W = \sum_{j=1}^{j=n} q_j l_j, \quad (1)$$

де W – транспортна робота по магістральному газопроводу;

n – число ділянок газопроводу;

q_j – кількість газу, що транспортується до окремих споживачів;

l_j – відстань транспортування газу до споживача.

Далі уточнюється наступне: недоліком цього показника є те, що він не враховує енергетику транспортування газу по магістральних газопроводах, яка відбиває ефективність роботи агрегату, компресорної станції, трубної арматури й газопроводу в цілому.

Особливість роботи магістральних газопроводів – нерівномірне їх завантаження протягом року. Коливання пропускної здатності газопроводів визначають і характеризують особливості роботи компресорних станцій і, зокрема, окремих газоперекачувальних агрегатів (ГПА), встановлених на них. Для комплексної оцінки роботи компресорних станцій (КС) і усього газопроводу необхідно застосовувати не один, а систему енергетичних показників. Так, наприклад при оцінці роботи компресорних станцій одного й того самого магістрального газопроводу буває, що вони перекачують майже однакову кількість природного газу, але витрачають на транспорт газу різну потужність. Це пояснюється багатьма причинами: різними характеристиками газопроводів; умовами експлуатації ГПА у різних кліматичних поясах; неоднаковим гідравлічним станом ділянок газопроводів між КС; різним ступенем підвищення тиску по газопроводу на кожній КС тощо. Тому до основних енергетичних показників трубоп-

ровідного транспорту природних газів слід віднести: пропускну здатність газопроводу; сумарну потужність газоперекачувальних агрегатів; питому витрату енергії; питому витрату паливного газу; коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) енергоприводу, в тому числі газу арматуру.

Практично досі зручною характеристикою питомих витрат енергії в умовах трубопроводного транспорту газу слід вважати витрату енергії, віднесену до переміщення одиниці маси або обсягу газу на одиницю довжини:

$$\omega = \sum_{j=1}^{i=n} N_{ej} : \sum_{j=1}^{i=n} G_j L_j, \quad (2)$$

де ω – питома витрата енергії;
 N_{ej} – ефективна потужність енергоприводу нагнітача на КС;

G_j – кількість газу, що транспортується по газопроводу на кожній ділянці КС;

L_j – довжина ділянки магістрального газопроводу між відповідними КС.

Потужність енергоприводу для визначення зовнішньоадіабатичного або ізопотенційного процесу [2, 3] стиснення визначається за формулою

$$\begin{aligned} N_e &= \int_{\eta_{ад}} \frac{1}{\eta_{ад}} G_C dW = -\frac{1}{\eta_{pv}} G_C \int v dp = \\ &= -\frac{1}{\eta_{pv}} G_C \int p_1 v_1 \frac{dp}{\eta_{pv}} = \frac{G_C}{\eta_{pv}} z_1 R_1 T_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = \\ &= \frac{G_C}{\eta_{ад}} z_m R_m T_m \ln \frac{p_1}{p_2}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\eta_{ад}$ – приведений відносний адіабатичний к.к.д. – відношення оберненої адіабатичної роботи стиснення до ефективної роботи стиснення;

G_C – масова секундна витрата газу;

dW – потенційна роботи потоку газу після КС;

η_{pv} – приведений відносний ізопотенційний к.к.д. – відношення оберненої роботи стиснення в ізопотенційному процесі ($pv = idem$);

v – питомий обсяг газу;

p_1, p_2 – відповідно початковий і кінцевий тиск процесу стиснення на КС;

v_1, z_1, T_1 – відповідно питомий обсяг, коефіцієнт стисливості й абсолютна температура газу до стиснення;

$R_{\bar{A}}$ – газова стала;

z_m, T_m – середні в процесі стиснення відповідні коефіцієнт стисливості газу і абсолютна температура.

тура.

Потенційна робота потоку газу після компресорних станцій $\delta W = -vdp$ розподіляється на питому ефективну роботу потоку δW^* і не обернені втрати роботи під час руху газу по газопроводу δW^{**} :

$$\delta W = \delta W^* + \delta W^{**}. \quad (4)$$

Питома ефективна робота потоку δW^* газу, що транспортується, витрачається на зміну енергії зовнішнього положення потоку кінетичної dE_C і потенційної у полі тяжіння dE_z :

$$\delta W^* = \frac{dE_C + dE_z}{G_C} = d \left(\frac{c^2}{2g_n} \right) + \frac{g}{g_n} dz_{\bar{A}}, \quad (5)$$

де c – лінійна швидкість газу в газопроводі;
 g, g_n – дійсне й стандартне прискорення вільного падіння на ділянках траси;

$z_{\bar{A}}$ – рівень підйому ділянок траси газопроводу (рис. 2).

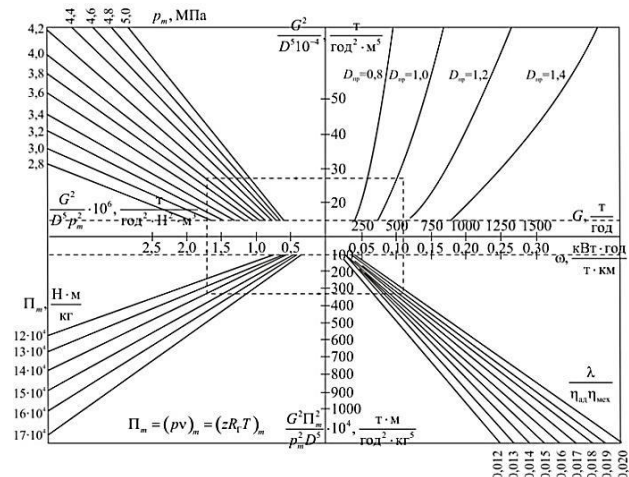


Рис. 2. Номограма для визначення питомої витрати енергії на транспорт газу

Необернені втрати роботи завжди мають позитивний знак, так як робота безпосередньо перетворюється під час руху потоку в газопроводі в тепло внутрішнього теплообміну:

$$\delta W^{**} \rightarrow \delta Q^{**}; \delta W^{**} = \delta Q^{**}. \quad (6)$$

Необернені втрати роботи залежать від режиму й структури потоку шорсткості внутрішньої поверхні труб, наявності забруднень й інших місцевих опорів (маємо на увазі й наявність трубої арматури):

$$\delta W^* = -v dp^{**} = \frac{c^2}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\bar{A}}}{D} + \frac{d\zeta}{dx} \right) dx; \quad (7)$$

$$\frac{dp^{**}}{dx} = -\frac{\gamma c^2}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\bar{A}}}{D} + \frac{d\zeta}{dx} \right) = \frac{u^2 v}{2g_n} \left(\frac{\lambda_{\bar{A}}}{D} + \zeta' \right), \quad (8)$$

де $\lambda_{\bar{A}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору труби;

D – діаметр газопроводу;

$\zeta' = \frac{d\zeta}{dx}$ – коефіцієнт, який враховує забруд-

нення й інші місцеві опори, віднесені до одиниці довжини газопроводу;

u – масова швидкість потоку газу.

Після інтегрування й деяких перетворень отримує формулу

$$\ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{z_m R_{\bar{A}} T_m}{2g_n p_m^2} u^2 \frac{\lambda_{\bar{A}m} l}{D}; \quad (9)$$

$$\lambda_{\bar{A}m} = \lambda_{\bar{A}} + \frac{\zeta D}{l}; \quad (10)$$

$$p_m = \sqrt{\frac{1}{2} p_1^2 + p_2^2}. \quad (11)$$

Розв'язуючи рівняння (9) – (11) отримуємо вираз потужності з урахуванням параметрів газопроводу

$$N_e = \frac{1}{\eta_{ад}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\bar{A}}^2 T_m^2 G_C^2}{2g_n p_m^2 f^2} \cdot \frac{\lambda_{\bar{A}m} l}{D} = \frac{m}{\eta_{ад}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\bar{A}}^2 T_m \lambda_{\bar{A}m} l}{p_m^2 D^5} G_C^3, \quad (12)$$

f – площа перерізу газопроводу;

m – масштабний множник, який враховує розмірність членів рівняння.

Підставивши рівняння (8) у вираз (2), отримуємо формулу питомих витрат енергії ω на магістральний транспорт газу

$$\omega = \frac{m}{\eta_{ад}} \cdot \frac{\Pi_m^2}{p_m^2} \cdot \frac{\lambda_{\bar{A}m}}{D^5} G^2, \quad (13)$$

де $\Pi_m = z_m R_{\bar{A}} T_m$ – потенційна функція;

G – витрата газу.

Для практичного застосування рівняння (12) побудовано номограму (рис. 2), яка дозволяє встановлювати й визначати значення питомих витрат

енергії на транспорт залежно від витрати газу, що транспортується, G , приведеного діаметру трубопроводу D , середнього тиску в газопроводі p_m , середнього значення потенційної функції Π_m й комплексу $\lambda_{\bar{A}m} / \eta_{ад} \cdot \eta_{i\bar{a}o}$.

Висновки

Проблема забезпечення технологічної надійності, пов'язаної з безперебійною доставкою розрахованої кількості продукту в кінцевий пункт, складна і багатогранна. Тут неоптимізованих проблем більше, ніж у випадку конструктивно-технологічної надійності. Причому втрати від утікання енергоносія й витрати на підтримку в безпечному і надійному стані трубопровідних систем й газового обладнання перевищують більш ніж у 2–3 рази порівняно із витратами на їх проектування й створення.

Вітчизняний й закордонний досвід експлуатації транспортних трубопровідних систем показує, що є імовірність виникнення деякої кількості несправностей новий і відремонтованих агрегатів, вузлів газотранспортних систем з причин технологічної спадковості. Одна з найважливіших задач технології виробництва й ремонту, наприклад, запірної трубноарматури – підвищення зносостійкості прецизійних пар під час експлуатації, що забезпечує зниження утікання енергоносія в процесі його транспортування по трубопроводах й зменшення тривалості ремонтно-відновлюваних робіт.

Характерною особливістю даного періоду роботи газотранспортних систем і обладнання є наявність в умовах експлуатації вузлів і агрегатів з надто перевищуваними гарантованими строками їх експлуатації. Несприятлива економічна кон'юнктура, відсутність в ряді експлуатаційних газових господарств прогресивних на перспективу ремонтних технологій й промислових ремонтно-механічних баз сприяють погіршенню технічного стану з причини зниження обсягів і якості ТО і ТР. Зростають вимоги до надійності, оскільки висока ціна на матеріали, труби, агрегати й наступні запасні частини, часто з ТО й ремонт стають для багатьох виробничих підрозділів недосяжними.

Для підвищення ефективності роботи газотранспортних систем і надійності окремих конструктивних елементів необхідно враховувати фактори, що формують технологічну надійність конструктивних елементів транспортних систем й обладнання на усіх етапах їх проектування, виробництва й експлуатації.

Системний підхід до вибору того чи іншого методу забезпечення надійності – це оцінка фактичного технічного стану, яка потребує розглядання як цілеспрямований процес керування надійністю й довговічністю роботи трубопровідної системи. Сис-

темний аналіз і комплексна оцінка рівня надійності, що досягається, й витрат на забезпечення працездатності запірної трубної арматури, дозволять сформулювати основну мету дисертаційної роботи – це підвищення ефективності використання конструктивних елементів транспортних трубопровідних систем за рахунок розробки теоретичних основ формування надійності й теоретико-експериментальних досліджень, які спрямовані на підвищення якості й екологічної безпеки допоміжних матеріалів, що використовуються в технологічних цілях під час їх виробництва й ремонту.

Література

1. Бородавкін, П. П. *Подземные магистральные трубопроводы* [Текст] / П. П. Бородавкін. – Москва: Недра, 1982. – 384 с.
2. Бунчук, В. А. *Транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа* [Текст] / В. А. Бунчук. – М.: Недра, 1977. – 366 с.
3. Вайнішток, С. М. *Трубопроводный транспорт нефти* [Текст]: учеб. для вузов: в 2 т. / С. М. Вайнішток, В. В. Новоселов, А. Д. Прохоров и др. – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – Т. 2. – 621 с.
4. Беляева, В. Я. *Нефтегазовое строительство* [Текст]: учебное пособие / В. Я. Беляева и др. – Москва: Омега-Л, 2005. – 774 с.
5. Гуревич, Д. Ф. *Справочник конструктора трубопроводной арматуры* [Текст] / Д. Ф. Гуревич. – Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – 518 с.
6. Евдокимов, А. Г. *Потокораспределение в инженерных сетях* [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Яцерицин, П. І. *Працездатність вузлів тертя машин* [Текст] / П. І. Яцерицин, Ю. В. Скоринін. - Мінськ: Наука і техніка, 1994. – 288 с.
8. Капцов, І. І. *Технологія ремонту газового обладнання і трубопровідних систем* [Текст]: монографія / І. І. Капцов, В. Г. Котух, Ю. В. Пахомов. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 231 с.
9. Капцов, І. І. *Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах* [Текст] / І. І. Капцов. – Москва: недра, 1988. – 160 с.
10. Коннонова, Г. В. *Оборудование транспорта и хранение нефти и газа* [Текст] / Г. В. Кононова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 128 с.
11. Ільченко, Б. С. *Теоретичні основи і методи розрахунку функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів* [Текст]: монографія / Б. С. Ільченко, Б. І. Ізмалков – Харків: Колегіум, 2006. – 250 с.
5. Gurevich, D.F. (1988) Handbook of the designer of pipeline fittings – Leningrad: Mechanical engineering. Leningrad branch, 518.
6. Evdokimov, A.G., Dubrovsky, V.V., Tevyashev, A.D. (1992) Flow distribution in engineering networks – M.: Mechanical Engineering, 672.
7. Yasheritsin, P.I. & Skorinin, Yu.V. (1994) Pratsedzatst vuzliv ter'tya machines – Minsk : Science and Technology, 288.
8. Kaptsov, I.I., Kotukh, V.G., Pakhomov, Yu.V. (2016) The technology for the repair of gas facilities and piping systems: monograph – Kharkiv: Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov, 231.
9. Kaptsov, I.I. (1988) Reduction of gas losses on main gas pipelines – M.: bowels, 160.
10. Konnonova, G.V. (2006) Transport equipment and storage of oil and gas – Rostov-on-Don : Phoenix, 128.
11. Ilchenko, B. S. & Ismalkov, B.I. (2006) Theoretical basis for the development of the functional and technical mill of gas-transferring aggregates: monograph – Kharkov: Kollegium, 250.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Харченко В. Ф., Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

Автор: КАПЦОВ Іван Іванович
д.т.н., професор, завідуючий кафедрою Експлуатації газових і теплових систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail – Ivan.Kapcov@kname.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7588-8290>

Автор: КОТУХ Володимир Григорович
к.т.н., доцент, доцент кафедри Експлуатації газових і теплових систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail – Volodimir.Kotuh@kname.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6679-8620>

Автор: КАПЦОВА Наталія Іванівна
старший викладач кафедри Експлуатації газових і теплових систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail – viola200573@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7588-8292>

Автор: ПАЛЄЄВА Катерина Миколаївна
асистент кафедри Експлуатації газових і теплових систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail – KAT_81P@i.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7588-8292>

Автор: МАРТИНЕНКО Євгенія Олександрівна
студентка другого курсу
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail – Ievgeniya.Martynenko@kname.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1006-3174>

EFFICIENCY OF PIPE FITTINGS USING FOR PIPELINE TRANSPORTATION SYSTEM ACCORDING TO THE TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC CRITERION

I. Kaptsov, V. Kotukh, N. Kaptsova, K. Palyeyeva, Ye. Martynenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Modern transport energy systems are pipelines with structural elements intended to transport of energy carriers from their production sites to processing or consumption sites.

The basis of the transport pipeline system consists of a main pipeline that is a linear type construction which is a continuous pipe with an appropriate reinforcement which ensures the pumping of the transporting product at predetermined parameters (pressure, temperature, throughput, etc.).

The operational variability of the high-speed head of the energy carrier is a traditional issue of research and valuation. The function of the pipe fittings includes the implementation of dosing, control, sealing of the pipeline transport system. Therefore the problem of determining the regularities of the indicators formation of pipe fittings reliability in the transport pipeline systems design, production and operation of the technological heredity is relevant.

In the article it is analyzed the features of transport pipeline systems and the location of pipe fitting, it is substantiated theoretically the aspects of its reliability and cost reduction for maintenance and repair. It has been developed the general strategy of maintenance of operational reliability of pipe fitting of transport pipeline systems according to criteria of technological heredity. It is substantiated scientifically the forecast of the quality of management in auxiliary materials of technological purpose and it is developed the general principles of determination of the functional and technical condition in the transport pipeline system on the example of pipe fitting. In the article it is also shown that the suitability of transport pipeline systems degree is determined by the operational characteristics. It is identified the significant number of factors influencing on the reliability of pipeline fitting which are input, controlled and random which ensure the reliability and durability of nodes and components at the predetermined level during the exploitation. It is constructed the diagram of distribution of failures of pipe fitting depending on their design features, it is given the complex estimation of the efficiency of gas losses when the hydraulic state of the transport pipeline systems decreases.

It is calculated the dependencies which allow to estimate specific energy costs in the conditions of pipeline gas transport, power of the power drive, potential operation of gas flow after compressor stations, taking into account irreversible energy losses.

The nomogram has been developed which allows determining the above indicators with a high proportion of reliability graphically.

Keywords: pipe fittings, pipelines, efficiency, reliability, durability, factor, deformation, depletion.