

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет будівництва та архітектури



УДК 697.7

КАПЦОВА Наталія Іванівна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ
МІСЬКИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства ім. О. М. Бекетова.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Редько Олександр Федорович,
завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції
та використання теплових вторинних енергоресурсів
Харківського національного університету
будівництва та архітектури

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Новохатній Валерій Гаврилович,
завідувач кафедри прикладної екології та
природокористування Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка

кандидат технічних наук, доцент
Предун Костянтин Миронович,
професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції
Київського національного університету будівництва
і архітектури

Захист відбудеться 04 липня 2018 року о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40 та на сайті університету:
<http://kstuca.kharkov.ua/ndial/nauka/>.

Автореферат розісланий 02 червня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



О. В. Гвоздецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основна частина вартості споруд у газовій галузі України припадає на магістральний транспорт і газорозподільні мережі. Протяжність магістральних газопроводів становить 36,7 тис. км, розподільних – 265 тис. км. Ефективність й надійність системи газопостачання населених пунктів залежить від технічного стану газопроводів та їх елементів. Значна кількість міських газопроводів України експлуатуються 30 – 50 років, більшість з них відпрацювали амортизаційний термін. Аналіз стану та структури газорозподільних систем свідчить про моральне і фізичне старіння, про наявність у трубопроводах значної кількості забруднень, а отже, і про необхідність своєчасного їх ремонту й оновлення.

У процесі транспортування газ багаторазово компримується на компресорних станціях, а тому його температура змінюється у широкому діапазоні, що може привести до утворення рідкої фази відкладень. Аналіз проб, які відібрані з внутрішньої порожнини газопроводів, демонструє наявність у них води, конденсату, механічних домішок і мінерального шлаку. Наявність забруднень у газопроводі знижує його пропускну спроможність і збільшує енерговитрати на компримування газу.

Гідравлічна ефективність більшої частини міських газопроводів знаходиться у межах 30 – 70 % від теоретичного значення, що свідчить про накопичення у внутрішній порожнині труб відкладень, об'єм яких необхідно визначати з метою наступного процесу очищення спеціальними очищувальними установками. Усе це обумовлює актуальність розроблення науково обґрунтованих технологій і методів очищення та ремонту газопроводів для підвищення ефективності й надійності їх експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наукові дослідження дисертаційної роботи відповідають Закону України «Про енергозбереження» та виконувалися у межах держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України у Харківському національному університеті міського господарства ім. О. М. Бекетова за темою «Підвищення ефективності ремонту газового обладнання та розробка нових методів та технологій в організації оптимальної роботи трубопровідних систем» (номер державної реєстрації 0116U005440).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є наукове обґрунтування та розроблення рішень щодо підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

– провести аналіз сучасних умов експлуатації міських газопроводів, що включають дослідження експлуатаційних параметрів роботи міських газових мереж, проаналізувати методи ремонту та відновлення міських газопроводів,

виконати оцінку ефективності застосування технічних рішень для підвищення експлуатаційного ресурсу;

- проаналізувати залежність ефективності роботи газопроводів від їх гідравлічного стану та дослідити структуру відкладень у внутрішній порожнині газопроводів, які впливають на енерговитрати та ефективність експлуатації газопроводів;

- розробити конструкцію очищувальної газодинамічної установки для діючих газопроводів та технологію очищення їх від забруднень, отримати математичну модель руху забруднень у режимах очищення;

- розробити технології і методи розрахунку витрат газу через свищі і мікротріщини діючих газопроводів;

- дослідити методи ремонту міських газопроводів із застосуванням клеїв і комбінованих систем;

- експериментально перевірити результати теоретичних досліджень і оцінити ефективність процесу очищення газопроводів газодинамічними установками.

Об’єкт дослідження – газодинамічні процеси очищення газопроводів очисними установками і нові технології ремонту трубопроводів в системах газопостачання.

Предмет дослідження – параметри процесів газодинамічного очищення міських газових мереж та принципи вибору технологічних рішень ремонту та відновлення газопроводів.

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань використовувалися аналітичні методи одномірної теорії руху, які базуються на законах збереження руху, енергії та маси; методи математичної обробки результатів чисельного і натурного експериментів, а також характеристик газодинамічної очищувальної установки і методи ремонту міських газопроводів; фізичне моделювання та статистичні методи оброблення експериментальних даних.

Робочі елементи газодинамічної очищувальної установки були розраховані за допомогою комп’ютерних технологій, змодельовані за розробленою програмою і виготовлені для реальних умов експлуатації. Модель газодинамічної очисної установки була експериментально перевірена в лабораторії експлуатації газових і теплових систем Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова.

Наукова новизна отриманих результатів:

- експериментально та теоретично визначено закономірності впливу відкладень в міських газопроводах на газодинамічні режими та ефективність експлуатації;

- набули подальшого розвитку математичні моделі процесів газодинамічного очищення газопроводів від забруднень під час руху газодинамічної очищувальної установки в режимі очищення;

- удосконалено технологію газодинамічного очищення внутрішньої порожнини газопроводів від забруднень та метод комбінованого ремонту газопроводів в умовах експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено методику розрахунку газодинамічної установки, яка створює високошвидкісний газовий потік під високим тиском для очищення від забруднень й підвищення ефективності і ремонту системи газопостачання;

- запропоновано схеми очищення і ремонту газопроводів, які можуть бути використані при проектуванні нових або реконструкції існуючих систем газопостачання;

- розроблено програму розрахунку параметрів газодинамічної установки для використання її при реконструкції міських систем газопостачання та рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації газопроводів;

- упроваджено методику розрахунку газодинамічної установки в ПАТ «Харківміськгаз», а основні результати дисертації включено до робочої програми навчальної дисципліни «Газопостачання» Харківського національного університету будівництва та архітектури.

Особистий внесок здобувача.

Результати досліджень, які наведено в дисертаційній роботі, отримані здобувачем самостійно. Основний внесок здобувача полягає у розробленні методик і технології розрахунку газодинамічної установки і нових методів ремонту для високоефективного очищення внутрішньої порожнини газопроводів, а саме:

- проаналізовано залежність ефективності роботи газопроводів від їх гідравлічного стану та досліджено структуру відкладень у внутрішній порожнині газопроводів;

- розроблено конструкцію очищувальних газодинамічних установок діючих газопроводів і технологію очищення та оцінено ефективність очищення газопроводів від забруднень;

- отримано математичну модель руху газодинамічних установок у режимах очищення внутрішньої порожнини міських газопроводів від забруднень;

- розроблено технологію і метод розрахунку визначення витрат газу через свищі і мікротріщини діючих газопроводів та досліджено методи ремонту міських газопроводів із застосуванням клеїв і комбінованих систем.

Апробація результатів дисертаційної роботи.

Результати досліджень, обговорені на Науково-практичних і Науково-технічних конференціях: на щорічних Науково-технічних конференціях Харківського національного університету будівництва та архітектури (м. Харків, 2010 – 2017 рр.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Енергозберігаючі технології теплогазопостачання будівництва та муніципальної інфраструктури» (м. Харків, 2013 р.); 27-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (м. Харків, 2014 р.); П'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (м. Івано-Франківськ, 27–29 травня 2015 р.); 28-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (м. Харків, 24–25 вересня 2015 р.); Proceedings of the XIII International Conference TCSET “Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science” (Lviv, February 23 – 26, 2016, Publishing House of Lviv Polytechnic); Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології» (м. Одеса, 10–11 жовтня 2017 р.).

Публікації.

За результатами досліджень опубліковано 13 друкованих робіт, з яких 4 статті в наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію, 3 статті, які додатково відображають наукові результати дисертації, 4 друкованих тези доповідей.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Обсяг дисертації – 150 сторінок, з яких основного тексту – 133 сторінки, рисунків – 21, таблиць – 10, використаних літературних джерел – 107.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та завдання досліджень; визначено об'єкт і предмет досліджень; описано методи досліджень; викладено наукову новизну та практичне значення результатів досліджень; відзначено особистий внесок здобувача; представлено відомості про апробацію результатів роботи та публікації за темою дисертації; наведено структуру й обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проаналізовано існуючий стан технологій експлуатації та ремонту міських газопроводів.

Енерготехнологічні особливості транспорту газу вивчали Б.П. Поршаков, Є.В. Леонт'єв, З.Т. Галіуллін, В.А. Щуровський та інші. Використання труб із внутрішнім покриттям для підвищення гідравлічної ефективності газорозподільних систем обґрунтували в своїх роботах О.Д. Сєдих, В.Я. Грудзь, І.Є. Ходанович та інші. Аналітичні дослідження впливу суспензії на пропускну здатність газопроводів проводили О.Ф. Редько, І.Є. Ходанович, В.О. Мамаєв, а також зарубіжні дослідники.

Аналіз наукових праць вітчизняних вчених показав, що багато газоконденсатних родовищ, що експлуатуються, знаходяться на стадії вичерпування енергії надлишкового перепаду тиску, а підтримка режиму сепарації газу при від'ємних температурах вимагає додаткових витрат. У зв'язку з цим на багатьох родовищах установки комплексної підготовки газу (УКПГ) працюють в режимі, який не забезпечує однофазне транспортування газу по газопроводу.

На основі проведеного аналізу літературних і патентних джерел сформульовані завдання досліджень і шляхи вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації та ремонту газопроводів.

У **другому розділі** проведено аналіз параметрів, які впливають на ефективність експлуатації міських газопроводів.

Проведені автором дослідження забруднень, відібраних з сепараторів установок комплексної підготовки газу (УКПГ) Шебелинського родовища, показали, що газ по газопроводу Шебелинка-Харків, що надходить в міські і розподільні мережі міста Харкова та Харківської області, містить вуглеводного конденсату 30-50%, пластової води 40-70%, механічних домішок 5-15%, мінеральних солей 3-6%, продуктів корозії 0,5-1,2%.

Потенційна енергія стислого газу у вигляді втрат тиску витрачається на тертя і подолання сил гідравлічних опорів у внутрішній порожнині газопроводу, на подолання потоком газу підйомів траси при рельєфній місцевості і на зростання лінійної швидкості потоку по довжині газопроводу.

Приведений (фактичний) коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_{\text{пр}}$ враховує теоретичний коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_{\text{тер}}$ і гідравлічні опори, які утворюються відкладеннями (забрудненнями) у внутрішній порожнині газопроводів $\lambda_{\text{з.г}}$:

$$\lambda_{\text{пр}} = \lambda_{\text{тер}} + \lambda_{\text{з.г}}. \quad (1)$$

Коефіцієнт опору тертя залежить від числа Рейнольдса Re , діаметра труб D і відносної шорсткості k/D . Теоретичний коефіцієнт гідравлічного опору тертя

$$\lambda_{\text{тер}} = 0,067(158/Re + 2k/D)^{0,2}. \quad (2)$$

Коефіцієнт гідравлічного опору, який створюється відкладеннями (забрудненнями) в газопроводі, визначаємо за формулою

$$\lambda_{з.г.} = \frac{\pi^2}{16} \cdot \frac{p_{\pi}^2 - p_{\kappa}^2}{z R_{\Gamma} T L M_{\Gamma}^2} \cdot D^5 - 0,067(158/Re + 2k/D)^{0,2}. \quad (3)$$

Потужність компресорних станцій в умовах зовнішнього адіабатичного стискування, яка витрачається на компримування та подолання гідравлічних опорів під час транспортування газу,

$$N_e = \int_1^2 \frac{1}{\eta_{ад} \eta_{мех}} M_{\Gamma} v dp = \frac{M_{\Gamma}}{\eta_{ад} \eta_{мех}} z_m R_{\Gamma} T_m \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad (4)$$

де $\eta_{ад}$ – відносний (приведений) адіабатичний к.к.д., який визначається відношенням адіабатичної роботи стискування до ефективної роботи стискування; $\eta_{мех}$ – механічний к.к.д. газоперекачувальних агрегатів; z_m , T_m – середній коефіцієнт стисливості і температура під час стискування; p_1 , p_2 – початковий і кінцевий тиск під час стискування.

Основний критерій в рівнянні (4), який визначає потужність під час стискування, – ступінь підвищення тиску в нагнітачах і компресорах на компресорних станціях (КС) $\varepsilon_{ст} = p_2/p_1$, який при переході потенційної енергії потоку в кінетичну дорівнює ступеню зниження або падіння тиску $\varepsilon_{рш}$ в газопроводі

$$\varepsilon_{ст} = \varepsilon_{рш}. \quad (5)$$

Окрім того, середні потенційні енергії при стискуванні на КС і розширенні на лінійній частині газу будемо вважати рівними, тобто $\Pi_m = z_m R T_m$. Розв'язавши спільно рівняння (4) і (5), отримаємо

$$N_e = \frac{m}{\eta_{ад} \eta_{мех}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\Gamma}^2 T_m^2}{p_m^2} \cdot \frac{\lambda_{пр}}{D^5} M_{\Gamma}^3 L, \quad (6)$$

де m – коефіцієнт, що враховує розмірність параметрів, які входять до складу рівняння; p_m – середній тиск на ділянці, що розглядається.

Виразимо приведенний коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_{пр}$ через коефіцієнт гідравлічної ефективності роботи газопроводу E :

$$E = \frac{M_{\phi}}{M_{\pi}} = \sqrt{\frac{\lambda_{тр}}{\lambda_{пр}}}, \quad (7)$$

де M_{ϕ} , M_{π} – відповідно фактична і проектна масові пропускні спроможності газопроводу.

Підставимо $\lambda_{пр}$ з виразу (7) у рівняння (6)

$$N_e = \frac{m \lambda_{тр}}{\eta_{ад} \eta_{мех}} \cdot \frac{z_m^2 R_{\Gamma}^2 T_m^2}{p_m^2} \cdot \frac{M_{\Gamma}^3 L}{E^2 D^5}. \quad (8)$$

Якщо вважати, що теоретичний коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_{тр}$ при робочих режимах роботи газопроводу тривалий час залишається величиною постійною, то при інших рівних умовах потужність, яка витрачається на транспортування газу, знаходиться у зворотній квадратичній залежності від коефіцієнта гідравлічної ефективності роботи газопроводу E , який оцінює гідравлічний стан внутрішньої порожнини газопроводу, яке створюється відкладеннями (забрудненнями) у ньому (рис. 1).

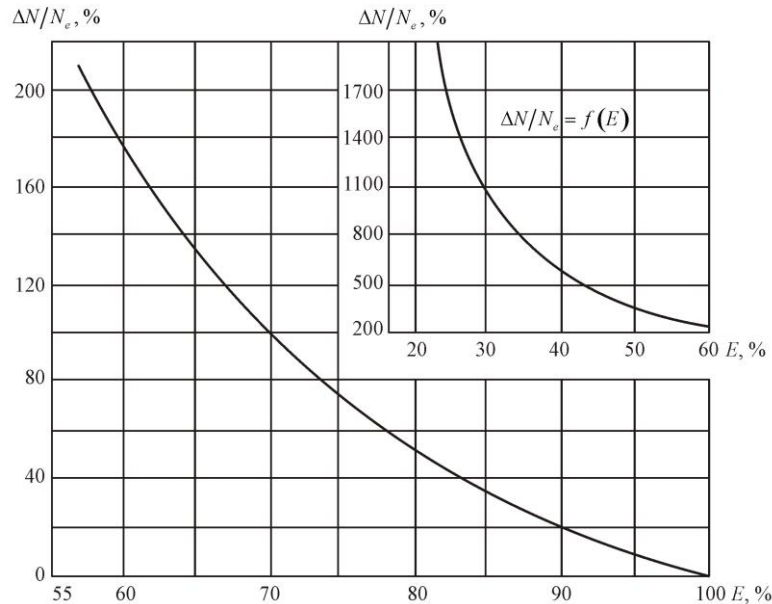


Рисунок 1 – Залежність необхідної потужності N_e для транспортування газу від коефіцієнта ефективності роботи газопроводів E

Відносна характеристика зміни потужності $\Delta N/\Delta N_e$ від коефіцієнта ефективності E не залежить від діаметра газопроводу. Після аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що гідравлічний стан газопроводів в значній мірі впливає на енерговитрати компресорних станцій. Зниження на 10 % ($E=90$ %) коефіцієнта гідравлічної ефективності лінійної частини газопроводу від проектної ($E=100$ %) при збереженні його пропускної спроможності потребує підвищення потужності на 20,3 %.

Як показують результати комплексних досліджень і дані експлуатації, коефіцієнт гідравлічної ефективності більшої частини магістральних і міських газопроводів знаходиться в межах 70 – 90 %, що свідчить про накопичення у внутрішній порожнині труб відкладень (забруднень). Основні причини наявності в газопроводі відкладень (забруднень) – незадовільне очищення внутрішньої порожнини трубопроводу після його будівництва перед введенням в експлуатацію і недосконала підготовка газу на установках комплексної підготовки газу на промислах.

З цією метою на газопроводах Шебелінка – Харків і Івацевичи – Долина було досліджено характер відкладень (забруднень), виконано аналіз їх якісного

складу і було визначено можливі причини і джерела забруднень. Перший газопровід знаходився в експлуатації більш ніж 15 років, а другий – менше 2 років. На момент дослідження за експлуатаційними даними коефіцієнт гідравлічної ефективності для першого газопроводу склав 78 %, а для другого – 71,4 %. На різних ділянках газопроводів з внутрішньої порожнини були відібрані проби рідких і дрібнодисперсних твердих забруднень. Аналіз забруднень, проведений в лабораторіях УкрНДІГазу, свідчить про те, що усі вони, як правило, є складною системою, яка включає різні компоненти, які знаходяться у різних співвідношеннях.

Наявність в газопроводі великих кількостей рідких забруднень утворює двофазні газорідні суміші, гідродинаміка яких покладена в основу визначення їх об'ємів. Відомо, що в рельєфному трубопроводі при невеликих числах Фруда для течії газорідного потоку характерна циклічна зміна структур: на висхідних ділянках траси буде мати місце коркова структура, на низхідних ділянках – роздільна. Запропоновано вирішення задачі в наближеній постановці для випадку течії газорідних сумішей з великим газовмістом.

При промисловому збиранні і транспортуванні газу спільно з конденсатом і вологою газовміст знаходиться у межах 0,95 – 1. Число Фруда газорідної суміші F_r для даних умов коливається в межах 0,01 – 40:

$$F_r = w_c / gD, \quad (9)$$

де w_c – швидкість течії суміші у газопроводі; g – прискорення вільного падіння; D – діаметр газопроводу.

У практиці експлуатації газопроводів для оцінки гідравлічного стану використовують коефіцієнт гідравлічної ефективності

$$E = \sqrt{\lambda_t / \lambda_\phi}, \quad (10)$$

де λ_t , λ_ϕ – теоретичний і фактичний коефіцієнт гідравлічного опору.

З урахуванням виразу (10) рівняння для визначення об'єму забруднень має вигляд

$$V_{\text{забр}} = \frac{\pi D^2}{4} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l^*}{H^*} \left\{ \frac{(p_{\text{п}}^2 - p_{\text{к}}^2)(1 - E^2) - 2\gamma_{\text{г}} \sum_{i=1}^{i=n} (H^* - H^-) p_{\text{сер}}}{2(\gamma_{\text{п}} - \gamma_{\text{г}}) p_{\text{сер}}} \right\}. \quad (11)$$

У **третьому розділі** розглядаються методи підвищення ефективності експлуатації міських газопроводів шляхом очищення їх внутрішньої порожнини очищувальними установками. Розрізняють три основні методи очищення внутрішньої порожнини трубопроводів: продування, промивання, чищення спеціальними пристроями і комбінація цих способів. Залежно від технічних, технологічних і інших чинників застосовують той чи інший спосіб очищення.

Останнім часом домінує технологія очищення внутрішньої порожнини магістральних газопроводів за допомогою очищувальних пристроїв різних конструкцій і принципів дії. Під час очищення сильно забруднених ділянок перед очищувальним поршнем виникають корки великої довжини, і прохідний переріз газопроводу закупорюється, що потребує його зупинки, виявлення корка та усунення його в трасових умовах.

Для усунення наявних недоліків були розроблені газодинамічні установки (ГДУ) нової конструкції, які забезпечують ефективно очищення внутрішньої поверхні газопроводів та попереджують можливість утворення корків і скорочення обсягу транспортування газу. Для цього було використано в очищувальному пристрої надзвукового газодинамічного сопла, яке дозволяє вести автоматичну роботу і формувати направлений струмінь газу з великою кінетичною енергією.

Після запуску зі спеціальної камери газодинамічна установка надходить у внутрішню порожнину газопроводу і рухається за потоком газу. Для руху установки по газопроводу необхідна певна сила, яка визначається перепадом тиску транспортованого газу перед і після неї. Продукти відкладень в процесі руху накопичуються перед установкою і по мірі їх накопичення на очищувальній установці починає зростати перепад тиску. Після накопичення продуктів відкладень перед рухомим пристроєм автоматично вмикається газодинамічне сопло, де газ, який проходить через сопло, розвиває велику швидкість і струменевим розсікачем направляється через турбулізатор на внутрішню поверхню труби. Сформований і відповідним чином направлений струмінь газу розрихлює, турбулізує і виносить продукти відкладень у суспензійному стані у напрямку руху установки (рис. 2). Для захисту газопроводу, а також корпусу ГДУ від динамічних впливів, які виникають під час руху, і покращення умов, що сприяють функціонуванню системи герметизації і збільшенню строку її служби, установка оснащена ходовою системою.

На газодинамічну установку, яка знаходиться в газопроводі, діють (рис. 3) сили: тертя кочення ходових коліс об стінки труби T_k ; дії маси установки M_y і маси забруднень, що виносяться, $M_{заб}$; тертя манжет об стінки труби T_m ; опору руху забруднень, що виносяться, $T_{заб}$; рухові сили тиску газу T_p .

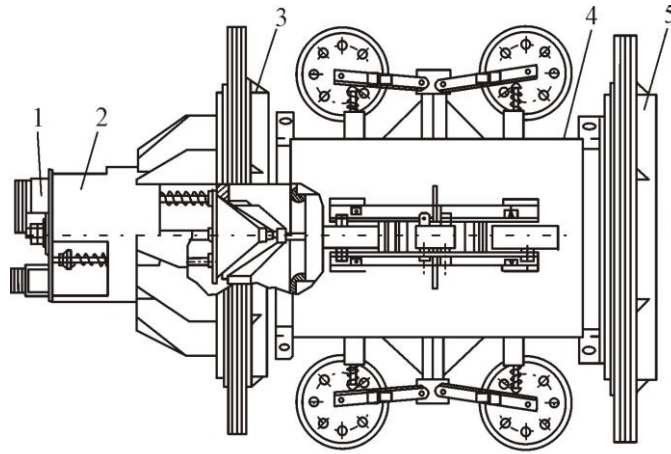


Рисунок 2 – Газодинамічна установка для очищення газопроводів:
1 – гасник ударів; 2 – регульовальний сопловий апарат; 3 – перший ступінь герметизації; 4 – корпус з ходовою системою; 5 – другий ступінь герметизації

На рис. 4 наведено схему сил, які діють на ходові колеса газодинамічної установки в газопроводі.

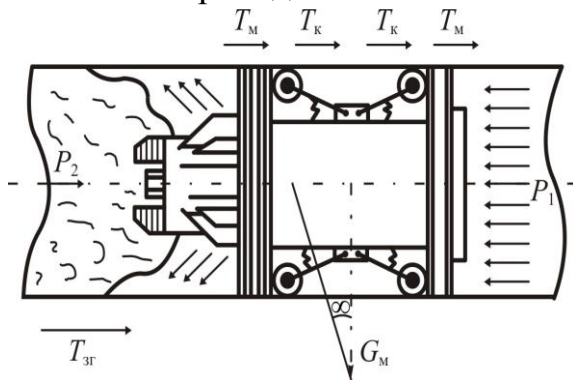


Рисунок 3 – Схема сил, які діють на газодинамічну установку в газопроводі під час очищення

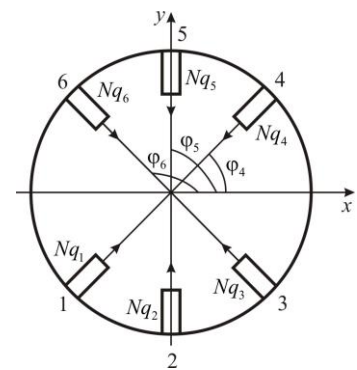


Рисунок 4 – Схема сил, які діють на ходові колеса (1-6) газодинамічної установки в газопроводі

Необхідний тиск газу для руху ГДУ визначається за формулою

$$p_1 = \frac{p_2}{1 - 4C_M \delta n_M / D} + \frac{4 \left[T_{заб} + T_k + (G_M + G_B) \sin \alpha \right]}{(1 - 4C_M \delta n_M / D) \pi D^2}. \quad (12)$$

З рівняння (12) видно, як залежить початковий тиск до очищувальної установки від складових сил тертя коліс, щіток, відкладень і ущільнювальних манжетів, а також від маси установки й відкладень під час очищення рельєфних газопроводів.

Роботу газодинамічного сопла очищувальної установки регулюють за допомогою регулятора тиску. Принцип дії регулятора полягає у відкритті, закритті й регулюванні прохідних отворів для газового потоку, що надходить на вхід конфузора сопла залежно від перепаду тиску газу. Пружину клапана налаштовують шляхом попереднього підтискання на потрібний режим роботи ГДУ залежно від характеру й інтенсивності відкладень у газопроводі.

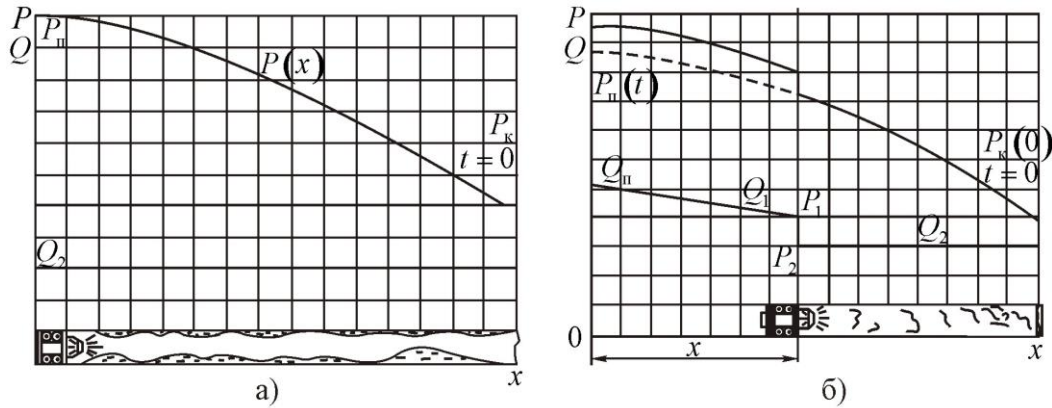


Рисунок 5 – Схема режиму тиску й продуктивності ділянки газопроводу, що очищується, в початковий момент (а) й в процесі очищення ГДУ (б)

Рівняння сил, які діють на клапан, запишемо у вигляді

$$p_{\text{вх}} F_{\text{еф}} = p_{\text{вих}} F_{\text{еф}} + cx + T_0, \quad (13)$$

де $p_{\text{вх}}$, $p_{\text{вих}}$ – тиск відповідно до та після золотника клапану; $F_{\text{еф}}$ – ефективна площа клапану; c – жорсткість пружини; x – деформація (стискання) пружини; T_0 – зусилля попереднього підтискання пружини.

Статична характеристика керувального клапану газодинамічних установок побудована за результатами стендових випробувань (рис. 6).

У **четвертому розділі** розглянуто рівняння руху продуктів забруднень в установках очищення газу на лінійній частині діючих газопроводів та описано моделювальний стенд, на якому проведено процеси очищення для різних складів забруднень й режимів подання повітря.

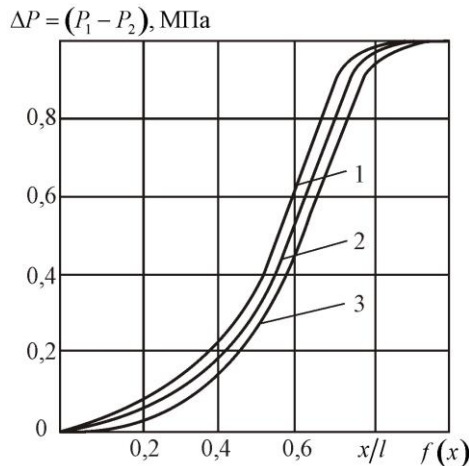


Рисунок 6 – Статична характеристика керувального клапана газодинамічних установок: 1 – ГДУ=1420; 2 – ГДУ=1220; 3 – ГДУ=1020; $p_1 - p_2$ – перепад тиску в установці; (x/L) – ступінь відкриття клапана;

$f(x)$ – площа перерізу отвору клапана

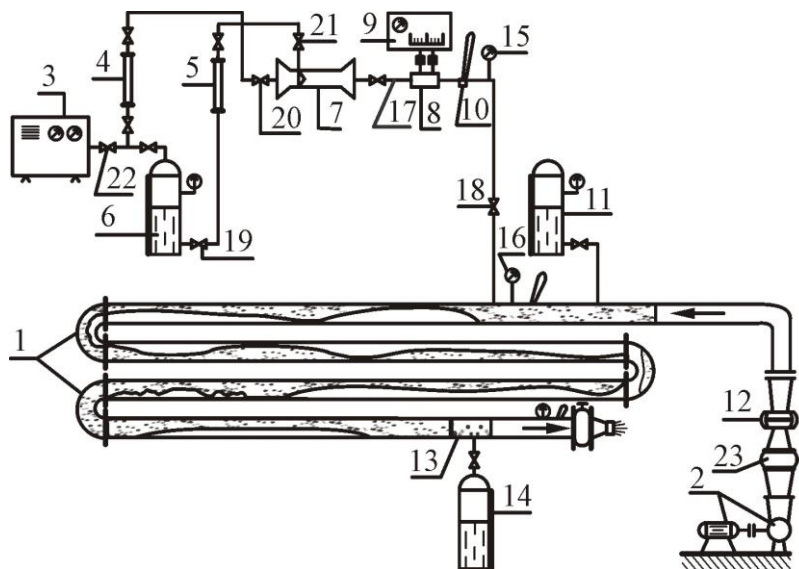


Рисунок 7 – Принципова схема моделювального експериментального стенду очищення міських газопроводів

На газопроводах, не обладнаних камерами запуску й приймання очищувальних пристроїв, проблема очищення їх внутрішньої порожнини від забруднень може бути вирішена за рахунок застосування установок інерційного типу уловлювачів забруднень. Уловлювач забруднень горизонтальний (УЗГ) складається з двох камер, розташованих у вертикальній площині одна над іншою, і об'єднаних між собою декількома з'єднувальними патрубками.

Для проведення досліджень очищення газопроводів було створено моделювальний стенд (рис. 7), що включає наступні елементи: скляний трубопровід діаметром 0,075 м, завдовжки 24 м 1, нагнітач повітря з електроприводом 2, допоміжний компресор 3, два ротаметри для вимірювання витрати газу і рідини 4 і 5, ємкість з рівнемірор для забруднень 6, змішувач 7, датчик 8 і вторинний прилад вимірювань 9, ємкість вимірювання для введення в трубопровід забруднень 11, лічильник витрати газу у трубопроводів 12, уловлювач забруднень 13, ємкість вимірювання для скидання продуктів очищення 14, манометр для вимірювання тисків в контрольних точках стенду 15. На моделювальному стенді були відпрацьовані режими процесу очищення та визначено ефективності процесу очищення.

У **п'ятому розділі** проаналізовано технології і методи ремонту міських газопроводів, які експлуатуються більше 40 років і мають мікроявища, свищі, тріщини, раковини. Визначення втрат газу на діючих газопроводах є складною проблемою. У дисертації розроблено спосіб, який забезпечує підживлення газом досліджуваної ділянки із сусідньої прилеглої ділянки газопроводу (рис. 8). Підживлення газом здійснюється через кран на обвідній лінії 2б після відключення від газопроводу досліджуваної ділянки шляхом закриття лінійних кранів 1 і 2. Потім, регулюючи ступінь відкриття крану на обвідній лінії, визначають таке його положення, коли тиск в досліджуваній ділянці

залишається постійним. У цьому випадку виконується умова, при якій значення витоків через еквівалентний переріз свищів й тріщин $G_{\text{вит}}$ дорівнює значенню витрат газу, який протікає через кран на обвідній лінії, G_{σ_n} , тобто

$$G_{\text{вит}} = G_{\sigma_n} \cdot \quad (14)$$

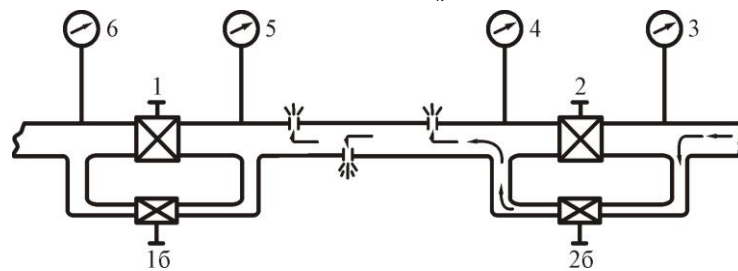


Рисунок 8 – Схема визначення витрат газу через свищі й мікротріщини на газопроводах: 1, 2 – лінійні крани; 1б, 2б – крани на обвідній лінії; 3, 4, 5, 6 – манометри

Однак вимірювання витрат газу через кран на обвідній лінії в умовах експлуатації газопроводів неможливе. Розглядають режими витікання газу через свищі, мікротріщини й втікання (підживлення) через кран на обвідній лінії з прилеглої ділянки, в результаті чого отримуємо

$$F_2 = \frac{\mu_1 \lambda_1}{\mu_2 \lambda_2} F_1 \frac{p_1}{p_2} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot \quad (15)$$

Коефіцієнт витрат лінійного крана μ_1 на обвідній лінії, діаметр якого значно менший за діаметр ділянок газопроводу знаходиться у межах 0,8 – 0,95. Коефіцієнт витрат через свищі й мікротріщини μ_2 змінюється від 0,62 до 0,68.

Найбільш розповсюджений спосіб ремонту сталевих газопроводів, що мають свищі, тріщини й раковини, – зварювання. Однак процес зварювання пов'язаний з порушенням режиму роботи газопроводу, вогневими роботами, продуванням газом в атмосферу після ремонту. Тому в останній час ремонтні роботи на газопроводі почали проводити із застосуванням клеїв.

Склад клею обирають залежно від конструкції й призначення деталей, що склеюються. Для з'єднання металевих поверхонь використовують клей на основі епоксидних, феноло-формальдегідних, кремнійорганічних, поліуретанових, поліефірних смол та інших зв'язуючих. Для отримання клею з різними міцнісними й технологічними властивостями до його складу вводять різні пластифікатори й наповнювачі, а саме – різноманітні порошкові й волокнисті матеріали: залізний порошок, кварцеве борошно, графіт, азбест, скловолокно, алюмінієву пудру тощо. Вибір виду і кількості наповнювача визначається умовами експлуатації труб з клейовим з'єднанням.

Запропоновані для усунення свищів і тріщин на трубопроводах накладні роз'ємні муфти з герметиком (рис. 9). Конструкція муфти дозволяє встановлювати її на трубопроводі, не очікуючи припинення витоків продукту.

Вона складається з двох напівмуфт, які затягнуті болтами. Для зручності монтажу в нижній напівмуфті є штуцер, за яким відводиться продукт, що поступає з труби. Після з'єднання напівмуфт на штуцер нагвинчують пробку. Тиск середовища одночасно сприймають внутрішні ущільнення муфти, розташовані по обидві сторони дефекту.

Герметик заливають в спеціальні порожнини муфти, утворені внутрішніми й зовнішніми ущільненнями на її кінцях. Зовнішні ущільнення встановлюють тільки після очищення зовнішньої поверхні труби від забруднень. Заливання герметика здійснюють через штуцера, розташовані на нижній напівмуфті. Штуцера, розташовані на верхній напівмуфті, служать для виходу повітря. У якості герметиків застосовують клеї.

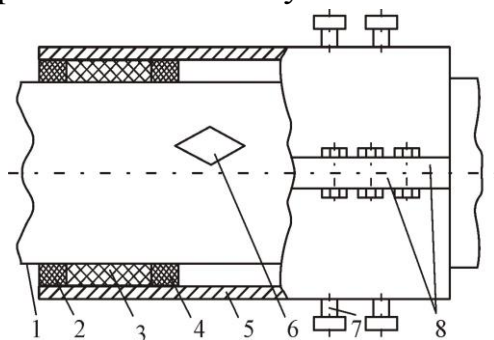


Рисунок 9 – Накладна роз'ємна муфта з герметиком: 1 – газопровід; 2, 4 – ущільнення; 3 – герметик; 5 – муфта; 6 – зона дефекту (свищ); 7 – штуцер для заповнення герметика; 8 – повздовжні фланці

Клейові з'єднання можна успішно застосовувати при ремонті ділянки газопроводу з крупними корозійними пошкодженнями (рис. 10). Ділянку, що ремонтується, з'єднують з частиною газопроводу за допомогою гладкої муфти, яка встановлюється на клей, з додатковим її обтисканням в радіальному напрямку. На очищені й знежирені кінці труб, що з'єднуються, і внутрішню поверхню муфти наносять шар клею. Для зручності монтажу внутрішній діаметр муфти повинен бути на 2–3 мм більше зовнішнього діаметра з'єднуваних труб. Після нанесення шару клею здійснюють сполучення труб з муфтою з наступним її пластичним деформуванням за допомогою обтискальної установки, що дозволяє отримати тонкий клейовий шар, високу міцність й герметичність з'єднання.

У дисертації проведено дослідження і технології комбінацій методів зварювання й використання клею у поєднанні з різними конструктивними рішеннями ремонтних вузлів, наприклад муфтами. Муфта першого типу (рис. 11, а) складається з верхньої 1 й нижньої 5 половин, які накладаються на пошкоджену ділянку труби 3, і закріплюють на ній шляхом зварювання бокових швів 4. Бокові шви 4 можуть бути або простими стиковими з V-подібним розділенням, або кутовими. Муфту виготовляють з відрізків труб або з прокатаних сталевих листів. Кінці муфти 6 не приварюються до

трубопроводу. Для попередження попадання води в кільцевий простір між трубою 3 і муфтою 1 його заповнюють компаундом 2 типу епоксидної або поліефірної смоли.

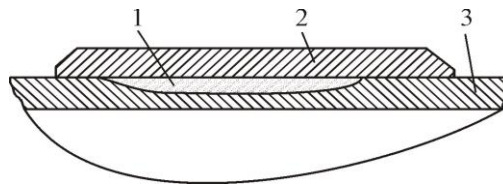


Рисунок 10 – Схема ремонту ділянки газопроводу (3) з великим корозійним пошкодженням за допомогою гладкої муфти (2) й клейового наповнювача (1)

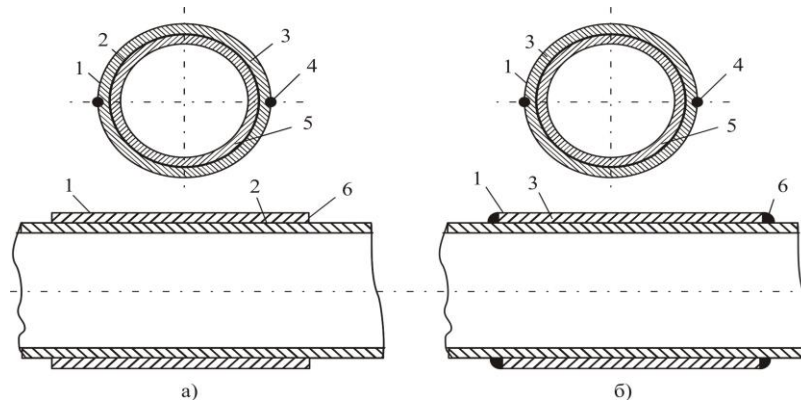


Рисунок 11 – Муфти першого (а) й другого (б) типів комбінованого методу ремонту пошкодженої зони газопроводу

Під час виконання ремонтних робіт тиск в трубопроводі необхідно зменшити на 60 % або зробити його нижче тиску, при якому було виявлено дефект. Це забезпечить безпеку роботи бригади ремонтників, так як під час виявлення кожен дефект може бути на грані руйнування. Окрім того, зниження тиску зменшує можливість локальних деформацій навколо дефекту.

Муфта другого типу (рис. 11, б) розрахована на витримування робочого тиску трубопроводу. Її кінці 6 повинні бути привареними до труби 3. Бокові шви 4 можуть бути стиковими з V-подібним розділенням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень вирішена конкретна науково-практична задача підвищення ефективності експлуатації і ремонту міських газопроводів шляхом розроблення математичних моделей процесів і вдосконалення технології газодинамічного очищення газопроводів та методів комбінованого ремонту в умовах експлуатації. Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. На основі проведених аналізів визначено, що більшість родовищ не забезпечує необхідний рівень підготовки газу. Від якості газу, що транспортується по міських газопроводах, залежить пропускна спроможність та

ефективність їх експлуатації і ремонту. З газом у міські газопроводи потрапляє вуглеводневий конденсат, вода, мінеральний шлак, підвищується коефіцієнт шорсткості і тертя газодинамічного потоку об стінки труби, що викликає корозію внутрішньої поверхні, утворюючи тріщини і свищі.

2. Розроблено методику для визначення об'єму відкладень у внутрішній порожнині в міських газопроводах та отримані відповідні формули для розрахунків. Упровадження методики на діючих газопроводах показало достатню збіжність теоретичних і практичних результатів.

3. Визначено величину приведенного коефіцієнту гідравлічного опору з урахуванням забруднень і відкладень на ділянках газопроводу на основі системи рівнянь, що описують рух газу в міських газопроводах. При цьому розглянуто і проаналізовано рівняння енергії, яка витрачається на компримування і подолання гідравлічних опорів та отримано рівняння приведенного коефіцієнту гідравлічної ефективності роботи газопроводу.

4. Створено нову конструкцію очищувальної установки внутрішньої порожнини газопроводів з використанням надзвукового газодинамічного сопла. Отримано рівняння руху газодинамічної установки у різних режимах очищення та опрацьовані технології налаштування і автоматичного регулювання роботою надзвукового сопла.

5. Розроблено схему приймання газодинамічних установок, яка виключає втрати газу і дозволяє прийняти продукти очищення. Вирішено задачу оптимальної періодичності очищення внутрішньої порожнини газопроводів і оцінено економічну ефективність процесу очищення діючих газопроводів.

6. Запропоновано технологію і метод визначення втрат газу через свищі і мікротріщини труб міських газопроводів. Отримані рівняння напружено-деформованого стану граничних навантажень ділянок пошкоджених газопроводів, які дозволили визначити максимальний тиск в газопроводі, який витримає бандажована муфтою ділянка, та вирішити зворотню задачу - за заданим граничним тиском й осьовим навантаженням визначити конструкцію муфти для труби, що ремонтується.

7. Обґрунтовано ряд технологій ремонту газопроводів із застосуванням клеїв та комбінованих методів.

Основні результати проведених досліджень:

- упроваджені в ПАТ «Харківміськгаз»;
- включені в робочу програму навчальної дисципліни «Газопостачання» за фахом «Теплогазопостачання і вентиляція» у ХНУБА.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертації:

1.1 Капцова Н. І. Методика визначення втрат газу на компресорних станціях і при продуванні газопроводів / Н. І. Капцова, О. М. Слатова // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків, 2017. – Вып. 139. – С. 143 – 146 (*Особистий внесок здобувача*: вибір методики розрахунку втрат газу на компресорних станціях і під час продування ділянок газопроводів для кожного конкретного випадку).

1.2 Капцова Н. И. Технологический расчет подземного хранилища газа / Н. И. Капцова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : наук.-техн. журн. – Харків, 2014. – Вип. 6. – С. 68 – 71.

1.3 Мирошник М. А. К вопросу оптимизации технологического процесса герметизации и трубопроводных систем / М. А. Мирошник, В. Г. Котух, Н. И. Капцова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова : научно-теоретич. журн. – Белгород, 2014. – № 6. – С. 100 – 103. (*Особистий внесок здобувача*: розроблена технологія герметизації газопроводів під тиском).

1.4 Мирошник М. А. Исследование способов снижения влагосодержания в корпусах датчиков для газового оборудования и трубопроводных систем / М. А. Мирошник, В. Г. Котух, Н. И. Капцова // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків, 2014. – Вип. 116. – С. 67 – 71 (*Особистий внесок здобувача*: вплив вологовмісту на роботу датчиків вимірювальних пристроїв).

1.5 Мирошник М. А. Алгоритм взаимосвязи и оптимизации энергозатрат на компримирование газа и гидравлического состояния газопроводов / М. А. Мирошник, Н. И. Капцова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : наук.-техн. журн. – Харків, 2014. – Вип. 1. – С. 53 – 55. (*Особистий внесок здобувача*: розроблений алгоритм залежності енерговитрат від величини гідравлічної ефективності експлуатації ділянок газопроводу).

1.6 Капцова Н. И. Оптимизация взаимосвязей показателей надежности с объемами ремонтно-восстановительных работ изделий газового оборудования и трубопроводных систем / Н. И. Капцова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова : научно-теоретич. журн. – Белгород, 2015. – № 3. – С. 77 – 79.

2. Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

2.1 Капцова Н. И. Аналитический метод оценки герметичности датчиков для газового оборудования и трубопроводных систем / М. А. Мирошник, В. Г. Котух, Н. И. Капцова // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте : 27-я междунар. науч.-практ. конф., 24 – 26 сент. 2014 г. : Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : наук.-

техн. журн. – Харків, 2014. – № 4 (додаток). – С. 18 – 19. (*Особистий внесок здобувача*: розроблені комбіновані методи усунення витоків газу й підвищення ступеню герметичності газопроводів).

2.2 Капцова Н. І. До питання технологічної спадковості і надійності виробів газового обладнання та трубопровідних систем / М. А. Мірошник, В. Г. Котух, Н. І. Капцова // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : п'ята міжнародна наук.-практ. конф., 27 – 29 травня 2015 р. : матеріали статей. – Івано-Франківськ, 2015. – С. 17 – 19. (*Особистий внесок здобувача*: підвищення надійності й ефективності експлуатації міських газопроводів).

2.3 Капцова Н. И. Формирование свойств надежности и долговечности элементов транспортных трубопроводных систем на стадии производства, восстановления и ремонта / М. А. Мирошник, В. Г. Котух, Н. И. Капцова // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте : 28-я междунар. науч.-практ. конф., 24 – 25 сент. 2015 г. : Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : наук.-техн. журн. – Харків, 2015. – № 4 (додаток). – С. 29 – 30. (*Особистий внесок здобувача*: методи ремонту ділянок трубних систем).

2.4 Редько О. Ф. Ремонт міських газопроводів з використанням клеїв / Н. І. Капцова, О. Ф. Редько // Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології : міжн. наук.-техн. конф., 10 – 11 жовт. 2017 р. : Вісник ОДАБа : зб. наук. праць. – Одеса, 2017. – С. 28 – 29. (*Особистий внесок здобувача*: запропонована й впроваджена технологія застосування спеціальних клеїв для ремонту газопроводів під тиском).

3. Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

3.1 Капцова Н. І. Визначення енергетично оптимальних режимів роботи поршневих газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях / Н. І. Капцова, О. М. Слатова // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків, 2017. – Вып. 139. – С. 147 – 151. (*Особистий внесок здобувача*: визначено енергетично оптимальні режими роботи поршневих газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях).

3.2 Капцова Н. И. К вопросу технической эксплуатации подземных хранилищ газа, созданных в водоносных пластах / Н. И. Капцова // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків, 2014. – Вып. 119. – С. 113 – 115.

3.3 Мірошник М. А. Технологічна концепція забезпечення надійності і довговічності трубної арматури транспортних трубопровідних систем за критерієм технологічної спадковості / М. А. Мірошник, В. Г. Котух, Н. І. Капцова, В. Н. Косенко // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків, 2016. – Вып. 128. – С. 44 – 48. (*Особистий внесок здобувача*: запропонована й розроблена концепція надійної системи трубної арматури).

АНОТАЦІЯ

Капцова Н. І. Підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення і теплогазопостачання. – Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, 2018 р.

В дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів. Проведені дослідження проб продуктів відкладень, відібраних з внутрішньої порожнини газопроводів. Запропоновані методи визначення об'єму відкладень в міських газопроводах.

Проведено аналіз методів і технологій очищення газопроводів і розроблена нова конструкція газодинамічної установки з очищення їх внутрішньої порожнини з використанням газодинамічного сопла. Отримані рівняння руху газодинамічної установки в режимах очищення.

Запропоновані методи і технології визначення втрат газу через свищі і мікротріщини труб міських газопроводів. Отримані рівняння напружено-деформованого стану та граничних навантажень пошкоджених ділянок газопроводів. Проведені дослідження ремонту газопроводів під тиском з використанням клеїв і комбінованих технологій.

Ключові слова: газопроводи, газодинамічна установка для очищення газопроводів, продукти відкладень у газопроводах, ремонт газопроводів.

АННОТАЦИЯ

Капцова Н. И. Повышение эффективности эксплуатации и ремонта городских газопроводов. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на получение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – вентиляция, освещение и теплогазоснабжение. – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, 2018 г.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача повышения эффективности эксплуатации и ремонта городских газопроводов. Определено, что большинство месторождений не обеспечивает необходимый уровень подготовки газа. От качества газа, транспортируемого городскими газопроводами, зависит эффективность их эксплуатации, ремонта и восстановления пропускной способности. Гидравлическая эффективность большей части городских газопроводов находится в пределах 30 – 70 % от

теоретического значения, что свидетельствует о накоплении во внутренней полости труб отложений, объем которых необходимо определить с целью последующего процесса очистки специальными очистительными установками.

Проведены исследования проб продуктов отложений, отобранных из внутренней полости газопроводов. С газом в городские газопроводы попадает углеводородный конденсат, вода, минеральный шлак, как следствие увеличивается коэффициент шероховатости и трения газодинамического потока о стенки трубы. Это вызывает коррозию внутренней поверхности трубопроводов, образуя трещины и свищи. Разработана методика определения объема отложений во внутренней полости в городских газопроводах, действующих на прямых и рельефных участках, получены формулы расчетов и проведена апробация на действующих газопроводах.

Определены приведенные коэффициенты гидравлического сопротивления с учетом загрязнений и отложений в области газопровода на базе системы уравнений, описывающих движение газа в городских газопроводах. Рассмотрены и проанализированы уравнения энергии, которая расходуется на компримирование и преодоление гидравлических сопротивлений. Получено уравнение приведенного коэффициента эффективности работы газопровода. Выведена формула теоретического коэффициента гидравлического сопротивления работы газопровода и мощности, затрачиваемой на транспортировку газа, находящейся в обратной квадратичной зависимости от коэффициента гидравлической эффективности, создаваемой отложениями в нем.

Проведен анализ методов и технологий очистки внутренней полости газопроводов. Разработана газодинамическая установка новой конструкции со сверхзвуковым газодинамическим соплом, которая обеспечивает эффективную очистку внутренней поверхности газопроводов и предупреждает возможность образования пробок и сокращения объема транспортировки газа. Получены уравнения движения газодинамической установки в режимах очистки. Методика расчета газодинамической установки для очистки отложений в газопроводах внедрена на ПАО «Харьковгоргаз».

Предложены методы и технологии определения потерь газа через свищи и микротрещины труб городских газопроводов. Получены уравнения напряженно-деформированного состояния и предельных нагрузок поврежденных участков газопроводов. Проведены исследования ремонта газопроводов под давлением с применением клеев и комбинированных технологий.

Ключевые слова: газопроводы, газодинамическая установка для очистки газопроводов, продукты отложений в газопроводах, ремонт газопроводов.

ABSTRACT

Kaptsova N. I. Increase of efficiency of exploitation and repair of municipal gas pipelines. – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.03 - ventilation, lighting and heat and gas supply. – Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, 2018.

In the dissertation the scientific and practical task of increasing the efficiency of operation and repair of urban gas pipelines is solved. The conducted research of samples of products of deposits, selected from the internal cavity of gas pipelines. Proposed methods for determining the volume of deposits in urban gas pipelines.

The analysis of methods and technology for cleaning gas pipelines has been carried out and a new design of a gas-dynamic installation for the internal cavity of gas pipelines has been developed using a gas-dynamic nozzle. The equations of motion of the gas-dynamic installation in the regimes are obtained.

Methods and technologies of determination of losses of gas are offered through fistulas and micro cracks of pipes of municipal gas pipelines. Equalizations of the tensely-deformed state of the maximum loading of areas of the damaged gas pipelines are got. Studies of repair of gas pipelines are undertaken with the use of glues and combined technologies.

Key words: gas pipelines, gas-dynamic installation for cleaning gas pipelines, products of deposits in gas pipelines, repair of gas pipelines.

Підписано до друку 29.05.2018. Формат 60×84 1/16.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Умов. друк. арк. 0,9. Тираж 100 примырників.
Замовлення № 1559.

Надруковано у друкарні ФОП Тарасенко В.П.
Свідоцтво № 24800170000043751 від 21.02.2002 р.
61124, м. Харків, вул. Зерова 6/267.
Тел./факс: (0572) 52–82–11

