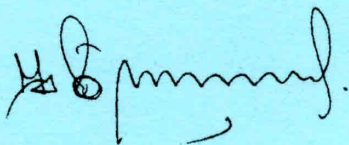


622.691.4
P 65

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Гончарук Микола Іванович

III/III



622.691.4 (043)
УДК 621.64.029
P 65

**ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ТРУБОПРОВОДАХ
НИЗЬКОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ**

05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу МОН України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Крижанівський Євстахій Іванович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор



Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Середюк Марія Дмитрівна,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти і газу

кандидат технічних наук
Говдяк Роман Михайлович,
голова правління ВАТ „Укргазпроект”

Провідна установа:

ІВП „Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу” (ВНПТРАНГАЗ), м. Київ

Захист відбудеться „10” грудня 2003 р. о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: вул. К

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: вул. К

Автор

Вчен
спеці
канд.

Корнута

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Природний газ, як енергоносіє, займає важливе місце в енергетичному балансі України. Однак, наша держава належить до країн зі значним дефіцитом власних енергоресурсів (задовольняє потреби у природному газі за рахунок власного видобування лише на рівні 25 %) та має дуже високий і неефективний рівень їх споживання (на одиницю валового національного доходу витрачається в 6 – 8 разів більше енергії, ніж в розвинених західних країнах). При ефективному використанні енергоресурсів Україна могла б у двічі збільшити свій національний продукт і одночасно в 3 - 4 рази зменшити витрати на газ і нафту.

Процеси постачання природного газу супроводжуються значними його втратами (у 2001 р. - 1,93 млрд. м³). В зв'язку з цим комплексна проблема мінімізації втрат і підвищення ефективності використання енергоносіїв є вельми актуальною і її розв'язання дозволить зекономити значні кошти, які можна буде спрямувати на забезпечення безперебійності і надійності постачання газу споживачу, підтримку належного функціонування газотранспортної системи в цілому.

Особливо важливого значення набувають експериментальні роботи в цьому напрямку, виконані за новими ефективними методиками, а саме - комплексні дослідження деформівної системи „труба – ґрунтовий масив” та достовірності і точності обліку газу.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках Національної програми „Нафта і газ України до 2010 року”.

Мета та задачі дослідження. Визначення головних причин втрат природного газу та розробка ефективних методів їх зменшення в трубопроводах низького та середнього тиску.

Досягнення мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Розробка інженерної методики дослідження корозійних процесів на підземних ділянках газопроводів та створення комп'ютеризованої установки для корозійно-механічних випробовувань.
2. Розробка методики дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу.
3. Дослідження деформівної системи „труба – ґрунтовий масив” методами механіки підземних споруд та механіки корозійного руйнування з метою оцінки стабільності фізико-механічних властивостей матеріалу газопроводу в процесі експлуатації і виявлення причин розгерметизації.
4. Удосконалення способу обліку витрат природного газу, який протікає по одному газопроводу, шляхом розширення діапазону вимірювань із забезпеченням вимог достатності нижньої і верхньої границь вимірювань.
5. Теоретичні та експериментальні дослідження процесів теплообміну робочого і навколишнього середовищ при обліку газу та розробка номограм для визначення поправочних температурних коефіцієнтів до обсягів споживання газу.
6. Експериментальне обґрунтування точності використання лічильників газу в трубопроводах низького та



Об'єкт дослідження – газопроводи низького та середнього тиску.

Предмет дослідження – втрати природного газу в трубопроводах низького та середнього тиску.

Методи дослідження. Комплексні дослідження деформівної системи „труба - ґрунтовий масив” проводили сучасними методами механіки підземних споруд та механіки корозійного руйнування, а також за розробленою і апробованою методикою корозійно-механічних випробовувань матеріалу газопроводів з комп'ютерною реєстрацією параметрів процесу повзучості та обробкою експериментальних даних у середовищі Origin 6.0, Axum 5.0, Statistica 6.0 та інших спеціалізованих програмних пакетів. Дослідження достовірності і точності обліку газу здійснювали з використанням теорій: теплопровідності, тепломасообміну, розширень, обслуговування складних систем, переносу, а також за розробленою методикою дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу, яка дозволяє отримати високу точність та достовірність результатів експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розкрито кінетичні особливості повзучості основного металу та зварного з'єднання труб зі сталі 10 на повітрі та в кислих середовищах з різним рН при експлуатаційних температурах і визначено параметри області низькотемпературної повзучості (ОНП). Започатковано новий науковий напрямок – низькотемпературна корозійна повзучість зварних з'єднань труб.
2. Вперше на сталі газопроводу експериментально виявлено значне розширення ОНП в кислих середовищах, порівняно з повітрям, і показано, що під впливом середовища 0,1 М НСl повзучість при $\sigma = 0,8 \sigma_{0,2}$ стає відчутною.
3. Розвинуто окремі положення теорії захисту газопроводів від корозії на стадії проектування. Показано, що профілактика корозійної повзучості є перспективним засобом, який дозволяє ефективно боротися з розгерметизацією та руйнуванням систем газопостачання.
4. Одержано аналітичний вираз для функції температури повітря T_p , який, виходячи з його графічної інтерпретації, з достатньою для розрахунків точністю описує зміну середніх температур повітря і може бути використаний при дослідженні температурних полів навколо газопроводів.
5. За розробленою методикою експериментально визначено коефіцієнти теплопередачі для мембранних і роторних лічильників та для газопроводу, що підводиться до лічильників. Вперше введено поняття узагальненого коефіцієнта теплопередачі.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено методика дослідження корозійних процесів на підземних ділянках газопроводів та створено комп'ютеризовану установку для корозійно-механічних випробовувань з автоматичним одночасним записом під час експерименту зміни деформації та електродного потенціалу плоских зразків, виготовлених зі стінки труб, що використовуються для будівництва систем газопостачання.

2. Розроблено та впроваджено методику дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу, яка дозволяє для кожної комбінації температур в камерах холоду та тепла (КХТ) та для кожного значення витрати, типу та типорозміру лічильника отримувати достовірні результати і порівнювати їх з теоретичними розрахунками температурних режимів газу в реальних газопроводах.
3. Запатентовано спосіб обліку витрат газу, згідно з яким здійснюють автоматичне вимірювання параметрів потоку газу, що протікає у трубопроводі з наступним обчисленням зведених до стандартних умов витрат та об'єму.
4. Проведено експериментальні та теоретичні дослідження для визначення температури газу на виході у лічильників різних типів (мембранних та роторних) і виявлено, що різниця температур газу на виході з даного лічильника, встановленого в приміщенні, та температурою приведення газу до нормальних умов (20°C), при різних об'ємах споживання, може становити 9°C і тоді дійсний об'єм спожитого газу занижується порівняно з показами лічильника на $\sim 3\%$.
5. Вперше розроблено ПКГ-номограму для визначення поправочних температурних коефіцієнтів до обсягів споживання газу, облікованого в побуті мембранними та роторними лічильниками, яку рекомендується для використання в комерційних цілях газозбутовими організаціями. Показано, що застосування лічильників для вимірювання об'єму газу в трубопроводах діаметром 200 мм і менше з економічної та метрологічної точок зору доцільніше, ніж пристроїв побудованих на методі звуження потоку.
6. Розроблено інструкцію про порядок приймання, зберігання, відпуску та обліку газів вуглеводневих скраплення для комунально-побутового споживання та автомобільного транспорту, яка затверджена і введена в дію наказом Міністерства палива та енергетики України від 3 червня 2002 р. № 332.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Роботи [5, 6, 10] опубліковані без співавторів. В роботах [1-3] автору належить розробка схеми експерименту та інтерпретація одержаних результатів; [4, 8] – наукове обґрунтування поведінки металу газопроводу при тривалому статичному навантаженні; [7] – аналіз сучасного стану та перспективи виробництва і реалізації скрапленого газу в Україні; [9] – ідея винаходу та його реалізація. В роботі [11] автору належить розробка основних положень документу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- науково-практичному семінарі „Сучасні прилади комерційного обліку природного газу, теплової енергії та контролю параметрів процесу буріння і їх метрологічне забезпечення в експлуатації” (Івано-Франківськ, 1999);
- VI міжнародній науково-практичній конференції „Нафта і газ України” (Івано-Франківськ, 2000);
- всеукраїнській науково-технічній конференції „Проблеми забезпечення обліку газу в Україні” (Івано-Франківськ, 2001);
- третій всеукраїнській науково-технічній конференції „Вимірювання витрати

та кількості газу і нафтопродуктів” (Івано-Франківськ, 2003);

- розширеному засіданні Міністерства палива та енергетики України (Київ, 2003);
- розширеному семінарі за спеціальністю 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища (Івано-Франківськ, 2003).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 11 друкованих праць, з них 9 у фахових виданнях України, 1 деклараційний патент України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (130 найменувань) та 4 додатків. Викладена на 164 сторінках машинописного тексту, містить 46 рисунків та 13 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження, висвітлено наукову новизну та практичну цінність роботи.

У першому розділі представлено докладний аналіз системи функціонування ринку природного газу України і показано на конкретних прикладах, що проведення його структурної перебудови протягом п'яти років існування НАК „Нафтогаз України” відповідає умовам сьогодення.

Визначено основні причини, які сприяють виникненню втрат:

- в газопроводах при тривалому терміні їх експлуатації;
- комерційних, тобто різниці між обсягами газу, підрахованими за нормами споживання та фактично використаними населенням;
- через некоректність обліку, а саме від неприведення обсягів, зафіксованих побутовими лічильниками, до стандартних умов, використання побутових роторних лічильників та промислових лічильників газу класу 1,5 – 2,5 замість класу 1,0, несанкціонованого втручання в роботу лічильників газу тощо.

Розглянуто стан та окреслено перспективи виробництва та реалізації скрапленого газу в Україні.

У відповідності з метою сформульовано задачі дослідження.

У другому розділі описано об'єкти і методи досліджень.

Для дослідження корозійних процесів на підземних ділянках газопроводів розроблено оригінальну методику та комп'ютеризовану установку КН-1. Випробування на повітрі та в кислих середовищах (0,001 – 0,1М НСІ) проводили на плоских зразках з матеріалу електрозварних прямошовних труб зі сталі 10 з товщиною стінки 6 мм в режимі статичного та повторно-статичного навантаження чистим згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка та зміни електродного потенціалу за допомогою ЕОМ, використовуючи 24-бітне аналого-цифрове перетворення. Зразки виготовляли за розробленою в ІФНТУНГ технологією, яка забезпечує високу точність та задану шорсткість робочих поверхонь при використанні механообробки із запрограмованою зміною подачі. Конструкція установки дозволяє змінювати довжину робочої частини зразка l_p в межах 20 – 50 мм та співвідношення ширини B і товщини b від 1 до 10.

Для оцінки швидкості корозії використовували рекомендований для низьковуглецевих сталей гравіметричний метод. Зважування проводили на демпферній аналітичній вазі з точністю вимірювання 0,00005 г. При вимірюванні потенціалів використовували хлорсрібний електрод порівняння. Характер корозійних уражень в залежності від рН середовища та рівня напружень вивчали способом сканування (розробка ІФНТУНГ), а для їх ідентифікації використовували комп'ютерний аналіз цифрових відбитків прокородованих поверхонь.

Розроблено методику дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу, яка дозволяє для кожної комбінації температур в КХТ та для кожного значення витрати, типу та типорозміру лічильника отримувати достовірні результати і порівнювати їх з теоретичними розрахунками температурних режимів газу в реальних газопроводах.

Удосконалено спосіб обліку витрат газу, який протікає по одному газопроводу, шляхом розширення діапазону вимірювань із забезпеченням вимог достатності нижньої і верхньої границь вимірювань та неперервного автоматичного вимірювання параметрів потоку газу, що протікає у трубопроводі, з наступним обчисленням зведених до стандартних умов витрат та об'єму. Потік газу розділюють на нерівні частини з утворенням розгалужень різної пропускної здатності, підключених до основного трубопроводу в одній точці. В кожному розгалуженні вимірюють витрату відповідного діапазону вимірювань. Вибір конкретного розгалуження для вимірювань потоку здійснюють автоматично порівнюючим вибіркоким перемикаючим пристроєм.

Вимога достатності нижньої і верхньої границь вимірювань витрат відповідного діапазону задовольняється шляхом зміни режиму роботи відповідного розгалуження певної пропускної здатності. При цьому діапазон вимірювань лічильників повинен бути вибраний таким, щоб мінімальне значення витрати лічильника, що забезпечує вимогу достатності верхньої границі вимірювань, було рівне номінальній витраті газу лічильника, який забезпечує достатність нижньої границі вимірювань. Точність обліку досягається також врахуванням впливу температурних умов і коливання тиску газу в трубопроводі, для чого у способі, для зведення об'єму газу до стандартних умов, вимірюють тиск на вході основного трубопроводу і температуру на виході. Алгоритм зведення здійснюється автоматично з використанням коректора. Крім того, достовірність обліку інформаційно-вимірювальною системою в цілому залежить від достовірності інформації, що поступає від давачів контрольованих параметрів. Ця достовірність досягається запропонованою схемою підключення з розгалуженням потоків, що дозволяє зменшити відносну похибку вимірювання об'єму і витрат газу, зведеного до нормальних умов, яка буде скоригована в залежності від діапазону вимірювальних пристроїв, в яких нормовані похибки. Збір інформації про витрату та її обробку ведуть автоматично з імпульсних перетворювачів об'єму газу з врахуванням тиску, температури, фізико-хімічних параметрів газу та зведення вимірюваного об'єму газу в робочих умовах до стандартних умов.

Отримано експериментальне підтвердження можливості вести облік газу запропонованим способом в діапазоні витрат від 0,06 до 65 м³/год, тобто із співвід-

ношенням близьким 1:1000. На даний час таке співвідношення витрат не забезпечується жодним лічильником газу.

Третій розділ присвячено дослідженню деформівної системи „труба - ґрунтовий масив”.

Вивчено фізико-механічні властивості матеріалу різних ділянок підземного газопроводу методом ступінчастого навантаження та побудови номінальних діаграм деформації. Зроблено оцінку їх стабільності в процесі експлуатації. Показано, що рівномірність зварного з'єднання основному металу труб в цілому забезпечується. Деяке збільшення опірності зразків зварного з'єднання малим пластичним деформаціям можна пов'язати, з процесом рекристалізації в зоні термічного впливу.

Встановлено, що у низькотемпературній області ($T = 293 \text{ K}$) під дією постійних номінальних напружень σ , більших границі текучості при першому згині $\sigma_{0,2}$, основний метал та зварне з'єднання труб виявляють відчутну повзучість. Тривалість випробовувань на повітрі складала 1000 хв, що дозволило за короткий час виконати серію експериментів та визначити параметри області низькотемпературної повзучості (ОНП).

Запропоновано спосіб графічного визначення параметрів ОНП (рис. 1). Дана область обмежена ділянкою АВ – деформаційного зміцнення, взятою з номінальних діаграм деформації, та ділянкою АС, побудованою шляхом паралельного переміщення точок ділянки АВ на величину приросту повзучості $\Delta \epsilon_{pl}$ за час t , визначеного за кривими повзучості. В діапазоні напружень 250 – 410 МПа ОНП основного металу є значно більшою, ніж зварного з'єднання, що впливає з порівняння відповідних параметрів (рис. 1).

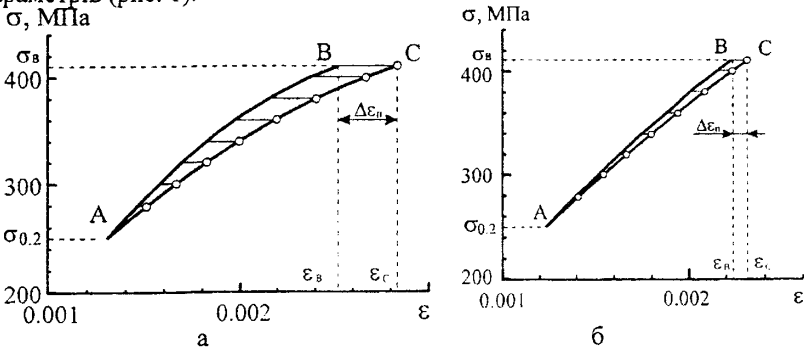


Рис. 1. Визначення параметрів ОНП при $t = 1000$ хв:

а – основний метал; *б* – зварне з'єднання.

Загальний приріст деформації $\Delta \epsilon$ за час t для даного діапазону напружень можна визначити за формулою (1)

$$\Delta \epsilon = \Delta \epsilon_{pr} + \Delta \epsilon_{pl} + \Delta \epsilon_{cr}, \quad (1)$$

де $\Delta \epsilon_{pr}$ та $\Delta \epsilon_{pl}$ – відповідно прирости пружної та пластичної деформації при досягненні заданого рівня напружень.

При дослідженні деформівної системи „труба – ґрунтовий масив” неможливо

нехтувати корозійним чинником. Тому проведено серію випробовувань зразків з матеріалу газопроводу в кислих середовищах на трьох рівнях напружень: $\sigma_3 = 200$ МПа, $\sigma_2 = 300$ МПа, $\sigma_1 = 410$ МПа, що відповідно складало $0,8$; $1,2$ та $1,64 \sigma_{0,2}$. Встановлено, що повзучість основного металу в діапазоні рН 1 – рН 3, як і на повітрі, носить стадійний характер. Вплив середовища відчутний як на стадії неусталеної, так і на стадії усталеної повзучості (рис. 2).

Запропоновано спосіб коректного виявлення впливу середовища на стадії усталеної повзучості та дослідження кінетики процесу, який полягає в тому, що спочатку поміщають експериментальний зразок у змінну робочу камеру і, після досягнення ступінчастим навантаженням заданого напруження, наприклад $\sigma_1 = 410$ МПа, реєструють його повзучість на повітрі. Потім, на стадії усталеної повзучості, не зупиняючи експеримент, в робочу камеру подають корозійне середовище, наприклад $0,1\text{M}$ розчин хлоридної кислоти, і продовжують випробовування (рис. 2).

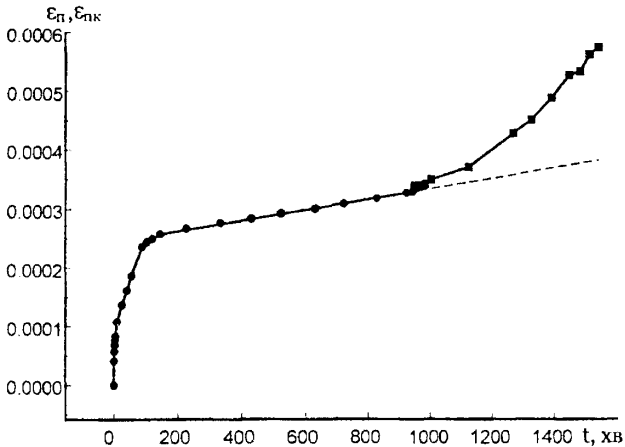


Рис. 2. Вплив корозійного середовища на усталену повзучість сталі газопроводу ($0,1\text{M}$ HCl, 410 МПа):

● – область повзучості на повітрі, ■ – область корозійної повзучості.

Із збільшенням рН при $\sigma = \text{const}$ приріст повзучості $\Delta\epsilon_{пк}$ за час t зменшується, і тим відчутніше, чим більший рівень напружень. Незначний приріст повзучості спостерігається при $\sigma_3 = 0,8 \sigma_{0,2}$, тобто на ділянці пружної деформації (рис. 3, відрізок MN), що зумовлено виключно корозійним чинником. Зростання напружень при рН = const посилює повзучість, особливо при рН 1, на що вказують прирости $\Delta\epsilon_{пк}$ (рис. 3).

Таким чином, вперше на сталі газопроводу при експлуатаційних температурах експериментально виявлено значне розширення області повзучості в кислих середовищах і показано, що під впливом середовища $0,1\text{M}$ HCl повзучість при $\sigma = 0,8 \sigma_{0,2}$ стає відчутною.

Залежність електродного потенціалу зразків від рН середовища при різних

номінальних напружень показана на рис. 4. При збільшенні рН від 1 до 2 кінетика потенціалу помітно змінюється, а саме замість повільного зростання потенціалу на початковій стадії маємо його спадання (рис. 4, криві 2 і 3). Це явище можна пов'язати із адсорбцією хлорид-іонів на поверхні зразка, які здатні спричиняти деяку пасивацію поверхні, утруднюючи розрядку на ній йонів H^+ . При рН 1 їх кількість набагато більша, ніж при рН 2 та 3, крім того інтенсивна корозія в сильноокислому середовищі швидко призводить до пошкодження поверхні, що, в свою чергу, сприяє кращій адсорбції йонів Cl^- на поверхні зразка і, водночас, ускладнює зворотній процес десорбції та подальшого переходу їх у дифузійний шар внаслідок дії стеричних факторів. В результаті спостерігаємо незначну пасивацію поверхні на початковій стадії (120...240 хв.), після якої настає стабілізація потенціалу, яка відповідає встановленню термодинамічної рівноваги процесів адсорбції-десорбції на фоні сталої активності йонів H^+ , зумовленої лише їх концентрацією (зміною йонної сили розчину та незначним зменшенням концентрації йонів H^+ внаслідок реакції $Fe + 2 H^+ = Fe^{2+} + H_2 \uparrow$ можна знехтувати).

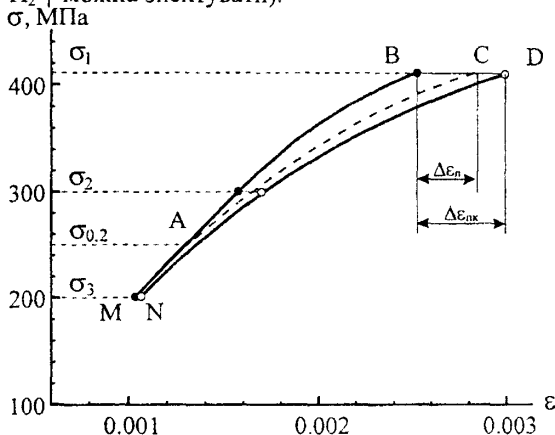


Рис. 3. Розширення ОНП в середовищі 0,1М НСІ при $t = 600$ хв (сталь 10)

Збільшення часу стабілізації з 120 до 240 хв. при збільшенні номінальних напружень з 200 до 410 МПа пов'язане з утворенням на поверхні металу субмікротріщин, які, будучи „свіжими поверхнями”, володіють нижчим потенціалом і, тим самим, знижують загальний потенціал зразка. При переході до рН 2 та 3 корозійний чинник помітно нівелюється, ураження поверхні незначні і адсорбція йонів Cl^- проходить гірше, а десорбція навпаки, краще. Водночас, концентрація йонів H^+ достатня для їх ефективної розрядки, і, враховуючи значне зменшення адсорбції хлорид-іонів, спричиняє до спадання потенціалу на початковій стадії з наступною стабілізацією. Як і при рН 1, час виходу на ділянку стабілізації зменшується зі зменшенням номінальних напружень, що зумовлено дією тих самих чинників. Спостерігається вплив напружень і на величину потенціалу стабілізації, а саме зменшення його із збільшенням рівня напружень. Наявність зварного з'єднання істотно не впливає на кінетику електродного потенціалу.

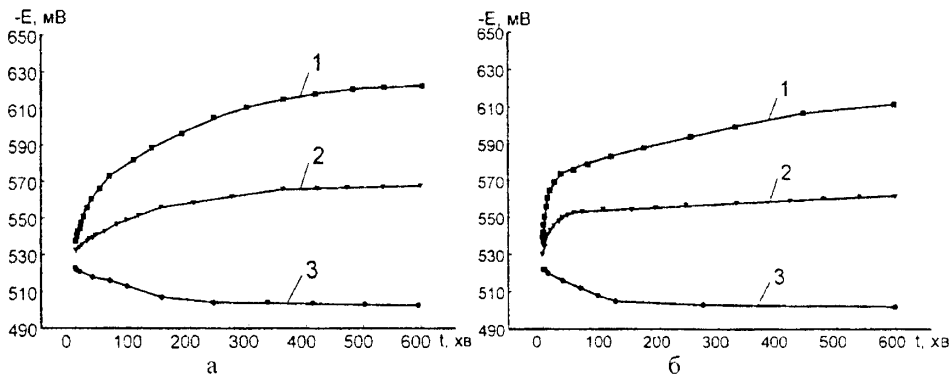


Рис. 4. Криві „потенціал-час” при $\sigma = 1,64 \sigma_{0,2}$ (а) та $\sigma = 0,8 \sigma_{0,2}$ (б): рН 3 (1), рН 2 (2) і рН 1 (3).

Можна констатувати, що дослідження кінетики електродного потенціалу та впливу на неї зовнішніх чинників розкриває важливу інформацію для поглибленого розуміння механізму корозійної повзучості. Іншим важливим джерелом є вивчення характеру та швидкості корозії, їх зміни під дією різноманітних факторів. Встановлено, що при рН 1 домінує відносно рівномірна корозія. Це пов'язано з великою концентрацією, а, отже, і активністю йонів H^+ , які і зумовлюють агресивність середовища. Роль мікрогальванічних елементів невелика, місцева корозія проявляється слабо. При збільшенні рН ця активність спадає, що сприяє збільшенню ролі мікрогальванічних елементів та прояву місцевої корозії. Також починає візуально спостерігатися вплив напружень: якщо у зоні стиску місцева корозія відносно рівномірно покриває поверхню зразка, то у зоні розтягу маємо чіткий поділ на анодну та катодну зони. Інший прояв місцевої корозії – корозія на границі розділу фаз „занурений метал – незанурений метал”. Цей вид місцевої корозії, який проявляється і при низьких рН, за невеликий час спричиняє утворення глибоких (до 0,1 мм) виразок. Оскільки при пошкодженні зовнішньої ізоляції підземного газопроводу одразу утворюється вище згадана границя розділу фаз, такий прояв корозії є надзвичайно небезпечним і найчастіше може закінчуватися наскрізним ураженням та, відповідно, розгерметизацією трубопроводу. Поява зварного з'єднання значно активізує процеси місцевої корозії, насамперед через виникнення гальванічної пари „основний метал – шов” та зміну структури, а отже і електрохімічної активності металу, в близькошовній зоні. Спостерігається яскраво виражена інтенсифікація корозії в області шва та близькошовній зоні, які відіграють роль анода. Вздовж границі розділу „метал – шов” утворюється корозійна виразка, яка, природно, не така глибока, як вздовж границі розділу „занурений метал – незанурений метал”. У зоні стиску корозійні ураження проявляються не так суттєво, оскільки напруження стиску ускладнюють процеси відриву йонів Fe^{2+} від поверхні та збільшують роботу виходу електрона.

Досліджено залежність загальної швидкості корозії від рН середовища та σ . Показано, що роль напружень відчутно зростає зі зменшенням рН середовища, по-

мітно впливаючи на швидкість корозії при низьких рН (рис. 5). Це можна пов'язати з утворенням субмікротріщин, первинних та вторинних мікрогальванічних елементів, які сприяють розчиненню металу газопроводу. Зі збільшенням рН цей вплив зменшується, оскільки корозія з рівномірної стає місцевою, загальна швидкість якої істотно не змінюється в широкому діапазоні рН, а зміна швидкості у місцях локальних уражень відчутно не позначається на загальній втраті маси. Водночас на швидкість локальної корозії напруження і далі чинять відчутний вплив, що проявляється в помітному її збільшенні та, відповідно, поглибленні утворених пітів і виразок, особливо у зоні розтягу. Збільшення рН, як і очікувалося, призводить до зменшення швидкості корозії спочатку логарифмічно, а потім - лінійно. Наявність зварного з'єднання мало впливає на загальну швидкість корозії, однак суттєво прискорює локальні процеси, особливо в близькошовній зоні, що може за короткий час призвести до катастрофічних наслідків.

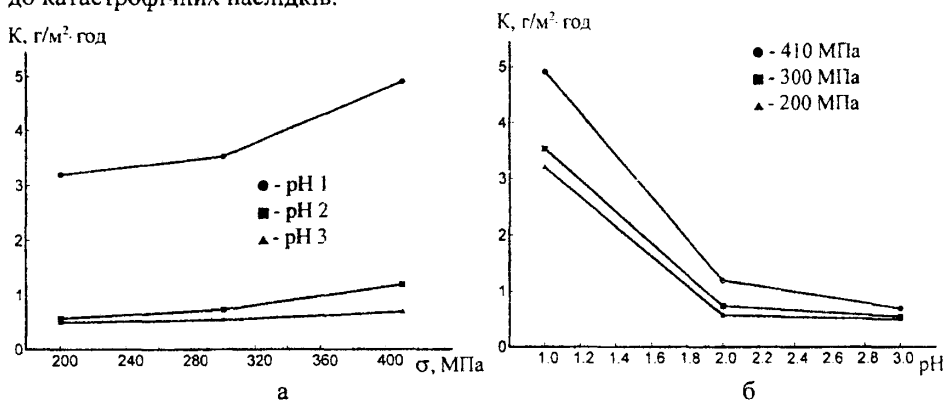


Рис. 5. Залежність швидкості корозії від рівня напружень (а) та рН середовища (б): основний метал, $T = 293 \text{ K}$.

Таким чином, електрохімічна корозія у кислих середовищах, підсилена механічним чинником, особливо небезпечна для підземних газопроводів і є однією з основних причин їх виходу з ладу. **Низькотемпературну корозійну повзучість матеріалу трубопроводів можна розглядати, як новий, перспективний науковий напрямок, що допоможе ефективно боротися з розгерметизацією та руйнуванням систем газопостачання ще на стадії проектування.**

В четвертому розділі вирішується задача забезпечення достовірності та підвищення точності обліку витрати природного газу.

За розробленою методикою досліджували вплив температури робочого та навколишнього середовищ на покази побутових лічильників газу. Виходячи із теорії теплообміну реального газу в газопроводі з температурним полем ґрунту та природним температурним полем навколишнього середовища, а також проведених експериментальних досліджень, зроблено висновок, що з достатньою ймовірністю можна приймати температуру атмосферного повітря для розрахунків при приведенні об'єму спожитого газу до нормальних умов у випадку установки лічильників газу

поза межами житлового приміщення. Температура газу на виході з мембранних лічильників (до максимального типорозміру G 10 включно) менше ніж на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ відрізняється від температури атмосферного повітря. Знаючи середню температуру атмосферного повітря в даному регіоні на протязі кожного місяця та загальне споживання в даному місяці газу комунально-побутовими споживачами, можна врахувати поправки до показів лічильника в кожному місяці або знайти середньозважений (в залежності від об'ємів споживання) річний регіональний поправочний коефіцієнт до показів побутових лічильників газу в експлуатації за рахунок температурних похибок. Визначали також температуру газу на виході з побутового лічильника, що встановлений в середині приміщення, тобто при кімнатній температурі $18\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для цього простежували за рухом реального газу в газопроводі і визначали зміну його температури за рахунок теплообміну з температурним полем ґрунту, природним температурним полем навколишнього середовища та повітрям навколо лічильника, встановленого в приміщенні.

Отримано відкориговані середньомісячні температури для району Івано-Франківська.

Якщо температуру повітря записати у вигляді (2)

$$T_n = T_{cp} + A \cos(\omega t - \epsilon), \quad (2)$$

де T_{cp} , A – кліматичні характеристики для певного регіону; t – час; ω , ϵ – параметри закону T_n , і параметр ϵ прийняти рівним нулю, то величина A визначатиметься з рівняння

$$A = -\frac{T_{лип} - T_{січ}}{2} = -\frac{18,3 - (-4,8)}{2} = -11,55\text{ }^{\circ}\text{C},$$

де $T_{лип}$, $T_{січ}$ – температури відповідно липня і січня.

Оскільки відлік часу йде від початку січня, отримаємо рівняння $T_{січ} = T_{cp} + A$, звідки $T_{cp} = T_{січ} - A = -4,8 - (-11,55) = 6,75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, формула (2) набуває вигляду

$$T_n = 6,75 - 11,55 \cos \omega t. \quad (3)$$

Величина ω знаходиться з рівняння $\omega \tau_p = 2\pi$, τ_p – кількість годин в році.

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau_p} = \frac{2\pi}{365 \cdot 24} = 0,717259 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Якщо прийняти, що в кожному місяці однакова кількість годин $\tau_{\mu} = 365 \cdot 24 / 12 = 730$ год, формулу (3) можна записати у вигляді:

$$T_n = 6,75 - 11,55 \cos(0,717259 \cdot 10^{-3} (n - 1) \tau_{\mu}), \quad (4)$$

де n – номер місяця в році.

Аналітичний вираз (4) досить точно описує зміну середніх температур в Івано-Франківську і може бути використаний при дослідженні температурних полів навколо газопроводів.

За апробованими формулами для практичного використання проведено розрахунок природного температурного поля ґрунту на глибині $0,8$ м, де розміщуються осі газопроводів низького та середнього тиску, а також температури газу на початку

і в кінці газопроводу (рис. 6).

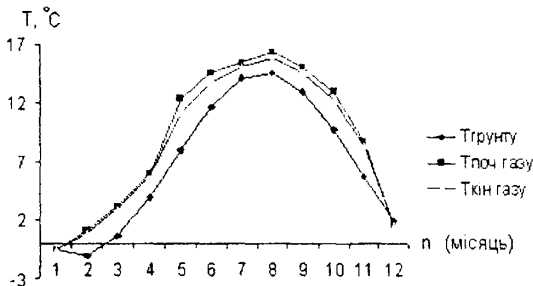


Рис.6. Зміна температур ґрунту та газу в підземному газопроводі

Встановлено, що в надземному газопроводі, підведеному до житлових будинків, температура газу практично досягає температури навколишнього середовища.

Розраховано температури газу на виході з мембранного лічильника типу МКМ G6 виробництва фірми "Premagas", встановленого в опалювальному приміщенні на відстані до 0,5 м від входу газопроводу в приміщення, при різних об'ємних витратах споживання. Зроблено висновок (рис. 7), що різниця температур газу на виході з даного лічильника, встановленого в приміщенні, та температурою приведення газу до нормальних умов (20°C), при різних об'ємах споживання, може становити 9 градусів. Враховуючи, що зміна температури газу на 1°C призводить до зміни його об'єму на 0,34%, дійсний об'єм спожитого газу може бути занижений порівняно з показами лічильника на 3,06%. За відомими об'ємами споживання газу в різних місяцях можна знайти середньозважені річні коефіцієнти для різних об'ємів споживання за формулою (5) і врахувати їх при кінцевих розрахунках за газ.

$$k = 1 + \frac{\sum_{n=1}^{12} (T_{20} - T_n) \cdot 0,34 \cdot Q_n}{\sum_{n=1}^{12} Q_n}, \quad (5)$$

де T_{20} — температура газу за нормальних умов, T_n — обчислена середньомісячна температура газу, Q_n — середньомісячна витрата газу.

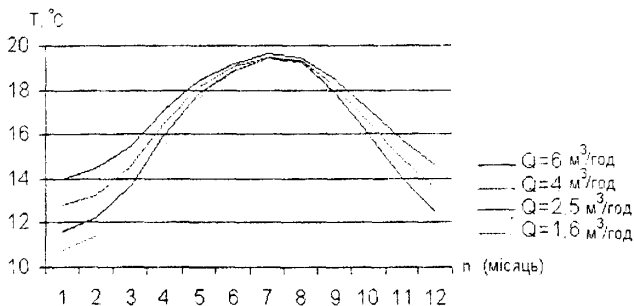


Рис. 7. Температури газу на виході з лічильника типорозміру G6 фірми "Premagas"

Проведено експериментальні та теоретичні дослідження для визначення температури газу на виході з лічильників інших типів, які знайшли найбільше застосування в регіоні, а саме: мембранних типорозмірів G1,6MKM; G2,5MKM; G4MKM-U; G6MKM-U; G6P6-U виробництва фірми "Premagas", G2,5 виробництва фірми "Samgas", G4 виробництва фірми "Shlumberger" та роторних – РЛ 4 (G4); РЛ 6 (G6) виробництва ВАТ "Івано-Франківський завод "Промприлад", встановлених в опалювальному приміщенні. Визначено коефіцієнти теплопередачі газу, що протікає через лічильники, та повітря навколо лічильників за допомогою непрямих вимірювань, а також аналогічного коефіцієнта для газопроводу, що підводиться до лічильників. Вперше введено поняття узагальненого коефіцієнта теплопередачі k , що дозволило обійти ряд невивчених питань нестационарного теплообміну, які враховуються в числовому значенні k . За результатами експериментів та проведених розрахунків коефіцієнт теплопередачі становить: для мембранних лічильників $4,7 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{°C}$, для роторних лічильників – $10,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{°C}$.

Аналогічні дослідження проведені для ділянки трубопроводу діаметром 20 мм та довжиною 1,5 м. Коефіцієнт теплопередачі для трубопроводу становить $7,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{°C}$.

За результатами розрахунків розроблено ПКГ-номограму для визначення поправочних температурних коефіцієнтів до обсягів споживання газу, облікованого в побуті мембранними та роторними лічильниками (рис. 8).

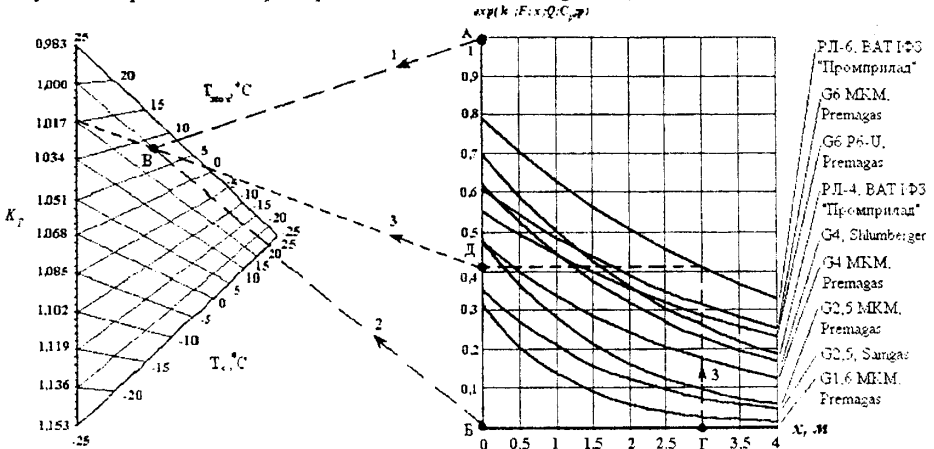


Рис. 8. ПКГ-номограма для визначення поправочних коефіцієнтів до обсягів споживання газу

Порядок знаходження поправочного коефіцієнта за ПКГ-номограмою наступний. З точки А через точку перетину із шкалою температур навколишнього середовища $T_{плоч}$ проводимо пряму в заданому значенні середньомісячної температури; аналогічно проводимо пряму із точки Б до перетину зі шкалою температур робочого середовища T_c навколо лічильника, наприклад повітря в опалювальному примі-

щенні. На перетині цих прямих отримуємо точку В. На шкалі довжин трубопроводу x (між входом в опалювальне приміщення та лічильником) позначасмо потрібне значення довжини трубопроводу (точка Г). З точки Г проводимо перпендикулярну пряму до перетину із кривою залежностей для встановленого у побутового споживача типу лічильника; з точки перетину проводимо перпендикуляр до шкали експонент і отримуємо точку Д. З точки Д через точку В проводимо пряму до перетину із шкалою коефіцієнтів K_T і знаходимо відповідне числове значення поправочного температурного коефіцієнта до показів конкретного побутового лічильника газу, встановленого на певній відстані між входом в опалювальне приміщення та лічильником.

Запропонована ПКГ-номограма може використовуватись в комерційних цілях газозбутовими організаціями даного регіону для визначення поправочних коефіцієнтів до показів лічильників газу, що знаходяться в експлуатації. Аналогічні номограми можна розробити для інших регіонів України та будь-яких типорозмірів лічильників, які там використовуються.

Показано також, що застосування лічильників для вимірювання об'єму газу в трубопроводах діаметром 200 мм та менше з економічної та метрологічної точок зору доцільніше, ніж пристроїв побудованих на методі звуження потоку.

ВИСНОВКИ:

1. Розроблено методику дослідження корозійних процесів на підземних ділянках газопроводів та створено комп'ютеризовану установку для корозійно-механічних випробовувань з автоматичним одночасним записом під час експерименту зміни деформації та електродного потенціалу плоских зразків, виготовлених зі стінки труб, що використовуються для будівництва систем газопостачання. Розроблено методику дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу, яка дозволяє для кожної комбінації температур в КХТ та для кожного значення витрати, типу та типорозміру лічильника отримувати достовірні результати і порівнювати їх з теоретичними розрахунками температурних режимів газу в реальних газопроводах.
2. Запатентовано спосіб обліку витрат газу, згідно з яким здійснюють автоматичне вимірювання параметрів потоку газу, що протікає у трубопроводі з наступним обчисленням зведених до стандартних умов витрат та об'єму. Потік газу розділюють на нерівні частини з утворенням розгалужень різної пропускної здатності і в кожному розгалуженні вимірюють витрату відповідного діапазону із забезпеченням вимог достатності верхньої і нижньої границь вимірювань.
3. Вивчено фізико-механічні властивості матеріалу різних ділянок підземного газопроводу методом ступінчастого навантаження та побудови номінальних діаграм деформації і зроблено оцінку їх стабільності в процесі експлуатації. Розкрито кінетичні особливості повзучості основного металу та зварного з'єднання труб зі сталі 10 на повітрі та в кислих середовищах з різним рН при експлуатаційних температурах і визначено параметри ОНП. Започатковано новий науковий напрямок – низькотемпературна корозійна повзучість зварних з'єднань труб.
4. Вперше на сталі газопроводу експериментально виявлено значне розширення

- ОНП в кислих середовищах, порівняно з повітрям, і показано, що під впливом середовища 0,1 М НСІ повзучість при $\sigma = 0,8 \sigma_{0,2}$ стає відчутною.
5. Показано вплив рН середовища та поля напружень на характер та швидкість протікання корозійних процесів і виявлено схильність металу газопроводу до місцевої корозії з утворенням глибоких виразок вздовж границь розділу фаз. Проведено порівняльний аналіз корозійних уражень основного металу та зварного з'єднання труб газопроводу і встановлено, що в зоні зварного з'єднання проходить значна інтенсифікація локальних корозійних процесів з утворенням характерних виразок вздовж границі розділу „метал – шов”.
 6. Розвинуто окремі положення теорії захисту газопроводів від корозії на стадії проектування. Показано, що профілактика корозійної повзучості є перспективним засобом, який дозволяє ефективно боротися з розгерметизацією та руйнуванням систем газопостачання.
 7. Для району Івано-Франківська одержано аналітичний вираз для функції T_n , який, виходячи з його графічної інтерпретації, з достатньою для розрахунків точністю описує зміну середніх температур повітря і може бути використаний при дослідженні температурних полів навколо газопроводів. Проведено експериментальні та теоретичні дослідження для визначення температури газу на виході у лічильників різних типів (мембранних та роторних) і виявлено, що різниця температур газу на виході з даного лічильника, встановленого в приміщенні, та температурою приведення газу до нормальних умов (20 °С), при різних об'ємах споживання, може становити 9 °С і тоді дійсний об'єм спожитого газу знижується порівняно з показами лічильника на ~ 3 %.
 8. Запропоновано формулу і розраховано середньоозважені річні коефіцієнти для різних об'ємів споживання та обґрунтовано доцільність їх використання в кінцевих розрахунках на газ. Експериментально визначено коефіцієнти теплопередачі для мембранних і роторних лічильників та для газопроводу, що підводиться до лічильників. Вперше введено поняття узагальненого коефіцієнта теплопередачі.
 9. Вперше розроблено ПКГ-номограму для визначення поправочних температурних коефіцієнтів до обсягів споживання газу, облікованого в побуті мембранними та роторними лічильниками, яку рекомендується для використання в комерційних цілях газозбутовими організаціями. Показано, що застосування лічильників для вимірювання об'єму газу в трубопроводах діаметром 200 мм і менше з економічної та метрологічної точок зору доцільніше, ніж пристроїв побудованих на методі звуження потоку.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Петришин І. С., Кузь М. В., Гончарук М. І. Вплив температурного фактора навколишнього та робочого середовища на достовірність обліку газу в комунально-побутовій сфері / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.- 2002.- № 1.- С. 22-26
2. Петришин І. С., Кузь М. В., Гончарук М. І. Експериментальні дослідження про-

- цесів теплообміну робочого та навколишнього середовищ при обліку газу в побуті / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.- 2002.- № 2(3).- С. 39-41
3. Петришин І. С., Гончарук М. І., Бестелесний А. Г., Прудніков Б. І. Доцільність впровадження лічильників в трубопроводах низького та середнього тиску з метою зменшення втрат природного газу при його обліку / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.- 2002.- № 4(5).- С. 105-109
 4. Гончарук М. І., Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Корозійно-механічна поведінка металу газопроводу / Науковий вісник Національного Технічного Університету Нафти і Газу.- 2003.- № 1(5).- С. 54-59
 5. Гончарук М. І. Аналіз причин втрат природного газу / Нафт. і газова пром-сть.- 2003.- № 1.- С. 51-53
 6. Гончарук М. І. Корозія та розгерметизація газопроводів / Нафт. і газова пром-сть.- 2003.- № 2.- С. 56-57
 7. Гончарук М. І., Репалюк В. І., Казанцева Н. Л. Стан та перспективи виробництва і реалізації скрапленого газу в Україні / Нафт. і газова пром-сть.- 2003.- № 3.- С. 54-56
 8. Крижанівський Є. І., Гончарук М. І., Рудко В. П. Деформація металу газопроводу при тривалому статичному навантаженні / Науковий вісник Національного Технічного Університету Нафти і Газу.- 2003.- № 1(5).- С. 31-34
 9. Гончарук М. І. Щодо ситуації на ринку природного газу України / Нафт. і газова пром-сть. Спец. випуск.- 2003.- С. 16-20
 10. Петришин І. С., Бестелесний А. Г., Гончарук М. І. Спосіб обліку витрат газу / Деклараційний патент № 52066А, кл. 7G01F3/00. Держдепартамент ІВ. Бюл. № 12. 16.12.2002
 11. Інструкція про порядок приймання, зберігання, відпуску та обліку газів вуглеводневих скраплених для комунально-побутового споживання та автомобільного транспорту // М. Гончарук, В. Горічко, Т. Стадник, І. Варга, Ю. Кардаш, М. Нестеренко / Міністерство палива та енергетики України.- К., 2003.- 56 с.

Анотація

Гончарук М. І. Зменшення втрат природного газу в трубопроводах низького та середнього тиску.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - нафтогазопроводи, бази та сховища.- Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2003.

Розроблено методику дослідження корозійних процесів на підземних ділянках газопроводів та методику дослідження впливу температури навколишнього та робочого середовищ на покази побутових лічильників газу. Удосконалено спосіб обліку витрат газу. Вивчено фізико-механічні властивості матеріалу різних ділянок підземного газопроводу методом ступінчастого навантаження та побудови номінальних діаграм деформації і зроблено оцінку їх стабільності в процесі експлуатації. Виявлено схильність металу газопроводу до місцевої корозії з утворенням глибоких

виразок вздовж границь розділу фаз. Розвинуто окремі положення теорії захисту газопроводів від корозії на стадії проектування. Започатковано новий науковий напрямок – низькотемпературна корозійна повзучість зварних з'єднань труб. Розраховано середньозважені річні коефіцієнти для різних об'ємів споживання та обґрунтовано доцільність їх використання в кінцевих розрахунках на газ. Вперше розроблено ПКГ-номограму для визначення поправочних температурних коефіцієнтів до обсягів споживання газу, облікованого в побуті мембранними та роторними лічильниками.

Ключові слова: газопровід, місцева корозія, корозійна повзучість, номінальні діаграми деформації, лічильники газу, витрати газу, втрати газу.

Аннотація

Гончарук Н. И. Снижение потерь природного газа в трубопроводах низкого и среднего давления.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища.- Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Иванов-Франковск, 2003.

Разработана методика исследования коррозионных процессов на подземных участках газопроводов и создана компьютеризированная установка для коррозионно-механических испытаний с автоматической одновременной записью во время эксперимента изменения деформации и электродного потенциала плоских образцов, изготовленных из стенки труб, которые используются для строительства систем газоснабжения. Разработана также методика исследования влияния температуры окружающей и рабочей сред на показания бытовых счетчиков газа, которая позволяет для каждой комбинации температур в камерах холода и тепла и для каждого значения расхода, типа и типоразмера счетчика получать достоверные результаты и сравнивать их с теоретическими расчетами температурных режимов газа в реальных газопроводах.

Запатентован способ учета расхода газа, согласно которому осуществляют автоматическое измерение параметров потока газа, который протекает в трубопроводе с последующим вычислением сведенных к стандартным условиям расхода и объема. Поток газа разделяют на неравные части с образованием разветвлений разной пропускной способности и в каждом разветвлении измеряют расход соответствующего диапазона с обеспечением требований достаточности верхней и нижней границ измерений.

Изучены физико-механические свойства материала разных участков подземного газопровода методом ступенчатого нагружения и построения номинальных диаграмм деформации и сделана оценка их стабильности в процессе эксплуатации. Раскрыты кинетические особенности ползучести основного металла и сварного соединения труб из стали 10 на воздухе и в кислых средах с разным рН при эксплуатационных температурах и определены параметры области

низкотемпературной ползучести (ОНП). Начато новое научное направление – низкотемпературная коррозионная ползучесть сварных соединений труб.

Впервые на стали газопровода экспериментально выявлено значительное расширение ОНП в кислых средах, по сравнению с воздухом, и показано, что под влиянием среды 0,1 М НСl ползучесть при $\sigma = 0,8 \sigma_{0,2}$ становится ощутимой.

Показано влияние рН среды и поля напряжений на характер и скорость протекания коррозионных процессов и выявлена склонность металла газопровода к местной коррозии с образованием глубоких язв вдоль границ раздела фаз. Проведен сравнительный анализ коррозионных поражений основного металла и сварного соединения труб газопровода и установлено, что в зоне сварного соединения проходит значительная интенсификация локальных коррозионных процессов с образованием характерных язв вдоль границы раздела „металл – шов”.

Развиты отдельные положения теории защиты газопроводов от коррозии на стадии проектирования. Показано, что профилактика коррозионной ползучести является перспективным средством, которое позволяет эффективно бороться с разгерметизацией и разрушением систем газоснабжения.

Для района Ивано-Франковска получено аналитическое выражение для функции T_n , которое, исходя из его графической интерпретации, с достаточной для расчетов точностью описывает изменение средних температур воздуха и может быть использовано при исследовании температурных полей вокруг газопроводов. Проведены экспериментальные и теоретические исследования для определения температуры газа на выходе у счетчиков разных типов (мембранных и роторных) и выявлено, что различие температур газа на выходе из данного счетчика, установленного в помещении, и температурой приведения газа к нормальным условиям (20 °С), при разных объемах потребления, может составлять 9 °С и тогда действительный объем потребленного газа занижается сравнительно с показаниями счетчика на ~ 3 %.

Предложена формула и рассчитаны средневзвешенные годовые коэффициенты для разных объемов потребления и обоснованно целесообразность их использования в конечных расчетах на газ. Экспериментально определены коэффициенты теплопередачи для мембранных и роторных счетчиков и для газопровода, который подводится к счетчикам. Впервые введено понятие обобщенного коэффициента теплопередачи.

Впервые разработана ПКГ-номограмма для определения поправочных температурных коэффициентов к объемам потребления газа, обчисланного мембранными и роторными счетчиками, которую рекомендуется для использования в коммерческих целях. Показано, что применение счетчиков для измерения объема газа в трубопроводах диаметром 200 мм и меньше из экономической и метрологической точек зрения целесообразнее, чем устройств, использующих метод сужения потока.

Ключевые слова: газопровод, местная коррозия, коррозионная ползучесть, номинальные диаграммы деформации, счетчики газа, расход газа, потери газа.

Summary

Goncharuk M. I. Reduction of the losses of the natural gas in low and average pressure pipelines.- Manuscript.

Thesis for Candidate of Sciences degree in speciality 05.15.13 – oil and gas pipelines, oil reservoirs and gas storages.- Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2003.

The methodology of the study of corrosion processes on underground area gasmain and of the influence of the temperature surrounding and worker of the ambiances on evidences home gas meters are developed. The advanced way of the account of the gas consumption was offered. Mechanical characteristic of the material of the miscellaneous underground gas line area by step-like loading method are investigated and estimation to their stabilities in process of the usages was made. It is shown influence pH ambiances and field of the stress on type and velocity of corrosion processes and is revealed aptitude gas line metal to local corrosion with forming the deep caverns along borders of the section of the phases. Separate position of theories of protection gas lines from corrosion on stage of the designing are developed. It is offered new expression on which are calculated average annual factors for different volumes of the consumption and validly practicability of their use in final calculation on gas. In the first time represented PKG-nomogram for determination corrective warm-up factor to volume of the consumption of the gas, which counted by consumers gas meters, and it is recommended for use in commercial purpose.

Keywords: gasmain, local corrosion, corrosion creeping, nominal diagrams of deformation, gas meters, expenses of the gas, loss of the gas.