

622.692.4
С76

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Станецький Андрій Ігорович



622.692.4(043)
УДК 621.643

С76

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВІДІВ ПРИ ТРИВАЛІЙ
ДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩ**

05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2016

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Побережний Любомир Ярославович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри хімії

Офіційні опоненти:

Банахевич Юрій Володимирович, доктор технічних наук, начальник відділу експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів департаменту транспортування газу ПАТ «Укртрансгаз» (м.Київ);

Драгілев Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, директор ПП «Інжинірингові технології» (м. Київ).

Захист відбудеться "06" липня 2016 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою:

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

Автореферат розісланий "04" червня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
к.т.н., доц.

Л. Д. Пилипів



an2603

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ь теми. На пізній стадії експлуатації нафтогазопроводів (НГП) особливо актуальною науково-технічною проблемою стає належне забезпечення технічної надійності та безпечної експлуатації трубопроводів із застосуванням методів технічного діагностування, особливо, корозійних дефектів, а також розроблення ефективних методів оцінки працездатності експлуатованого матеріалу. В розв'язанні таких завдань важливу роль відіграє визначення величини зміни фізико-механічних і електрохімічних властивостей трубопровідних сталей, оскільки для обґрунтування подальшої безпечної роботи НГП необхідно враховувати вже не вихідні, а поточні характеристики експлуатованого металу. За сумісного тривалого впливу робочого середовища та механічних навантажень у матеріалі трубопроводів утворюються мікротріщини, які з часом зливаються і формують макротріщину. Слід відзначити особливу роль водню в процесах руйнування сталей нафто- і газопроводів.

Однак, вказані дослідження стосуються передусім останньої стадії руйнування – поширення та розвитку тріщин та тріщиноподібних дефектів. В той же час, проблема оцінки зміни величини деформації трубопровідних сталей під тривалим впливом експлуатаційних середовищ вивчена недостатньо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у рамках Спільної декларації України та ЄС щодо модернізації української газотранспортної системи, Енергетичної стратегії України до 2030 року, держбюджетної тематики Д-1-07-Ф «Дослідження нових енергоресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів».

Мета роботи: напрацювання комплексу заходів щодо забезпечення працездатності трубопроводів шляхом оцінки та прогнозування впливу терміну експлуатації та тривалої дії ґрунтових електролітів на деформаційну поведінку трубних сталей.

Завдання досліджень.

1. Вивчити вплив тривалої дії експлуатаційних середовищ на величину та характер приросту деформації матеріалу трубопроводів.
2. Вибрати метод математичного опису отриманих експериментальних залежностей для прогнозування розвитку деформаційних процесів.
3. Розробити методику ранжування ґрунтів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів та визначити найнебезпечніші ґрунтові електроліти для тривалоексплуатованих трубних сталей.
4. Розробити методику визначення ділянок трубопроводу з підвищеною небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів.
5. На основі проведених досліджень запропонувати науково-обґрунтовану концепцію корозійного моніторингу газопроводів.

Об'єкт досліджень: трубопроводи на пізній стадії експлуатації

Предмет досліджень: процес приросту деформації матеріалу трубопроводу внаслідок тривалої дії експлуатаційних середовищ (ґрунтового електроліту).

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводили на основі сучасних методів механіки руйнування, механіки корозійного руйнування, корозійної електрохімії напружено-деформованого металу. Експериментальні дослідження

an 2602 - an 2603

виконували з використанням методів тензометрії та потенціометрії за розробленою методикою на базі раніше створеної в ІФНТУНГ автоматизованої випробувальної системи з ЕОМ, що дозволяє отримати високу точність та достовірність результатів експерименту. Математичну обробку результатів проводили у програмному пакеті Origin 2015.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Дістали подальший розвиток дослідження деформаційної поведінки трубних сталей (19Г та 17ГС) у ґрунтових електролітах. Встановлено, що приріст загальної деформації під впливом ґрунтових електролітів для тривалоексплуатованих сталей 17ГС та 19Г становить від 4 до 9% і від 5,5 до 12% відповідно та має тенденцію до подальшого збільшення.

2. Вперше для досліджуваних тривалоексплуатованих трубних сталей виявлено деформаційні стрибки в процесі тривалого навантаження у кислих ґрунтових електролітах.

3. Вперше отримано функціональні залежності для прогнозування кінетики деформації трубних сталей (17ГС та 19Г) у 12-ти модельних середовищах з надійною імовірністю математичного опису у межах 0,96-0,98.

4. Встановлено що тривалоексплуатована трубна сталь 19Г більш чутлива до впливу ґрунтових електролітів ніж сталь 17ГС (на 5-44% – для нейтральних середовищ, на 10-55 % – для кислих середовищ).

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено методику визначення ділянок трубопроводів із підвищеною небезпекою розвитку корозійно-механічної деградації за допомогою якої виявлено місця з пошкодженням ізоляційним покриттям та глибокими корозійними ураженнями на окремих ділянках лінійної частини трубопроводів «Уренгой-Помари-Ужгород», «Шебелінка-Полтава-Київ», «Єфремовка-Диканька-Київ» та «Прогрес».

2. Розроблено методику ранжування ґрунтів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів та запропоновано в якості характеристичних показників кут нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої, абсолютний та відносний прирости деформації.

3. Результати досліджень впроваджено на підприємствах УМГ «Київтрансгаз», «Львівтрансгаз», «Черкаситрансгаз» і в навчальний процес на кафедрах хімії та СРГГ ІФНТУНГ.

4. Розроблено наукові підходи до створення системи комплексного корозійного моніторингу магістральних трубопроводів України.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані здобувачем самостійно. У роботах [1, 6] – ідея реалізації корозійного моніторингу газопроводів, [2, 9, 14] – реалізація експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів, у роботах [3-5] автором реалізовано експериментальну частину та аналіз результатів, у роботах [7, 10-11] – аналіз та узагальнення результатів, у роботах [8, 12-13] – оптимізація методики експерименту та апробація результатів в експлуатуючих організаціях.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися на X, XI Міжнародних конференціях-виставках «Проблеми корозії та протикорозійного

захисту конструкційних матеріалів» (м. Львів, 2010, 2012), II та IV Міжнародних науково-технічних конференціях «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (м. Тернопіль, 2011, 2015), IV Міжнародній конференції «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (м. Москва, 2011), Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу» (м. Івано-Франківськ, 2012), Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012» (м. Івано-Франківськ, 2012), Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика-2015» (м. Івано-Франківськ, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 наукових праць, серед яких 9 наукових статей у фахових журналах (дві із яких у виданнях, які індексуються в наукометричних базах) та 5 публікацій матеріалів доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (130 найменувань) та 4 додатків. Викладена на 154 сторінках машинописного тексту, містить 64 рисунки та 30 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі проведено критичний аналіз вітчизняних та закордонних джерел з проблеми забезпечення функціональності трубопроводів в умовах тривалої дії експлуатаційних середовищ. Українська газотранспортна система (ГТС) є однією з найрозгалуженіших в Європі і відіграє важливу роль в енергетичній безпеці як нашої Держави, так і багатьох країн Європейського Союзу. Враховуючи те, що основні фонди вітчизняної ГТС спорудженні в 60-70-х роках минулого сторіччя, на даний час значна частина трубопроводів вичерпала свій плановий ресурс експлуатації або близька до його завершення.

Не дивлячись на це, ГТС залишається стратегічним ресурсом держави, забезпечення надійної і безаварійної роботи якої є, безумовно, актуальним завданням.

Дослідженнями проблем впливу експлуатаційних середовищ на матеріал трубопроводу займалося широке коло вчених, зокрема: Бородавкін П.П., Грудз В.Я., Капцов І.І., Крижанівський Є.І., Никифорчин Г.М., Поляков С.Г., Похмурський В.І., Шлапак Л. С., Петрина Ю.Д. та ін.

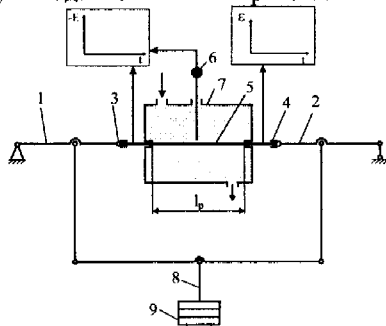
Однак більшість проведених на сьогодні досліджень стосуються передусім вивчення проблем руйнування трубопроводів, а саме – поширення та розвитку тріщин, встановлення показників тріщиностійкості та впливу на них терміну експлуатації металу.

В той же час вплив терміну експлуатації та тривалої дії ґрунтових електrolітів на деформаційну поведінку трубних сталей вивчено недостатньо, що і стало метою досліджень та зумовило визначення основних завдань.

У другому розділі описані об'єкти і методи досліджень. Об'єктом досліджень вибрано трубопровідні сталі 17ГС та 19Г, які є на даний час одними з найпоширеніших у нафтогазовому комплексі. З них виготовляються труби широкого

сортаменту, як прямошовні, так і зі спіральним швом які продовжують широко використовуватися під час ремонту і модернізації діючих та будівництва нових магістральних трубопроводів. Для дослідження впливу терміну експлуатації на деформаційну поведінку трубопроводів було виготовлено партію зразків з матеріалу труб, які експлуатувались 41 рік та із труб в стані поставки. Для дослідження корозійних процесів під напруженням нами використовувалась розроблена раніше комп'ютеризована установка КН-1 (рис. 1), створена на базі установки МВ-1К. Випробовування зразків із матеріалу труб газопроводів на повітрі та в рідких робочих середовищах проводили в режимі статичного та повторно-статичного навантаження чистим згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка за допомогою ЕОМ.

Фрагменти труб були надані УМГ «Київтрансгаз».



1, 2 – поворотні плити, 3, 4 – затискачі, 5 – експериментальний зразок, 6 – хлорсрібний електрод порівняння, 7 – змінна робоча камера, 8 – тяга, 9 – змінні вантажі

Рис. 1. Схема установки КН-1

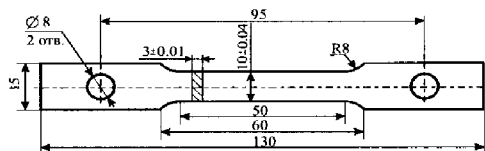


Рис. 2. Зразок для випробувань на установці КН-1

У третьому розділі описані основні закономірності впливу тривалої дії експлуатаційного середовища на кінетику деформації матеріалу трубопроводу, запропоновано характеристичні показники та проведено ранжування ґрунтових електролітів за небезпекою синергічної дії корозійного та механічного чинників.

Механічні випробовування проводили при навантаженні чистим згином, використовуючи ступінчастий метод навантаження-розвантаження з витримкою 20 с на кожному ступені з метою поглибленого вивчення деформаційної поведінки сталі трубопроводу та відстеження процесів механічної релаксації.

Кінетика деформації для обох сталей у стані поставки на повітрі зростаюча. Швидкість деформування з часом спадає із виходом на умовне плато у кінці експерименту. Абсолютний показник деформації для сталі 19Г вищий на 6-9%.

Швидкість деформування для експлуатованої сталі 17ГС, порівняно з такою для матеріалу в стані поставки, зростає на 7-10%, а для сталі 19Г – на 8-12%. При найвищих рівнях навантаження для експлуатованих 41 рік сталей на кінетичних кривих фіксуємо уступи, які скоріше за все зумовлені поширенням мікротріщин. Для тривалоексплуатованої сталі 19Г такі уступи різкіші, що свідчить, імовірно, про більшу структурну дефектність, нагромаджену в процесі експлуатації. Однак на практиці, беручи до уваги недосконалість протикорозійних покриттів, які використовувалися при будівництві трубопроводів наприкінці 60-х та в 70-х роках минулого століття, така ситуація є скоріше гіпотетичною. Випробовування на повітрі мало на меті стати головним чином відправною точкою для виокремлення впливу корозивного середовища на деформаційну поведінку сталі трубопроводу на пізній стадії експлуатації.

Зі збільшенням величини прикладених напружень інтенсивність процесу зростає. При найвищому, близькому до границі міцності навантаженні, спостерігаємо на кривій деформації уступи. Оскільки в тривалоексплуатованій сталі значно більша кількість накопичених пошкоджень, в тому числі і мікротріщин в зародковому стані, то для їх зрушення потрібен нижчий рівень прикладених напружень. Така деформаційна поведінка підтверджується раніше проведеними в ІФНТУНГ дослідженнями.

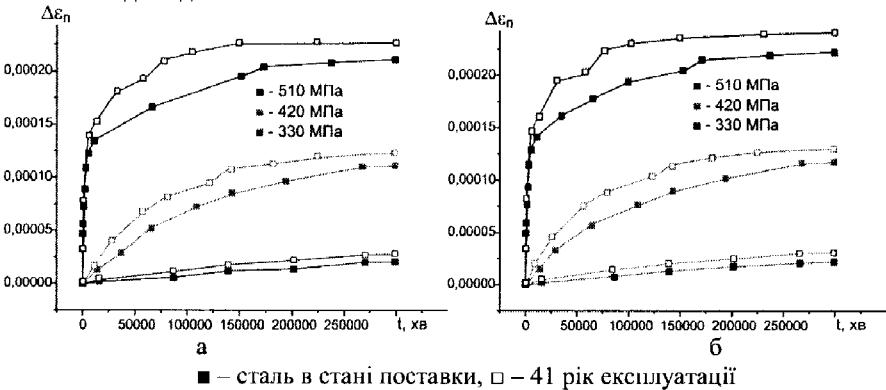


Рис. 3. Кінетика деформації матеріалу трубопроводу на повітрі: сталь 17ГС (а) та 19Г (б)

За кутом нахилу завершальної ділянки кривої можемо вивчити швидкість затухання процесу. Даний параметр може бути використаний у якості додаткового критерію прогнозування деформаційної поведінки, з його збільшенням ризик втрати несучої здатності в результаті негативної синергічної дії механічних напружень та корозійного середовища зростає, і навпаки, з його зменшенням – спадає. Для всіх модельних середовищ спостерігається збільшення кута нахилу завершальної ділянки кривої деформації, що свідчить про більшу небезпеку прискореного розвитку деформаційних процесів для попередньо експлуатованої трубної сталі.

Кінетика деформації у хлоридних середовищах (рис. 4) порівняно з повітрям є більш рівномірною. Практично відсутні різкі перепади, відрізняються лише швидкості та абсолютні величини приросту деформації. Найімовірніше – це

наслідок впливу ефекту Ребіндера, який зумовлює зменшення поверхневої енергії, полегшуючи утворення одиниці площі поверхні і, відповідно, пластичну плинність металу. Слід також вказати на істотне зменшення швидкості зникання процесу порівняно з повітрям. Особливо помітним воно є для величини напружень 330 МПа, де спостерігається зростаюча кінетика із поступовим зниканням, але без виходу на плато. Корозійні процеси полегшують розвиток наявних та викликають накопичення додаткових пошкоджень, небезпечно зменшуючи несучу здатність та створюючи додаткові ризики у штатних режимах експлуатації. Такі приховані ризики необхідно вчасно виявляти, щоб попередити пошкодження трубопроводу та виникнення зв'язаних з цим позаштатних ситуацій.

Якщо порівняти деформаційну поведінку експлуатованого та неексплуатованого матеріалу, неважко помітити збереження зафіксованої на повітрі тенденції приросту абсолютної величини деформації. Водночас у всіх модельних середовищах, на відміну від повітря, неозброєним оком фіксуємо тенденцію збільшення абсолютного приросту деформації із зростанням рівня прикладених напружень. Зростання швидкості деформування на початковому етапі сягає до 30-40%, в подальшому розвиток процесу частково стабілізується. Найнебезпечнішими у цій групі середовищ для тривалоексплуатованої сталі 17ГС є МС2 та МС3, підтвердженням чого є значні відносні прирости деформації та значення показників кута нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої.



Рис. 4. Кінетика деформації сталі трубопроводу 17ГС в нейтральних хлоридних середовищах МС1-3

Збільшення концентрації корозивних компонентів у модельних середовищах викликає незначне зростання абсолютної величини деформації, більш небезпечним є зростання кута нахилу завершальної ділянки кривої при найнижчих рівнях напружень. Така тенденція особливо небезпечна з огляду на те, що трубопровід у такому режимі повинен експлуатуватися тривалий час, що може призвести до підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій.

Зафіксована деформаційна поведінка сталі трубопроводу потребує ґрунтовного вивчення з метою акумуляції фактичного матеріалу для подальшої розробки методів прогнозування описаних процесів та оптимізації моніторингових і ремонтних заходів, зокрема визвлення та переізоляції проблемних ділянок. Для поглибленої оцінки ризиків розгерметизації та корозійно-механічного руйнування нафтогазопроводів внаслідок корозійних та стрес-корозійних процесів необхідна комплексна оцінка впливу основних чинників на цей процес.

Таким чином, в результаті проведених досліджень вивчено вплив тривалої експлуатації трубопроводу у хлоридних модельних середовищах на його деформаційну поведінку і показано, що залежно від рівня прикладених напружень приріст деформації порівняно з неексплуатованою сталлю може складати до 30%. Водночас, абсолютна величина приросту деформації для експлуатованого протягом 40 років матеріалу трубопроводу лежить в межах 3...7% сама по собі не є достатньо небезпечною. Основні ризики полягають у кумулятивній дії кількох чинників (зменшення несучої здатності, погіршення характеристик тріщиностійкості, вплив наводнювання тощо), за якої будь-яке погіршення експлуатаційних характеристик може стати фатальним.

Хлоридно-сульфатні електроліти. У всіх модельних середовищах спостерігаємо істотний приріст деформації. Порівняно із випробуваннями на повітрі фіксуємо інтенсифікацію деформування матеріалу трубопроводу, яка досягає максимуму в МС6, де, як показано раніше, маємо специфічне співвідношення концентрацій хлоридів та сульфатів з максимальною синергетикою (рис. 5).

Разом з тим, у всіх хлоридно-сульфатних середовищах спостерігається істотний приріст швидкості деформації при мінімальному рівні прикладених напружень. Скоріше за все, це пов'язано із підвищеним рівнем локалізації корозійних процесів. Тому можемо констатувати наявність підвищеної небезпеки розвитку корозійно-механічних процесів у цих середовищах навіть за незначних перевантажень трубопроводу.



Рис. 5. Кінетика деформації сталі трубопроводу 17ГС в нейтральних хлоридно-сульфатних середовищах МС4-6

Особливо слід відзначити значні кути нахилу завершальної ділянки кривої в МС5 та МС6 (рис. 5), що свідчить про нестационарність процесу і несе в собі ризики виникнення значних (аж до наскрізних) корозійних уражень в високомінералізованих ґрунтових електролітах за середніх та підвищених напружень. Найбільші експлуатаційні ризики прогноуються для ділянок трубопроводів у складних умовах експлуатації (гірських та зсувонебезпечних районах, болотистих місцях тощо).

Таким чином, в результаті проведених досліджень деформаційної поведінки матеріалу трубопроводів з урахуванням терміну їх експлуатації та тривалої дії навколишнього середовища показано, що залежно від рівня прикладених напружень приріст деформації порівняно з неексплуатованою сталлю може складати 25-30%.

Наступним етапом досліджень було вивчення деформаційної поведінки сталі 19Г у нейтральних ґрунтових електролітах та її порівняння зі сталлю 17ГС.

У **хлоридних електролітах** спостерігаємо зростаючу кінетику деформації, яка загалом характерна для обох досліджуваних сталей. Трубі сталі у стані поставки характеризуються незначними відмінностями у деформаційній поведінці, однак, порівнюючи абсолютні та відносні прирости деформацій, встановлено, що тривалоексплуатована сталь 19Г демонструє тенденцію до більш інтенсивного розвитку деформації (рис. 6), зокрема на початковій стадії її швидкість зростає до 20-30%.

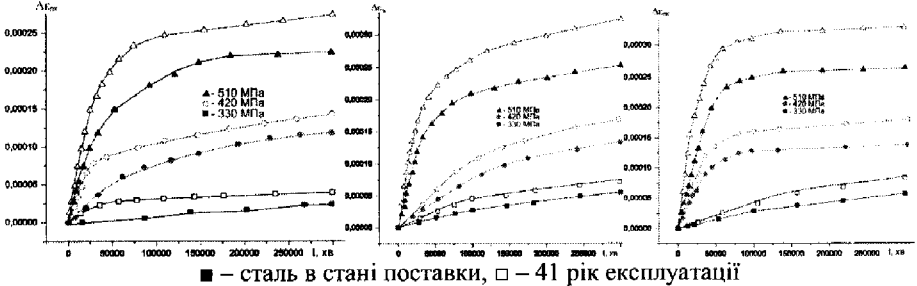


Рис. 6. Кінетика деформації трубопровідної сталі 19Г в нейтральних хлоридних середовищах МС 1-3

Таким чином, у нейтральних хлоридних середовищах приріст показників деформації сталі 19Г на 7-15% вищий, ніж для 17ГС. Подібні значення фіксуємо і для приросту швидкості деформування як на початковому етапі, так і загалом. Найбільші показники приросту деформації кутів нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої у МС2 та МС3. Крім того, у МС2 зафіксовано небезпечно стабільно зростаючу кінетику (крива практично не виходить на плато), що, за умови невчасного реагування ремонтних служб, може спричинити до розгерметизації труби.

У **хлоридно-сульфатних ґрунтових електролітах** поведінка сталі 19Г відрізняється, порівняно із 17ГС, збільшенням швидкості приросту деформації на першій стадії та збільшенням абсолютних величин деформацій та їх відносних приростів для всіх модельних середовищ (рис. 7). Швидкість деформування істотно зростає на першому етапі, в подальшому показники стабілізуються.

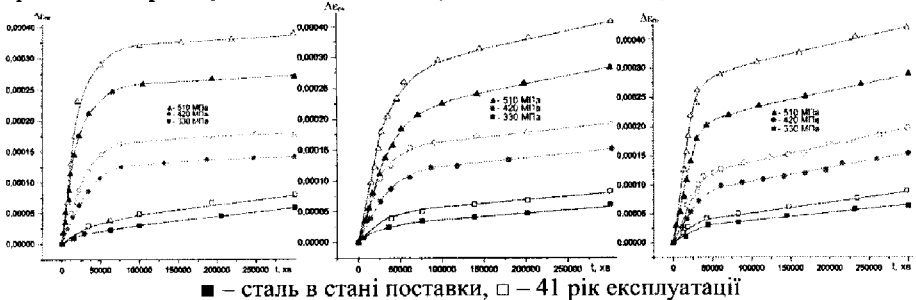


Рис. 7. Кінетика деформації сталі трубопроводу 19Г в нейтральних хлоридно-сульфатних середовищах МС4-6

Крім того, у МС5 та МС6 спостерігаємо значні величини кутів нахилу завершальних ділянок. Можемо зробити висновок, що у хлоридно-сульфатних електролітах для досліджуваних тривалоексплуатованих сталей існує підвищена небезпека розвитку деформаційних процесів у місцях пошкодження протикорозійного покриття.

Отже, у нейтральних ґрунтових електролітах найбільші ризики виникнення позаштатних ситуацій для обох досліджуваних сталей спостерігаються у МС2, МС5 та МС6. Особливо небезпечними виявлені тенденції є для підвищених рівнів напружень, які можуть виникати при просіданнях ґрунту на ділянках зі складними умовами експлуатації. Такі результати добре узгоджуються із даними проведених раніше досліджень для розподільчих трубопроводів зі сталі 20 та Ст3. Можна зробити висновок про подібні механізми сумісної дії корозійного та механічного чинників для вуглецевих та низьколегованих трубних сталей. Таким чином отримані результати матимуть універсальне застосування для забезпечення працездатності трубопроводів в умовах тривалої дії експлуатаційних середовищ.

Наступним етапом вивчення впливу експлуатаційних середовищ на деформаційну поведінку тривалоексплуатованого матеріалу трубопроводу були випробовування у кислих ґрунтових електролітах. Актуальність вивчення впливу рН на здатність сталі трубопроводу чинити опір тривалим статичним навантаженням зумовлена тим, що кислі ґрунти з хлоридними та хлоридно-сульфатними електролітами є характерними для Західної України та Полісся, де густина трубопроводів є однією з найвищих.

В **підкислених хлоридних** електролітах (рис. 8), зі збільшенням величини прикладених напружень, величина приросту деформації зростає. На деформаційних кривих тривалоексплуатованого матеріалу труб спостерігаємо появу циклічних прискорень-сповільнень деформації, для матеріалу в стані поставки вони нехарактерні.

Така деформаційна поведінка може бути пояснена впливом водневого окрихчення, схильність до якого тривалоексплуатованих сталей фіксувалася раніше. Підтвердженням цього служать зафіксовані у МС 8 цикли прискорення-сповільнення деформації, які відповідають циклам росту тріщини. Найінтенсивніші вони на першому етапі експозиції, далі швидкість приросту деформації спадає. Це пов'язано з притупленням вершин корозійних тріщин внаслідок збільшення швидкості розчинення матеріалу трубопроводу та відповідним зменшенням рівня концентрації напружень у їх вершинах. За найнижчих рівнів напружень циклічного прискорення-сповільнення деформації не зафіксовано, однак тут спостерігаємо стабільне зростання її приросту. Такі результати вказують на високу небезпеку розгерметизації внаслідок швидкого розчинення металу в зонах пошкодження ізоляційного покриття. Якщо при цьому урахувати можливість виникнення макрогальванічних елементів вздовж траси трубопроводу та вплив змінного і наведеного струмів, то у випадку розподільчих трубопроводів з невеликою товщиною стінки ситуація стає досить складною. Необхідно збільшити кількість моніторингових заходів, оптимізувати режими експлуатації, вивчити стан та за необхідності оновити ізоляційне покриття на ділянках з підвищеною корозійною

активністю ґрунтів з метою забезпечення працездатності наявних трубопроводів.

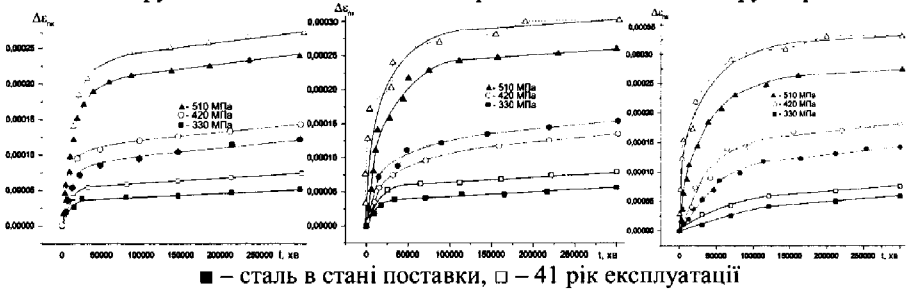


Рис. 8. Кінетика деформації сталі трубопроводу 17ГС в кислих хлоридних середовищах МС7-9

В підкислених хлоридно-сульфатних експлуатаційних середовищах (рис. 9) спостерігаємо кінетику деформації подібну до такої у нейтральних аналогах із особливостями, характерними для підкислених ґрунтових електролітів.

В МС10, значення рН в якому рівне 5, спостерігаємо приріст деформації від 5 до 15 % залежно від рівня прикладених напружень. Помітних деформаційних скачків не фіксуються, ризик аварійної розгерметизації незначний, що пов'язано із превалюючим механізмом кисневої деполаризації і незначним водневим окрихченням. Порівняно із хлоридними електролітами з аналогічним рН спостерігаємо збільшення абсолютного приросту деформації, що вказує на вищі ризики виникнення позаштатних ситуацій в таких середовищах.

Порівняно з підкисленими хлоридними середовищами фіксуємо більший абсолютний та відносний приріст деформації, а також приріст висоти деформаційних стрибків, що, скоріше за все, зумовлено зростанням локалізації корозійних процесів. Одночасно за невисоких рівнів навантажень при переході від МС10 до МС11 кінетика залишається рівномірною, однак збільшення кута нахилу завершальної ділянки свідчить про інтенсифікацію корозійно-механічної деградації поверхні тривалоексплуатованої сталі трубопроводу, проте така тенденція не є загрозливою за умови проведення належних моніторингових та ремонтних заходів на ділянках пролягання трубопроводу через ґрунти з підвищеною корозійною активністю.

Деформаційна поведінка деградованої сталі у МС12 за кінетикою схожа на хлоридне середовище з відповідним рН (МС9). Очевидно що саме кислотність середовища є визначальною. Деформаційні стрибки фіксуються, проте вони значно плавніші, ніж в МС11. Це зумовлено значною хімічною активністю середовища, яка призводить до швидкого розчинення металу у вістрі тріщини. Порівняно з підкисленими хлоридними середовищами, як і в МС11 спостерігаємо збільшення абсолютного та відносного приростів деформації та збільшення кута нахилу завершальної ділянки, що зайвий раз підтверджує найбільшу корозійну активність даного середовища, яка, підсилена дією механічного чинника, може призвести до позаштатних та навіть аварійних ситуацій у районах з підвищеною небезпекою зсувів. Причому ризик їх виникнення є не тільки у гірських областях, про що свідчать дані розслідування аварій на трубопроводах.



Рис. 9. Кінетика деформації сталі трубопроводу 17ГС в кислих хлоридно-сульфатних середовищах МС10-12

Також, беручи до уваги значну агресивність середовища, неважко спрогнозувати значні ризики розгерметизації внаслідок швидкого розчинення металу в зонах пошкодження ізоляційного покриття. Значну увагу потрібно також присвятити оптимізації параметрів активного протикорозійного захисту, зокрема вивчити європейський досвід із використання рівня захисного потенціалу, який незначно перевищує теоретичний мінімум, з метою мінімізації ризику виділення на поверхні труби, внаслідок перебігу електрохімічних процесів, водню.

Необхідно також ураховувати екологічну складову, оскільки метан є парниковим газом, і його втрати спричиняють не тільки економічні збитки, а й довготривалі наслідки для навколишнього середовища. Важливою залишається і економічна складова, пов'язана із втратами транспортованого продукту внаслідок розгерметизації труб.

Завершальним етапом експериментального дослідження стало вивчення та порівняльний аналіз деформаційної поведінки тривалоексплуатованої сталі 19Г у кислих ґрунтових електролітах.

У МС7 фіксуємо характерну деформаційну поведінку зі збільшенням швидкості деформування на першому етапі, що, у свою чергу, спричинює збільшення абсолютної деформації та її відносного приросту порівняно зі сталлю 17ГС. При переході до середовищ із нижчим рН (МС8 та МС9) починають виникати деформаційні стрибки, зумовлені розвитком та поширенням тріщиноподібних корозійних дефектів від поверхні труби (рис. 10). Причому у МС8 (рН4) характер зафіксованих деформаційних змін найбільше сприяє тріщиноутворенню, оскільки спостерігаємо найвищу швидкість приросту деформації, яка відповідає поширенню поверхневих дефектів. Натомість у МС9 прогнозовано фіксуємо вищі показники абсолютних значень та відносних приростів деформації, однак, деформаційні флуктуації більш згладжені, що, на нашу думку, зумовлено затупленням вершин тріщиноподібних дефектів внаслідок розчинення металу у їх вістрі. Аналіз даних про кути нахилу завершальних ділянок кінетичних кривих та їх порівняння з результатами, отриманими для сталі 17ГС, вказує на підвищену небезпеку втрати приросту деформації та виникнення позаштатних ситуацій на трубопроводах зі сталі 19Г, які експлуатуються понад 40 років. Зокрема, приріст деформації може складати до 38%.

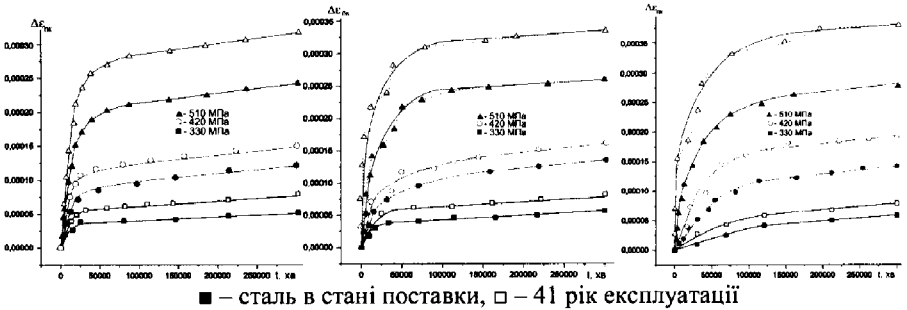


Рис. 10. Кінетика деформації сталі трубопроводу 19Г в кислих хлоридних середовищах МС7-9

У хлоридно-сульфатних підкислених середовищах деформаційна поведінка сталі 19Г незначно відрізняється від такої для підкислених хлоридних середовищ (рис. 11). Для МС10 спостерігаємо монотонну зростаючу кінетику без деформаційних стрибків, однак, абсолютні значення деформацій та величини їх відносних приростів зростають на 10-25% порівняно з середовищами із відповідним рівнем рН. Також у підкислених хлоридно-сульфатних електролітах для сталі 19Г зафіксовано найбільші показники приросту деформації – до 48%. Такі результати не можуть не викликати тривоги, особливо у час нестабільної ситуації у державі, коли є високі ризики навмисних шкідливих дій на об'єктах підвищеної небезпеки, зокрема на трубопроводах.



Рис. 11. Кінетика деформації сталі трубопроводу 19Г в кислих хлоридно-сульфатних середовищах МС10-12

Після нагромадження масиву експериментальних результатів постає питання прогнозування розвитку досліджуваних процесів. У класичній механіці є поняття повзучості, пов'язане головним чином зі зміною деформації металу при підвищених температурах. Найчастіше для аналітичного опису таких непружних процесів використовують логарифмічні залежності, звідки і пішов термін «логіфімічна повзучість». У досліджуваному нами випадку термін повзучість мусимо вживати із застереженнями, оскільки механізми зміни деформації тривалоексплуатованого металу пов'язані не тільки із пластичним течінням, а й з розкриттям внутрішніх структурних дефектів, які виникли внаслідок тривалої експлуатації. Однак,

незважаючи на відмінності у механізмах, кінетика розвитку процесу деформації схожа на таку для класичної повзучості, тому було прийнято рішення використати для аналітичного опису отриманих експериментальних результатів подібні математичні підходи.

Запропоновано для опису процесів приросту деформації використовувати рівняння вигляду: $y = a - b \cdot \ln(x)$, або, підставивши параметри часу і деформації – $\varepsilon = a - b \cdot \ln(t)$.

Статистична обробка результатів, яку було виконано у програмі Origin 2015, показала надійну імовірність аналітичного опису у межах 0,96-0,98, що підтверджує правильність вибору методики аналітичного опису експерименту. Такі показники свідчать про належну коректність подальшого прогнозування деформаційної поведінки тривалоексплуатованої сталі трубопроводу у середовищі ґрунтового електроліту. Для прийняття управлінських рішень на газопроводах необхідно проводити порівняння експлуатаційних середовищ за сумарним показником імовірності розвитку небезпечних процесів (корозії, втрати несучої здатності тощо) з подальшим їх ранжуванням. За результатами проведених експериментів нами запропоновано ранжувати усі досліджувані середовища за наступними характеристичними величинами:

1. Абсолютна величина приросту деформації;
2. Відносна величина приросту деформації;
3. Кут нахилу завершальної ділянки кривої деформації.

Значення відповідного характеристичного показника на повітрі приймаємо рівним одиниці та розраховуємо за ним відносні показники (бали) для інших випадків. Потім шляхом сумування балів за всіма характеристичними показниками отримуємо кінцевий ранг для кожної комбінації «сталь-середовище-напруження» та визначаємо найнебезпечніші.

На першому етапі проводимо ранжування у групі нейтральних ґрунтових електролітів (МС1-МС6). Для поглибленого аналізу отриманих результатів доцільно представити їх у графічному вигляді (рис. 10). Такий методичний підхід дасть змогу кращого уявлення і спростить виділення найнебезпечніших типів ґрунтових електролітів. Порівняльний аналіз експериментальних даних показує більшу схильність тривалоексплуатованої сталі 19Г до втрати показників опору деформаціям, особливо за рівнів прикладених напружень 420 та 510 МПа. Порівняльний аналіз величин приросту деформації вказує на дуже небезпечну тенденцію. У той час, як сталь 17ГС демонструє невисокі показники відносних приростів деформації, для сталі 19Г спостерігаємо значні відносні прирости, навіть за мінімального рівня прикладених напружень. Така тенденція свідчить про підвищені ризики виникнення ушкоджень та втрати цілісності труби, особливо в МС2 та МС6.

Аналіз відносних показників кутів нахилу кривих деформації (рис. 3 – рис.6) дав змогу виявити спільну для обох тривалоексплуатованих сталей тенденцію – при мінімальному рівні прикладених напружень у МС2, МС3 та МС4 – високі показники нестационарності процесу, тобто є прихована небезпека довготривалого розвитку деформаційних процесів з невеликою швидкістю, що ускладнює її виявлення при

проведенні моніторингових заходів.

Інша виявлена нами небезпека пов'язана із різкою активізацією небажаної деформації у МС5 та МС6 за високих рівнів напружень. А беручи до уваги підвищену локалізацію корозійних процесів у цих середовищах, виникають ризики втрати стійкості оболонки труби та спонтанного руйнування. Такий сценарій може бути зумовлений різким перевантаженням труби внаслідок локального зсуву ґрунту. Додавши бали характеристичних показників отримаємо дані для ранжування нейтральних ґрунтових електrolітів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів тривалоексплуатованими трубними сталями (рис. 12).

Узагальнення показників дає змогу виділити найнебезпечніші серед нейтральних ґрунтових електrolітів середовища. Для обох досліджуваних марок сталей це будуть МС2, МС5 та МС6. Також спостерігаємо істотно більший вплив тривалої експлуатації на деформаційну поведінку сталі 19Г, особливо у області підвищених навантажень.

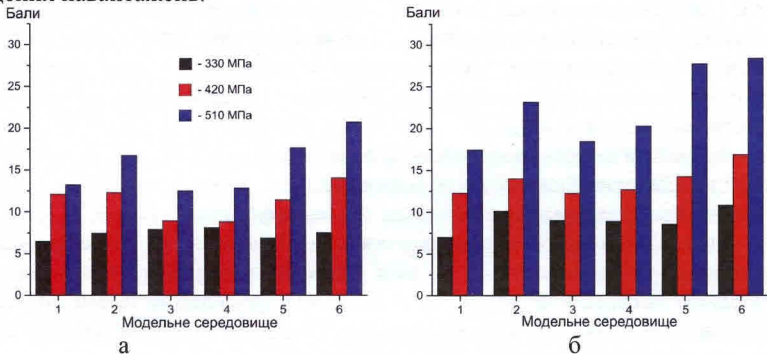


Рис. 12. Ранжування нейтральних ґрунтових електrolітів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів: а – 17ГС, б – 19Г

Однак, найбільш небезпечними для тривалоексплуатованих матеріалів є кислі середовища, ранжування яких за характеристичними показниками було наступним етапом нашого дослідження. Аналіз отриманих результатів у підкислених хлоридних ґрунтових електrolітах показав істотний вплив механічного чинника, причому зі збільшенням величини прикладених напружень інтенсивність деформаційних процесів зростає як для сталі 17ГС, так і для 19Г. Відносні показники у балах для обох сталей теж різняться незначно, що вказує на схожість причин і механізмів активізації деформаційних процесів внаслідок тривалої експлуатації. Бачимо зростання бальності показників зі збільшенням кислотності у обох випадках, що вказує на контролюючу роль рівня рН у розвитку деформаційних процесів.

Проаналізувавши дані приростів деформації, фіксуємо значні відмінності у поведінці експлуатованих трубних сталей. Зокрема, для сталі 17ГС можна відзначити цікаву особливість – у МС9, МС10 та МС11 найбільший приріст деформації відповідає не найвищому, а середньому рівню напружень, у той час як при переході до МС12 поведінка матеріалу стає стандартною. Така поведінка матеріалу свідчить про підвищені ризики виникнення позаштатних ситуацій у

зсувонебезпечних районах та місцях зі значними коливаннями вологості.

Друга небезпечна особливість – відносні прирости деформації для сталі 19Г значно перевищують показники для 17ГС, а взявши до уваги незначні відмінності в абсолютних показниках контрольних зразків, можемо зробити висновок про підвищену чутливість експлуатованої сталі 19Г до тривалої дії кислих експлуатаційних середовищ. Показники бальності відрізняються до 2-х разів, що свідчить про необхідність проведення діагностично-моніторингових заходів та переізоляції проблемних ділянок тривалоексплуатованих трубопроводів зі сталі 19Г у кислих ґрунтах, характерних для Західної України та Полісся.

Найнебезпечнішими середовищами за показником відносного приросту деформації для сталі 17ГС будуть МС9 (кисле хлоридне) та МС 10 (кисле хлоридно-сульфатне). Також потрібно звернути увагу на МС8, де відносний приріст найбільший при мінімальному рівні напружень, які можуть часто виникати впродовж тривалої експлуатації. Отримані нами результати свідчать про необхідність комплексного корозійного моніторингу трубопроводів із відслідковуванням не тільки показників ЕХЗ, але й фізико-хімічних характеристик ґрунтового електроліту та коливань рівня вологості ґрунтів вздовж траси трубопроводу.

Для сталі 19Г підвищена небезпека розвитку корозійно-механічних уражень буде в усіх кислих ґрунтових електролітах. Найнебезпечнішими серед підкислених хлоридних буде МС8 та МС9, у яких, крім підвищеного рівня приросту деформації спостерігаються деформаційні стрибки на кінетичних кривих (рис. 10 – рис.11). Серед підкислених хлоридно-сульфатних підвищені експлуатаційні ризики внаслідок корозійно-механічних процесів будуть для усіх трьох середовищ. У МС10 маємо найвищий рівень приросту деформації, у той час, як для МС11 та МС12 фіксуються значні деформаційні скачки на кінетичних кривих.

У підкислених хлоридно-сульфатних електролітах спостерігаємо аномальну поведінку у МС11, де при 420 МПа зафіксовано найвищу бальність показника кута нахилу, що свідчить про значну схильність до тривалого приросту деформацій, який може спричинити до позаштатних ситуацій. Також небезпечні показники і у МС12, що зумовлено, скоріше за все, впливом рівня рН та підвищеною схильністю до локалізації корозійних процесів у хлоридно-сульфатних середовищах.

Узагальнивши отримані дані, можемо провести об'єднане ранжування кислих ґрунтових електролітів за трьома характеристичними показниками (рис. 13).

Для тривалоексплуатованої трубопровідної сталі 17ГС за сумою трьох показників найнебезпечнішими будуть МС9, МС 11 та МС12. Особливу увагу слід звернути на МС9, де підвищені ризики розвитку корозійно-механічних процесів є вже при середньому з трьох досліджуваних рівнів прикладених напружень, а враховуючи наявність стрибкоподібних змін деформації на кінетичній кривій, існує підвищена небезпека розвитку корозійних тріщин. У області екстремально високих напружень у всіх середовищах бальність сумарного показника є очікувано високою, що свідчить про втрату запасу міцності при різкому виникненні аварійної ситуації.

Для тривалоексплуатованої сталі 19Г ситуація подібна, однак, бальність сумарного показника вища на 15-53%, що вказує на підвищену небезпеку відмов труб із даної сталі на пізній стадії експлуатації у кислих ґрунтових електролітах. За

підвищених рівнів прикладених навантажень найбільша небезпека прискореного розвитку деформаційних процесів буде у середовищах МС9, 10, 11, 12; при екстремальних навантаженнях – МС8, 11 та 12.

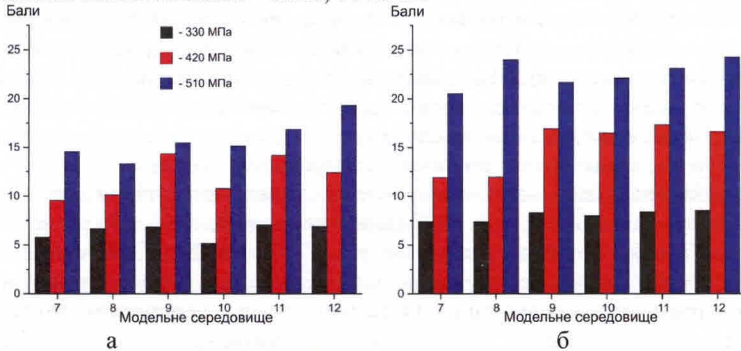


Рис. 13. Ранжування кислих ґрунтових електролітів за небезпечкою розвитку корозійно-механічних процесів: а – 17ГС, б – 19Г

Такі методичні підходи дають змогу підвищити ефективність ремонтних заходів шляхом попередження важких відмов через регулярний моніторинг тривалоексплуатованих ділянок, прокладених у ґрунтах із підвищеною корозійною активністю. В подальшому необхідно нагромаджувати експериментальний матеріал з метою збільшення кількості характеристичних показників та побудови комплексної багатопараметричної системи корозійного моніторингу трубопроводів.

В четвертому розділі запропоновано концепцію корозійного моніторингу трубопроводів, в яку, зокрема, входить розроблена методика визначення ділянок трубопроводу з підвищеною небезпечкою розвитку корозійно-механічних процесів, яка складається з наступних етапів:

- вивчення корозійної активності ґрунтів вздовж траси їх пролягання;
- аналіз сольового складу та рівня кислотності ґрунтового електроліту;
- визначення рівня вологості та його сезонних коливань;
- визначення швидкості загальної та локальної корозії, коефіцієнта локалізації корозійних процесів;
- визначення параметрів електрохімічної поведінки сталі трубопроводу у експлуатаційному середовищі (рівноважний потенціал, криві анодної та катодної поляризації, величину струмів анодного та катодного процесів);
- визначення рівня захисного потенціалу ЕХЗ;
- вивчення стану пасивного протикорозійного захисту.

Для експериментальної перевірки було відібрано 80 проб ґрунту під час планового шурфування на трубопроводах «Прогрес», «Уренгой-Помари-Ужгород», «Шебелинка-Полтава-Київ» та «Єфремовка-Диканька-Київ».

Після їх аналізу та узагальнення даних отриманих експлуатуючою організацією, шляхом накладання карт-шарів нами, були визначені 8 областей підвищеної небезпеки розвитку корозійних процесів на ділянці трубопроводі «Єлець-Диканька-Київ» УМГ «Київтрансгаз», на двох з яких під час наступного планового шурфування виявили пошкодження ізоляції та локальне корозійне

ураження глибиною приблизно третини товщини стінки труби (рис.14). Це підтверджує ефективність запропонованої нами методики та дозволило вчасно вжити ремонтних заходів.

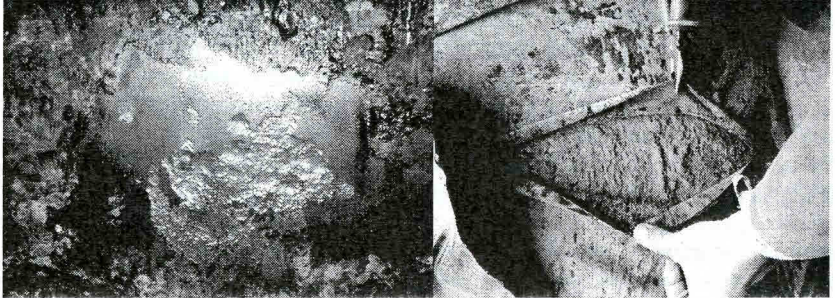


Рис. 14. Локалізоване корозійне ураження магістрального газопроводу ЄДК

Запропоновані методики прийняті для розгляду та впровадження в УМГ «Київтрансгаз», «Львівтрансгаз», «Черкаситрансгаз»

В подальшому пропонується створити геоінформаційну систему (ГІС) яка дозволить об'єднати запропоновані заходи та методики і міститиме:

- карту корозійної активності ґрунтів із зазначенням швидкості загальної, локальної корозії та коефіцієнта локалізації корозійних процесів;
- карту зміни вологості ґрунтів;
- карту відносної зсувонебезпечності вздовж траси трубопроводу;
- карту розподілу рН ґрунтів;
- карту зміни величини захисного потенціалу.

Використання запропонованої ГІС дозволить в подальшому створити систему корозійного моніторингу магістральних газопроводів, яка дасть змогу:

- виявити ділянки підвищеної зсувонебезпечності з підвищеним ризиком корозійно-механічної деградації (корозійної повзучості, корозійного розтріскування під напруженням, стрес-корозії тощо);
- оптимізувати параметри електрохімічного захисту;
- визначити способом накладання карт-шарів найбільш корозійно небезпечні ділянки;
- виокремити ділянки газопроводу з найбільш ушкодженим ізоляційним покриттям;
- прогнозувати швидкість корозійно-механічної деградації сталі трубопроводу;
- виявляти ділянки зі значними пошкодженнями протикорозійного покриття;
- визначати місце, черговість і періодичність проведення моніторингових заходів з метою мінімізації наслідків корозійно-механічної деградації та запобігання аварійним ситуаціям;
- підвищити надійність роботи магістральних газопроводів, зменшити та контролювати величину експлуатаційних ризиків.



ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи вирішено важливу науково-технічну задачу забезпечення працездатності трубопроводів шляхом оцінки та прогнозування впливу терміну експлуатації та тривалої дії ґрунтових електролітів на деформаційну поведінку трубних сталей.

1. Розвинуто експериментальні дослідження впливу ґрунтових електролітів на кінетику деформації трубних сталей. Встановлено, що приріст загальної деформації в результаті тривалої дії експлуатаційних середовищ (ґрунтових електролітів) та трубні сталі 17ГС та 19Г, експлуатовані 41 рік, становить від 4 до 9% та від 5,5 до 12% відповідно і має тенденцію до подальшого збільшення. У кислих ґрунтових електролітах для тривалоексплуатованих трубних сталей вперше зафіксовано різкі прирости деформації, зумовлені розвитком корозійних тріщин, які можуть спричинити раптову розгерметизацію трубопроводу.

2. Для сталей 17ГС та 19Г отримано відповідні функціональні залежності для кожної комбінації «сталь-середовище-напруження» з надійною ймовірністю математичного опису у межах 0,96-0,98, що підтверджує їх придатність для прогнозування процесу.

3. Розроблено методику ранжування ґрунтів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів та запропоновано в якості характеристичних показників кут нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої, абсолютний та відносний прирости деформації. Для сталей 17ГС та 19Г найнебезпечнішими є нейтральні модельні середовища 2, 5 та 6 і кислі модельні середовища 9, 11 та 12. Встановлено що тривалоексплуатована трубна сталь 19Г більш чутлива до впливу ґрунтового електроліту, ніж 17ГС (на 5-44% – для нейтральних середовищ, на 10-55% – для кислих середовищ).

4. Розроблено та впроваджено на окремих підприємствах УМГ «Київтрансгаз», УМГ «Львівтрансгаз» та УМГ «Черкаситрансгаз» методику визначення ділянок трубопроводу з підвищеною небезпекою корозійно-механічної деградації. Результати роботи впроваджено в навчальний процес на кафедрах хімії і спорудження та ремонту газонафтопроводів та газонафтоосховищ ІФНТУНГ.

5. Запропоновано концепцію корозійного моніторингу газопроводів, яка полягає в накладанні карт-шарів розподілу вздовж траси трубопроводу наступних чинників: корозійної активності ґрунтів, їх сольового складу, рівня кислотності та вологості (з врахуванням сезонних коливань); параметрів електрохімічної поведінки сталі трубопроводів (рівноважного потенціалу, величини катодного та анодного струмів, коефіцієнту локалізації корозійних процесів); розподілу захисного потенціалу та стану пасивного протикорозійного захисту. Її реалізація дасть змогу оптимізувати періодичність моніторингу технічного стану та черговість проведення ремонтних заходів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Побережний Л. Я. Корозійний моніторинг транзитних газопроводів / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький, В.В. Рудко // Вісник ТНТУ. – 2011. – №3. – С. 20-26. INSPEC [науковометричне видання].
2. Побережний Л.Я. Ранжування ґрунтів за небезпекою втрати несної

здатності трубопроводами на пізній стадії експлуатації / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.1.- С. 280-286. Index Copernicus [науковометричне видання].

3. Побережний Л.Я. Вплив йонної сили ґрунтового електроліту на швидкість корозії металу нафтогазопроводів / Л.Я. Побережний, Т.Ю. Пиріг, А.І. Станецький // Фізико-хімічна механіка матеріалів, спец. вип. № 8. – 2010. – Т.2. – С. 620-624.

4. Побережний Л.Я. Методика визначення областей підвищеної корозійної активності вздовж трас пролягання магістральних газонафтопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький, Т.Ю. Пиріг, О.Д. Мельник // Розвідка та розробка газових та нафтових родовищ. – 2010. – 4(37). – С. 118-123.

5. Побережний Л. Я. Корозійно-механічна деградація магістральних газопроводів / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №1. – С. 36-38.

6. Побережний Л. Я. Полікритеріальна оцінка корозійної активності середовища як елемент підвищення надійності магістральних газопроводів / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №2. – С. 38-40.

7. Побережний Л.Я. Вплив експлуатаційної деградації на несучу здатність матеріалу магістральних трубопроводів/ Л.Я. Побережний, П.О. Марущак, А.І. Станецький // Фізико-хімічна механіка матеріалів, спец. вип. № 9. – 2012. – Т.2. – С. 642-646.

8. Побережний Л. Я. Методика визначення областей підвищеної корозійної та біокорозійної активності як складова комплексного моніторингу нафтогазопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький, М. С. Полутренко, П.О. Марущак // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2013. – С. 161-166.

9. Полутренко М.С. Оцінювання ризику біокорозійних руйнувань підземних газопроводів // М.С. Полутренко, Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Вісник ТНТУ. – 2015. – №4 (80) – С. 71-77.

10. Побережний Л. Я. Низкочастотная усталость и корозионная усталость подземных магистральных трубопроводов / Л. Я. Побережний, А. И. Станецкий // IV международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 25-28 октября 2011 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2011, С. 367-369.

11. Побережний Л. Я. Вплив експлуатаційної деградації на несучу здатність матеріалу транзитних газопроводів / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький, В. Б. Асатрян // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012 р. / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ 2012. – С. 233-235.

12. Побережний Л.Я. Вплив терміну експлуатації на опір деформаціям матеріалу газопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький, В.С. Мархалевич // Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії-2012: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, 5-7

листопада 2012 р. / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 211-214.

13. Побережний Л. Я. Зміна несучої здатності матеріалу магістральних газопроводів в результаті експлуатаційної деградації / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький, П.О. Марущак // Нафтогазова енергетика 2013: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Івано-Франківськ, 7-11 жовтня 2013 р. / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ 2013. – С. 451-253.

14. Полутренко М.С. Вплив терміну експлуатації та рН середовища на несучу здатність матеріалу трубопроводу // М.С. Полутренко, Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика-2015» 21-24 квітня 2015 р // Івано-Франківськ. - 2015 р.-С 298-302.

АНОТАЦІЯ

Станецький А. І. Забезпечення працездатності трубопроводів при тривалій дії експлуатаційних середовищ. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2016.

На пізній стадії експлуатації нафтогазопроводів особливо актуальною науково-технічною проблемою стає належне забезпечення технічної надійності та безпечної експлуатації трубопроводів із застосуванням методів технічного діагностування, особливо, корозійних дефектів, а також розроблення ефективних методів оцінки працездатності експлуатованого матеріалу. У кислих ґрунтових електролітах для тривалоексплуатованих трубних сталей вперше зафіксовано різкі прирости деформації, зумовлені розвитком корозійних тріщин, які можуть спричинити раптову розгерметизацію трубопроводу. Розроблено методика ранжування ґрунтів за небезпекою розвитку корозійно-механічних процесів та запропоновано в якості характеристичних показників кут нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої, абсолютний та відносний прирости деформації. Встановлено що тривалоексплуатована трубна сталь 19Г більш чутлива до впливу ґрунтового електроліту ніж 17ГС (на 5-44% для нейтральних середовищ, на 10-55 % для кислих середовищ). Запропоновано концепцію комплексного корозійного моніторингу газопроводів, яка полягає в накладанні карт-шарів розподілу вздовж траси трубопроводу наступних чинників: корозійної активності ґрунтів, їх сольового складу, рівня кислотності та вологості (з врахуванням сезонних коливань); параметрів електрохімічної поведінки сталі трубопроводів (рівноважного потенціалу, величини катодного та анодного струмів, коефіцієнту локалізації корозійних процесів); розподілу захисного потенціалу та стану пасивного протикорозійного захисту.

Ключові слова: працездатність трубопроводів, пізня стадія експлуатації, деформаційна поведінка, розгерметизація, ранжування за корозійною активністю, корозійний моніторинг

АННОТАЦИЯ

Станецкий А. И. Обеспечение работоспособности трубопроводов при длительном воздействии эксплуатационных сред. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2016.

На поздней стадии эксплуатации нефтегазопроводов особенно актуальной научно-технической проблемой становится надлежащее обеспечение технической надежности и безопасной эксплуатации трубопроводов с применением методов технического диагностирования, особенно, коррозионных дефектов, а также разработка эффективных методов оценки работоспособности эксплуатируемого материала. В кислых грунтовых электролитах для длительноэксплуатируемых трубных сталей впервые зафиксировано резкие приросты деформации, обусловленные развитием коррозионных трещин, которые могут привести к внезапной разгерметизации трубопровода. Разработана методика ранжирования почв по опасности развития коррозионно-механических процессов и предложены в качестве характеристических показателей угол наклона заключительного участка деформационной кривой, абсолютный и относительный приросты деформации. Установлено, что длительноэксплуатируемая трубная сталь 19Г более чувствительна к воздействию почвенного электролита чем 17ГС (на 5-44% для нейтральных сред, на 10-55% для кислых сред). Предложена концепция комплексного коррозионного мониторинга газопроводов, которая заключается в наложении карт-слоев распределения вдоль трассы трубопровода следующих факторов: коррозионной активности грунтов, солевого состава почвенного электролита, уровня кислотности и влажности (с учетом сезонных колебаний); параметров электрохимического поведения стали трубопроводов (равновесного потенциала, величины катодного и анодного токов, коэффициента локализации коррозионных процессов) распределения защитного потенциала и состояния пассивной противокоррозионной защиты.

Ключевые слова: работоспособность трубопроводов, поздняя стадия эксплуатации, деформационное поведение, разгерметизация, ранжирование по коррозионной активности, коррозионный мониторинг.

SUMMARY

Stanetsky A. I. Providing functionality of pipelines in terms of long-acting exposure operating environments. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.13 - pipelines, oil and gas storages. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

In the late stage of exploitation of oil and gas particularly urgent scientific and technical problem is the proper maintenance of technical reliability and safe operation of the pipelines using technical diagnostics methods, especially corrosion defects, as well as the development of effective methods of performance evaluation of exploited material. Long-term operation of pipelines, ranging from transport and storage of pipes, cause

different types of damage. These include the damage to the insulating coating; corrosive damage in metal pipes, branching cracks, cracks in welds and cracks long operation at the welds. The above damage during further operation of pipelines reduce their reliability. Such damage when exposed to external technological environment caused by corrosion, mechanical and corrosion and mechanical processes that lead to the destruction of the pipes.

The analysis of ground electrolytes in different regions of Ukraine and found that in the west of Ukraine is characterized by moderately acidic soil chloride type, for Polissya acidic and strongly acidic soil chloride and chloride-sulfate type, for the central and eastern Ukraine - neutral and slightly acid soil chloride and chloride-sulfate type for the Southern region - neutral and slightly acid soil chloride-sulfate type of increased mineralization.

Developed further experimental study of the effect of ground electrolyte on the kinetics of deformation of pipe steels. It was established that the increase of total deformation under the influence of ground electrolytes for 17GS pipe steels and 19G after 41 years of operation is from 4 to 9% and from 5.5 to 12%, respectively, and tends to further increase. In acid electrolytes ground for a long time operated pipe steel for the first time it recorded a sharp gain of deformation due to the development of corrosion cracking, which can lead to sudden depressurization of the pipeline.

For 17GS and 19G steel obtained appropriate functional dependencies for each combination of "steel environment-stress" with reliable probability mathematical description within 0,96-0,98, which confirms their suitability for the forecasting process. The methodology of soil ranking by the danger of corrosion and mechanical processes and proposed as characteristic indicators of the angle of inclination of the final section of the deformation curve, the absolute and relative growth rates of deformation. Neutral modeling environment are to 17GS and 19G become dangerously 2, 5 and 6 and acidic environment model 9, 11 and 12. It was found that the steel pipe 19G is more sensitive to the effects of the soil electrolyte than 17GS (by 5-44% for neutral media, on 10-55% for acidic environments).

These methodological approaches will improve maintenance activities by preventing serious failures through regular monitoring of pipeline laid in soils with high corrosion activity during long term exploitation. In the future, it is necessary to accumulate experimental material to increase the number of characteristic parameters and construction of complex multiparameter system corrosion monitoring of pipelines.

The concept of integrated corrosion monitoring of pipelines, which is the application of layers of card distribution along the pipeline route following factors: soil corrosively, their salt composition, acidity and humidity (seasonally adjusted); parameters of the electrochemical behavior of steel pipes (the equilibrium potential, the value of the cathode and anode currents, the localization rate of corrosion processes) protection potential distribution and status of passive corrosion protection. Its implementation will allow to optimize the frequency of monitoring of the technical state of repair and priority activities.

Key words: pipeline efficiency, late stage of operation, deformation behavior, depressurization, ranking for corrosion activity, corrosion monitoring

НТБ
ІФНТУНГ



an2603