

622.692.4.076 (043)

B29

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВЕНГРИНЮК ТЕТЯНА ПЕТРІВНА

УДК 622.692.4

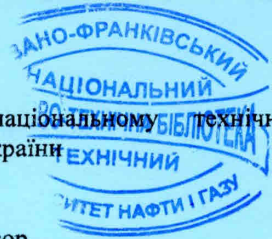
**РОЗРОБЛЕННЯ ІЗОЛЯЦІЙНО-КОМПОЗИТНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ З ТРИВАЛИМ
ТЕРМІНОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.15.13 - трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Івано-Франківськ - 2013



Дисертацією є рукопис.
Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
Копей Богдан Володимирович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри морських нафтогазових технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Никифорчин Григорій Миколайович
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України керівник
відділу корозійно-водневої деградації та захисту матеріалів

кандидат технічних наук,
Степ'юк Михайло Дмитрович,
Управління магістральних газопроводів “Прикарпаттрансгаз”,
головний інженер, м. Івано-Франківськ

Захист відбудеться 25 червня 2013 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.

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

Автореферат розіслано

“23” травня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
кандидат технічних наук, доцент

Л. Д. Пилипів



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Специфіка трубопровідного транспорту полягає у часто по-наднормовій тривалості експлуатації сталевих трубопроводів і невисокій ефективності їх протикорозійної ізоляції. Побудовані в 60-70-х роках мережі трубопроводів було ізольовано полімерними стрічками трасового нанесення і покриттями на основі бітуму, армованого склохолстом. У даний час стало очевидним, що ці покриття через недосконалості технології нанесення і низькі показники механічної міцності втратили на окремих ділянках свою роботоzдатність. Особливо гостро стоїть проблема в ремонті заіольованих непридатних до тривалої експлуатації нафтобітумних та полімерних стрічкових матеріалів. У цьому напрямі зазначимо розроблення В. В. Розганюка, Ю. П. Гужова, Ю. О. Кузьменка, Л. С. Шлапака, А. В. Драгілева, Ю. В. Банахевича.

Тришиноподібні дефекти (короткі і поодинокі тріщини механічного чи корозійного походження) важко прогнозовані в своєму розвитку, а тому особливо небезпечні. Серед них відзначимо втомні тріщини, які за корозійних умов можуть стрімко поширюватися і, тим самим, зменшувати довговічність трубопроводів. У розв'язанні цієї проблеми значний вклад внесли А. Я. Красовський, О. Є. Андрейків, Є. І. Крижанівський, Г. Н. Никифорчин, Ю. Д. Петрина, І. В. Ориняк, Д. Ю. Петрина, Р. С. Грабовський та ін. Однак недостатньо вивчена проблема коротких втомних тріщин, які не описуються загальними закономірностями, властивими довгим тріщинам, і яким досі не приділялось достатньо уваги при розробленні заходів із захисту і зміцнення трубопроводів.

Тривала експлуатація трубопроводів зумовлює деградацію механічних властивостей сталі в об'ємі стінки труби, найістотніше, опору крихкому руйнуванню, зокрема, тріщиностійкості, тому важливо враховувати і цей чинник при оцінюванні роботоzдатності трубопроводів з тріщиноподібними дефектами.

Існує також проблема удосконалення технології нанесення ізоляційних покриттів. В існуючих обладнаннях та машинах для нанесення покриття не дотримується вимога досягнення необхідного натягу стрічки, яка в умовах застосування ручного обладнання є складною проблемою, внаслідок чого нанесеним покриттям часто не властиві стабільність механічної та адгезійної міцності, що знижує їх здатність чинити опір впливу навколишнього середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота носить як теоретичний, так і науково-прикладний характер. Виконувалась за участі автора згідно з переліком науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт ВАТ «Укргазпроект» та договорам № 11 - 102- 6 з Івано-Франківським національним університетом нафти і газу, 2009 рік.

Тематика роботи охоплює декілька завдань національних та галузевих програм «Нафта і газ України до 2010 року», Програми реконструкції лінійної частини газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз».

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробленні нового ізоляційного покриття та методів і засобів його нанесення, з метою суміщення протикорозійного захисту зовнішньої поверхні нафтогазопроводів з підвищенням їх

опору механічному руйнуванню, в тому числі на стадії росту коротких втомних тріщин.

Для досягнення поставленої мети слід було вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз стану ізоляційних покриттів магістрального газопроводу Долинського ЛВУМГ УМГ «Прикарпатрансгаз».

2. Провести дослідження сталі 17Г1С магістрального газопроводу на циклічну тріщиностійкість, враховуючи особливості росту коротких поверхневих тріщин. Оцінити границю втоми трубної сталі з урахуванням наявності коротких тріщин.

3. Розробити ізоляційне композитне покриття на метал труби, яке повинно забезпечити ефективний протикорозійний захист і механічно зміцнювати поверхню труби, в тому числі на стадії росту коротких втомних тріщин.

4. Дослідити напружений стан бездефектної та дефектної труби, вкритої тришаровим композиційним покриттям.

5. Розробити автоматизовану установку для ефективного нанесення ізоляційного покриття на трубопровід.

Об'єкт дослідження. Магістральні газо- та нафтопроводи, зокрема, газопроводи «Івацевичі – Долина ІІ» на ділянці 500-522 км та «КЗУ» на ділянці 573-590 км Долинського ЛВУМГ УМГ «Прикарпатрансгаз», і стан їх корозійного та механічного пошкодження.

Предмет дослідження. Розроблення ефективного ізоляційного покриття, яке суміщає протикорозійний ефект з механічним зміцненням труби.

Методи дослідження. При дослідженнях використовували методи обстежень та аналізу стану пошкоджень ізоляційних покриттів діючих трубопроводів, експериментальні методи механіки втомного руйнування, методи оцінювання фізико-механічних властивостей покриттів, класичну теорію шаруватих безмоментних оболонок і числовий метод скінченних елементів.

Положення, що виносяться на захист. Закономірності утворення та поширення коротких втомних тріщин на трубопроводах з тривалим терміном експлуатації. Підвищення опору руйнуванню та протикорозійний захист ізоляційним покриттям.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Експериментальними замірами враховано явище закриття втомних тріщин при оцінюванні циклічної тріщиностійкості сталі 17Г1С та встановлено залежність порогового розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) від довжини тріщини в діапазоні коротких тріщин, пов'язану з ефектом закриття втомних тріщин.

2. Вперше за експериментально отриманими значеннями порогового розмаху КІН обчислено границю втоми для сталі 17Г1С з короткими тріщинами та показано, що тривала експлуатація трубопроводу знижує границю втоми металу.

3. Розроблено новий склад ізоляційного композитного покриття (ІКП) та методику оцінювання впливу ІКП на циклічну тріщиностійкість трубних сталей із врахуванням ефекту коротких втомних тріщин.

4. Кількісно розраховано ефект механічного зміцнення від використання розробленого покриття, який залежить і від ремонтного тиску, і від наявності тріщиноподібних дефектів.

5. Розроблено автоматизовану установку і автоматизований пристрій для

намотування ІКП на трубу, що дає можливість отримувати високі техніко-експлуатаційні властивості покриття.

6. Розроблено спосіб відновлення механічної міцності і герметизації трубопроводів без зупинки їх експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено високоефективне ізоляційне композитне покриття „ІКП”. Лабораторією сертифікаційних випробувань протикорозійних ізоляційних покриттів трубопроводів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України успішно проведені випробування ізоляції композитного покриття «ІКП» на предмет відповідності проекту Технічних умов ТУ У 26.1-02070855.003 – 2010 «Ізоляційне композитне покриття трубопроводів. Технічні умови».

Результати дисертаційної роботи використано на об'єктах УМГ «Львівтрансгаз». Товариство з обмеженою відповідальністю «Магістральне будівництво» виконало ремонтні роботи на небезпечних ділянках МГ «Івацевичі - Долина ІІ на трубопроводах діаметром 1220x15,2 мм. Очікуваний економічний ефект 29436 грн. (акт впровадження від 20.09.2012 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у безпосередній його участі на всіх етапах виконання – від формування завдання і експериментальних досліджень до розроблення проектів та їх впровадження. У публікаціях, підготовлених у співавторстві, здобувачеві належить: проведення дослідження трубної сталі 17Г1С на циклічну тріщиностійкість з оцінювання умов росту коротких поверхневих тріщин, отримані і проаналізовані основні характеристики тріщиностійкості, експериментально перевірена ефективність нанесеного ІКП для гальмування росту коротких тріщин [1, 13, 2, 7, 16]; автором особисто розроблене ізоляційне композитне покриття [12, 3, 22, 23, 8, 25], автоматизований пристрій для намотування ізоляційного композитного покриття на метал труби [10, 9, 21, 4]; спосіб відновлення механічної міцності і герметизації трубопроводів без припинення їх експлуатації [15, 24]; здійснено аналітичний та числовий аналіз впливу композиційного покриття на концентрацію напружень у трубі [17, 18, 19, 20, 14, 6], запропоновано технічні заходи щодо застосування розроблених методів, засобів і реконструкцій для відновлення трубопроводів [5, 11].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних конференціях і семінарах: V-ій міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукових досліджень – 2009» (м. Полтава, 2010 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи» (м. Івано-Франківськ, 2009 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Наукові дослідження та їх практичне застосування. Сучасний стан та шляхи розвитку 2010» (м. Одеса, 2010 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика - 2011» (м. Івано-Франківськ, 2011 р.), VII міжнародній науково-технічній конференції «Надійність і безпека магістрального трубопроводу» Республіка Білорусь (м. Новополоцьк, 2011 р.), у збірнику наукових праць випуск 6 «Надійність і безпека магістрального трубопроводу» Республіка Білорусь (м. Новополоцьк, 2011 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти та газу» (м. Івано-Франківськ, 2012 р.), XI міжнародній конференції-виставці «Проблеми корозії

та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів» Корозія-2012 (м. Львів), міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії» (м. Івано-Франківськ, 2012 р.), на семінарах кафедри нафтогазового обладнання і міжкафедрального науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ 2010, 2011, 2012).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 статей у фахових наукових журналах, 13 тез та статей міжнародних конференцій і семінарів, одержано 5 патентів України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків. Повний обсяг дисертації 152 сторінки, з них – додатків 35 сторінок. Дисертація містить 63 рисунки та 14 таблиць і 147 посилань на літературні першоджерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і завдання дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, подано дані про особистий внесок здобувача у публікаціях та апробацію і публікації отриманих результатів.

У першому розділі наведено загальну характеристику трубопровідного транспорту України – однієї з найважливіших ланок вітчизняної промислової інфраструктури та наголошено на проблему підтримання понаднормово експлуатованих нафтогазопроводів у робочому стані. Виокремлено особливу роль ізоляційних захисних покриттів у забезпеченні тривалої безпечної експлуатації трубопроводів, а на прикладі аналізу стану трубопроводів Долинського ЛВУМГ УМГ «Прикарпаттрансгаз» стосовно газопроводів «Івацевичі – Долина II»(ІД – 2) та «КЗУ» висвітлено проблеми, пов'язані з порушеннями функціональних властивостей ізоляційних покриттів.

Проаналізовано причини виникнення та методи виявлення дефектів у трубопроводах, серед них, як найважливіші, виділено корозивну агресивність ґрунтів та циклічність зміни тиску в трубопроводах. У цьому зв'язку важливо використовувати для оцінювання роботоздатності трубопроводів підходи механіки втомного руйнування. Розглянуто методичні особливості визначення циклічної тріщиностійкості конструкційних сплавів та окремо виділено ріст коротких втомних тріщин.

Виходячи з критичного аналізу літературних джерел, присвячених вивченню роботоздатності тривало експлуатованих нафтогазопроводів, зроблено висновок про недостатній розвиток методів захисту трубопроводів ізоляційними покриттями, які суміщали б протикорозійний захист з поверхневим зміцненням, в тому числі на стадії росту коротких втомних тріщин. На основі наведеного вище, а також відповідно до мети дисертаційної роботи, сформульовано завдання дослідження.

У другому розділі описано об'єкти і методи досліджень.

Експерименти виконано на трубних сталях вітчизняного виробництва 17ГІС, які 30-40 років тому широко використовували для виготовлення нафтогазопроводів. За хімічним складом і механічними властивостями дана сталь відповідає зарубіжній

трубній сталі категорії міцності API X52. Використовували сталь у вихідному стані (контрольна труба у стані поставки та після експлуатації 34 роки). В останньому випадку досліджували метал трубопроводу «Івачевичі-Долина II» 506503 м. Діаметр труб становив 1220 мм, а товщина стінки – 15,2 мм. Зразки для випробовувань були орієнтовані у поздовжньому напрямі труби з шириною по товщині труби.

У роботі розроблено методичну процедуру оцінювання впливу деградації механічних властивостей сталі в об'ємі стінки труби, найістотніше, опору крихкому руйнуванню, зокрема, тріщиностійкості, тому важливо врахувати і цей чинник при оцінюванні роботоздатності трубопроводів із тріщиноподібними дефектами.

Описано методики та установки для досліджень трубних сталей на циклічну тріщиностійкість та методику оцінювання ефекту закриття втомних тріщин, а також використано методику отримання коротких тріщин.

Циклічну тріщиностійкість зразків проводили на випробувальній машині з жорстким типом навантаження з регульованими частотою, амплітудою та асиметрією циклів. Результати випробовувань представлено у вигляді залежності початкової і кінцевої довжин тріщини, та зафіксували число циклів навантаження $\Delta N = N_1 - N_2$, необхідне для підростання тріщини на таку довжину. Приріст тріщини між двома послідовними замірами складав не менше 0,2 мм. Для підрахунку коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН) за використаною схемою навантаження зразків використали формули:

$$K = \frac{4,12M}{t\sqrt{W^3}} \sqrt{\alpha^{-3} - \alpha^3}; \quad \alpha = 1 - \frac{a}{W}, \quad (1)$$

де M – згинальний момент, що діє в перерізі зразка;

t – товщина балкового зразка;

W – висота зразка.

Кількісно ефект закриття тріщин (ЗТ) оцінювали за коефіцієнтом закриття тріщини U

$$U = \frac{K_{\max} - K_{cl}}{K_{\max} - K_{\min}} = \frac{\Delta K_{eff}}{\Delta K}, \quad (2)$$

де K_{cl} – рівень КІН, який відповідає закритій (через ефект ЗТ) частині циклу навантаження. Величина K_{cl} відповідає мінімальному значенню КІН, за якого тріщина ще вважається відкритою.

Використали таку методику отримання коротких тріщин, для яких була б застосована механіка руйнування. Спочатку на зразку вирощували довгу втомну тріщину, а пізніше періодично на електроіскровому верстаті виконували вздовж тріщини проріз шириною 0,2 мм, менший від довжини тріщини.

Виникнення дефектів і пошкоджень у трубопроводах обумовлене його станом, умовами експлуатації та навантаженнями, які діють на нього. У розділі подано класифікацію навантажень і дій на трубопроводи, що спричиняють виникнення у ньому дефектів і пошкоджень. Змінні і циклічні навантаження спричиняють накопичення втомних пошкоджень, зародження і розвиток тріщин. Корозійно-механічні навантаження обумовлюють специфічний механізм накопичення пошкоджень і деградацію міцнісних та деформаційних властивостей конструкційних сталей, що вимагає ко-

розійної стійкості зовнішнього покриття труб, яке дозволить уникнути корозійного зносу основного металу труб та зупинити розвиток втомних тріщин.

Описано методики визначення фізико-механічних властивостей ізоляційного композитного покриття. Покриття «ІКП» – це конструкція на основі епоксидної смоли, армованої склотканиною і призначене для ізоляції підземних сталевих нафтогазопроводів. Воно відповідає дуже посиленому покриттю класу В. На підставі досліджень розробили ізоляційне композитне покриття на метал труби, яке повинно попередити розвиток тріщиноподібних дефектів і виконувати як функцію протикорозійного захисту, так і механічно зміцнювати поверхню труби.

Епоксидна смола була вибрана марки ЕДТ-10 ОСТ 92-0957, конструкційна склотканина – структури 10 на замаслювачі № 80 Т-10-80 згідно з ГОСТ 19170-73. На отримане склопластикове покриття покомпонентно наносять поліуретанове покриття, наприклад 3 м Scotckote 352. Визначали такі фізико-механічні властивості ізоляційного композитного покриття. Твердість ізоляційного покриття на сталевих пластинах вимірювали маятниковим приладом МЭ, ударну міцність вимірювали приладом У2- Т, адгезію покриттів до сталеві поверхні досліджували методами ґраткових надрізів. Визначали ізоляційні та протикорозійні властивості ізоляційного покриття. У процесі тривалої витримки ізоляційного композитного покриття у водних середовищах визначали його водопоглинання, перехідний електричний опір.

У третьому розділі викладено результати досліджень циклічної тріщиностійкості трубопровідної сталі в діапазоні росту коротких втомних тріщин з урахуванням низки чинників, а саме: закриття тріщин, впливу тривалої експлуатації та штучного створення закриття тріщин їх заповненням плинним складником розробленого ізоляційного покриття.

Побудовані кінетичні діаграми втомного руйнування (КДВР) в номінальних та ефективних координатах (рис. 1) вказали на значний ефект ЗТ, який максимальний

для припорогових ділянок КДВР, при цьому КІН $K_{th\,el}$ складає приблизно дві третини номінального розмаху $\Delta K_{th\,eff}$, тобто лише третина навантаження виступає фактично механічною рушійною силою втомного росту тріщини.

Тривала експлуатація незначно зменшила циклічну тріщиностійкість сталі, якщо судити за зміщенням номінальних КДВР $da/dN - \Delta K$ для двох станів сталі. Разом з тим, зріс ефект ЗТ, коефіцієнт U зменшився від 0,39 – для вихідного до 0,30 – для експлуатованого стану. Це означає, що в останньому випадку менше третини циклу навантаження є

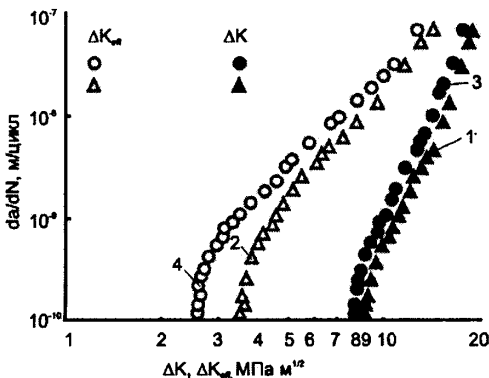


Рисунок 1 – КДВР сталі 17Г1С у вихідному стані (1, 2) і після експлуатації впродовж 34 років (3, 4) у номінальних (1, 3) і ефективних (2, 4) координатах

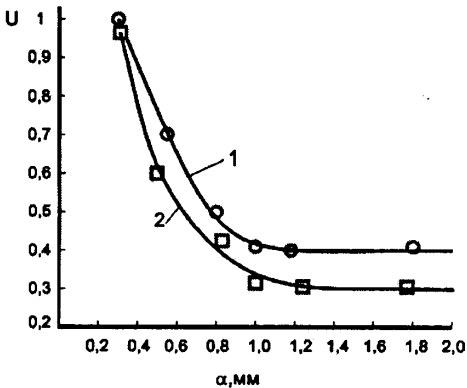
«ефективними», тобто впливають на втому сталі в околі вершини тріщини.

Зазначимо, що за підвищеної асиметрії навантаження ефект ЗТ слабне і можна передбачити, що для досліджуваних сталей він знівелюється при $R = 0,6 \dots 0,7$ (коефіцієнт $U = 0$). Це означає, що якщо б проводити експерименти на втомний ріст тріщин за таких високих значень R , то ми б отримали КДВР у номінальних координатах подібні до ефективних за пульсівного розтягу.

Істотно впав рівень ефективного порогу $\Delta K_{th\ eff}$ внаслідок експлуатації трубопроводу, від $3,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ до $2,4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, тобто на 27 %. Таким чином, опираючись на зміну ефективного порогу $\Delta K_{th\ eff}$, можна однозначно стверджувати про експлуатаційну деградацію сталі. У той самий час незначна зміна величини ΔK_{th} пояснюється зростанням ефекту ЗТ для експлуатованої сталі.

Встановлено (рис. 2), що починаючи приблизно з $1,1 \dots 1,2 \text{ мм}$ ЗТ знижується зі зменшенням довжини тріщини і за $a = \sim 0,3 \text{ мм}$ воно зникає, тобто $U = 1$. Спеціальних відмінностей у залежностях $U - a$ для різних станів сталі не виявлено, якщо не брати до уваги загалом вищий ефект ЗТ (нижче значення U) для експлуатованої сталі. Таким чином, критичною довжиною a_c , яка відповідає переходу тріщини від короткої до довгої, можна вважати $1,2 \text{ мм}$.

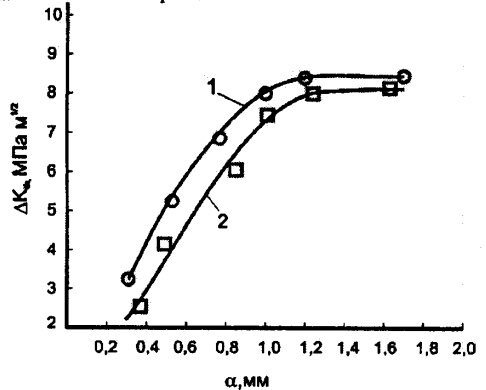
Побудовано залежності порогу циклічної тріщиностійкості від довжини тріщини в діапазоні коротких тріщин (рис. 3). Максимальні значення ΔK_{th} отримані для тріщин, довжина яких більша критичної $a_c = 1,2 \text{ мм}$. А мінімальні значення відповідають встановленому експериментально ефективним порогам $\Delta K_{th\ eff}$ відповідно для кожного стану сталі. Таким чином, підтверджено відповідальність ЗТ за ефект коротких тріщин, при цьому для тріщин з $a \sim 0,3 \text{ мм}$ поріг циклічної тріщиностійкості складає лише приблизно третини від ΔK_{th} для довгих тріщин.



1 – вихідний стан;

2 – експлуатований стан

Рисунок 2 - Залежність ефекту закриття тріщини U від довжини тріщини a в діапазоні $a = 0,2 \dots 1,8 \text{ мм}$ для сталі 17Г1С



1 – вихідний стан; 2 – експлуатований стан

Рисунок 3 - Залежності $\Delta K_{th} - a$ для сталі 17Г1С

Використано можливості оцінювання границі втоми $\sigma_{0,05}$ (для асиметрії $R = 0,05$) трубної сталі з урахуванням наявності коротких тріщин, беручи до уваги експериментальні дані.

периментально отримані значення порогу циклічної тріщиностійкості ΔK_{th} , а враховуючи залежності ΔK_{th} від довжини тріщини a , ще і залежності $\sigma_{0,05}$ - a .

Застосовано відомий підхід до визначення границі втоми металу на основі фундаментальної формули механіки руйнування

$$K = \sigma (\pi a)^{1/2}, \quad (3)$$

яка пов'язує КІН з напруженнями у брутто-січенні σ . Результати обчислень подано в табл. 1.

Таблиця 1 - Розраховані значення границі втоми сталі 17Г1С з короткими тріщинами різної довжини

Довжина тріщини, мм	Вихідний стан		Експлуатований стан	
	ΔK_{th} , МПа·м ^{1/2}	$\sigma_{0,05}$, МПа	ΔK_{th} , МПа·м ^{1/2}	$\sigma_{0,05}$, МПа
0,28...0,32	3,3	108	2,4	78
0,48...0,52	5,2	131	4,0	101
0,78...0,82	6,8	135	6,2	124
0,99...1,02	8,0	142	7,5	134
1,18...1,22	8,4	136	8,1	132
1,78...1,82	8,4	112	8,1	108
3,0	8,4	87	8,1	84
5,0	8,4	67	8,1	65

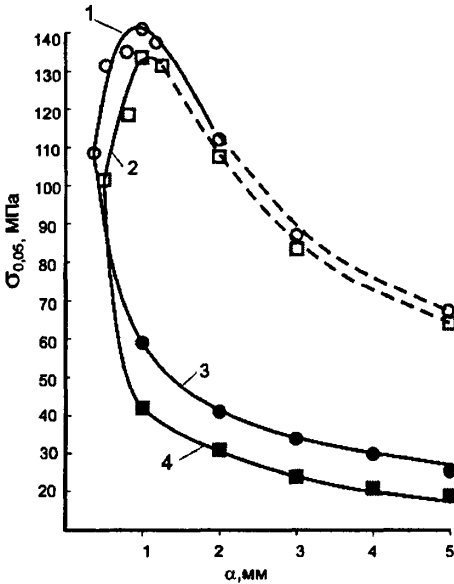
Отримані експериментальні і розрахункові дані дають можливість побудувати залежність границі втоми $\sigma_{0,05}$ від довжини тріщини (рис. 4). За загальною однаковою закономірності зміни $\sigma_{0,05}$ від довжини тріщини зазначимо дещо нижчі значення границі втоми для експлуатованого стану досліджуваної трубної сталі.

Немонотонність кривих $\sigma_{0,05}$ - a демонструє протилежну дію двох чинників з ростом тріщини: зростання КІН, тобто напруженого стану у вершині тріщини, а з іншого - збільшення ЗТ, що зменшує розмах циклічних напружень. До $a = 1$ мм вплив другого чинника вагоміший і границя втоми зростає, за більшої довжини тріщини - вже падає, що вкладається у розуміння зниження конструктивної міцності зі збільшенням a .

Беручи до уваги, що пік зростання границі втоми зумовлений явищем ЗТ, цього позитивного ефекту не слід очікувати за високої асиметрії навантаження, коли ЗТ відсутнє. Тому в розрахунках міцності і довговічності трубопроводу, що базуються на багатоцикловому навантаженні за підвищеної асиметрії (пульсація тиску у трубі), треба користуватися значеннями границі втоми, які визначаються із залежності

$$K_{th\,eff} = \sigma (\pi a)^{1/2}. \quad (4)$$

У нашому випадку $\Delta K_{th\,eff} = 3,3$ і $2,4$ МПа·м^{1/2} відповідно для вихідного і експлуатованого металу, а відповідні цим значенням $\Delta K_{th\,eff}$ залежності $\sigma_{0,05}$ - a , які відповідають відсутності ЗТ, подано на рис. 4 (криві 3 і 4). У діапазоні довгих тріщин вони відбивають ефект ЗТ, тобто наскільки ефективний поріг циклічної тріщиностійкості $K_{th\,eff}$ менший за номінальний K_{th} . А оскільки відмінності у їх значеннях приблизно у



1, 3 – вихідний стан; 2, 4 – експлуатований стан; 1, 2 – для пульсівного навантаження ($R \approx 0$); 3, 4 – для підвищеної асиметрії R
Рисунок 4 – Залежності $\sigma_{0,05} - \alpha$ для сталі 17Г1С

під кутом до осі труби спричиняє слабку анізотропію конструкції труба – покриття щодо дії внутрішнього тиску чи поздовжнього навантаження. Спочатку досліджується основний напружений стан вкритої бездефектної труби. Схема труби зі спірално навитим покриттям показано на рис. 5. Специфіка спіралного навивання полягає в тому, що воно продукує конструктивну анізотропію покриття: у напрямку 1 маємо паралельне з'єднання стрічок, у напрямку 2 - послідовне. Тому пружні характеристики в цих напрямках різняться.

Провівши усереднення структури впоперек стрічок, отримали закон Гука для конструктивного ортотропного матеріалу у головних координатах.

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_{12} \end{pmatrix}, \text{ де } Q_{11} = \frac{E}{1-\nu^2}, \quad Q_{12} = Q_{21} = \frac{\nu E}{1-\nu^2} \frac{a+b}{a+b/2 \langle h \rangle},$$

$$Q_{22} = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{a+b}{a+b/2 \langle h \rangle} \left(1-\nu^2 + \nu^2 \frac{a+b}{a+b/2 \langle h \rangle} \right), \quad Q_{66} = \frac{E}{1+\nu} \frac{a+b}{a+b/2 \langle h \rangle}. \quad (5)$$

$\langle h \rangle = h(a+2b)/(a+b)$ – середня товщина спірално навитого шару.

E_i і ν_i – пружні сталі його матеріалу.

три рази, то отримано такі низькі величини границі втоми, якщо врахувати, що за високої асиметрії навантаження ЗТ відсутнє.

Проведено оцінювання ефективності нанесення розробленого ізоляційного композитного покриття з огляду гальмування росту коротких втомних тріщин завдяки штучному створенню ефекту закриття тріщин. Його досягали заповненням плинним складником розробленого ізоляційного покриття.

У четвертому розділі розглядаються питання концентрації напружень поблизу дрібних поверхневих тріщин у трубопроводі, підсиленому тонким композиційним покриттям, навитим по спіралі. Стрічка покриття складається із трьох шарів (епоксид – склотканина – поліуретан). Адгезія матеріалів покриття і труби вважається забезпеченою. Спіралне навивання ізотропної стрічки скінченної ширини

Напруження у плоско деформованій бездефектній трубі 1220 мм з покриттям дослідили при внутрішньому тиску $p = 6$ МПа та різних значеннях ремонтного тиску: $p_{рем} = 0$, $p_{рем} = 0,5p = 3$ МПа, $p_{рем} = p = 6$ МПа. У табл. 2 останній випадок відповідає роботі труби без покриття.

Нанесення покриття розглянутої структури зменшує максимальне напруження у трубі ($i = 0$) на 4,5 % та на 2,3 % відповідно при $p_{рем} = 0$ та при $p_{рем} = 0,5p$. У разі рівності ремонтного та експлуатаційного тисків розвантаження труби очевидно відсутнє. Напруження у епоксидному ($i = 1$) та поліуретановому ($i = 3$) прошарку є нехтувально малими. Основне підсилення конструкції відбувається завдяки навитій склопластиковій стрічці ($i = 2$). При цьому структурна анізотропія майже не проявляється ($\tau_{x\varphi}^{(2)}$ є малими).

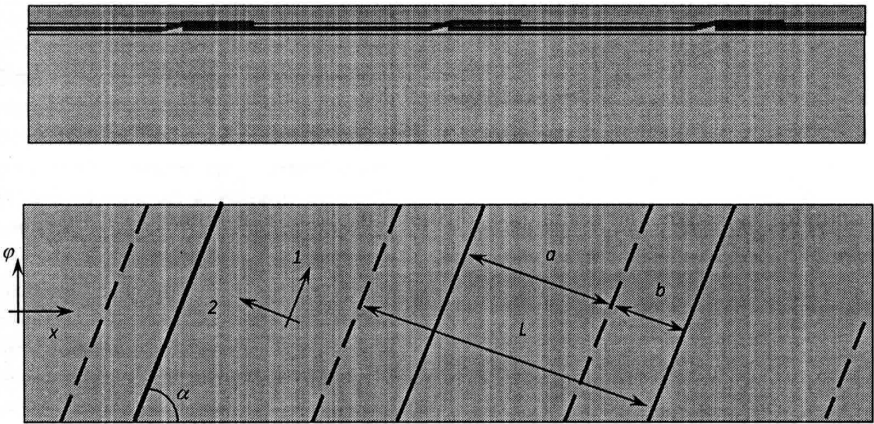


Рисунок 5 – Схема труби зі спірално навитим композиційним покриттям

Таблиця 2 – Напруження (МПа) в трубі та у композиційному покритті

№ шару i	$p_{рем} = 0$			$p_{рем} = 0,5p = 3$ МПа			$p_{рем} = p = 6$ МПа (без покриття)		
	$\sigma_x^{(i)}$	$\sigma_\varphi^{(i)}$	$\tau_{x\varphi}^{(i)}$	$\sigma_x^{(i)}$	$\sigma_\varphi^{(i)}$	$\tau_{x\varphi}^{(i)}$	$\sigma_x^{(i)}$	$\sigma_\varphi^{(i)}$	$\tau_{x\varphi}^{(i)}$
0	68,58	229,9	0	70,44	235,4	0	72,24	240,8	0
1	9,48	23,7	0	4,74	11,88	0	0	0	0
2	10,26	68,22	4,62	5,16	34,14	2,34	0	0	0
3	0,012	0,024	0	0,006	0,012	0	0	0	0

Методом скінченних елементів досліджували вплив покриття на концентрацію напружень поблизу неглибокої поверхневої тріщини. Аналіз проведено в рамках задачі плоскої деформації для двокомпонентного кільця з поверхневою тріщиною за

умов ідеального механічного контакту між шарами. Зовнішній шар відображає ефективні механічні характеристики композитного покриття.

Для різних значень ремонтного тиску дослідили розподіл еквівалентних напружень Мізеса для двокомпонентного кільця з тріщиною завглибшки $l=3$ мм при $p=6$ МПа. Крім того обчислили значення J -інтеграла та визначили залежності КІН від розміру тріщини (рис. 6).

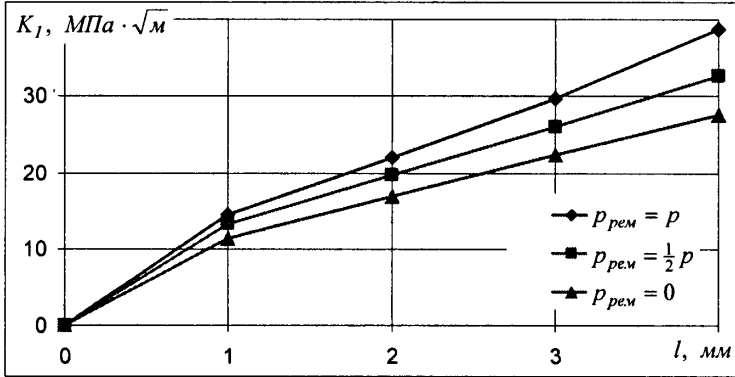


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта інтенсивності напружень від глибини дефекта

Нанесення покриття на ненавантажену конструкцію з поверхневою тріщиною завглибшки, наприклад, 3 мм зменшує величини КІН на 25 %; при ремонтному тиску $p_{рем} = 0,5p$ маємо зменшення на 12,3 %.

Оскільки прийнята модель не враховує можливість порушення адгезії чи втрати цілісності покриття, то отримані результати щодо механічного впливу тонкого покриття на граничний стан дефектної труби слід розглядати як деяке перебільшення. Насправді через непружні деформації покриття та межового шару механічний вклад ізоляції у затримку розвитку тріщини не є значним. Важливим є блокування покриттям упродовж певного часу доступу корозивного середовища до тріщиноподібного дефекту.

П'ятий розділ присвячений оцінюванню комплексу фізико-механічних властивостей розробленого покриття та низці конструктивно-технологічних аспектів його нанесення.

У роботі вирішено завдання створення автоматизованого пристрою для намотування полімерно-композиційного бандажу на трубу, який забезпечує високі техніко-експлуатаційні властивості захисних покриттів різних типів і конструкцій завдяки автоматизованому регулюванню технічним процесом нанесення ізоляційної стрічки з полімерних композитом з необхідним натягом, щільністю прилягання по всій поверхні, необхідною товщиною намотування напусткою суміжних витків, а також інших вимог до нанесення покриттів, що дає можливість досягти міцності адгезійних з'єднань покриттів з поверхнею металу і збільшити тривалість і роботоздатність трубопроводів.

Як полімерно-композитний бандаж накладання на трубу із застосуванням розробленого автоматизованого пристрою було розроблено ізоляційне композитне покриття «ІКП», що представляє собою конструкцію на основі епоксидної смоли, армованою склотканиною і призначене для ізоляції підземних сталевих нафтогазопроводів діаметром 500 – 720 мм класу А і класу Б та інших споруд з метою їх захисту не тільки від ґрунтової корозії, але й від інших видів пошкоджень, викликаних різними чинниками. Завдяки високій здатності змочування і адгезії епоксидних смол до скловолокна, збільшується статична і динамічна міцність склопластику.

Вирішено завдання створення способу попередження розвитку тріщиноподібних і корозійних дефектів поверхні трубопроводів шляхом застосування нового, розробленого автором складу багатокомпонентного композитного покриття і способу його нанесення. Спосіб забезпечує високу технологічність і простоту нанесення покриття, оскільки монтаж даних покриттів не потребує досягнення особливих контрольованих параметрів, таких як очищення поверхневих труб до металевого блиску і нагрівання до певної температури. Спосіб ефективний в умовах, коли нагрівання труби, при нанесенні ізоляції, недопустиме.

Захисне покриття, яке отримують згідно з даним способом для захисту труб від пошкоджень, відзначається термостійкістю, міцністю, високою адгезією до сталевих труб, високими ізоляційними та протикорозійними властивостями. Постійний натяг стрічки до заданої величини автоматично регулюється впродовж всього процесу намотування. Міцність під час удару отриманого покриття складає 15 Дж, (див. рис. 7), що відповідає дуже посиленому покриттю класу В.

Для зменшення водопоглинання і збільшення адгезії покриття до труби наносять поліуретанове покриття, яке має водовідштовхувальні властивості. Це дає можливість вилучити з процесу зміцнення трубопроводу додаткову операцію апретування (нанесення на поверхню труби гідрофобних водовідштовхувальних) покриттів.

Після накладання скловолокна на шар епоксидного покриття отримують склопластикове покриття, яке завдяки високій здатності змочування і адгезії епоксидних смол до скловолокна має високу статичну і динамічну міцність. Внаслідок малої усадки епоксидних смол впродовж їх затвердіння, на поверхні покриття не утворюються мікротріщини.

При контакті скловолокна із підігрітим поліуретановим покриттям утворюється еластичний шар, який забезпечує надійну адгезію покриття до труби, перехідний питомий електричний опір покриття складає $1,1 \cdot 10^{10}$ Ом·м². Таким чином, отримане покриття сумісне із системою катодного захисту і забезпечує стійкість покриття до відшарування при катодній поляризації, а також високу стійкість адгезії покриття до сталі у вологих умовах покриття призначене як для підводного використання, так і для сухих умов, а також для тривалої експлуатації у вологих умовах за температури до 65° С. У відносно сухих умовах температура експлуатації покриття до плюс 100° С. Покриття може наноситись у складних польових умовах, що вимагають швидкість нанесення, високу механічну і хімічну стійкість, а також високі захисні властивості покриття (див. рис. 8). Результати вимірювань, отримані в лабораторних умовах і зняті в трасових умовах, практично не відрізняються протягом перших 120 діб.

Регулюванням кількості нанесення шарів кожного з компонентів багатокомпонентного покриття можна досягти необхідної товщини покриття залежно від діаметру трубопроводу і яке повинно бути оптимальним. Якщо товщина мала – характеризується слабкою стійкістю до динамічної і механічної дії, якщо товщина велика – з'являється зниження еластичності, збільшення крихкості і напружень на поверхні розділу шарів покриття.

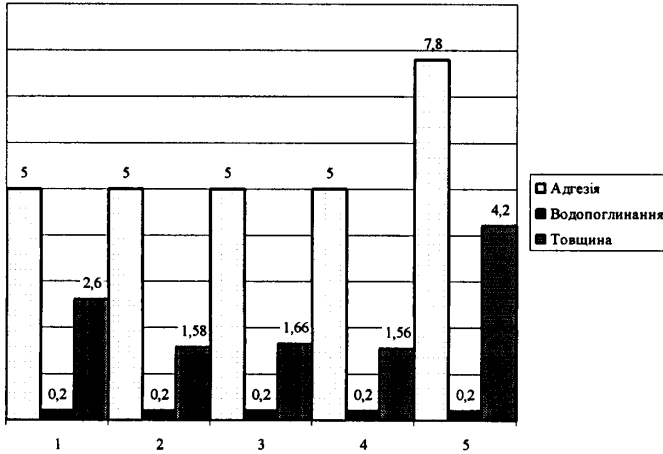
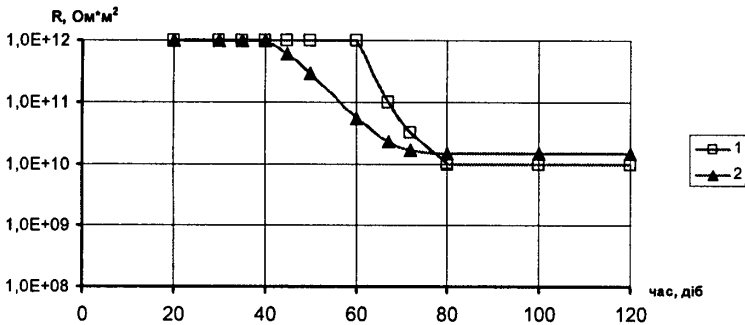


Рисунок 7 – Комплексна гістограма



1 – у лабораторних умовах; 2 – у трасових умовах

Рисунок 8 – Залежність перехідного питомого електричного опору від часу

Вирішено завдання розроблення автоматизованої установки для нанесення ізоляційного покриття та трубовід згідно із розробленим способом його нанесення. Установка забезпечує її використання без зупинки технологічного процесу перекачування продукту, дає можливість встановлення установки без демонтажу і розрізання труб, змінює технологію нанесення багатокомпонентного покриття залежно

від умов нанесення і ступеня дефектності пошкодження поверхні труб, що дає змогу досягти високоякісного покриття (див. рис. 9, 10).

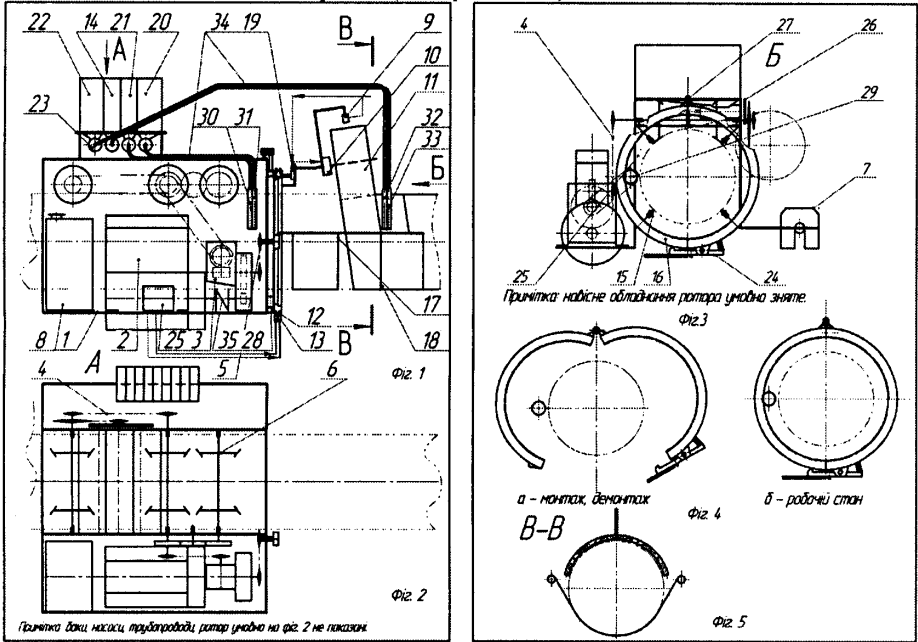


Рисунок 9 – Схема автоматизованої установки для нанесення ізоляційного покриття

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

За результатами виконання дисертаційної роботи розроблено нове ізоляційне покриття та методи і засоби його нанесення, з метою суміщення протикорозійного захисту зовнішньої поверхні нафтогазопроводів з підвищенням їх опору механічному руйнуванню, в тому числі на стадії росту коротких втомних тріщин. Основні наукові та практичні результати:

1. Розроблено високоефективне ізоляційне композитне покриття «ІКП» на основі епоксидної смоли, армованого склотканиною, призначене для ізоляції підземних сталевих нафтогазопроводів діаметром 500 – 720 мм класу А і класу Б. Завдяки високій здатності змочування і адгезії епоксидних смол до скловолокна, збільшується статична і динамічна міцність склопластику.

2. Встановлено особливості росту коротких тріщин у сталі 17Г1С магістрального газопроводу до та після тривалої експлуатації і показано відповідальність закриття втомних тріщин за прояв феномену коротких тріщин. Виявлено, що тривала експлуатація трубопроводу незначно зменшила циклічну тріщиностійкість сталі за пульсвної асиметрії навантаження, проте з її підвищенням прогнозується зростання негативного впливу експлуатації металу.

3. Розроблено спосіб підвищення опору поширення коротких втомних тріщин у трубах сталей нанесенням плинної складової ізоляційного покриття, здатного заповнювати розкрити порожнину тріщини у навантаженій трубі, а після її затвердіння – штучно створювати ефект закриття тріщини, чим суміщається протикорозійний захист з підвищенням циклічної тріщиностійкості металу. Показано високу ефективність використання розробленого ізоляційного покриття з огляду підвищення і порогового розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень, і границі втоми металу, при цьому поріг втоми зростає на 30...80 %, а границя втоми – на 20...40 %.

4. Досліджено напружений стан сталевого трубопроводу, вкритого тришаровим композиційним покриттям та визначено концентрацію напружень поблизу поверхневої тріщини у трубі з покриттям за різних значень ремонтного тиску. Встановлено, що розроблене покриття зменшує за рахунок навитої склопластикової стрічки максимальне напруження у бездефектній трубі на 4,5% та на 2,3% відповідно при $P_{рем} = 0$ та при $P_{рем} = 0,5P$. Відчутніший ефект щодо зменшення коефіцієнтів інтенсивності напружень поблизу вістря тріщини, він складає 12...25 %.

5. Розроблено конструкцію автоматизованого пристрою для намотування полімерно-композиційного бандажу на трубу з автоматизованим регулюванням необхідного натягу, щільністю прилягання по всій поверхні, необхідною товщиною намотування напусткою суміжних витків, що дає можливість досягти високої міцності адгезійних з'єднань покриттів з поверхнею металу.

Список опублікованих праць за темою дисертації Статті у наукових фахових виданнях

1. Венгринюк Т. П. Закономірності росту коротких втомних тріщин у трубах магістрального газопроводу тривалої експлуатації / Т. П. Венгринюк, О. Т. Цирульник // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2012. - № 1 (31). - С. 92–99.

2. Венгринюк Т. П. Гальмування втомних тріщин нанесенням на газопроводи тиском ремонтного покриву / Т. П. Венгринюк // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2012. - № 6. - С. 45–48.

3. Копей Б. В. Відмови нафтопромислових комунікацій та стратегії їх подальшого розвитку на промислі / Б. В. Копей, М. М. Архірей, Т. П. Венгринюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2009. - № 2 (31). - С. 10–17.

4. Венгринюк Т. П. Автоматизована установка для нанесення ізоляційного покриття на трубопровід / Т. П. Венгринюк // Розвідка та розробка нафтових родовищ. - 2012. - № 1 (42). - С. 38–45.

5. Венгринюк Т. П. Відновлення і зміцнення нафтогазопроводів / Т. П. Венгринюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2010. - № 2 (35) - С. 136–139.

6. Даляк Т. М. Вплив композиційного покриття на напружений стан трубопроводу з дефектом / Т. М. Даляк, Т. П. Венгринюк, І. П. Шацький // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2012. - № 1 (31). - С. 92–99.

7. Копей Б. В. Дослідження міцнісних властивостей зварних з'єднань труб, оброблених гратознімачем / Б. В. Копей, Т. П. Венгринюк М. Бетайєб // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2011. - № 4 (41). - С. 72–76.

8. Копей Б. В. Застосування композиційних матеріалів в нафтовидобувному комплексі / Б. В. Копей, М. М. Архирей, Т. П. Венгринюк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – № 1 (23). – С. 68–76.

9. Копей Б. В. Автоматизація процесу нанесення захисного протикорозійного покриття на трубопровід / Б. В. Копей, Т. П. Венгринюк // Нафтогазова енергетика ІФНТУНГ. – 2009. – № 2 (11). – С.25–28.

Патенти. Технічна документація

10. Пат. 92557 Україна, МПК F16L58/00 B 65H23/18. Автоматизований пристрій для намотування полімерно композитних бандаж на трубу / Венгринюк Т. П., Б. В. Копей, В.Б. Копей.; заявник та патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; заявка № а200906550, заявл. 22.06.2009; опубл. 10.09.2010., Бюл. № 21.

11. Пат. 44948 Україна, Спосіб ремонту діючого трубопроводу / Б. В. Копей, Т. П. Венгринюк, Б. В. Копей ; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; заявка № а2009003436, заявл. 10.04.2009; опубл. 26.10.2009., Бюл. № 20.

12. ТУ У 26.1–02070855.003–2010 “Ізоляційне композитне покриття трубопроводів. Технічні умови”. – 18 с.

13. Пат. 101589 Україна, МПК F16L58/04, F16L 58/10. Спосіб гальмування росту коротких втомних тріщин поверхні трубопроводів / Венгринюк Т. П.; заявник та патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; заявка № а201205696, заявл. 10.05.2012; опубл. 10.04.2013., Бюл. № 7/2013.

14. Пат. 101532 Україна, МПК F16L58/04. Спосіб попередження розвитку тріщиноподібних і корозійних дефектів поверхні трубопроводів / Венгринюк Т. П., Б. В. Копей; заявник та патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; заявка № а201107154, заявл. 06.06.2011; опубл. 10.04.2013., Бюл. № 7/2013.

15. Пат. 101410 Україна, МПК F16L58/00, B65H 81/00, BA65H 23/00. Автоматизована установка для нанесення ізоляційного покриття на трубопровід / Венгринюк Т. П. ; заявник та патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; заявка № а201106114, заявл. 16.05.2011; опубл. 25.03.2013., Бюл. № 6/2013.

Матеріали конференцій

16. Венгринюк Т. Застосування захисних покриттів для підвищення опірності руйнуванню поверхневих втомних тріщин у газопроводах / Т. Венгринюк // Проблеми корозійного захисту конструкційних матеріалів, XI міжнародна конференція–виставка, Львів, 4-6 червня 2012. – С. 704–708.

17. Венгринюк Т.П. Про вплив навитого композиційного покриття на напруження біля дрібних тріщин у трубопроводі / Т. П. Венгринюк, Т. М. Дяляк , І. П. Шацький // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012 р. - Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, 2012. – С.197–198.

18. Венгриянок Т. П. Спосіб попередження розвитку тріщиноподібних корозійних дефектів поверхні трубопроводів / Т. П. Венгриянок Б. В. Копей, // Нафтогазова енергетика: Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р.). – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – С. 82.

19. Копей Б. В., Венгриянок Т. П. Исследование прочностных свойств сварных соединений труб, обработанных гратоснимателем / Б. В. Копей, Т. П. Венгриянок // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы VII междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22 – 25 ноября 2011 г. / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – С. 171–172.

20. Копей В. Б., Моделирование дефектов труб в SolidWorks® / В. Б. Копей, Т. П. Венгриянок // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы VII междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22 – 25 ноября 2011 г. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – С. 250–251.

21. Копей В. Б. Моделирование дефектов труб в SolidWorks® / В. Б. Копей, Т. П. Венгриянок // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта ; сборник научных трудов Выпуск 6 Новополоцк, 22 – 25 ноября 2011 г. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – С. 201–204.

22. Копей В. Б. Конечно-элементное моделирование ремонта труб с дефектами стеклопластиковыми бандажами в SolidWorks® / В. Б. Копей, Ю. Д. Петрина, Т. П. Венгриянок // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы VII междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22 – 25 ноября 2011 г. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – С. 248–250.

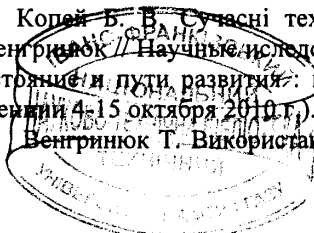
23. Копей В. Б. Конечно-элементное моделирование ремонта труб с дефектами стеклопластиковыми бандажами в SolidWorks® / В. Б. Копей, Ю. Д. Петрина, Т. П. Венгриянок // Сборник научных трудов Выпуск 6 Новополоцк, 22 – 25 ноября 2011 г. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – С.199–201.

24. Копей Б. В. Пристрій для нанесення полімерної композитної ізоляції на трубопроводі / Б. В. Копей, Т. П. Венгриянок, В. Б. Копей // Нафтогазова енергетика: Проблеми та перспективи : Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р.) – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – С. 130.

25. Венгриянок Т. П. Захист трубопроводів від корозії стрічковими покриттями / Т. П. Венгриянок // Розвиток наукових досліджень Матеріали п'ятої міжнародної конференції. – Полтава, 23-25 листопада 2009 р.). – Полтава: Інтер графіка, 2009. – Т. 8 – С. 14–16.

26. Копей Б. В. Сучасні технології ремонту трубопроводів / Б. В. Копей, Т. П. Венгриянок // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития : материалы международной научно-практической конференции 4-15 октября 2010 г.). – Одесса, 2010. – С. 16–19.

27. Венгриянок Т. Використання ізоляційних композиційних покриттів “ІКП” в



сучасних технологіях ізоляції та ремонту підземних сталевих нафтогазотрубопроводів / Т. Венгринюк, В. Черватюк // Проблеми корозійного захисту конструкційних матеріалів., XI міжнародна конференція-виставка, Львів, 4-6 червня 2012 р. – С. 693–698.

28. Венгринюк Т. П. Фізико-механічні та захисні властивості ізоляційного композитних покриттів ІКП для антикорозійного захисту об'єктів нафтогазового комплексу / Т. П. Венгринюк // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених : Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії, 2012. – С. 45.

АНОТАЦІЯ

Венгринюк Т. П. Розроблення ізоляційно-композитного покриття для підвищення міцності нафтогазопроводів з тривалим терміном експлуатації. – 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, 2013.

У дисертації запропоновано нове ізоляційне покриття та методи і засоби його нанесення, з метою суміщення протикорозійного захисту нафтогазопроводів з підвищенням їх опору механічному руйнуванню, в тому числі на стадії росту коротких втомних тріщин. Розроблено ізоляційно-композитне покриття на основі епоксидної смоли, армоване склотканиною, яке відзначається високими термостійкістю, міцністю, адгезією до сталевих труб та протикорозійними властивостями.

Встановлено особливості росту коротких тріщин у сталі 17Г1С газопроводу та виявлено, що тривала експлуатація трубопроводу незначно зменшила циклічну тріщиностійкість сталі за пульсівної асиметрії навантаження, проте з її підвищенням прогнозується зростання негативного впливу експлуатації. Розроблено спосіб підвищення опору поширення коротких втомних тріщин у трубних сталях нанесенням плинної складової ізоляційного покриття, що штучно створює ефект закриття тріщини, чим суміщається протикорозійний захист з підвищенням циклічної тріщиностійкості металу.

Досліджено напружений стан сталевого трубопроводу, вкритого тришаровим композиційним покриттям та встановлено, що ізоляційно-композитне покриття незначно зменшує напруження у бездефектній трубі та є відчутним у трубі з тріщиною.

Ключові слова: нафтогазопроводи, ізоляційне покриття, деградація механічних властивостей, трубна сталь, циклічна тріщиностійкість.

АННОТАЦИЯ

Венгринюк Т. П. Разработка изоляционно-композитного покрытия для повышения прочности нефтегазопроводов с длительным сроком эксплуатации. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2013.

В диссертации предложено новое изоляционно-защитное покрытие, а также методы и средства его нанесения, с целью совмещения противокоррозионной защиты

нефтегазопроводов с повышением их сопротивления механическому разрушению, в том числе на стадии роста коротких усталостных трещин.

Разработано изоляционно-композитное покрытие на основании эпоксидной смолы, армированное стеклотканью, назначенное для изоляции нефтегазопроводов диаметром 500 – 720 мм класса А и класса Б, которое отличается высокими термостойкостью, прочностью, адгезией к стальным трубам, изоляционными и противокоррозионными свойствами.

Решена задача создания способа предупреждения развития трещиноподобных и коррозионных дефектов поверхности трубопроводов путем применения нового, разработанного автором состава многокомпонентного композитного покрытия и способа его нанесения. Способ обеспечивает высокую технологичность и простоту нанесения покрытия, поскольку монтаж данных покрытий не нуждается в достижении особенных контролируемых параметров, таких как очистка поверхности труб до металлического блеска и нагревание до определенной температуры.

Способ эффективен в условиях, когда нагревание трубы при нанесении изоляции недопустимо. Защитное покрытие, которое получают согласно данному способу для защиты труб от повреждений, отмечается термостойкостью, прочностью, высокой адгезией к стальным трубам, высокими изоляционными и противокоррозионными свойствами. Ударная прочность полученного покрытия составляет 15 Дж, что отвечает усиленному покрытию класса В.

Установлены особенности роста коротких усталостных трещин в стали 17Г1С газопровода и выявлено, что длительная эксплуатация незначительно уменьшила циклическую трещиностойкость стали при пульсирующем цикле нагрузки, но с ее повышением прогнозируется увеличение отрицательного влияния эксплуатации.

По значениям порогового размаха коэффициента интенсивности напряжений вычислена граница усталости металла з короткими трещинами. Для нагрузки, близкой к пульсирующей, наблюдается увеличение границы усталости в узком диапазоне коротких трещин, что обусловлено эффектом закрытия трещин. Длительная эксплуатация газопровода проявилась в снижении границы усталости металла.

Разработан способ повышения сопротивления распространению коротких усталостных трещин в трубных сталях нанесением на трубопровод под давлением текучей составляющей разработанного изоляционно-композитного покрытия, что искусственно создает эффект закрытия трещин после ее затвердевания, чем совмещается противокоррозионная защита с повышением циклической трещиностойкости металла.

Исследовано напряженное состояние стального трубопровода, покрытого трехслойным композиционным покрытием и определено, что оно незначительно уменьшает напряжения в бездефектной трубе, но ощутимо в трубе с трещиной. Определено концентрацию напряжений возле поверхностной трещины в трубе с покрытием при различных значениях ремонтного давления. Установлено, что разработанное покрытие уменьшает за счет навитой стеклопластиковой ленты напряжения в бездефектной трубе на 4,5 % и на 2,3 % соответственно при $p_{рем} = 0$ и при $p_{рем} = 0,5 p$, а также уменьшает коэффициент интенсивности напряжений в окрестности вершины трещины на 12...25 %.

Разработана конструкция автоматизированного устройства для намотки поли-

мерно-композиционного бандаж на трубу с автоматизированным регулированием необходимого натяжения, плотностью прилегания к поверхности, необходимой толщиной намотки нахлесткой смежных витков, что позволяет достигать высокой прочности адгезионных покрытий с поверхностью металла.

Ключевые слова: нефтегазопроводы, изоляционное покрытие, деградация механических свойств, трубная сталь, циклическая трещиностойкость.

ANNOTATION

Venhrynyuk T. P. Development of insulating-composite coating for strength increasing for long-operated oil and gas pipelines. - Manuscript.

Thesis for Candidate's Degree of Sciences (Engineering), specialty 05.15.13. – pipelines transportation, oil and gas storages, – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2013.

The new isolative coating and the methods and facilities for its covering are proposed in the dissertation, with a goal of a combination of oil and gas pipelines anticorrosion protection and an increase of its resistance to mechanical fracture, including on the stage of short fatigue crack growth.

The isolative-composition coating is developed on the base of epoxy resin, reinforced by glass-fabric, which is distinguished by high thermal resistance, strength, adhesion with steel pipes and anticorrosion properties

The peculiarities of short fatigue crack growth in gas pipeline 17G1S steel are established and it is revealed that long-term service of the pipeline decreased slightly fatigue crack growth resistance of the steel at the pulsatile load asymmetry but the negative influence of service is predicted to be increase with a rise of asymmetry.

The method of an increase of fatigue short crack growth resistance in pipe steels by a deposit of the fluid component of the isolative coating what creates artificial crack closure effect and it combines anticorrosion protection with an increase of fatigue crack growth resistance of metal.

Stress state of steel pipeline, covered by three layers composite coating, is investigated and it is established that it decreases slightly stresses in defectless pipe but noticeably in pipe with crack.

Key words: oil and gas pipelines, isolative coating, degradation of mechanical properties, pipe steel, fatigue crack growth resistance.