

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу **Ниркової Людмили Іванівни**
«Теоретико-експериментальні засади оцінювання та запобігання корозійному
розвідкуванню сталей магістральних газопроводів в умовах їх катодного захисту»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії

Актуальність теми дисертаційної роботи. Найнебезпечнішим явищем магістральних газопроводів є корозійне розвідкування. Частка аварій магістральних трубопроводів з приводу корозійного розвідкування досягає 36 %. У зв'язку з тим, що випадки корозійного розвідкування з'явилися в Україні, розроблення та розширення наукових основ теорії корозійного розвідкування під дією комплексу експлуатаційних чинників та пошук нових підходів до визначення ймовірності його розвитку є актуальною науковою та прикладною проблемою, яка вирішена в дисертаційній роботі Ниркової Л.І. Її розв'язання розширює розуміння механізму корозійного розвідкування магістральних газопроводів, що дає змогу науково обґрунтувати підходи до вибору способів його попередження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Ниркової Л.І. підтверджена зв'язком з темами НДР, які виконувалися у відповідності з планами науково-дослідних робіт у відділі зварювання газонафтопровідних труб Інституту електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України з 1999 по 2020 рр., в яких автор була науковим керівником або відповідальним виконавцем

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи, їх достовірність.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертаційної роботи Ниркової Л.І. базується на узагальненні великого об'єму експериментального матеріалу, проведенному на каліброваному обладнанні, із застосуванням стандартних та оригінальних методик, багатосторонньому аналізі літературних джерел, а також впровадженням результатів роботи під час розроблення нормативних документів.

Це також підтверджується використанням сучасних підходів до реалізації поставленої мети та застосуванням комплексу фізичних, електрохімічних, корозійно-механічних, оптических та інших методів досліджень. Отримані у роботі наукові положення узгоджуються з відомими результатами вчених світу, що підтверджено їх публікацією в наукових фахових виданнях, у тому числі індексованих міжнародними

наукометричними базами Scopus та Web of Science і обговоренням на міжнародних науково-практических конференціях. Результати дисертаційної роботи викладено логічно та послідовно, базуючись на відомих фундаментальних теоріях та практичних напрацюваннях.

Структура та зміст дисертації.

Дисертація Ниркової Л.І. складається із анотації, вступу, восьми розділів, загальних висновків, списку літературних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 363 сторінки (з них 272 сторінки основного тексту) з 72 рисунками, 46 таблицями, бібліографічним списком із 373 найменувань та 3 додатків, що відповідає вимогам до обсягу та структури докторських дисертацій.

У *вступі* обґрунтовано актуальність проблеми корозійного розтріскування магістральних газопроводів, показано зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету та завдання роботи, її наукову новизну та практичну значимість роботи, продемонстровано особистий внесок здобувача, подано відомості про апробацію результатів. У *першому розділі* проаналізовано причини руйнування магістральних газопроводів в умовах експлуатації, дана характеристика типів корозійного розтріскування та механізму розвитку процесу; розглянуто деградацію полімерних покривів під дією різних чинників; дана характеристика критеріїв електрохімічного захисту та аналіз вимог нормативних документів в сфері захисту від корозії магістральних трубопроводів, наведено підходи до оцінювання небезпеки корозійного розтріскування магістральних трубопроводів. У *другому розділі* описані об'єкти досліджень, склади випробувальних розчинів, стандартні методики досліджень корозійних, електрохімічних, корозійно-механічних властивостей сталей та їх структури, властивостей розчинів та захисних покривів, а також оригінальні методики, удосконалені автором при виконанні роботи. У *третьому розділі* розроблено методологію оцінювання схильності трубної сталі до корозійного розтріскування, а запропоновано коефіцієнт K_S та критерій оцінювання, підтверджений результатами лабораторних та натурних досліджень. В *четвертому розділі* досліджено деградацію тришарового стрічкового покриву та його вплив на корозійне розтріскування трубної сталі. В *п'ятому розділі* розглянуто корозійно-механічні властивості високоміцної сталі X80 та особливості деградації захисних покривів. Встановлені закономірності схильності сталі підвищеної міцності до корозійного розтріскування застосовані під час розроблення зміни № 1 до ДСТУ 4219. У

шостому розділі вивчено механізм корозійного розтріскування трубної сталі X70 у модельному ґрутовому електроліті в умовах катодного захисту та вплив катодної поляризації на захисні властивості полімерних покривів у різному стані (нових і штучно зістарених). В **сьомому розділі** на основі узагальнення результатів досліджень розтріскування сталей магістральних газопроводів в умовах комплексного протикорозійного захисту розроблено методику визначення потенційно корозійно-небезпечних ділянок та приклад розрахунку ймовірності корозійного розтріскування на одному з діючих магістральних газопроводів України та продемонстровано її застосування. У **восьмому розділі** наведені наведено практичні рекомендації щодо захисту потенційно корозійно-небезпечних ділянок магістральних газопроводів діаметром (820- 1420) мм. Рекомендації щодо технічного діагностиування та захисту потенційно корозійно-небезпечних ділянок магістральних газопроводів застосовано під час розроблення СОУ 60.3-30019801-070, ДСТУ Н Б А.3.1-29, зміни № 1 до ДСТУ 4219. В додатках роботи представлено отримані автором 3 патенти на винахід та 2 патенти на корисну модель, документи щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

За змістом дисертація є завершеною роботою, яка забезпечує суттєвий внесок у науку і практику хімічного опору матеріалів і захисту від корозії. Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Наукова новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Вперше розроблено та застосовано новий науковий підхід до дослідження процесу корозійного розтріскування сталі трубного сортаменту (на прикладі сталі X70), який ґрунтуються на моделюванні в лабораторних умовах різних чинників, тотожних умовам експлуатації магістрального газопроводу, що дало змогу оцінити схильність сталі до корозійного розтріскування за таких умов.

Виявлено комплекс чинників, що спричиняють деградацію полімерних покривів (зокрема стрічкового), нанесених на трубну сталь, при катодному захисті, а саме: наявність дефекту в покриві, його контакт з корозивним середовищем та катодна поляризація. Показано, що підвищення температури від 20 °C до 50 °C прискорює цей процес, який продовжує розвиватися з плинном часу. Деградація покриву підтверджена методом інфрачервоної спектроскопії. Присутність продуктів деструкції ґрунтувального шару у випробувальному розчині підвищує схильність сталі X70 до корозійного

розтріскування.

Вперше визначено, що в умовах тривалої дії деформації металу в модельному ґрутовому електроліті при катодній поляризації за потенціалу -1,0 В для сталі X70 властива підповерхнева корозія, а для X80 – міжзеренне руйнування, спричинене проникненням водню в метал. Швидкість розвитку процесу корозійного розтріскування сталі X80 при катодній поляризації за потенціалу -1,0 В, яка характеризується довжиною спадних ділянок кривих руйнування, більше, ніж для сталі X70, що свідчить про її вищу схильність до крихкого руйнування.

Встановлено, що деградація поліуретанового та епоксидного покривів на сталі X70 та X80 у розчині 3 % NaCl, при катодному захисті, за температури 20 °C визначається тільки властивостями покривів і потенціалом поляризації. За циклічної зміни температури (від 20 °C до 50 °C) катодне відшарування покривів від сталі X80 відбувається інтенсивніше, що обумовлено будовою приповерхневого шару та зменшенням (за абсолютноним значенням) потенціалу виділення водню на цій сталі.

Вперше визначено (із застосуванням комплексу корозійно-механічних, фрактографічних та електрохімічних досліджень), що механізм корозійного розтріскування трубної сталі X70 в модельному ґрутовому середовищі змінюється залежно від значення захисного потенціалу. Виявлено три області потенціалів, в яких корозійне розтріскування сталі перебігає за різними механізмами: в області потенціалів позитивніших, ніж -0,75 В – переважно за механізмом локального анодного розчинення; в області потенціалів від -0,75 В до -1,05 В локальне анодне розчинення та водневе окрихчення перебігають одночасно, за потенціалів, від'ємніших, ніж -1,05 В превалюючим механізмом корозійного розтріскування є водневе окрихчення.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновано нову методологію оцінювання схильності трубної сталі X70 до корозійного розтріскування в умовах моделювання комплексу зовнішніх і внутрішніх чинників, підтверджену патентом України на винахід 107381, введено коефіцієнт K_S , який враховує зміну пластичних властивостей металу у корозивному середовищі у порівнянні з його властивостями у повітрі, запропоновано та обґрутовано критерій схильності трубної сталі до корозійного розтріскування, підтверджений результатами лабораторних та натурних випробувань: якщо $K_S \geq 1,60$ сталь схильна до корозійного розтріскування.

Обґрунтовано та запропоновано новий спосіб оцінювання схильності сталі різної категорії міцності до корозійного розтріскування в умовах катодного захисту та введено коефіцієнт K_τ , в якому враховано зміну довжини ділянок від початку руйнування зразка до його розриву в повітрі порівняно з розчином (патент на винахід 119578).

Показано, що за циклічної зміни температур (від 20 °C до 50 °C) катодне відшарування захисних покривів від сталі X80 відбувається інтенсивніше, ніж від X70: поліуретанового на ~39 %, епоксидного на ~9 %, стрічкового на ~34 %; найбільш стійким проти катодного відшарування визначено епоксидний покрив.

Експериментально доведено, що підтримування захисного потенціалу на рівні -1,45 В призводить до швидшого відшарування штучно зістареного стрічкового покриву порівняно з новим (приблизно у ~3 рази). Катодне відшарування нових і штучно зістарених термореактивних покривів нового покоління (гібрид-епоксидний типу Polyclad 975 Н та поліуретановий типу Polyclad 777) за максимального захисного потенціалу практично не відрізняються. Зниження захисного потенціалу до мінімального значення сприяє збереженню захисних властивостей полімерними покривами: новим і штучно зістареним стрічковим – в ~9,4 і ~26,9 разів відповідно; новим гібрид-епоксидним – в ~3,3 рази, штучно зістареним – в ~1,7 разів; новим та штучно зістареним поліуретановим – більше, ніж в ~20 разів.

Розроблено та впроваджено методику визначення потенційно корозійно-небезпечних ділянок в умовах катодного захисту на діючих магістральних газопроводах України (введено в дію з 01.09.2010 р. наказом ДК «Укртрансгаз» №323 від 04.08.2010 р.).

Основні висновки, рекомендації та пропозиції дисертаційної роботи використано під час розроблення СОУ 60.3-30019801-070, ДСТУ Н Б А.3.1-29, зміни № 1 до ДСТУ 4219 за участі автора.

Повнота викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 50 друкованих праць, у тому числі 30 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 4 статті без співавторів), з яких 8 статей індексовані міжнародними наукометричними базами; 3 патенти України на винахід, 2 патенти України на корисну модель, 2 нормативних документи національного рівня у сфері захисту магістральних трубопроводів від корозії, 2 методики, 1 стандарт організації України, 16 публікації у матеріалах

міжнародних конференцій.

Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях, в тому числі «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» (1998 р., 2000 р., 2004 р., 2006 р., 2007 р., 2010 р., 2012 р., 2014 р., 2016 р., 2016 р., 2018 р., м. Львів), «Електрохімічний захист і корозійний контроль» (2001 р., Сєверодонецьк), «ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry (2016-2019 pp., м. Київ), а також на засіданнях секцій вченої ради ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, семінарах за результатами робіт «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України (2004-2012, 2016-2017 pp., м. Київ), в Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України (2018-2020 pp., м. Львів).

Мова та стиль дисертації.

Дисертаційна робота написана державною мовою, застосована у роботі наукова термінологія є загальновизнаною. Матеріал викладений у логічній послідовності, дисертація містить 8 взаємопов'язаних розділів, ілюстрована великою кількістю графіків, діаграм і таблиць, що забезпечує легке сприйняття матеріалу та повністю розкриває поставлену мету. Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає вимогам державних стандартів.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Дисертаційна робота пов'язана з дослідженням корозійного розтріскування сталей магістральних газопроводів в умовах їх катодного захисту. Але досить велика увага в ній приділена дослідженням захисних покривів. Як ці дослідження узгоджуються з явищем корозійного розтріскування?

2. Всі магістральні газопроводи мають зварні шви – поздовжні заводські та кільцеві. Однак, в роботі не наведено результатів досліджень стосовно зварних з'єднань. Як Ви можете це пояснити?

3. З результатів, отриманих у роботі, слідує, що катодний захист сприяє втраті захисних властивостей полімерних покривів та викликає розвиток корозійного розтріскування. Логічно поставити питання щодо доцільності його застосування. Чи не виникає протиріччя отриманих у роботі результатів з вимогами нормативних документів щодо умов експлуатації газопроводів?

4. В п'ятому розділі наведено, що поліетиленова стрічка впродовж 2,5 місяців випробувань деградації не зазнає. Тоді про яку деградацію властивостей покриву йдеться?

5. Чи спостерігались в Україні випадки корозійного розтріскування на спіральношовних і одношовних трубах? Як розвивалася корозійна тріщина і які умови спричинили її розвиток?

Перелічені зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки та значимості дисертаційної роботи і рівня достовірності її результатів.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Ниркової Людмили Іванівни «**Теоретико-експериментальні засади оцінювання та запобігання корозійному розтріскуванню сталей магістральних газопроводів в умовах їх катодного захисту**» представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, виконана на високому рівні, а отримані наукові та практичні результати науково-прикладну проблему – встановлення закономірностей корозійного розтріскування сталей магістральних газопроводів при їх катодному захисті, що розширює розуміння механізму корозійного розтріскування магістральних газопроводів, та дає можливість науково-обґрунтованого підходу до вибору способів його попередження. За своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, за отриманими новими науково обґрунтованими результатами, висновками, їх практичною цінністю та реалізацією в промисловості повністю відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015 р.), а її автор Ниркова Людмила Іванівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри електротехнічних систем,
Львівського національного аграрного університету,
д.т.н., професор

O.S. Калахан

Підпис д.т.н. Калахана О.С.
засвідчує.



Головний учений секретар ЛНУ
к.е.н.

I.M. Федів