

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу М. І. Греділь
«Науково-методологічні засади оцінювання впливу
корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість
вуглецевих та низьколегованих сталей»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії

1. Актуальність теми дисертаційної роботи. Експлуатаційна пошкодженість конструкційних сталей відіграє ключову роль в їх корозійній деградації, що спричиняє втрату початкових властивостей металу та роботоздатності інженерних конструкцій в цілому. Результатом її розвитку є зниження опору корозійному та корозійно-механічному руйнуванню (корозійному розтріскуванню та корозійній втомі) за дії корозивних середовищ. Крім того, сталі із накопиченою пошкодженістю характеризуються зниженням опору крихкому руйнуванню. Це створює ризики передчасного руйнування конструкцій та виникнення аварійних ситуацій. Слід зважати, що значна частка відповідальних об'єктів критичної інфраструктури, зокрема, магістральних та розподільних газопроводів, експлуатується понаднормово, що загострює питання їх фактичного стану та вимагає сучасних методів його оцінювання та прогнозування.

Попри істотну роль експлуатаційної пошкодженості сталей в їх корозійно-та воднево-механічному руйнуванні, закономірності її розвитку з позицій хімічного опору матеріалів вивчені недостатньо. Глибоке розуміння згаданих процесів необхідне для розроблення методичних підходів до коректного оцінювання і прогнозування технічного стану експлуатованих споруд, а також способів підвищення опору руйнуванню. Згадані аспекти становлять важливу і актуальну наукову проблему, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота М. І. Греділь, метою якої є встановлення закономірностей та механізмів корозійно-водневого руйнування вуглецевих та низьколегованих сталей, спричинених пошкодженістю за експлуатаційних умов, і розроблення методів її оцінювання і прогнозування, а також підвищення опору руйнуванню з урахуванням умов тривалої експлуатації.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконано у відділі діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України у рамках низки бюджетних тем згідно з тематичними планами НАН України, науково-дослідними роботами у рамках цільової комплексної програми НАН України “Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”, у рамках договорів з МОН України та іншими організаціями, а також грантів НАТО та НФДУ.

3. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується відповідністю сформульованих завдань темі та меті дисертаційного дослідження, застосуванням сучасних методів випробувань та аналізу отриманих результатів, їх високою відтворюваністю та узгодженістю з відомими закономірностями впливу корозійно-наводнювальних середовищ на конструкційні сталі (у випадках, які не становлять наукову новизну). Дисертанткою проаналізовано значний обсяг іноземних та вітчизняних наукових досліджень, що дозволило чітко окреслити стан науково-технічної проблеми та ґрунтовно підійти до її вирішення. Достовірність отриманих результатів, висновків та рекомендацій підтверджується апробацією результатів досліджень на міжнародних наукових конференціях та їх широким впровадженням у виробничо-експлуатаційну практику та навчальний процес.

4. Наукова новизна отриманих в роботі результатів.

- Вперше оцінено інтенсифікувальний вплив газоподібного водню на корозійні процеси на трубних сталях, внаслідок якого підвищується їх корозійна активність та схильність до водневого розтріскування.

- Вперше розкрито механізм і стадійність розвитку пошкодженості в низькоміцних трубних сталях, ключовим аспектом якого є полегшений ріст мікродфектів від тиску молізованого водню через підвищену здатність таких сталей до пластичного деформування.

- Встановлено закономірності впливу корозійно-водневого чинника на крихкість сталі тонкостінного газопроводу за її тривалої експозиції в газоподібному водні в кліматичних умовах, що відтворюють експлуатаційні.

- Уперше виявлено відмінності у корозійній тривкості низьколегованої сталі зміцнених арматурних прутків у поздовжньому і поперечному до їх осі напрямках, що є наслідком зміни їх структурно-напруженого стану після холодного волочіння. Встановлено зміну механізму їх корозійно-механічного руйнування залежно від кількості проходів через волоку: на перших етапах зародження тріщини під дією водню від бокової поверхні та її просування вглиб зразка, а після 3-го – одночасне формування зародку руйнування у центрі перерізу прутка і їх подальше об'єднання.

- Запропоновано корозійно-механічний спосіб зупинки втомних тріщин в сталях шляхом подачі в порожнину тріщини технологічного середовища на основі таніну. Його ефективність за високих швидкостей росту тріщини забезпечується високим рівнем її закриття внаслідок накопичення продуктів взаємодії в порожнині тріщини в умовах тертя її берегів.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи. Отримані у роботі наукові результати та розроблені методики використано нижче переліченими установами та організаціями, зокрема:

- Метод пришвидшеної деградації сталей використаний ВП «Галременерго» АТ «ДТЕК Західенерго» для прогнозування технічного стану сталей експлуатованих об'єктів енергетики та обґрунтування можливості їх подальшої експлуатації.

- Спосіб зупинки втомних тріщин в конструкційних сталях використаний ТОВ «Порттехексперт» для подовження стадії росту тріщини у сталях конструкційних елементів портових кранів і підвищення їх втомної міцності.

- В УМГ «Львівтрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз» використано результати досліджень впливу експлуатаційної деградації на циклічну тріщиностійкість трубних сталей як основу для методики комплексного діагностування стану матеріалу і розрахунку залишкової довговічності в умовах наводнювання металу стінки труби.

- Розроблену напівнатурну методику оцінювання водневої крихкості сталей тонкостінних труб в умовах, близьких до експлуатаційних, включено в навчальну програму в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу для здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Нафтогазова інженерія та технології».

6. Повнота викладу результатів дисертаційного дослідження в опублікованих працях і рефераті, апробація роботи.

Основні положення, наукові результати, висновки та прикладні рекомендації дисертаційної роботи М. І. Греділь всебічно висвітлено в опублікованих працях та апробаційних виступах дисертантки. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 41 наукова праця, серед яких 29 статей у наукових фахових виданнях України та у наукових періодичних виданнях інших держав (з них 21 та 18 у виданнях, що входять у наукометричні бази даних Scopus та Web of Science, відповідно; 5 – у виданнях, віднесених до Q1 і Q2, 7 – у Q3), 9 у матеріалах і тезах доповідей міжнародних конференцій, 3 патенти на корисну модель.

Реферат дисертації повною мірою відображає зміст і структуру наукового дослідження, містить виклад основних наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

7. Загальна характеристика роботи, структура та зміст дисертації.

Робота є цілісною і завершеною кваліфікаційною науковою працею.

Мета роботи у формулюванні автора полягає у встановленні закономірностей та механізмів корозійно-водневого руйнування вуглецевих та низьколегованих сталей, спричинених пошкодженістю за експлуатаційних умов, і розробленні методів її оцінювання і прогнозування, а також підвищення опору руйнуванню з урахуванням умов тривалої експлуатації. Поставлені для досягнення мети у роботі завдання були вирішені, про що свідчать зміст роботи, реферату, публікацій та впровадження результатів.

Структура дисертації повністю узгоджується з її назвою, відповідає паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії та меті, поставленій для вирішення наукової проблеми. У дисертації логічно та аргумен-

товано та стисло представлено результати роботи, їх аналіз та висновки із достатньою кількістю посилань на публікації інших авторів.

У дисертації не використано наукові положення, результати та висновки кандидатської дисертації здобувача.

Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел та трьох додатків.

У *вступі* обґрунтовано тему досліджень та її актуальність, вказано мету та завдання дисертаційної роботи, об'єкт та предмет дослідження, а також наукову новизну та практичну цінність, перелічено використані методи. Описано зв'язок із науковими програмами, темами та грантами, у межах яких проводилося дослідження, а також апробацію результатів досліджень. Зазначено кількість публікацій за темою дисертації, описано особистий внесок автора, а також структуру та обсяг роботи.

Перший розділ містить літературний огляд наукових досліджень та методичних підходів, пов'язаних з метою та завданнями роботи. Зокрема, проаналізовано корозійно-водневі чинники під час експлуатації сталевих конструкцій, що спричиняють деградацію сталі та накопичення в ній пошкоджень, та відомі методи оцінювання експлуатаційної деградації металу та впливу на нього водню. Описано закономірності деградації зчеплення арматури з бетоном за впливу корозивно-наводнювальних середовищ для залізобетонних конструкцій. На основі аналізу літературних джерел сформульовано завдання представленої роботи.

У *другому розділі* наведено характеристики вуглецевих та низьколегованих сталей у вихідному стані та після їх тривалої експлуатації, склад корозивних середовищ, використаних у дослідженнях, а також основи сучасних експериментальних методів, застосованих для досліджень.

У *третьому розділі* викладено розвинуті науково-методологічні засади дослідження сумісного впливу корозивного середовища та газоподібного водню на електрохімічну поведінку та розвиток водневої пошкодженості у трубних сталях із врахуванням умов їх тривалої експлуатації.

У *четвертому розділі* розроблено методику напівнатурних випробувань сталей надземної частини газопроводів з метою оцінки їх схильності до водневого

окрихчення за тривалої (до 18 місяців) експозиції у газоподібному водні за кліматичних перепадів температури, які зумовлюють конденсацію вологи в трубі, що наближує умови експозиції до експлуатаційних.

У *п'ятому розділі* розкрито воднево-деформаційний механізм і стадійність розвитку пошкодженості в експлуатованих низькоміцних трубних сталях, який полягає в утворенні мікрodefектів у сталі за участі абсорбованого водню та їх подальшому рості і злитті під тиском накопиченого в них водню впродовж експлуатації. На цій основі розвинуто експрес-метод деградації сталей шляхом їх наводнювання перед пластичним деформуванням для інтенсифікації пошкодженості, який дає можливість прогнозувати опір сталей корозійно-механічному руйнуванню.

Шостий розділ присвячено способу підвищення опору корозійно-втомному руйнуванню сталей використанням спеціального технологічного середовища на основі таніну для штучного створення ефекту закриття втомних тріщин, що спричиняє їх зупинку, і досягається заповненням їх порожнини нерозчинними продуктами взаємодії таніну з металом берегів тріщини в умовах їх тертя.

У *сьомому розділі* досліджено корозійну тривкість та схильність до водневого окрихчення сталі арматурних прутків з урахуванням їх зміцнення холодним волочінням, внаслідок якого проявилася анізотропія електрохімічних характеристик сталі та загалом їх суттєве зниження, а також змінився механізм корозійно-механічного руйнування прутків. Проаналізувавши вплив корозійно-водневих чинників на сталеву арматуру в залізобетоні, розроблено методику оцінювання адгезивної міцності сталеві арматури з бетоном за впливу агресивних середовищ.

У *висновках* стисло підсумовано найвагоміші результати досліджень.

У *додатках* наведено матеріали, що підтверджують практичну цінність роботи – патенти та акти впровадження, а також список опублікованих праць за темою дисертації.

8. Зауваження до дисертаційної роботи. Представлена робота містить певні недоліки та дискусійні положення, а саме:

1. Автором запропоновано нову методологію дослідження впливу газоподібного водню на корозію та наводнювання трубних сталей у корозивно-

наводнювальних середовищах. Однак, в її описі та результатах експериментів не зазначено чи контролювали зміни рН середовища поблизу робочого електроду під час досліджень.

2. Розроблена методика витримування зразків у газоподібному водні опирається на тиск у трубопроводі 0,3 МПа та максимальні напруження у стінці труби 0,8 від границі плинності трубної сталі. Слід було зазначити з яких літературних чи інших джерел почерпнуті вищезгадані дані.

3. Випробовування залізобетонних зразків контрольної серії на зчеплення арматури з бетоном потребує деталізації, а саме: не зовсім зрозуміло чи витримували контрольні зразки у середовищі перед випробуваннями на розтяг, і якщо так, то як враховували можливу корозію арматурного прутка впродовж експозиції зразка в середовищі (п. 7.2).

4. Дослідження ефективності застосування корозійно-механічного способу зупинки росту втомних тріщин у сталях доцільно було б доповнити випробуваннями експлуатаційно пошкоджених сталей, а не лише у стані постачання.

5. У розділі 4 найбільший спад ударної в'язкості внаслідок експлуатації для матеріалу всіх ділянок трубопроводу відповідає кімнатній температурі. З отриманих кривих холодноламкості неможливо оцінити температуру крихко-в'язкого переходу, що ставить під сумнів доцільність їх представлення у роботі.

6. У розділі 2, присвяченому опису матеріалів та методик досліджень, не згадано серед досліджених матеріалів технічний титан та нержавну сталь, які використані у розділі 6.

7. У тексті дисертаційної роботи трапляються поодинокі стилістичні неточності та технічні описки, які не мають суттєвого впливу на зміст.

Зазначені зауваження не впливають на науковий рівень та на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Загальний висновок. Дисертаційна робота М. І. Греділь «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» є завершеною, самостійно виконаною кваліфікаційною науковою працею, містить нові теоретичні узагальнення та концептуальні підходи до вирішення актуальної проблеми, а саме

встановлення закономірностей та механізмів корозійно-водневого руйнування вуглецевих та низьколегованих сталей, спричинених експлуатаційною пошкодженістю, і розроблення методів її оцінювання і прогнозування, а також підвищення опору руйнуванню.

Робота оформлена згідно з чинними вимогами (Наказ МОНУ від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» із змінами, внесеними згідно з Наказом МОНУ від 31.05.2019 р. № 759), та відповідає паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії. За обсягом виконаних досліджень, актуальністю, обґрунтованістю наукових положень, та висновків, науковою новизною та практичною цінністю, повнотою висвітлення основних наукових результатів у наукових публікаціях робота повністю відповідає вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п.п. 7, 8 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ від 17.11.2021 р. № 1197 із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ від 19.05.2023 р. № 502, від 03.05.2024 р. № 507 та від 30.07.2025 р. № 928, а її авторка М. І. Греділь заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри транспортування
та зберігання енергоносіїв
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
МОН України



Р. С. Грабовський

Підпис(и)	<i>Р.С. Грабовський</i>
посвідчую	<i>В. Хомич</i>
Учений секретар ІФНТУНГ	
« 02 » 10	20 25 р.

*Отримано
08.10.25
ТЛ*