

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Звірко Ольги Іванівни**

*“Розроблення методології діагностування корозійно-водневої деградації
конструкційних сталей тривалої експлуатації”*,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності
05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій

Актуальність теми дослідження. Ефективність методів і засобів діагностики та неруйнівного контролю характеризується здатністю виявляти, ідентифікувати та класифікувати пошкодження та дефекти матеріалів. Проте, значна частина виходів з ладу відповідальних конструкцій та споруд зумовлена їх крихким чи корозійно-механічним руйнуванням. Важкість, або неможливість оцінювання деградації фізико-механічних властивостей металу таких конструкцій неруйнівними методами свідчить, що вони є недостатньо розвинуті. Нормативні документи для діагностування та прогнозування залишкового ресурсу вимагають оцінювання поточного стану конструкції протягом експлуатації сучасними неруйнівними методами.

Перспективними підходами до оцінювання експлуатаційної деградації сталей є електрохімічний (ЕХ) метод, який має низку переваг, порівняно з іншими неруйнівними методами. Він, зокрема, забезпечує високу фізичну обґрунтованість та чутливість інформативних параметрів до експлуатаційної деградації металу у паливно-енергетичному комплексі, де значна частина конструкцій вже відпрацювала свій проектний ресурс і потребує постійного моніторингу технічного стану. Саме тому вдосконалення та розвиток таких методів є корисним для науки і практичного застосування. Отже, актуальною проблемою є розроблення методології руйнівних та неруйнівних методів діагностування стану металу на основі досліджень закономірностей корозійно-водневої деградації конструкційних сталей з урахуванням особливостей впливу експлуатаційних умов та наводнювальних середовищ на пошкодженість матеріалів і розроблення методичних рекомендацій щодо діагностування стану сталей низки відповідальних конструкцій.

Якраз подібну наукову проблему досліджено в дисертаційній роботі, що свідчить про її суттєву актуальність. Іншим підтвердженням цього можна вважати той факт, що задачі, сформульовані в дисертації, відповідають завданням комплексної програми наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», зокрема, розділу: «Розробка методів і нових технічних засобів неруйнівного контролю та діагностики стану матеріалів і виробів тривалої експлуатації».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до науково-дослідних програм і тематичних планів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН

України. Починаючи з 2009 року і включно до 2018 року автор дисертаційної роботи була виконавцем сімох держбюджетних наукових тем, які відповідають напряму дослідження та проекту за програмою НАТО “Наука заради миру та безпеки”.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-технічної проблеми – розробленні методології руйнівних та неруйнівних методів діагностування стану металу на основі досліджень закономірностей корозійно-водневої деградації конструкційних сталей з урахуванням особливостей впливу експлуатаційних умов та наводнювальних середовищ на пошкодженість матеріалів, і створенні методичних рекомендацій щодо діагностування стану сталей низки відповідальних конструкцій. Аналіз результатів дисертаційних досліджень вказує на досягнення зазначеної мети роботи.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Вперше поглиблено вивчено та систематизовано дані щодо впливу низки експлуатаційних чинників на механізми деградації вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей, запропоновано підходи їх оцінювання;

2. Встановлено основні закономірності експлуатаційного окрихчення ферито-перлітних трубних сталей, пов'язані із накопиченням сполук вуглецю на субмежах зерен, що підтверджено підвищеною, електрохімічно діагностованою концентрацією вуглецю на фасетках внутрішньозеренного руйнування.

3. Доповнено опис стадійності накопичення розсіяної пошкодженості за експлуатаційної деградації ферито-перлітних трубних сталей, визначено два періоди. За першого, в них виникали випадково орієнтовані дефекти, а за другого – дефекти, орієнтовані вздовж текстури вальцювання внаслідок експлуатаційного зниження когезії між суміжними шарами.

4. Розроблено новий метод консервативного оцінювання корозійно-водневої деградації конструкційних сталей.

5. Вперше запропоновано визначати ЕХ властивості поверхонь зламів експлуатованого металу. Встановлено кореляційну залежність між експлуатаційними змінами опору крихкому руйнуванню металу та електродного потенціалу його поверхні руйнування.

6. Встановлено універсальну кореляційну залежність між опором крихкому руйнуванню та поляризаційним опором вуглецевих і низьколегованих ферито-перлітних сталей, що забезпечує фізично коректне оцінювання експлуатаційної деградації сталей.

7. Вперше, неруйнівний ЕХ метод діагностування характеристик опору крихкому руйнуванню тривалоексплуатованих сталей поширено на клас нержавяких мартенситних сталей завдяки усуненню екранувальної дії пасивувальних плівок на ЕХ відклик деградованого металу.

8. Запропоновано нову ЕХ ознаку, а саме, поляризаційний опір, за зниження якого на величину понад 30% можна прогнозувати локалізацію напружено-деформованого стану зовнішньої поверхні тривало експлуатованої

труби і, відповідно, небезпеку її руйнування за наявності спричинених воднем макророзшарувань всередині стінки труб магістральних трубопроводів.

9. Визначено умови оцінювання характеристик опору крихкому руйнуванню та пластичності тривало експлуатованих трубних сталей, що забезпечують локалізацію деформації в одному перерізі, внаслідок орієнтації площини поширення руйнування зразків паралельно площині потенційного розшарування структури матеріалу, тобто напрямку прокатування листа.

Практична цінність роботи підтверджується її загальною спрямованістю на розробку методів оцінювання деградації конструкційних сталей, експлуатованих у корозивно-наводнювальних середовищах, який враховує чутливість експлуатованого металу до корозійно-механічного руйнування. Розвинуто механічні підходи щодо діагностування експлуатаційної деградації сталей руйнівними методами з врахуванням впливу розсіяної та локалізованої пошкодженості на їх механічні характеристики і розробленням критеріїв коректності їх оцінювання.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень впроваджено на УМГ “Львівтрансгаз”, ПАТ “Укртрансгаз”, ЛМКП “Львівводоканал” на Добротвірській ТЕС ПАТ “ДТЕК Західенерго”, що підтверджено актами впроваджень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність та новизна.

Обґрунтованість наведених в дисертації наукових положень та висновків базується на успішному визначенні перспективних напрямів вирішення сформульованої проблеми, виборі достовірних моделей досліджень, опрацюванні недоліків та переваг існуючих методів, комплексним характером експериментів, сучасними математичними методами обробки їх результатів. Адекватність розглянутих в дисертації методів та моделей підтверджується в ряді випадків відповідністю отриманих з їх допомогою результатів для тестових зразків або за їх порівняння з відомими випадками. Достовірність результатів дослідження підтверджується і їх відповідністю сучасним уявленням про природу дефектів та пошкоджень, які діагностуються.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, анотації, 7 розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 380 сторінок (з них 301 сторінка основного тексту) з 157 рисунками, 52 таблицями (з них 1 таблиця, що повністю займає 2 сторінки), бібліографічним списком із 325 найменувань. Автором структуровано та систематизовано наукову проблему, сформульовану в дисертації, що дозволило її успішно вирішити.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, перелічено задачі дослідження та методи дослідження, сформульовано наукову новизну одержаних результатів, практичне значення

одержаних результатів, особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів дисертації та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану використання методів для діагностування технічного стану об'єктів. Систематизовано основні закономірності експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів, вплив агресивних середовищ та водню, розкрито механізми та стадійність деградації сталей, а також методи оцінювання їх поточних властивостей. Особливу увагу приділено використанню ЕХ методів для оцінювання деградації сталей. Сформульовано мету та основні задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено висвітленню методичних аспектів роботи. Об'єктом досліджень були сталі з тривалим терміном експлуатації, а саме: магістральних нафто- та газопроводів (до 53 р.), нафтових резервуарів (30-40 рр.), сітчастих гіперболоїдних веж Шухова (більше 100 р.), елементів сталевих конструкцій моста, віадука та вокзалу (більше 100 р.), рами стріли буртоукладника (~ 30 р.), морських портових металоконструкцій (30-40 рр.), ролика машини безперервного лиття заготовок (після 4500 плавок), гину головного парогону ТЕС (~ $1,3 \cdot 10^5$ год експлуатації), лопатки парової турбіни ТЕС (~ $3 \cdot 10^5$ год експлуатації). Використано низку вуглецевих (пудлингові, литі, Ст3, Ст3сп, типу Ст3сп, сталь 20), низьколегованих (17ГС, 17Г1С, типу 10ГС, Х52, Х60, 12Х1МФ, 25Х1М1Ф) сталей та нержавку мартенситного класу сталь 20Х13.

На прикладах продемонстровано, що запропоновані методи дають змогу отримати точніші кількісні характеристики пошкоджень ніж відомі аналоги.

У **третьому розділі** вперше розкрито негативну вплив низки експлуатаційних чинників на деградацію вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

У **четвертому розділі** науково обґрунтовано новий метод оцінювання корозійно-водневої деградації конструкційних сталей, в основі якого врахування чутливості експлуатованого металу до корозійно-механічного руйнування та особливості регламентування гранично допустимого значення характеристик опору крихкому руйнуванню.

П'ятий розділ роботи висвітлює проведені дослідження існування стадійності експлуатаційної деградації сталей (а саме, виникнення та накопичення розсіяної пошкоженості) для ферито-перлітних трубних сталей розділено на два періоди: утворення хаотично орієнтованих дефектів та утворення тріщин у вигляді розшарувань, орієнтованих у напрямку прокатування, внаслідок експлуатаційного зниження когезії між волокнами вальцьованого прокату.

У **шостому розділі** розроблено новий науково-методичний підхід до діагностування експлуатаційної деградації конструкційних сталей ЕХ методом, який ґрунтується на визначенні ЕХ властивостей поверхонь зламів, отриманих за випробувань для оцінювання опору крихкому руйнуванню.

Встановлено, що деградація ферито-перлітних сталей супроводжується раптовим зміщенням електродного потенціалу поверхні зламу відносно електродного потенціалу шліфованої поверхні (на понад 50 мВ залежно від системи метал – середовище), що, очевидно, спричинено підвищеним вмістом сполук вуглецю на поверхнях зламів. На основі цього підходу запропоновано електрохімічний метод діагностування експлуатаційної деградації сталей, який ґрунтується на встановленій кореляційній залежності між експлуатаційними змінами опору крихкому руйнуванню металу та електродного потенціалу його поверхні руйнування. Розкрито механізми експлуатаційного окрихчення ферито-перлітних трубних сталей, який полягає у збагаченні сполуками вуглецю не лише меж зерен, але і дефектів всередині зерен, на що вказує електрохімічно діагностований підвищений вміст вуглецю на поверхнях внутрішньозернового сколювання.

У **сьомому розділі** розвинуто неруйнівний ЕХ метод діагностування опору крихкому руйнуванню тривало експлуатованих (~ 25-100 років) конструкційних сталей низки відповідальних об'єктів, для сталей магістральних нафто- та газопроводів. Основні наукові аспекти у застосуванні методу полягають в отриманні достатньої чутливості ЕХ відклику на зміну стану металу внаслідок експлуатації та побудові залежності між цим відкликом та механічною, корозійно-механічною чи іншими характеристиками, які відповідальні за роботоздатність конструкційного матеріалу.

Встановлено, що кореляційна залежність між експлуатаційними змінами опору крихкому руйнуванню та поляризаційного опору, як основа неруйнівного методу діагностування поточного стану металу за його механічними характеристиками, є універсальною для вуглецевих і низьколегованих ферито-перлітних сталей низки конструкцій: нафто- та газопроводів, резервуарів зберігання нафти, сітчастих гіперболоїдних веж, буртоукладників, морських порталних кранів, гинів парогонів ТЕС та роликів МБЛЗ.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, за структурою, мовою і стилем написання відповідає вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату.

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 44 наукових працях, серед яких 33 статті у наукових фахових виданнях України та у наукових періодичних виданнях інших держав (з них 12 та 15 у виданнях, що входять у наукометричні бази даних Scopus та Web of Science, відповідно), 10 у матеріалах і тезах доповідей міжнародних конференцій, 1 деклараційний патент на корисну модель. Основні наукові положення і висновки, які представлені в

дисертації та авторефераті, ідентичні між собою. Автореферат повністю відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально виокремлює особистий внесок здобувача та демонструє апробацію результатів.

Використання у докторській дисертації результатів, які виносились на захист кандидатської дисертації.

Наукові положення і результати, які були захищені в кандидатській дисертаційній роботі, не використано у докторської дисертації здобувача.

Проте, є низка зауважень по дисертації та автореферату, зокрема:

1. Важливою стадією, яка часто складає основну частину тривалості безпечної експлуатації елементів конструкцій під навантаженням, є стадія зародження тріщини. Тому важливо було дослідити вплив експлуатації на зародження тріщин.

2. У дисертації розвинуто та поглиблено схематизацію стадійності деградації, запропоновану проф. Г. М. Никифорчиним, рис. 5.20, можливо слід було нанести на неї перехідні та граничні стани матеріалу, вказавши ступінь деградації характеристик, трубних сталей, наприклад у %.

3. Однією із основних наукових ідей дисертації є зв'язок структурної пошкодженості матеріалів та їх електрохімічних характеристик, проте, на мою думку, це вимагає зазначення на рисунках, або у їх описах структурного стану матеріалу. Це б зробило роботу більш «прозорою» та забезпечило розуміння кінетики деградації матеріалів, за різних термінів напрацювання.

4. Методична частина роботи побудована таким чином, що фактично неруйнівні методи порівнюються із руйнівними. Чому так?

5. Варто було зазначити структурний стан матеріалів, дані яких подано на рис. 4.16. Стосовно приведених на рис. 4.18 даних доцільно було зробити прив'язку до структурних змін.

6. Слід було вказати основні співвідношення геометричних розмірів зразків, рис. 5.5, наприклад L_s – довжини зразка до R – радіусу заокруглення, а також їх дійсні значення, використані у роботі. Також слід було нанести масштабні мітки на рис. 4.7; 5.9; 5.18, 6.4; та позначити габаритні розміри газопроводів на рис. 5.4; 5.6; 5.7; 5.10; 5.16.

Загальні висновки.

Загалом, дисертаційна робота **Звірко Ольги Іванівни** на тему: *“Розроблення методології діагностування корозійно-водневої деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації”*, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій, є завершеною науковою працею, в якій вирішено наукову проблему розроблення методології діагностування технічного стану конструкційних сталей тривалої експлуатації у корозивно-наводнювальних середовищах на основі

комплексного використання механічних та електрохімічних методів.

Робота відповідає вимогам паспорту вказаної спеціальності, а також чинним вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, а здобувач заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри автоматизації
технологічних процесів і виробництв
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя,
доктор технічних наук, професор



П.О. Марущак

Підпис д.т.н., проф. Марущака П.О. засвідчую
Вчений секретар Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя,
канд. техн. наук, доцент



Г.М. Крамар

