

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
за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій**

На основі детального аналізу дисертації О. І. Звірко, яка є науковою роботою, що подана у вигляді рукопису та складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, розгляду автореферату та ознайомлення з опублікованими працями здобувача за темою дисертації сформульовано наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами.

Діагностування технічного стану матеріалів і конструкцій тривалої експлуатації – важлива науково-прикладна проблема, розв'язання якої передбачає використання низки міждисциплінарних підходів, зокрема, поєднання матеріалознавства з положеннями механіки твердого деформівного тіла. Вирішення даної проблеми ускладнюється за дії на матеріал корозивно-наводнювальних середовищ, які не тільки прискорюють розвиток стадій зародження та поширення тріщин, але й можуть інтенсифікувати процес експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів, зокрема, сталей. З іншого боку, дослідження Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України останнього часу вказали на можливість використання електрохімічних підходів не тільки для виявлення механізму та прогнозування стадій зародження та поширення корозійно-механічних тріщин, але й оцінювання ступеня втрати фізико-механічних властивостей сталей під час їх експлуатації. Тому розроблення методології діагностування технічного стану конструкційних сталей, тривало експлуатованих у корозивно-наводнювальних середовищах, на основі комплексного використання руйнівних та неруйнівних методів є актуальною науково-технічною проблемою. Вирішенню цієї проблеми присвячена дисертаційна робота О. І. Звірко.

Дисертаційна робота виконувалася у рамках низки бюджетних тем НАН України, Державного фонду фундаментальних досліджень МОН України, гранту програми НАТО “Наука заради миру та безпеки”.

Загальна характеристика, структура та зміст роботи.

Мета роботи у формулюванні автора полягає у 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, та розроблення методичних рекомендацій щодо діагностування стану сталей низки відповідальних конструкцій.

Поставлені для досягнення мети у роботі задачі були вирішені, про що свідчать зміст роботи, автореферату, публікацій та впровадження результатів.

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

Дисертаційна робота О. І. Звірко викладена на 301 сторінці основного тексту та складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел (325 найменувань) та 4 додатків.

У *вступі* на основі аналізу сучасного стану проблеми оцінювання корозійно-водневої деградації тривало експлуатованих конструкційних сталей обґрунтовано актуальність проблеми розроблення сучасних методів їх діагностування, сформульовано мету та задачі досліджень, описано об'єкт, предмет та методи досліджень, наукову новизну та практичне значення результатів досліджень, вказано особистий внесок здобувача, перелік публікацій та наведено інформацію щодо апробації матеріалів роботи, а також щодо структури й обсягу дисертації.

Перший розділ містить огляд сучасного стану проблеми та літературних джерел, в якому проаналізовано проблему експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів, висвітлено механізми та стадійність їх деградації, роль корозивних середовищ та водню. Здійснено аналіз неруйнівних методів діагностування експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів та показано необхідність їх розвитку. Сформульовано мету та основні задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено опису об'єктів досліджень та методичних аспектів роботи.

У *третьому розділі* проаналізовано роль низки експлуатаційних чинників у деградації конструкційних сталей. Встановлено, що тривала дія циклічних стискальних навантажень на метал під час експлуатації спричиняє деградацію його механічних та електрохімічних властивостей подібно, як і дія розтягувальних навантажень. Показано агресивну роль морської атмосфери у деградації сталей на прикладі тривало експлуатованих вуглецевих сталей, проаналізувавши механічні та корозійні властивості сталей конструкцій, що експлуатувались за різних умов. Сталь конструкції, що експлуатувалася в умовах морської атмосферної корозії, вирізнялася значно нижчими твердістю, ударною в'язкістю та корозійною тривкістю порівняно з іншими дослідженими матеріалами. Встановлено негативний вплив на деградацію металу надземних ділянок магістральних газопроводів

конденсації всередині них вологи через коливання температури довкілля, що призводить до виникнення розшарувань у стінці труб значної площі.

Четвертий розділ присвячено науковому обґрунтуванню та розробленню нового методу консервативного оцінювання деградації конструкційних сталей, що тривало експлуатуються у корозивно-наводнювальних середовищах та є уразливими до корозійно-механічного руйнування. Проведено апробацію методу для ферито-перлітних трубних сталей. Метод ґрунтується на встановленні гранично допустимого значення ударної в'язкості, регламентованої чинними нормативними документами характеристики опору крихкому руйнуванню, металу залежно від його стану – вихідного чи експлуатованого, що враховує чутливість експлуатованого металу до корозійно-механічного руйнування.

У *п'ятому розділі* описано низку розроблених методичних рекомендацій щодо діагностування технічного стану тривало експлуатованих сталей за зміною їх механічних властивостей. Показано ефективність застосування показника залишкової механічної стабільності для оцінювання експлуатаційної деградації трубних сталей. Для коректного оцінювання механічних властивостей експлуатованих трубних сталей з інтенсивною пошкодженістю, схильних до водневого розшарування, запропоновано зразки певної геометрії та дано рекомендації щодо вибору орієнтації площини руйнування при випробуваннях. Базуючись на результатах проведених досліджень розкрито стадійність експлуатаційної деградації ферито-перлітних трубних сталей: стадію розвитку розсіяної пошкодженості розділено на періоди утворення хаотично орієнтованих дефектів та утворення тріщин розшарування, орієнтованих вздовж волокон вальцювання.

У *шостому розділі* описано новий науково-методичний підхід до діагностування експлуатаційної деградації конструкційних сталей електрохімічним методом на основі визначення електрохімічних властивостей поверхонь руйнування, що характеризують зміни у металі, спричинені експлуатаційною деградацією. Підхід апробовано та верифіковано для ферито-перлітних трубних сталей. Отримано залежність між змінами електродного потенціалу поверхні руйнування та ударної в'язкості, зумовленими тривалою експлуатацією, для трубних сталей типу X52, на основі якої можна прогнозувати опір крихкому руйнуванню експлуатованого металу.

Сьомий розділ присвячено розвитку неруйнівного електрохімічного методу діагностування опору крихкому руйнуванню тривало експлуатованих конструкційних сталей. Запропоновано низку методичних рекомендацій для підвищення чутливості методу. Застосування методу поширено на клас нержавних мартенситних сталей. Встановлено кореляційну залежність між змінами ударної в'язкості та поляризаційного опору ферито-перлітних сталей, спричиненими експлуатаційною деградацією, що є загальною для цього типу сталей та не залежить від умов експлуатації металоконструкцій.

Додатки містять акти апробації та впровадження результатів роботи та розроблених методик, деклараційний патент України, алгоритм проведення діагностичних обстежень та перелік публікацій.

Наукова новизна отриманих в роботі результатів.

Розширено перелік чинників, які сприяють експлуатаційній деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації. Це виключно стискальні циклічні навантаження на елементи конструкцій, вплив морської атмосфери та конденсація вологи через кліматичні зміни температури стосовно надземних ділянок магістральних газопроводів. І якщо прояв першого чинника пояснюється у рамках механіки деформування стиском реверсивною пластичною деформацією в матеріалі на мікрорівні за таких умов, то інших два пов'язані з деструктивним впливом водню, який утворюється в результаті електрохімічних реакцій на поверхні та проникає вглиб металу.

Для вальцьованого прокату та виробів з нього запропоновано виділяти розсіяну в об'ємі металу експлуатаційну пошкодженість окремо як хаотично орієнтовану та орієнтовану вздовж волокон вальцювання та показано особливості поведінки базових механічних властивостей, визначених на зразках, по-різному орієнтованих стосовно напрямку вальцювання. Показано переваги використання підходів механіки руйнування при діагностуванні стану експлуатованих сталей.

Розроблено та науково обґрунтовано метод консервативного оцінювання корозійно-водневої деградації сталей на основі базових механічних властивостей, в якому, однак, визначальним є опір матеріалу корозійно-механічному руйнуванню, яке часто є причиною втрати цілісності конструкцій, що експлуатуються у корозивно-агресивних середовищах. Особливістю розробленого методу є врахування різних граничних значень ударної в'язкості для не експлуатованого та експлуатованого металу.

Поглиблено наукові основи використання електрохімічних методів в діагностуванні експлуатаційної деградації конструкційних сталей. Так, уперше з цією метою запропоновано використовувати електрохімічні дослідження поверхонь зламів, як найбільш інформативних для аналізу процесів, що супроводжують зміну стану матеріалу у процесі експлуатації. З використанням такого підходу та базуючись на відомому механізмі зернограничного окрихчення ферито-перлітних трубних сталей, його поширено і на внутрізеренне окрихчення металу. Таким чином, показано можливість полегшеного руйнування за механізмами як міжзеренного, так і череззеренного руйнування.

Крім того, на прикладі низки промислових та будівельних об'єктів уперше показано універсальність залежності між змінами опору крихкому руйнуванню матеріалу та електрохімічного показника, що спрощує застосування неруйнівного методу контролю стану металу на основі визначення електрохімічних характеристик.

Значимість отриманих у роботі результатів для науки і практики.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у розробленні методології діагностування технічного стану конструкційних сталей тривало експлуатованих у корозивно-наводнювальних середовищах на основі комплексного використання механічних та електрохімічних методів.

Практичну цінність дисертаційної роботи мають виявлені додаткові чинники експлуатаційної деградації конструкційних сталей та запропоновані як руйнівні, так і неруйнівні, методи діагностування їх технічного стану. Так, розроблено низку методичних рекомендацій щодо коректного визначення механічних властивостей металу з інтенсивною розсіяною пошкодженістю. Зокрема, розроблено конструкцію зразків спеціальної геометрії, які дали можливість діагностувати поточний технічний стан металу труб, схильного до розшарування вздовж напрямку вальцювання. Розвинуто методи проведення електрохімічних досліджень, які підвищують чутливість електрохімічних показників щодо діагностування експлуатаційної деградації сталей. Їх поширено на нержавні сталі, що дало можливість застосовувати цей метод неруйнівного контролю стану металу і для цього класу сталей.

Результати досліджень впроваджено в: УМГ “Прикарпаттрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз” при обґрунтуванні умов безпечності подальшої експлуатації магістральних газопроводів з виявленим макророзшаруванням та при розробленні методу моделювання експлуатаційної деградації властивостей трубних сталей; УМГ “Львівтрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз” при розробленні методики оцінювання залишкового ресурсу труб магістральних нафтогазопроводів; Добротвірській ТЕС ПАТ “ДТЕК Західенерго” при проведенні науково-технічної експертизи пошкоджень лопаток парової турбіни турбогенератора; ЛМКП “Львівводоканал” при проведенні технічної експертизи стану металу труби водогону після його тривалого зберігання без консервації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи О.І. Звірко забезпечено чітким формулюванням проблеми, шляхів її вирішення та комплексним підходом при її розв’язанні, зокрема, органічним поєднанням методів механіки твердого деформівного тіла, матеріалознавства та хімічного опору матеріалів.

Достовірність наукових положень дисертації не викликає сумніву, оскільки викладені твердження підтверджуються результатами великого обсягу експериментальних досліджень та забезпечується використанням фундаментальних положень фізики та механіки руйнування конструкційних матеріалів, зіставленням деяких часткових й узагальнених результатів з відомими результатами інших дослідників, застосуванням в експериментальних дослідженнях сучасних засобів вимірювання та

оброблення отриманих результатів. Отримані в роботі результати обговорені на авторитетних міжнародних наукових конференціях.

Повнота викладення основних результатів роботи.

За темою дисертаційної роботи здобувачем опубліковано 44 наукові праці, з яких 33 статті у наукових фахових виданнях, 12 – у виданнях, що реферуються наукометричною базою Scopus, одержано патент України на корисну модель; 5 робіт опубліковано одноосібно; 10 – у виданнях матеріалів та тез доповідей міжнародних конференцій.

Матеріали дисертаційної роботи у вигляді доповідей апробовані на низці авторитетних наукових конференцій.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату.

Дисертація написана грамотно, державною мовою. Виклад матеріалу в роботі має логічну послідовність, науково грамотний, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету.

Тема та зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог ДАК України та наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р.

Автореферат повністю висвітлює зміст, основні положення та висновки дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Автор розглядає проблему експлуатаційної деградації конструкційних сталей, однак зварні з'єднання металоконструкцій не розглядалися, що обмежує можливості використання отриманих результатів для прогнозування їх роботоздатності.

2. У роботі деградацію механічних властивостей металу оцінювали переважно за ударною в'язкістю, що утруднює прогнозування його роботоздатності, зокрема, залишкового ресурсу. Можливо було б ефективніше застосувати з цією метою характеристики тріщиностійкості.

3. При обґрунтуванні запропонованого методу консервативного оцінювання використано регламентування чинними нормативними документами є ударної в'язкості на рівні не менше 50 Дж/см². Згідно розробленого методу рекомендовано регламентувати ударну в'язкість на рівні не менше 65 Дж/см², однак не вказано для яких класів міцності трубних сталей.

4. Автором зроблено припущення про інтенсивне наводнювання стінки труби газопроводу зі сторони внутрішньої поверхні та створення високого тиску в порожнинах між поверхнями розшарувань. Бажано було б обґрунтувати його розрахунками, які б підтвердили можливість досягнення такого високого тиску у доволі великій порожнині, достатнього для руйнування перетинки над розшаруванням.

5. У роботі при обґрунтуванні пропонованої геометрії зразка для оцінювання характеристик пластичності експлуатованого металу вжито термін «коефіцієнт інтенсивності напружень» (с. 191 дисертації, с. 16 автореферату), що незрозуміло, оскільки тріщина в зразку не розглядалася.

6. У тексті дисертації зустрічаються окремі незначні помилки комп'ютерного редагування та орфографічного характеру. В авторефераті теж трапляються описки, зокрема, слово «пудлингова», наприклад, має два різних написання в авторефераті (с. 7 та с. 27).

Перелічені вище зауваження, побажання та дрібні неточності не зменшують вагомості отриманих результатів та не змінюють загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:

1. Дисертація Звірко Ольги Іванівни “Розроблення методології діагностування корозійно-водневої деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації” є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, важливі в науковому та практичному плані результати, що є істотним вкладом у вирішення проблеми діагностування експлуатаційної деградації та прогнозування характеристик роботоздатності конструкційних сталей, що експлуатуються за дії корозивно-наводнювальних середовищ.

2. Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., щодо докторських дисертацій, а її автор Звірко Ольга Іванівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри фундаментальних наук
Луцького національного
технічного університету

Ю. Я. Матвіїв



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
Ученый секретар
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
доц. А.Земко