

**ВІДЗИВ**  
**офіційного опонента на дисертаційну роботу Звірко Ольги Іванівни**  
**“РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ**  
**КОРОЗІЙНО-ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ**  
**КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ”,**  
**представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук**  
**за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій**

**Актуальність теми дисертації.**

Старіння і деградація сталей є небезпечний і незворотній процес, що триває безперервно з моменту початку експлуатації обладнання і апаратури. Особливо цим негативним процесам піддані частини обладнання, що працюють за високих температур при значних механічних навантаженнях в агресивному середовищі. На цей час дискусійним є питання вибору характеристик і показників, що спроможні адекватно оцінювати ступінь старіння і деградації сталі. Таке оцінювання можливе як певними механічними характеристиками, аналізом структурних перетворень, що відбуваються в сталі, так і електрохімічними показниками.

Крім відсутності на зараз єдиної методики проведення досліджень за цим напрямком, відіграє роль і брак належної кількості зразків, що відпрацювали тривалий термін, і неможливість в окремих випадках виготовити зразки належного розміру і форми з деградованої сталі, і наявність для порівняння сталей цієї ж марки, що і відпрацьована, виготовленої за тією ж технологією, але не експлуатованої. І, звичайно, необхідно враховувати індивідуальність кожного корозійно-активного середовища з накладеним на нього температурним полем з статичними і циклічними навантаженнями.

Незважаючи на всі ці труднощі, небезпека експлуатації обладнання з невизначеними характеристиками сталей спонукає до проведення робіт у цьому напрямку. Особлива увага мусить приділятися неруйнівним методам контролю, одним з яких є електрохімічний метод.

Отже, дисертаційна робота Звірко О. І., яка полягає у розробленні нової методології діагностування корозійно-водневої деградації тривало експлуатованих сталей є, безперечно, актуальною.

**Структура і зміст дисертації.**

Дисертаційна робота О. І. Звірко включає: вступ, 7 розділів, висновки, список використаних джерел (325 найменувань), 4 додатки. Загальний обсяг дисертації – 380 сторінок. Робота містить 157 рисунків та 52 таблиці.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок із науковими програмами, мету, об'єкт, предмет та методи дослідження. У *першому розділі* критичним аналізом літературних джерел розкрито основні закономірності експлуатаційної деградації конструкційних

сталей, роль у цьому процесі агресивних середовищ, а також методи оцінювання їх властивостей. Зазначено, що тривала експлуатація призводить до зниження, насамперед, характеристик опору крихкому руйнуванню, що посилює ризик неконтрольованих руйнувань за дії агресивних середовищ. Продемонстровано використання електрохімічних методів в оцінюванні експлуатаційної деградації сталей. У *другому розділі* дано характеристику досліджуваних сталей та описано методики експериментальних досліджень. Визначали механічні, корозійні, корозійно-механічні та електрохімічні властивості сталей. Ступінь їх експлуатаційної деградації оцінювали шляхом порівняння відповідних властивостей експлуатованого металу та металу у вихідному чи близькому до вихідного стані. *Третій розділ* присвячено аналізу встановлених трьох важливих чинників, які прискорюють експлуатаційну деградацію сталей: стискальні напруження, вплив морської атмосфери та кліматичні зміни температури, які приводять до специфічної пошкодженості вальцьованого прокату. У *четвертому розділі* обґрунтовано запропонований метод консервативного оцінювання експлуатаційної деградації конструкційних сталей, який враховує чутливість експлуатованого металу до корозійного розтріскування та, відповідно, гранично допустиме порогове значення опору корозійно-статичному росту тріщини. Метод бере до уваги відмінності в опорі корозійному розтріскуванню матеріалу у вихідному та експлуатованому станах за однакового гранично допустимого рівня ударної в'язкості, який використовується в нормативних документах. У *п'ятому розділі* представлено низку методичних рекомендацій щодо діагностування стану сталей за зміною їх механічних властивостей. Показано переваги відомого методу механічної стабільності для оцінювання експлуатаційної деградації трубопровідних сталей. Основна увага в розділі присвячена методичним особливостям визначення механічних властивостей трубних сталей, виготовлених з листового прокату та схильних до макророзшарування, спричиненого воднем. У *шостому розділі* описано новий підхід до діагностування експлуатаційної деградації конструкційних сталей неруйнівним методом, який базується на визначенні електрохімічних властивостей поверхонь зламів, отриманих за випроб на ударну в'язкість. У *сьомому розділі* приведено результати подальшого розвитку неруйнівного електрохімічного методу діагностування опору крихкому руйнуванню експлуатованих сталей. У *додатках* подано документи по впровадженню результатів роботи, деклараційний патент, алгоритм проведення діагностичних обстежень та перелік публікацій.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи Звірко О.І. забезпечується глибоким аналізом літературних джерел, що мають як наукове спрямування, так і присвячені питанням методики

експеримента. Автор отримала великий за обсягом експериментальний матеріал, що був підданий відповідній обробці.

Це підтверджується також використанням адекватних методів і методик для вирішення поставлених завдань: механічних досліджень на удар і визначення твердості, досліджень характеристик міцності і пластичності, статичної тріщиностійкості і опору корозійному розтріскуванню, металографічного аналізу структури металу, електрохімічного методу, мікрофрактографічного аналізу, металографічного аналізу, математичної статистики.

Результати роботи добре узгоджуються з висновками інших дослідників та теоретичними основами деградації і корозії металів, що підтверджує їх правильне трактування. Основні положення та висновки дисертаційної роботи висвітлені в наукових публікаціях та представлені на авторитетних наукових семінарах і конференціях.

### **Наукова новизна отриманих в роботі результатів.**

Грунтуючись на проведених експериментах і системному аналізі дисертантом була розроблена методологія діагностування корозійно-водневої деградації сталей на основі руйнівних і неруйнівних методів діагностування стану металу та методичних рекомендацій щодо діагностування стану сталей низки відповідальних конструкцій.

До основних наукових здобутків Звірко О. І. отриманих в результаті виконання роботи, відноситься встановлення для вуглецевих сталей негативного впливу циклічних навантажень стиском, що спричиняють деградацію, аналогічну за циклічного розтягу з аналогічними параметрами. Це питання на сьогодні є досить дискусійним. Отже експериментальне підтвердження і теоретичне обґрунтування його суттєво впливає не лише на визначення залишкового ресурса обладнання, а і на теорію механіки руйнування взагалі.

На основі електрохімічних методів для ферито-перлітних трубних сталей доведено збагачення дефектів на вуглецевомісткі сполуки не лише в міжзеренному просторі, а і всередині зерен, що обумовлює окрихчення металу. Це суттєво доповнює модель експлуатаційної деградації трубних сталей.

Дисертантом розвинуті підходи до загальної теорії розсіяної пошкоджуваності, а саме, для ферито-перлітних трубних сталей запропоновано період розвитку розсіяної пошкоджуваності поділити на періоди. Запропоновані критерії поділу на такі періоди, що дозволяє більш точно діагностувати поточний стан технічних об'єктів.

Встановлено кореляційну залежність між змінами опору крихкому руйнуванню і електродного потенціалу поверхні руйнування, що стало базою оригінального науково-методичного підходу до діагностики тривало експлуатованих сталей електрохімічним методом.

Доведено універсальність кореляційних залежностей між змінами опору крихкому руйнуванню і поляризаційного опору вуглецевих і оццаннолегованих ферито-перлітних сталей, яка не залежить від умов експлуатації металоконструкцій.

Для тривало експлуатованих нержавіючих сталей мартенситного класу завдяки усуненню екранувальної дії пасивувальної плівки запропоновано використання електрохімічного методу для оцінювання характеристик опору крихкому руйнуванню.

Запропоновано для прогнозування напружено-деформованого стану металу на поверхні труби використовувати поляризаційний опір, що дозволяє прогнозувати вихід дефекту, обумовленого водневим розшаруванням, на поверхню металу.

Для спеціально розроблених конструкцій зразків при випробуваннях на ударну в'язкість і розтяг визначено умови оцінювання характеристик опору крихкому руйнуванню і пластичності трубних сталей з інтенсивною експлуатаційною пошкоджуваністю.

### **Практична цінність отриманих результатів.**

Результатом виконаної роботи є впроваджені у виробництво методичні рекомендації, що дозволило шляхом застосуванням зразків спеціальної геометрії коректно оцінювати механічні властивості тривало експлуатованих труб, метал яких мав інтенсивну розсіяну пошкодженість чи схильність до розшарування внаслідок експлуатаційної деградації.

Розроблено методику діагностування кільцевого розшарування у трубах газопроводів та оцінювання виходу такого дефекту на зовнішню поверхню труби, що знайшла своє застосування в ПАТ «Укртрансгаз».

Розроблено і впроваджено методику електрохімічного діагностування нержавіючих сталей при науково-технічній експертизі пошкоджень лопаток першої регулювальної ступені ротора високого тиску парової турбіни турбогенератора.

Основні напрацювання та пропозиції дисертанта були впроваджені на ряді підприємств, зокрема, УМГ «Прикарпаттрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз», УМГ «Львівтрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз», ЛМКП «Львівводоканал», Добротвірській ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго».

Основні наукові результати дисертації використані при виконанні низки науково-дослідних робіт у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України.

### **Повнота викладення результатів роботи у наукових працях.**

Основний зміст дисертації Звірко О. І. викладено в 44 наукових працях, в тому числі 33 в наукових фахових виданнях України і закордоном, з них 12 та 15 включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science, відповідно, 10 опубліковано в тезах міжнародних конференцій і отримано 1

деклараційний патент. Опубліковані роботи повністю відображають зміст дисертації.

### **Мова та стиль дисертації.**

Дисертація написана державною мовою, загалом грамотно, легко сприймається. Виклад матеріалу в роботі має логічну послідовність, науково грамотний, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.10 – “Діагностика матеріалів і конструкцій”.

### **Недоліки та зауваження до дисертації:**

1. Дослідження сталі буртоукладника, що проводились в широкому діапазоні температур, варто було би доповнити визначенням температури в'язко-крихкого переходу для трьох видів зразків і оцінити величину її зсуву для деградованої сталі.

2. Автор стверджує (стор. 104 і далі), що характеристики міцності є нечутливими щодо оцінювання деградації. Разом з тим, дані наведені в табл. 3.1, табл. 5.1 і особливо в табл. 4.2 показують зворотнє. Наприклад, для сталі 17Г1С границя плинності змінилася на 122 МПа, що складає близько 40%, а для сталі Х60 на 62 МПа, або 12%.

3. Дослідження сталі Ст3, з якої було виготовлено водонапірну вежу і маяк, варто було би доповнити металографією і вимірюванням водню.

4. Перший пункт розділу «Практичне значення отриманих результатів» більш логічно віднести до розділу «Наукова новизна».

5. На стор. 183, автор стверджує, що «рівень відносного звуження зменшився від 79% до 63% ...). Насправді, від 79% до 69%.

6. В тексті дисертації зустрічаються нечисленні стилістичні і мовні відхилення: «результатах механічних оцінок» (стор. 109, замість результатах оцінювання механічних величин), володіють незначною... (стор. 181, замість мають незначну), це призводить (замість обумовлює) тощо.

Дані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних її результатів.

### **Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:**

Дисертаційна робота Звірко Ольги Іванівни “Розроблення методології діагностування корозійно-водневої деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації” є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, науково обґрунтовані, результати та методики, які вирішують проблему розроблення методології технічного діагностування конструкційних сталей об'єктів тривалої експлуатації у корозивно-наводнювальних середовищах на основі комплексного використання механічних та електрохімічних методів. Автореферат за своєю структурою і змістом відображає основні положення

дисертації.

Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності, а також вимогам пп. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) від 24.07.2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор Звірко Ольга Іванівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Офіційний опонент доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри Машинознавства та обладнання  
промислових підприємств Східноукраїнського  
національного університету ім. Володимира Даля

О. Г. Архипов

Підпис засвідчує,  
/начальник відділу кадрів



Л. М. Літвінова