

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Лісового Павла Едуардовича**  
**«Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації»**, представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Газотранспортна система (ГТС) України – одна з найбільших у світі газотранспортних систем, яка включає мережу магістральних газопроводів довжиною приблизно 40 тисяч км. Для захисту трубопроводів від корозійних процесів застосовують комплексний протикорозійний захист (захисними полімерними покриттями та електрохімічний – наведенням катодної поляризації), що дає змогу знизити швидкість корозії сталі до технічно-допустимого рівня (менше 0,01 мм/рік). Нажаль, впроваджені протикорозійні заходи не забезпечують 100% відсутності протікання корозійних процесів, найбільш небезпечним (до 40% всіх аварій) серед яких є корозійне розтріскування. Дослідження, які сприяють підвищенню безпечної експлуатації магістральних трубопроводів за рахунок встановлення впливу катодної поляризації на закономірності корозійних процесів (корозійного розтріскування та анодного розчинення) є важливими для подальшої безпечної експлуатації ГТС системи України. Тому визначення стійкості сталей ферито-перлітного класу, з яких побудовані магістральні газопроводи України, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ та зварних з'єднань, проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,050 В, є актуальною науково-технічною задачею.

## **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно обґрунтовані здобувачем та викладені в доказовій формі. Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, відповідають всім вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт.

Автором доцільно визначено об'єкт та предмет дослідження, його мету, точно сформульовано завдання дослідження. В дисертаційній роботі опрацьовано і осмислено значну кількість літературних джерел як вітчизняних, так і зарубіжних вчених.

Обґрунтованість наукових положень і висновків забезпечено використанням у роботі праць визнаних вчених і фахівців у галузі корозійного розтріскування магістральних трубопроводів; застосуванням добре апробованих методів та методик дослідженні та розробці власних. У роботі використано методи визначення електролітичного наводнювання сталі методом катодної поляризації, деформації з малою швидкістю, оптичної та електронної мікроскопія, потенціометрії та інші.

Обґрунтованість отриманих результатів, наукових положень і висновків також підтверджена успішною апробацією матеріалів дисертації на численних наукових конференціях, в тому числі і міжнародних.

## **Достовірність та наукова новизна результатів досліджень**

На основі результатів досліджень визначено стійкість сталей ферито-перлітного класу, з яких побудовані магістральні газопроводи України, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ та зварних з'єднань, проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,050 В. Достовірність отриманих результатів забезпечувалася проведенням досліджень у



випробувальній лабораторії, акредитованій Національним агентством з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

До найвагоміших результатів дисертаційної роботи, які відповідають ознакам наукової новизни, можна віднести наступне:

- розширено уявлення про стійкість сталей ферито-перлітного класу 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі, з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації, яке полягає у тому, що залежно від рівня катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,05 В корозійне розтріскування відбувається за механізмами локального анодного розчинення, водневого розтріскування або змішаним, а діапазони потенціалів дії зазначених механізмів відрізняються для сталей різного хімічного складу.

- вперше встановлені границі діапазонів потенціалів, за яких відбувається зміна механізму корозійного розтріскування сталей ферито-перлітного класу модельному ґрунтовому електроліті NS4 в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів. Для сталей 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ змішаний механізм реалізується в діапазонах: від -0,850 В до -1,000 В, від -0,800 В до -0,980 В, від -0,750 до -1,050 В, відповідно. За потенціалів позитивніших нижньої границі діє механізм локального анодного розчинення, від'ємніше верхньої границі – водневого розтріскування.

- вперше встановлено, що зварні з'єднання зі сталі 10Г2ФБ не схильні до корозійного розтріскування за водневим механізмом в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,05 В у модельному ґрунтовому електроліті NS4. Руйнування зварного з'єднання відбувається по основному металу, що доведено металографічними дослідженнями та узгоджується з випадками корозійного розтріскування на магістральних газопроводах.

- вперше встановлена правомірність застосування коефіцієнту схильності до корозійного розтріскування  $K_S$ , введеного для основного

металу, для порівняльного оцінювання стійкості бездефектних зварних з'єднань.

### **Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання**

Дослідження, які проводилися в рамках даної дисертаційної роботи, вирішили важливе науково-технічне завдання у галузі магістральних газопроводів, зокрема встановлення стійкості сталей ферито-перлітного класу, з яких побудовані магістральні газопроводи України, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ та зварних з'єднань, проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,050 В. Отримані результати мають важливе значення для подальшої безпечної експлуатації ГТС системи України.

*Практична цінність роботи полягає в наступному:*

1. Удосконалено комплексну методику прискореного дослідження стійкості низьколегованих сталей ферито-перлітного класу проти корозійного розтріскування в частині вольтамперометричного визначення діапазону потенціалів зміни механізму корозійного розтріскування, швидкості залишкової корозії та оцінювання частки крихкої складової у зламах зразків із застосуванням комп'ютерної програми аналізу зображень.

2. Розроблено лабораторний стенд для визначення швидкості залишкової корозії трубної сталі за катодної поляризації, що дає змогу встановити значення мінімального потенціалу, за якого досягається технічно достатній захисний ефект (0,01 мм/рік).

3. Встановлено, що корозійне розтріскування за водневим механізмом, яке є найнебезпечнішим чинником руйнування магістральних газопроводів, у модельному ґрунтовому електроліті NS4 для сталей 09Г2С та 17Г1С починається за потенціалів, від'ємніших -0,980 В та -1,000 В, відповідно, що нижче за абсолютним значенням нормованого ДСТУ 4219 максимального



захисного потенціалу. На відміну від зазначених сталей, для 10Г2ФБ, легованої ванадієм та ніобієм, корозійне розтріскування за водневим механізмом.

Удосконалена методика використана під час дослідження причин та механізму руйнування магістральних газопроводів України в 2020-2021 рр. для ТОВ «Оператор газотранспортної системи України.

### **Повнота вкладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в опублікованих працях**

За темою дисертації опубліковано 14 робіт, з них 4 статті у науково періодичних виданнях, що входять до науко метричної бази SCOPUS, 4 статті у фахових виданнях України, 6 публікації у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертації.

Апробація роботи: основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на 6 науково-технічних конференціях.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

### **Структура, оцінка мови, стилю та оформлення**

Дисертаційна Лісового П.Е. робота складається з анотації двома мовами, переліку скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 161 сторінку з 54 рисунками, 16 таблицями, бібліографічним списком із 114 найменувань та 2 додатків з методиками досліджень.

Автором дисертації усі наукові результати одержано самостійно.

Дисертацію виконано на високому науково-технічному рівні, вона містить достатній обсяг виконаних досліджень та оформлена згідно з вимогами до змісту і об'єму дисертаційних робіт. Структура кваліфікаційної роботи погоджується з метою та завданнями дослідження.

Дисертаційна робота містить наукові положення, які раніше не були захищені, і нові науково-обґрунтовані результати досліджень та задовольняє паспорт спеціальності 132 «Матеріалознавство», галузь знань 13 «Механічна інженерія».

Текст дисертації написаний українською мовою з використанням загальноприйнятої термінології. Анотація та текст дисертації оформлено згідно вимог діючого «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167.

### **Академічна доброчесність**

Здобувач дотримується вимог академічної доброчесності, дисертація не містить елементів плагіату та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Автор дотримується норм законодавства про авторське право, надає повну та достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використання методики досліджень.

### **По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. Не дуже вдалі обрані умовні позначення. Літерою «S» з різними індексами позначаються і площі поверхні зразка ( $S$ ,  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_1^{\pi}$ ,  $S_1^p$ ) і коефіцієнт схильності до корозійного розтріскування ( $S_c$ ,  $S_{\psi}$ ,  $S_{if}$ ), і чинник, який описує взаємозв'язок внеску анодного розчинення ( $S_{ac}$ ).



2. В умовних позначках  $\sigma_{0,2}$  - границя *плинності*, а  $\sigma_T^0$  - границя *текучості* сталевих зразків у повітрі.

3. В «Вступі» вказано, що загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки з 53 рисунками, проте обсяг дисертації становить 161 сторінку з 54 рисунками.

4. Відсутні посилання на літературу [1-4]. Більшість посилань на літературу в тексті дисертаційної роботи без квадратних дужок ([10, 18, 19, 24-27, 47, 61-86, 90-94, 101-104, 110-114]).

5. У роботі визначені механічні властивості та проведені металографічні дослідження структури металу сталей 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ, проте не акцентовано уваги, щодо їх впливу на схильність до корозійного розтріскування.

6. Наведення фотографій зламів зразків після корозійно-механічних випробувань, поліпшило би сприйняття інформації щодо до характеру їх руйнування в залежності від потенціалу поляризації.

7. В дисертаційній роботі відсутні коментарі, щодо особливостей впливу швидкості деформації при випробуванні зразків на розтяг на повітрі на механічні властивості сталей 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ (табл. 2.2, табл. 4.1, табл. 4.5, табл. 5.1). Так, наприклад, для сталі 09Г2С умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}=325$  МПа, а границя міцності  $\sigma_B=470$  МПа (табл. 2.2), а при малій швидкості деформації механічні властивості підвищуються до  $\sigma_{0,2}=454$  МПа, а границя міцності  $\sigma_B=585$  МПа (табл. 4.1). Для сталі 10Г2ФБ умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}=440$  МПа, а границя міцності  $\sigma_B=590$  МПа (табл. 2.2), а при малій швидкості деформації механічні властивості знижуються до  $\sigma_{0,2}=417$  МПа, а границя міцності  $\sigma_B=512$  МПа (табл. 5.1).

### **Висновок по дисертації**

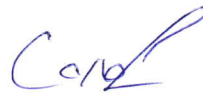
Відмічені недоліки та зауваження, які були висловлені щодо окремих аспектів роботи, не впливають на загальний науковий рівень та важливість

досліджень, представлених у дисертації. Дисертаційна робота П.Е. Лісового на тему: «Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації» виконана на високому рівні і є самостійним та завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона має значний потенціал для подальших досліджень, спрямованих запобіганню корозійному розтріскуванню магістральних трубопроводів, та безсумнівно має практичну цінність для газотранспортної системи України.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6, 8 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року, а її автор – **Лісовий Павло Едуардович** - заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Рецензент:

провідний науковий співробітник  
відділу №3 «Міцність зварних конструкцій»  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник



Сергій СОЛОВЕЙ

Підпис Сергія СОЛОВ'Я засвідчую:

Вчений секретар  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України  
кандидат технічних наук



Ілля КЛОЧКОВ