

**ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Дмитра Ігоровича Усова**

**“ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНИХ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ УСТАНОВОК КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ТРУБОПРОВОДІВ”,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії**

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-технічне завдання встановлення закономірностей впливу часу та умов експлуатування стального газопроводу в умовах катодного захисту та анодів систем катодного захисту на їх механічні та електрохімічні характеристики.

Актуальність теми дослідження. У транспортній системі України особливе місце займають стальні трубопровідні мережі. На сьогоднішній день більша їх частина вичерпала свій ресурс. Головним у порушенні цілісності тривалоексплуатованих трубопроводів є корозійний чинник. Тому підтримання їх у робочому стані протикорозійним захистом має важливе значення як з економічної, так і екологічної точок зору. Ефективність катодного захисту залежить від роботи анодних заземлювачів, які зношуються під час експлуатування. При цьому поступово збільшується електричний опір між ними та ґрунтом, а отже погіршуються їх функціональні властивості та виникає потреба монтування. Вигідно виготовляти заземлювачі з відбракованих, заздалегідь експлуатованих сталевих труб транспортування вуглеводнів. Вплив експлуатаційних змін сталі на функціональні та механічні властивості заземлювачів вивчені і дослідженні недостатньо. Тому встановити закономірності деградації трубних сталей в умовах катодного захисту та її вплив на роботу анодних заземлювачів упродовж тривалої експлуатації, розробити методи підвищення ефективності їх роботи та подовжити ресурс – важливе науково-технічне завдання, яке визначає актуальність рецензованої дисертаційної роботи як в науковому, так і прикладному плані.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано у Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля, де автор дисертації був виконавцем бюджетної теми «Корозійний моніторинг та визначення залишкового ресурсу обладнання хімічних виробництв» (№ держреєстрації 0116U008702, 2016 – 2018 р.) згідно з тематичними планами Міністерства освіти і науки України, а також виконавцем низки господоговорів.

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

дисертаційній роботі Д.І. Усова забезпечено чіткістю поставленої мети та задач для її вирішення.

Достовірність отриманих результатів і сформульованих дисертантом висновків підтверджено:

- використанням сучасних експериментальних методів оцінювання електрохімічних та фізико-механічних властивостей сталей;
- значним обсягом експериментальних досліджень;
- узгодженням деяких часткових результатів з загальновідомими науковими положеннями;
- обговоренням отриманих результатів досліджень на наукових конференціях.

Наукова новизна отриманих в роботі результатів полягає у розвитку наукових положень щодо закономірностей деградації трубних сталей в умовах катодного захисту та його впливу на працездатність анодів установок катодного захисту впродовж тривалої експлуатації, зокрема:

- вперше виявлено експлуатаційне збільшення частки фериту через розпад перліту вуглецевої сталі 20 за катодного захисту трубопроводу, внаслідок чого суттєво знижується опір корозії металу у хлоридному водному розчині (в 1,6 рази нижчий, ніж сталі у вихідному стані), що супроводжується підвищеннем концентрації водню (більш, ніж на порядок).
- розроблено новий, захищений патентом України, метод підвищення ефективності роботи анодних заземлювачів зі сталевих труб застосуванням активаторів, що дало можливість знизити та стабілізувати опір системи анод–ґрунт. Встановлено, що найефективнішим активатором є NaCl, під час використання якого упродовж 23 місяців електричний опір анода зі сталі 20 та ґрунту є нижчим на ~ 60%, а опір корозії – на ~ 20% порівняно з анодом без активатора.
- вперше показано перевагу використання як анодних заземлювачів заздалегідь експлуатаційно деградованих труб, які проявляють підвищеною струмовіддачу, що частково компенсує зростання опору в системі анод–ґрунт під час тривалої експлуатації заземлювачів.
- розроблено захищений патентом України конструкцію анодного заземлювача на основі сталевої труби, яка дає можливість контролювано зменшувати опір в системі анод–ґрунт періодичним введенням водних розчинів, через що підвищується ефективність його роботи.
- виявлено експлуатаційне підвищення корозійної тривкості та зниження схильності до пітингутворення заземлювачів, виготовлених зі сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т, що забезпечуватиме великий ресурс роботи, однак, вимагатиме більшої кількості труб-анодів через їх меншу струмовіддачу.

Наукове та практичне значення отриманих у роботі результатів для науки та техніки.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у результативному оцінюванні експлуатаційної деградації сталі газопроводу в умовах катодного захисту та анодів систем катодного захисту.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що вони можуть бути використані під час виготовлення, встановлення та експлуатації установок катодного захисту трубопровідних систем, зокрема для:

- оцінювання можливого порушення цілісності трубних конструкцій через довготривале експлуатування вуглецевих феритно-перлітних сталей;
- оцінювання можливого порушення цілісності електродів з вуглецевих феритно-перлітних сталей та нержавіючої 12Х18Н10Т сталі через їх довготривале експлуатування в установках катодного захисту;

- оцінювання впливу експлуатування на хімічний склад, мікроструктуру, електрохімічну поведінку, корозійну тривкість та механічні властивості сталей анодних заземлювачів, а також на характеристики електричного опору системи анод-ґрунт.

- підвищення енергоефективності та ресурсу роботи анодних заземлювачів з вуглецевих ферито-перлітних сталей під час тривалої експлуатації

Практична цінність отриманих результатів підтверджена актами впровадження результатів досліджень у ПП «Будремсервіс» під час виготовлення та обслуговування сталевих анодних заземлювачів, а також для підвищення їх ефективності та ресурсу експлуатування.

Оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота Д.І. Усова складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи становить 158 сторінок (з них 128 сторінок основного тексту) з 70 рисунками, 18 таблицями, бібліографічним списком із 125 найменувань, що відповідає вимогам до обсягів кандидатських дисертацій.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання – встановлення електрохімічних особливостей та закономірностей деградації сталей трубопроводів ферито-перлітного та аустенітного класів в умовах катодного захисту, визначення стану анодних заземлювачів за їх тривалого експлуатування, а також розроблення методів підвищення ефективності їх роботи та подовження ресурсу використанням активних речовин.

У вступі обґрутовано актуальність теми, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, перелічено задачі та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, зазначено

особистий внесок здобувача та наведено інформацію про апробацію результатів роботи, публікації та структуру дисертації.

У **першому** розділі автором ґрунтовно наведено аналіз існуючих джерел науково-технічної інформації щодо методів та засобів захисту трубопроводів від корозії. Проаналізовано чинники, що впливають на ґрунтову та внутрішню корозію трубопроводів. Зосереджено увагу на: специфіці застосування катодного захисту з різними типами анодних заземлювачів, впливах на механічно-корозійне руйнування анодів тривалості експлуатування, складу сталі та середовища. На основі опрацьованих літературних результатів сформульовано завдання досліджень та напрямки їх розв'язання.

У **другому** розділі наведено характеристику досліджених матеріалів, модельних корозивних середовищ, а також детально описано обладнання та методики, які використовували для досліджень.

Третій розділ включає результати досліджень з визначення впливу різного терміну експлуатування сталі 20 в умовах катодного захисту на її хімічний склад, механічні, електрохімічні характеристики, вміст залишкового водню, а також, для порівняння, з труби запасу. Проаналізовано вплив віддалі труб від катодної станції, за тривалої експлуатації, на склад сталі, механічні властивості та корозійну тривкість в умовах катодного захисту і показано, що за час експлуатування незалежно від віддалі, відбувається зміна перлітно-феритної структури сталі – зміна розміру зерен, розкладання перліту, утворення карбідів. Також досліджено вплив віддалі сталіних труб від катодної станції на механічні та електрохімічні властивості сталі 20 під час експлуатування. Показано, що зі збільшенням віддалі від катодної станції зменшується ударна в'язкість сталі в 1,1.. 1,5 рази (чутливий показник деградації) та зростає струм корозії.

У **четвертому** розділі наведено результати досліджень впливу терміну експлуатації на хімічний склад, структуру, електрохімічну поведінку, корозійну тривкість та механічні властивості сталей анодних заземлювачів (анодів), а також на характеристики електричного опору системи анод–ґрунт. Показано встановлення зміни мікроструктури сталі 20 лише для експлуатованого 20,5 років анода (зменшилась кількість перліту з 35 до 30%).

Представлені результати візуальних обстежень анодів після тривалої експлуатації, їх загальну та виразкову корозії зовнішньої та внутрішньої поверхонь сталіних труб. Ступінь корозійного ураження та глибина корозійних виразок найбільші для металу з найдовшим терміном експлуатації: глибина виразок становила до 1 та 0,7 мм на зовнішній та внутрішній поверхнях труби, відповідно. Це вказує на високу корозійну активність тривало експлуатованої сталі 20, що забезпечує стабільну струмовіддачу під час експлуатації заземлювача.

Продемонстровані заміри електричного опору ґрунту $R_{\text{гр}}$ у місці встановлення заземлювачів та між ґрунтом і заземлювачами $R_{\text{a.z.}}$ (з

урахуванням їх тривалої експлуатації) демонструють зростання $R_{a.z.}$ від 2 до 21 Ом, що вказує на необхідність встановлення додаткових анодних заземлювачів.

Проаналізовані поляризаційні дослідження у 3%-му розчині NaCl сталі 20 анодного заземлювача після 20,5 років експлуатування та труби запасу, які показали, що експлуатованій сталі властива дещо вища інтенсивність анодного розчинення за потенціалів -0,40 В, що вказує на перевагу застосування анодів зі ззадалегідь експлуатованих труб проти труб запасу через економічну та функціональну доцільність

Представлений порівняльний аналіз механічних властивостей сталі 20 анодного заземлювача після різного терміну експлуатування. Результати показують здатність анодів витримувати навантаження через можливі зсуви ґрунтів навіть після тривалого (20,5 років) експлуатування.

Продемонстровані експериментальні дані електрохімічних досліджень впливу терміну експлуатування (2,5 роки) на характеристики анодних заземлювачів зі аустенітної сталі 12Х18Н10Т - альтернативу застосуванню вуглецевих сталей, які підтвердили економічну та функціональну доцільність застосування анодів із ферито-перлітної сталі.

П'ятий розділ включає результати досліджень, спрямованих на підвищення ефективності роботи анодів.

Проаналізована перспектива застосування речовин-активаторів, які закладали біля анодних заземлювачів, для зниження опору системи та підвищення ефективності роботи анодів під час їх тривалої експлуатації.

Представлені результати спектрального аналізу анодів з активаторами показали стабільність хімічного складу сталі після тривалого експлуатування, також металографічні дослідження таких анодів, які показали розкладання перліту (10%) та утворення оксидів. Результати замірів механічних характеристик показали зменшення ударної в'язкості при застосуванні амонію нітрату, як активатора. Електрохімічні дослідження сталі 20 анодних заземлювачів після експлуатації з активними речовинами продемонстрували найвищу корозійну активність анода, який експлуатувався з натрію хлоридом, як активатором.

Показані результати дослідження електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт, які підтвердили ефективність активаторів. Опір анодного заземлювача упродовж періоду спостережень знижувався або залишався приблизно на тому ж рівні. Продемонстровані узагальнення результатів досліджень - закладання активних речовин біля анодних заземлювачів простий технічно та вигідний економічно метод, а виконані дослідження доводять можливість використання активних речовин для подовження терміну експлуатації вже діючих анодних заземлювачів. Також показано, що на основі експериментальних результатів досліджень впливу активаторів розроблено нову конструкцію анодного заземлювача, яка враховує виявлені електрохімічні особливості процесів у системі анод-ґрунт, щоб зменшити електричний опір.

Висновки, зроблені дисертантом з проведених різнопланових досліджень, є обґрунтованими та відображають весь обсяг отриманих результатів.

Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях.

Основний зміст дисертації викладено та опубліковано в 14 працях, у тому числі 8 – у фахових наукових виданнях, з яких 1 – у міжнародних журналах, що внесені до наукометричних баз і систем, 2 – Патенти України, 4 – у збірниках тез конференцій. Матеріали дисертаційної роботи апробовані у вигляді доповідей на п'яти міжнародних конференціях. Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях відповідає чинним вимогам. Автореферат дисертації повністю відображає основні положення дисертації.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.

Виклад матеріалу науково грамотний, логічно послідовний, розділи взаємопов'язані та повністю розкривають мету роботи. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає чинним вимогам.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. У роботі виявлено помітне збільшення вмісту елементів в сталевих анодах за збільшення терміну їх експлуатування. Тому доцільно було б пояснити такий встановлений факт.

2. Автор стверджує, що за експлуатування сталі 20 протягом 51 року відбувається розкладання перліту, однак не вказано з чим може бути пов'язано зафіксоване зменшення розкладання перліту в анодах, порівняно із сталлю труб.

3. У роботі зазначено, що розклад перліту – результат дифузійних процесів, що відбуваються під час тривалого експлуатування сталі, також вказано на її малу величину, хоча даних таких (досить цікавих) досліджень, не наведено

4. Наведені в п'ятому розділі дисертації результати електрохімічних досліджень сталі стосуються тільки розчину натрію хлориду, доцільно здійснити такі дослідження у розчинах речовин-активаторів, що дало б можливість обґрунтувати саме їх використовувати для зниження опору системи анод – ґрунт.

5. Під час вивчення корозії сталі використовували тільки малу швидкість розгортки потенціалу. Однак, для уточнення механізму корозії сталі за тривалого експлуатування, цікаве було б збільшення швидкості, та застосування більш інформативного методу - циклічної вольтамперометрії.

6. Зустрічаються описки та неточності при оформленні роботи. Зокрема, “захищаєму” (дисертація, с. 42), “коливаються” (дисертація, с. 44), “строках” (дисертація, с. 47), “зразок на рис.” (дисертація, с. 47), “так як”

(дисертація, с. 42), “закладаємого” (дисертація, с. 109), “кухонна сіль” (дисертація, с. 125, 138), “експлуатуємих” (дисертація, с. 125), “здвинути” (дисертація, с. 137), тощо.

Зроблені вище зауваження не заперечують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:

1. Дисертація Д.І.Усова “Підвищення ефективності тривалої експлуатованих анодних заземлювачів установок катодного захисту трубопроводів” є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, важливі в науковому і практичному плані результати, які є істотним вкладом у вирішення науково-технічного завдання підвищення ефективності сталей трубопровідних систем та анодних заземлювачів установок катодного захисту трубопроводів за їх тривалого експлуатування.

2. Робота відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (із внесеними змінами), щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Дмитро Ігорович Усов заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент,
завідувач навчально-наукової лабораторії
кафедри хімії і технології неорганічних речовин
Національного університету “Львівська політехніка”
МОН України,
кандидат технічних наук

I. P. Мерцало

Підпис I. P. Мерцало засвідчує:

Вчений секретар
Національного університету
“Львівська політехніка” МОН України
к.т.н., доц.



Р. Б. Брилинський