

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу

Васильєва Георгія Степановича

**«Комплексне забезпечення корозійнобезпечної експлуатації систем
тепловодопостачання житлово-комунальної інфраструктури»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Незадовільний стан за рівнем корозійної захищеності та надійності зумовлює критичні ситуації при експлуатації основних виробничих фондів у промисловості та системах життєзабезпечення населення України. Значне місце в металофонді України займають трубопроводи та обладнання житлово-комунальної інфраструктури, з яких 28 % експлуатуються понад 25 років. Застарілість обладнання для пом'якшення води, зниження ефективності деаерації призвели до пришвидшення корозійних процесів та осадження накипу у технологічному обладнанні. При цьому санітарні та екологічні обмеження не дозволяють використання інгібіторів корозії в цих системах.

В дисертаційній роботі Г.С. Васильєва вирішується актуальна науково-практична задача пошуку та впровадження ефективних протикорозійних заходів експлуатації водопровідних мереж без порушення складу води.

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

Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Васильєва Г.С. підтверджує її зв'язок з темами науково-дослідницьких робіт, які виконувалися за безпосередньою участю автора на кафедрі технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського», згідно з планами держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: № 2827п «Комплексне фізико-хімічне гальмування корозійних процесів і підвищення ефективності теплообміну у водному середовищі для енергозбереження ресурсів України» (2015-2016 рр., номер державної реєстрації 0115U002324), № 2044 «Високоєфективна модифікація поверхні металу

екологічно-безпечними сполуками для надання нових функціональних властивостей» (2017-2020 рр., номер державної реєстрації 0117U003854).

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

Зміст дисертації Г.С. Васильєва викладено з урахуванням існуючих теорій фундаментальних наук та надбань практики протикорозійного захисту металів. Наукові положення і висновки, сформульовані у дисертації, є достатньо обґрунтованими, що забезпечено використанням корозійних, електрохімічних методів, а також растрової електронної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу, ІЧ-спектроскопії та ряду спеціальних методів і комп'ютерного моделювання з застосуванням Comsol Multiphysics. Про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість та узгодженість з результатами інших дослідників.

Основні положення та висновки дисертації обговорені на міжнародних конференціях, таких як «Проблеми корозії і протикорозійного захисту металів» (м. Львів 2016, 2018, 2020 р.р.); Young scientists conference on material science and surface engineering "MSSE-2019", "MSSE-2021" (Львів 2019, 2021); VII Український з'їзд з електрохімії (Харків 2015); ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry «Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry» (Київ 2017, 2018, 2019); міжнародна науково-технічна конференція «Хімія та сучасні технології» (Дніпро 2017, 2019),

Перспективність використання результатів дисертаційного дослідження, зокрема розроблених установок магнієвого захисту, підтверджена патентом на корисну модель «Комбінований спосіб протикорозійного захисту сталі у водних техногенних середовищах», а також введенням їх в нормативні документи, що регламентують будівництво теплових мереж.

4. Структура та зміст дисертації

Основний зміст дисертації викладено у вигляді аналізу інформаційних джерел, характеристики та обґрунтування методів дослідження для реалізації

висунутих ідей та їх експериментальну перевірку. Обсяг дисертації становить 350 сторінок, робота містить 162 рисунки, 30 таблиць та 276 бібліографічних джерел, що відповідає чинним вимогам до докторських дисертацій.

У вступі (стор. 25 - 34) обґрунтовано актуальність роботи, запропоновано мету і задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Також охарактеризовано особистий внесок здобувача у наукових публікаціях, де викладено основний зміст роботи.

У першому розділі (стор. 35 - 97) дисертації наведено огляд інформаційних джерел щодо

будови систем тепловодопостачання, здійснено аналіз процесів внутрішньої корозії в теплових мережах, теплообмінному обладнанні в залежності від режиму роботи та складу води. Продемонстрована роль розчиненого у воді кисню, розглянуто механізм осадження накипу. Визначено принципові недоліки таких традиційних методів, як деаерування та пом'якшення води, застосування труб із захисним покриттям та періодичне видалення осадів.

У другому розділі (стор. 98 - 120) охарактеризовані об'єкти та методи дослідження, серед яких поляризаційні, масометрія, методи потенціостатичної, гальваностатичної та потенціодинамічної поляризації, термічної кристалізації, ІЧ-спектроскопія, рентгенофлюорисцентний та рентгенофазовий аналіз, скануюча електронна мікроскопія та ін. Прогнозування фізико-хімічних процесів здійснено із застосуванням методів комп'ютерного моделювання в середовищі Comsol Multiphysics.

У третьому розділі (стор. 121 - 144) представлено застосування методу поляризаційного опору для корозійного моніторингу у системах тепловодопостачання, що є важливим для контролю ефективності реагентних методів протикорозійного захисту, потребує визначення впливу умов роботи датчика корозії на електрохімічну активність осадів на його поверхні.

Показано, що склад та електрохімічна активність продуктів корозії залежить від умов та тривалості експлуатації датчика: найвища електрохімічна активність спостерігається в холодній водогінній воді. Визначено, що електрохімічна

активність продуктів корозії зумовлена перебігом окисно-відновних процесів за участі оксогідроксидів заліза.

Встановлено, що підвищити достовірність результатів корозійного моніторингу методом поляризаційного опору можливо за рахунок зниження коефіцієнту перерахунку поляризаційного опору у швидкість корозії в рівнянні Стерна із урахуванням електрохімічної активності продуктів корозії.

Корозія сталі у воді господарсько-питного призначення має суцільний рівномірний характер у холодній воді, який змінюється на суцільний нерівномірний у гарячій воді. В цих умовах визначення швидкості корозії методом поляризаційного опору не потребує застосування додаткових поправочних коефіцієнтів для врахування можливої локалізації корозійного процесу.

У *четвертому розділі* (стор. 145 – 179) здійснено пошук потенційних джерел інгібіторів корозії та накипоутворення у рослинній сировині. Досліджено протикорозійну та протинакипну ефективність ізопропанольних екстрактів відходів переробки ріпаку (*Brassica Napus*), кормової редьки (*Raphanus Sativus*) та цукрового буряка (*Beta vulgaris Saccharifera*).

Перспективність використання рослинних екстрактів ріпаку, редьки та буряка в концентрації 1 та 10 г/л як інгібіторів корозії та накипу показана і при катодному і термічному осадженні карбонатного накипу.

Доведено утворення органічної плівки на поверхні при використанні екстракту редьки. Додавання інгібітору на основі екстракту ріпаку знижує швидкість корозії до 0,1 мм/рік, і після заміни води на свіжу без інгібітору, захисна плівка проявляє захисні властивості ще впродовж 100 год.

П'ятий розділі (стор. 180 – 220) присвячено підвищенню ефективності роботи пластинчатих теплообмінників теплових пунктів. Досліджено ефективність накладання на поверхню ультразвукових коливань, що веде до утворення механічної вібрації з прискоренням до 10^4g .

Показана репасивація пітингів під впливом ультразвукової вібрації. Визначено, що відшаровані частинки в приелектродному шарі, рухаючись разом з

електролітом, діють як абразив, який очищає поверхню як від новоутворених відкладень над отворами пітингів, так і від неметалевих включень, розташованих на поверхні, які, як відомо, сприяють появі зародків пітингу.

У шостому розділі (стор. 221 – 258) дисертаційної роботи розглядаються питання корозійнобезпечної експлуатації внутрішньобудинкових мереж гарячого водопостачання.

Показано, що поєднання катодного захисту із зменшенням агресивності води забезпечує утворення карбонатного шару на всій поверхні металу, тоді як за відсутності катодного захисту, карбонатний шар утворюється лише на тих ділянках поверхні, де відновлюється кисень. Встановлено помітний захист від корозії металу труби при розчиненні магнієвого анода навіть у низькопровідних середовищах.

У сьомому розділі (стор. 259 – 323) запропоновані результати розробки та впровадження засобів корозійного моніторингу та протикорозійного захисту, зокрема метод деаерування теплоносія, що надходить для підживлення теплової мережі.

Результати корозійного моніторингу показали, що швидкість корозії в теплової мережі тримається на рівні 0,1 мм/рік. Розрахунок економічності показав, що реагентний метод водопідготовки води для теплових мереж на 13% дешевший за традиційний і може слугувати альтернативою традиційним особливо в умовах економії енергоресурсів.

Висновки, зроблені за проведеними Васильєвим Г.С. дослідженнями, охоплюють весь обсяг отриманих результатів і є достовірними. В додатках роботи представлена нормативна документація та розрахунок економічного ефекту.

В цілому за змістом дисертація є завершеною роботою, яка забезпечує суттєвий внесок у теоретичну складову науки та практику хімічного опору матеріалів і захисту від корозії. Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії. Оформлення дисертаційної роботи в цілому відповідає чинним вимогам.

5. Наукова новизна отриманих в роботі результатів, сформульованих положень та висновків

Васильєвим Г.С. особисто створені науково-обґрунтовані підходи підвищення корозійної безпеки систем тепловодопостачання, які базуються на розробці ефективних методів контролю та протикорозійного захисту обладнання, виявленні ефективних способів водопостачання і зниження агресивності середовища, зменшенні утворення накипу за умов їх експлуатації.

Автором роботи встановлено зв'язок між фазовим складом продуктів корозії, умовами експлуатації сталі та електрохімічною активністю. Вперше показана можливість контролю за величиною електрохімічної активності продуктів корозії сталі.

Вперше показано формування на поверхні металу стійкої полімерної плівки при використанні екстракту редьки кормової (*Raphanus sativus L.*), який знижує накипоутворення на 78,7% та процес корозії сталі на 75%.

Вперше встановлено, що ультразвукова вібрація (28 кГц та 1,2 Вт) призводить до зсуву потенціалу пітингу пластини зі сталі марок AISI 304, 316 товщиною 0,4 мм щонайменше на 120 мВ в анодну сторону та знижує швидкість розчинення сталі в області пітингу до 30 разів. Визначено режим роботи системи гарячого водопостачання для мінімізації корозійних процесів: швидкість руху води вище 0,3 м/с, об'єм споживання - не менше 30 % об'єму системи за годину.

Васильєвим Г.С. розроблено електрохімічний метод локалізації анодних зон в місцях з'єднання трубопроводів систем шляхом поєднання комп'ютерного та експериментального моделювання. Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що область катодного захисту при анодному розчиненні магнієвого електрода у трубопроводах систем гарячого водопостачання не поширюється за межі установок магнієвого захисту від корозії.

6. Практичне значення одержаних результатів

При виконанні дисертаційного дослідження Васильєвим Г.С. розроблено новий датчик швидкості корозії, ревізію якого можна проводити без зупинки

трубопроводу. Також розроблені сучасні мікропроцесорні корозиметри та система бездротової передачі результатів корозійного моніторингу, що значно скорочує тривалість визначення швидкості корозії в системі теплопостачання. Автором розроблена сучасна економічна технологія реагентної водопідготовки.

Застосування ультразвукової вібрації в пластинчатих теплообмінниках теплових пунктів дозволяє комплексно вирішувати проблему пітинової корозії та осадження накипу. Додержання визначених в роботі режимів циркуляції та водорозбору у системах гарячого водопостачання житлових будинків дозволяє знизити швидкість корозії трубопроводів із маловуглецевої сталі у 2-4 рази.

Основні результати роботи введено в нормативні документи, зокрема в ДБН В.2.5-39:2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі» (змiна №1 від 01.07.2018).

7. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій праці, з них 16 фахових наукових статей (7 - у фахових журналах, що відносяться до першого та другого кuartилів Q1-Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank), 1 патент на корисну модель, 1 монографію, 2 підручники. Також 21 працю опубліковано у матеріалах конференцій.

Аналіз друкованих праць дозволяє зробити висновок, що основні результати дисертації викладені повністю.

8. Мова та стиль дисертації

Дисертаційна робота написана державною мовою, поділ на розділи логічний і обґрунтований. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Результати проілюстровані високоякісними рисунками, фотоматеріалами та графіками.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи

1. В літературному огляді (розділ 1) обмежено висвітлений внесок вчених України у розробку інгібіторів на рослинній сировині.
2. Дискусійними по 3 розділу, який передбачає рекомендації щодо теплових мереж, є питання:
 - вибору значень швидкості (0,19; 0,3 та 0,45 m/s) для дослідження (стор. 129) впливу швидкості потоку води на швидкість корозії сталі Ст20, враховуючі, що в системах гарячого водопостачання та опалення швидкість теплоносія (вода) досягає 1 – 1,5 m/s;
 - вибору для дослідження води з вмістом йонів Кальцію та Магнію (табл. 2.1, стор. 98), що у 200 разів перевищує загальну твердість води після пом'якшення з використанням Na-катионітних фільтрів, що є практикою водопідготовки, як зазначено на стор. 47;
 - використання модельної води (стор. 131, 138) з вмістом Na_2SO_4 250 mg/l. Для порівняння швидкості корозії з водним безкарбонатним середовищем логічно було б дослідити водогінну воду з попереднім виділенням карбонатної твердості.
3. В 3-му розділі (стор. 144) зроблено висновок, що в гарячій воді характер корозії змінюється на суцільний нерівномірний. При цьому наводяться лише середньоінтегральні значення швидкості корозії (рис. 3.15, стор. 142). Доцільним було б порівняти динаміку і максимального проникнення корозії в мм/рік.
4. В 4-му розділі дисертаційного дослідження встановлена різна ефективність інгібування осадження накипу при використанні екстрактів шроту ріпаку, макухи з редьки та м'якоті цукрового буряку, яка пояснена (стор. 155) різницею у кількості функціональних груп у складі компонентів. Бажано було провести більш глибокий аналіз одержаних даних хромато-мас-спектроскопії.
5. Дискусійним по 4 розділу є питання утворення при додавання до води спиртового екстракту шроту ріпаку нових речовин, а саме, як зазначає автор, ароматичних вуглеводнів та ароматичних альдегідів (стор. 174). Такий висновок, при встановленому вихідному складі екстрактів, потребує конкретизації у вигляді запропонованих рівнянь реакцій хімічних перетворень. Особливий сумнів

викликає можливість утворення 1-метил-7-ізопропілфенантрону (конденсована 3-х ядерна ароматична система). Крім того, ця сполука характеризується мутагенною токсичністю (згідно даних комп'ютерного прогнозування, програма OSIRIS).

6. Незрозуміло з якою метою використано позначення ізотопів при характеристиці елементного складу шламу (табл. 7.5, стор. 282).

7. В тексті зустрічаються незначні технічні помилки (стор. 144, стор. 259, стор. 267) та недоречності (графік за 2-ма точками, стор. 317).

Відмічені недоліки не применшують високої теоретичної та науково-практичної цінності дисертаційної роботи.

Одержані в роботі результати є важливими при будівництві та експлуатації систем тепловодопостачання, а також можуть бути корисними для підприємствах хімічної, металургійної, переробної промисловості.

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи

Автореферат за структурою та технічним оформленням відповідає встановленим чинним вимогам. В ньому відображені головні результати дисертаційної роботи та наукові здобутки автора. За змістом автореферат ідентичний до тексту дисертаційної роботи.

11. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам


Дисертаційна робота Васильєва Георгія Степановича «Комплексне забезпечення корозійнобезпечної експлуатації систем тепловодопостачання житлово-комунальної інфраструктури» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові та практичні результати щодо теоретичного обґрунтування та нового вирішення науково-прикладної проблеми розроблення методів впливу на корозійне середовище, як складову корозійної системи, які дозволять комплексно вирішити проблеми корозії і відкладень у теплових мережах, теплових пунктах та системах тепловодопостачання житлової інфраструктури.

Автореферат за змістом ідентичний до тексту дисертаційної роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.17.14.

Дисертація Васильєва Г.С. за своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, за отриманими новими науково обґрунтованими результатами, висновками, практичними рекомендаціями та реалізацією в промисловості сприяє вирішенню проблеми підвищення хімічного опору матеріалів та протикорозійного захисту. Робота відповідає вимогам пп. 7, 8, 9 "Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор Васильєв Георгій Степанович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент:

докторка технічних наук, завідувачка кафедри хімії, технологій та фармації Національного університету "Чернігівський колегіум" імені Т.Г.Шевченка, професорка

 Ірина КУРМАКОВА

03.04.2023

Підпис д.т.н., проф. І.М. Курмакової засвідчую.

Начальник відділу кадрів Національного університету "Чернігівський колегіум" імені Т.Г.Шевченка



Валерій КАЛЯЄВ