

ВІДГУК

опонента Штефан Вікторії Володимирівни

на дисертаційну роботу Васильєва Георгія Степановича

“КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРОЗІЙНОБЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОКОМУНАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ”

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії

Актуальність роботи.

Збереження металофонду України, який був введений у другій половині минулого століття, є значущою проблемою сьогодення та майбутнього на декілька десятків років. Це пов'язано з тим, що високий ступінь металоконструкцій не оновлюються та як наслідок призводить до їх значної зношеності, незадовільного стану за рівнем корозійної захищеності, довговічності та надійності. Значна частина трубопроводів та обладнання житлово-комунальної інфраструктури знаходяться в аварійному стані і потребують заміни та ремонту. Старі проекти тепломереж та теплових пунктів у сукупності із сучасними економічними проблемами, здорожчання газу/зменшення температури теплоносія, створили умови неможливості становити основу їх захистів. Пошук та впровадження ефективних протикорозійних заходів без порушення складу води потребує система господарсько-питного водопостачання, яка стикається із низькою якістю захисних покриттів, порушенням технології їх нанесення, а також і з відсутністю нормативно встановлених правил проектування та режимів експлуатації водопровідних мереж. Тому дослідження, спрямовані на комплексне забезпечення корозійнобезпечної експлуатації систем тепловодопостачання житловокомунальної інфраструктури є актуальною

науково-технічної проблемою, що покладено в основу дисертаційної роботи Васильєва Г.С.

Про актуальність дисертаційної роботи свідчить той факт, що дисертаційна робота виконувалась за 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), які виконувалися на кафедрі технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», де здобувач був виконавцем окремих етапів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи Васильєва Г.С. забезпечується ретельним аналізом численних джерел наукової та науково-технічної літератури з моніторингу систем тепловодопостачання житловокомунальної інфраструктури, наведено перелік проблемних питань, поставлено мету та завдання дисертаційної роботи й запропоновано шляхи їх вирішення.

Результаті досліджень взаємоузгоджені, відповідають рівню відомих літературних джерел сучасних іноземних та вітчизняних вчених. Достовірність отриманих результатів і сформульованих дисертантом висновків підтверджується використанням сучасних фізичних, фізико-хімічних й електрохімічних методів досліджень, зокрема таких: прямої поляризації та поляризаційного опору, масометрії, потенціостатичної,

гальваностатичної та потенціодинамічної поляризації, термічної кристалізації, ІЧ-спектроскопії, рентгенофлюорисцентного та рентгеноструктурного аналізу, скануючої електронної мікроскопії, мультифізичного моделювання із застосуванням Comsol Multiphysics.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність отриманих результатів дисертаційної роботи забезпечується коректною постановою задач із застосуванням комплексу сучасних методів досліджень та сучасного апаратурно-виробничих моделей вимірювання показників швидкості корозії, планування експерименту співставлення та перевірки отриманих результатів на адекватність та відповідність. Наукові результати пройшли апробацію у публікаціях іноземних видань із високими рейтингами (квартилі Q1, Q2). Технічна новизна розробок дисертаційної роботи захищено 1 патентом на корисну модель та введенням в нормативні документи, що регламентують будівництво та експлуатацію систем тепловодопостачання, зокрема в ДБН В.2.5-39:2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі» (зміна №1 від 01.07.2018). Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», видано 2 підручника.

Наукове та практичне значення отриманих результатів.

В дисертаційній роботі – розроблено методи впливу на корозійне середовище, що склало наукове підґрунтя для вирішення важливої науково-технічної проблеми корозійнобезпечної та ефективної експлуатації систем господарсько-питного водопостачання та комунального теплопостачання житлово-комунальної інфраструктури за рахунок зниження корозійного

руйнування трубопроводів та зниження осадження накипу в теплообмінному обладнанні.

До основних наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести:

- Створення комплексних науково-обґрунтованих підходів підвищення корозійної безпеки систем тепловодопостачання, заснованих на розробці ефективних методів контролю та антикорозійного захисту металевого обладнання, виявлення ефективних способів водопостачання і зниження агресивності середовища, зменшення осадження накипу в реальних умовах їх експлуатації;

- Визначено, що у холодній водогінній воді на сталі Ст20 формуються електрохімічно активні продукти корозії, що призводить до отримання завищених даних швидкості корозії при використанні поляризаційних методів вимірювання. Продемонстровано зв'язок між фазовим складом продуктів корозії, умовами експлуатації сталі та їх електрохімічною активністю, що дає можливість контролю за впливом електрохімічної активності на визначення поляризаційного опору за величиною електродного потенціалу (за наявності електрохімічно активних продуктів корозії потенціал сталі знаходиться на рівні -250 мВ/н.в.е., тоді як зниження електрохімічної активності веде до підвищення потенціалу до -180 мВ/н.в.е.). Електрохімічна активність продуктів корозії обумовлена наявністю у шарі осаду сполук тривалентного заліза, які виступають деполіаризатором корозійного процесу. Частка електрохімічно активних продуктів корозії знижується при збільшенні температури води та швидкості потоку, внаслідок переважного утворення електрохімічно інертних осадів карбонату кальцію;

- Вперше показано, що прикладення ультразвукової вібрації дозволяє підвищити корозійну стійкість легованих сталей марок AISI 304, 316. Вібрація торця сталевієї пластини товщиною 0,4 мм частотою 28 кГц та потужністю 1,2 Вт призводить до зсуву потенціалу пітингу щонайменше на

120 мВ в анодну сторону та знижує швидкість розчинення сталі в області пітингу до 30 разів;

- Запропоновано механізм репасивації пітингів під дією ультразвукової вібрації, який полягає у вилученні продуктів корозії над зонами пітингу через погіршення їх адгезії до вібруючої поверхні. Відрив продуктів корозії відбувається тоді, коли сила інерції, що з'явилася під дією вібрації, перевищує силу адгезії. Рух електроліту, спричинений вібрацією, призводить до подальшого ослаблення адгезії продуктів корозії і сприяє проникненню свіжого насиченого киснем електроліту всередину пітингу, що призводить до швидкої репасивації активного металу. Низька потужність прикладеного ультразвуку не призводить до появи кавітації, і руйнування пасивної плівки на поверхні металу не відбувається;

- Визначено вплив режиму роботи системи гарячого водопостачання на утворення продуктів корозії, здатних знижувати внутрішню корозію трубопроводів. Швидкість руху води в системах гарячого водопостачання слід підтримувати вище 0,3 м/с, а об'єм водорозбору системи гарячого водопостачання повинен становити не менше 30 % об'єму системи за годину. В цих умовах на поверхні сталі формуються кристалічні осади оксигідроксиду заліза, які виступають бар'єром для доступу кисню до поверхні і швидкість корозії сталі знижується;

- Поєднання цифрового комп'ютерного моделювання з аналоговим експериментальним дозволило створити електрохімічний метод визначення місць локалізації анодних зон в місцях з'єднання трубопроводів. Експериментальні амперометричні дослідження дозволили визначити оптимальну швидкість руху води від 0,25 м/с до 0,35 м/с та співвідношення потоків, які змішуються або розділяються (1:1), за яких мінімізується негативний вплив пар диференційної аерації на прискорення локального руйнування анодних ділянок трубопроводів, що дозволяє знизити швидкість корозії у 3-5 разів;

- Визначено параметри роботи електролізерних установок з магнієвим анодом, що застосовують для захисту трубопроводів систем гарячого водопостачання від внутрішньої корозії. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що область катодного захисту при анодному розчиненні магнієвого електрода у трубопроводах систем гарячого водопостачання не поширюється за межі установки. Захист системи забезпечується формуванням стійких фазових шарів на поверхні кородуючого металу із компонентів корозійного середовища під впливом продуктів анодного розчинення магнію;

- Показано, що екстракти продуктів переробки хрестоцвітів виявляють антискалантні та протикорозійні властивості. Найбільшу ефективність виявляє екстракт редьки кормової (*Raphanus sativus* L.), який знижує накипоутворення на 78,7% та процес корозії на 75% за рахунок формування на поверхні металу стійкої полімерної плівки, що блокує доступ до поверхні кисню, іонів кальцію та карбонату.

Практичне значення отриманих результатів для систем тепловодопостачання житловокомунальної інфраструктури полягає в тому, що встановлено вплив електрохімічної активності продуктів корозії на визначення поляризаційного опору, що дозволило розробити новий датчик швидкості корозії, ревізію якого можна проводити без зупинки трубопроводу. Розроблені сучасні мікропроцесорні корозиметри та система бездротової передачі результатів корозійного моніторингу скорочує тривалість визначення швидкості корозії в системі теплопостачання з 1 року до 1 хв. Розроблена технологія реагентної водопідготовки дозволяє замінити існуючу технологію пом'якшення та деаерування води, забезпечуючи нормативні показники швидкості корозії та утворення накипу і лише за операційними витратами є на 13% дешевшою. Застосування ультразвукової вібрації в пластинчатих теплообмінниках теплових пунктів дозволяє комплексно вирішувати проблему пітинової корозії та осадження накипу.

Подавлення пітингової корозії дозволяє попередити потрапляння хімічно не очищеної води із систем водопостачання житлових будинків до теплової мережі, запобігти розвитку корозійних процесів в теплових мережах, а також осадженню накипу в котлах. Вібраційне зменшення накипоутворення в теплообмінниках дозволяє підвищити їх теплову ефективність та збільшити тривалість роботи між чистками. 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, підвищити якість води за показниками вмісту заліза, прозорості, запаху, кольору, смаку. Визначені режими роботи трубних з'єднань дозволяють мінімізувати вплив аераційних пар на прискорене корозійне руйнування та знизити швидкість корозії у 3-5 разів.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації викладено у 41 науковій праці, у тому числі 1 монографію, 16 статей у наукових фахових виданнях (з них 14 статей у виданнях інших держав (6 статей у виданнях Q1, Q2), 2 у виданнях України (1 з яких включено до категорії «А»), 1 патент на корисну модель, тези 21 доповіді в збірниках матеріалів конференцій, 2 підручники. h-index здобувача дорівнює 12, що свідчить про міжнародний рівень опублікованих статей, які складають основу дисертації.

Дисертація Васильєва Г.С. є завершеною роботою, яка присвячена актуальній проблемі із комплексного забезпечення корозійнобезпечної експлуатації систем тепловодопостачання житловокомунальної інфраструктури встановлення методів впливу на корозійне середовище сталених металоконструкцій, а також розробці технологічних заходів задля зменшення їх швидкості корозії.

Автореферат дисертації повністю відображає основні положення дисертації.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків (список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації, зміна №1 до ДБН В.2.5-39, розрахунок економічного ефекту). Обсяг дисертації складає 365 сторінки. Робота містить 162 рисунки, 30 таблиць та 276 бібліографічних джерел.

У вступі обгрунтовано актуальність проблеми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, сформульовано мету та напрям її досягнення, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У *першому розділі* викладено детальний аналіз існуючих джерел наукової та технічної літератури з таких напрямів: будови систем тепловодопостачання населених пунктів; процесів внутрішньої корозії, що відбуваються в теплових мережах, теплообмінному обладнанні та внутрішньобудинкових мережах; вплив складу води на осадження накипу на поверхнях нагріву, механізм цього процесу та економічні наслідки; традиційні методи боротьби з корозією та накипоутворенням. У *другому розділі* наведено опис методів досліджень швидкості корозії, складу та структури поверхні та їх приладів. Описано методи: прямої поляризації та поляризаційного опору, масометрії, потенціостатичної, гальваностатичної та потенціодинамічної поляризації, термічної кристалізації, ІЧ-спектроскопії, рентенофлюорисцентного та рентгеноструктурного аналізу, скануючої електронної мікроскопії, мультифізичного моделювання із застосуванням Comsol Multiphysics. *Третій розділ* включає результати аналізу електрохімічної активності шарів продуктів корозії та карбонатних осадів. Визначено, що шар гідроксиду, який містить іони Fe^{3+} виступає як проміжної частинки. Тривала експозиція призводить до перекристалізації аморфних сполук, що веде до зменшення концентрації електрохімічно активних іонів тривалентного заліза та зниженню швидкості корозії внаслідок блокування поверхні сталі від доступу кисню. Експериментально встановлено

характеристики водогінній воді за яких переважного утворюються карбонатних осадів. У *четвертому розділі* присвячено дослідженню екстрактів рослинної сировини сімейства хрестоцвітів як сировини «зелених» інгібіторів корозії, а крім того протинакипний ефект. Доведено, що рослині екстракти ведуть до зниження швидкості корозії за рахунок утворення на поверхні металу захисної плівки. *П'ятий розділ* включає великий об'єм дослідницької частини впливу ультразвукової вібрації на стійкість легованих сталей. Запропоновано замінити введення ультразвуку у середовище на прикладання ультразвукової вібрації до металу. Встановлено механізм ультразвукового пригнічення пітингу, який полягає у вібраційному зниженні адгезії шару осаду над зоною пітингу. Ефективність ультразвукового пригнічення пітингів підтверджена методами оптичної та електронної мікроскопії. У *шостому розділі* наведено результати досліджень формування захисних шарів на швидкість корозії внутрішньої поверхні трубопроводів системи гарячого водопостачання. Встановлено оптимальне значення швидкості потоку та співвідношення потоків у з'єднаннях труб системи гарячого водопостачання. У *сьомому розділі* приведені результати розробки корозійного контролю та їх впровадження у різних містах та житлових комплексів, підприємств України. Розроблена технологія захисту теплообмінників продемонструвала тривалий ефект на водопідготовці котельні РК «Молодь». Розроблена установка «Щит» проти внутрішньої корозії введена до нормативних документів, що регламентують будівництво теплових мереж.

Зауваження до дисертації.

До розділу 1.

1. У підрозділі 1.1 представлена велика кількість статистичних даних експлуатації систем водо- та тепlopостачання, але не завжди наводяться літературні джерела.

2. Не зрозуміле ствердження, що «Головними причинами відкладення накипу є зменшення вмісту CO_2 у воді та ріст температури». Бажано навести граничне значення концентрації.

До розділу 2.

1. В табл. 2.1 «Хімічний склад води для досліджень» не вказано регіон забору водопровідної води для аналізу. Немає посилання звідки результати або методи їх визначення.
2. В табл.2.2 «Елементний склад досліджуваних нержавіючих сталей» не вказано посилання на джерело результатів чи методів їх визначення.
3. Не зрозуміло чому проводили анодну та катодну поляризацію в діапазоні тільки ± 300 мВ від потенціалу корозії (стор.102).
4. «При потенціалі 0,3 В/ХСЕ розгортку потенціалу було зупинено і цей потенціал підтримували постійним протягом 1 години в ході якої реєстрували анодний струм.» На далі по тексту вказується потенціал +400мВ. Чому різниця в значеннях?

До розділу 3.

1. На рис. 3.1 «Зміна потенціалу...» не вказано марку сталі.
2. Не обгрунтовано вислів «Отже, для періоду високої електрохімічної активності продуктів корозії пропонується зменшити константу В рівняння Стерна у 1,6 разів до 16 мВ.» стор.127. Можливо треба зменшити інші значення параметрів електрохімічної системи?
3. У висновках 3.1. Вказано, що «розходження результатів між даними методу поляризаційного опору та масометрії може досягти 3 разів», але раніше у таблиці 3.2 «Скореговані коефіцієнти В' для...» вказано розходження у 3,5 рази. Можливо треба вказати діапазон?

До розділу 4.

1. На рис. 4.20 для наочності слід було надати поляризаційну криву сталі Ст20 у водопровідній воді без інгібітору.
2. На рис. 4.24-4.25 представлено результати «миттєвої швидкості корозії сталі Ст3 від часу у гарячій воді (50 °)...», але раніше в літогляді вказується температура 60 ° для такої системи. Чому вибрана менша температура?

До розділу 5.

1. Не зрозуміло до якого рисунку (5.1 або 5.2) йдеться мова в тесті двох абзаців на стор.181-182.
2. Не зрозуміло вираження «значна частина пітингу знаходиться під поверхнею». Мова йдеться про пітинги закритого типу?
3. На рис.5.15 приведено фото поверхні двох зразків після поляризації за різних умов, але фото представлено для різних збільшень.
4. На рис.5.19 наведено фото зразків одержаних за допомогою оптичного мікроскопу але у 2 розділі немає інформації про щодо подібного приладу.
5. На стор. 200 не зрозуміле посилання на «(рис. 5с)».

До розділу 6.

1. На рис. 6.1. та 6.2. не вказано значення температур досліджень «...у гарячій водопровідній воді...»
2. На рис.6.15 «Корозійна діаграма...» не вказано марку сталі.
3. Немає посилання на данні «.....з ладу за 1-3 роки експлуатації, замість нормативного терміну – 25 років».
4. Не зрозуміле посилання «на рис. 3.20а та методом масометрії – на рис. 3.20б».

До розділу 7.

1. На рис. 7.48 показано періодичні зростання швидкості корозії у декілька разів. Яка причина такої поведінки «Типові криві з...».

Загальні зауваження.

1. У дисертації є деякі неточності: помилково вказано рис.1.3. (стор. 43), а повинно бути 1.5;

та друкарські помилки:

«умов експлуатації корозійного досліджуваної корозійної системи» стор.4;

«та потужністю 1,2 Вт до призводить до зсуву» стор. 30;

«пропустити значний об'єм води що її температура» стор. 38;

«речовина, яка добре розрізняється на поверхні» стор. 41;

«та блокуюча здатність карбонатного сильно залежать» стор. 45;

«до вищого ступеня окиснення» стор. 48;

«корозметри» стор. 101;

«оксонідроксидів» стор. 134;

«маловуглицивної» стор. 222;

Вказані зауваження, носять дискусійний характер та направлені на вдосконалення подальшої роботи здобувача і не знижують значущості і позитивної оцінки представленої дисертаційної роботи.


Висновки.

Дисертаційна робота Васильєва Георгія Степановича “Комплексне забезпечення корозійнобезпечної експлуатації систем тепловодопостачання житловокомунальної інфраструктури” є завершеним науковим дослідженням. Наведені зауваження не впливають на високий науковий рівень та практичну цінність роботи. Одержано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують розв'язання важливої науково-технічної проблеми корозійнобезпечної та ефективної експлуатації систем

господарсько-питного водопостачання та комунального теплопостачання житлово-комунальної інфраструктури за рахунок зниження корозійного руйнування трубопроводів та зниження осадження накипу в теплообмінному обладнанні.

За змістом, рівнем виконання, новизною одержаних наукових результатів, їх практичною значущістю дисертаційна робота Васильєва Г. С. відповідає вимогам п.п. 6, 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 на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент,
завідувач аспірантури,
професор кафедри технічної електрохімії
Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”,
доктор технічних наук (05.17.03), професор


В.В. Штефан
03.04.2023р.

Підпис проф. Штефан В.В. засвідчую

Вчений секретар
Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”,
професор



Ю.І. Зайцев