


ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Фізико-механічного інституту
ім. Г. В. Карпенка НАН України
академік НАН України



Зіновій НАЗАРЧУК
2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) докторанта Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, кандидата технічних наук, старшого дослідника ГРЕДІЛЬ Мирослави Іванівни, представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії

Рішенням Вченої ради Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України (протокол № 5 від 26 червня 2025 р.) призначені рецензенти, а саме:

- **КОРНІЙ Сергій Андрійович**, завідувач відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник;
- **ЗІНЬ Іван Миколайович**, провідний науковий співробітник відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, професор;
- **ВИНАР Василь Андрійович**, старший науковий співробітник відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

Розглянувши докторську дисертацію Греділь Мирослави Іванівни «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» (тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України 19 вересня 2024 р., протокол № 8, та уточнено 26 червня 2025 р., протокол № 5), наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами обговорення

дисертаційної роботи у повному обсязі на науково-кваліфікаційному семінарі «Проблеми корозії та протикорозійного захисту металів» Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України (протокол № 1 від 07 липня 2025 р.), рецензенти підготували висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів, представлених у докторській дисертації:

1. Дисертація Греділь Мирослави Іванівни, представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії, є кваліфікаційною науковою працею, яка відповідає принципам академічної доброчесності, підготовлена здобувачем самостійно з послідовним викладом отриманих результатів та формулюванням відповідних висновків. За обсягом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю робота відповідає вимогам пунктів 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. Актуальність теми дослідження

Вуглецеві та низьколеговані сталі широко застосовують у різних галузях промисловості. Металоконструкції під час тривалої експлуатації зазвичай зазнають одночасного впливу корозивно-наводнювальних середовищ та робочих навантажень. Це суттєво підвищує ризик втрати їх цілісності внаслідок експлуатаційної деградації сталей, що спричиняє зниження опору крихкому руйнуванню. Вагомий внесок у дослідження впливу корозійно-наводнювальних середовищ на руйнування та деградацію вуглецевих та низьколегованих сталей зробила низка вітчизняних та зарубіжних учених, зокрема, М. С. Хома, І. М. Дмитрах, О. Є. Андрейків, Є. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин, Л. І. Ниркова, О. Е. Чигиринець, Р. С. Грабовський, A. Turnbull, A. Atrens, R. N. Parkins, R. A. Oriani, J. Toribio, G. Pluvinage, M. L. Martin, V. S. Raja, R. Akid, B. P. Somerday та інші. Однак, оцінювання та прогнозування змін у металі під впливом корозійно-водневих чинників та механічного навантаження (статичного, циклічного чи їх поєднання) під час тривалої експлуатації є складною науково-технічною проблемою, яка все ще не вирішена. Взаємодію сталей з воднем чи корозивними середовищами здебільшого досліджують без урахування їх можливої експлуатаційної деградації, яка проявляється зміною структури, механічних та електрохімічних властивостей, механізмів руйнування тощо. На сьогодні особливості сумісного впливу на тривало експлуатовані сталі газоподібного та електролітично генерованого під час корозійних процесів водню не вивчені. Багатофакторність впливу корозивно-наводнювальних середовищ на пошкодженість, деградацію та руйнування сталей вимагає комплексного підходу до їх оцінювання з урахуванням структурного чинника, виду механічного навантаження та тривалості експлуатації.

Таким чином, вивчення закономірностей та механізмів корозійно-водневого руйнування вуглецевих та низьколегованих сталей, спричиненого експлуатаційною пошкодженістю, а також розроблення ефективних методів її

оцінювання є актуальною науково-технічною проблемою у галузі хімічного опору матеріалів, вирішення якої дозволить прогнозувати та підвищити опір сталей корозійно-механічному руйнуванню в умовах тривалої експлуатації.

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

Робота спочатку виконувалась у відділі корозійно-водневої деградації та захисту матеріалів, а після реорганізації відділів продовжувалась у відділі діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України. Представлені в роботі результати були отримані в рамках різних тем НАН України, в яких дисертантка була *відповідальним виконавцем*: “Оцінювання фізико-хімічних та фізико-механічних механізмів взаємодії газоподібного водню з трубними сталлями для безпечної експлуатації існуючих газопроводів під час транспортування ними зеленого водню”, № держреєстрації 0123U104823, 2023 р.; *виконавцем*: “Дослідження впливу попередньої пластичної деформації на корозійно-водневу деградацію низьколегованих сталей”, № держреєстрації 0109U002653, 2009–2011 рр.; “Закономірності впливу експлуатаційних та корозійних чинників на деградацію структури і характеристики опору крихкому руйнуванню конструкційних сталей”, № держреєстрації 0112U002788, 2012–2014 рр.; “Розроблення науково-методичних підходів до консервативного оцінювання корозійно-водневої деградації конструкційних сталей за їх характеристиками опору крихкому руйнуванню”, № держреєстрації 0115U000119, 2015–2017 рр.; “Встановлення металознавчих, механічних та електрохімічних інформативних ознак діагностування корозійно-водневої деградації конструкційних сталей”, № держреєстрації 0118U000462, 2018–2020 рр., “Дослідження ролі водневого чинника в експлуатаційній деградації конструкційних сталей”, № держреєстрації 0121U108961, 2021–2023 рр., “Дослідження закономірностей розвитку пошкоджень в тривало експлуатованих конструкційних сталях за впливу різних за природою наводнювальних середовищ”, № держреєстрації 0124U000911, 2024–2025 рр.; в рамках цільової комплексної програми НАН України “Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин” (РЕСУРС): “Розроблення методів оцінювання експлуатаційної деградації властивостей сталей магістральних трубопроводів з використанням підходів механіки руйнування і хімічного опору матеріалів”, № держреєстрації 0110U004564, 2010–2012 рр.; “Розроблення методу моделювання експлуатаційної деградації властивостей сталей магістральних трубопроводів”, № держреєстрації 0113U004221, 2013–2015 рр.; “Розроблення методу оцінювання роботоздатності та залишкової довговічності магістральних трубопроводів з експлуатаційним макророзшаруванням”, № держреєстрації 0116U006343, 2016–2020 рр.; у рамках договорів на виконання науково-дослідних робіт з МОН України: “Розробка новітніх методів для недопущення виходу з ладу трубопроводів через порушення безпеки” № держреєстрації 0215U000156, 2015 р. та “Розроблення експрес-методу лабораторної симуляції експлуатаційної деградації конструкційних сталей енергетики для оцінювання їх схильності до корозійного розтріскування”, № держреєстрації 0199U102078,

2019–2021 рр.; грантів: НАТО № NUKR.SFPP 985055 “Розроблення новітніх методів для запобігання руйнувань трубопроводів задля безпеки” у рамках програми “Наука заради миру та безпеки”, 2016–2020 рр., НФДУ № 2022.01/0099 “Розроблення методології оцінювання роботоздатності існуючих газопроводів для підвищення стійкості функціонування енергетичної системи України при транспортуванні зеленого водню”, 2023–2024 рр.

4. Особистий внесок здобувача в одержання наукових результатів

У дисертаційній роботі постановка і обґрунтування завдань досліджень, узагальнення результатів експериментальних досліджень, формулювання положень наукової новизни та висновків здійснено автором самостійно. Структура та обсяг дисертаційної роботи обговорювались спільно з науковим консультантом – доктором технічних наук, професором, членом-кореспондентом НАН України О. І. Звірко.

У публікаціях, написаних у співавторстві, М. І. Греділь належать: аналіз електрохімічних процесів та ролі складу корозивного середовища; встановлення ролі водню в експлуатаційній деградації та її впливу на корозійно-механічну поведінку трубних сталей; аналіз опору сталей крихкому руйнуванню та водневому окрихченню, оцінювання змін корозійно-механічних характеристик сталі внаслідок холодного волочіння, аналіз механізмів руйнування трубних та арматурних сталей; розроблення експериментальних методик дослідження впливу газоподібного водню на корозійну тривкість сталі, пришвидшеної деградації сталей, зупинки росту втомних тріщин, оцінювання адгезивної міцності в залізобетоні та напівнатурного оцінювання водневої крихкості сталі.

5. Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача

У докторській дисертації «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» матеріали кандидатської дисертації «Оцінювання корозійно-водневої деградації сталей тривало експлуатованих магістральних газопроводів» Греділь Мирослави Іванівни не використовувались.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації

Представлені в дисертації Греділь М. І. наукові положення, висновки та рекомендації є експериментально і теоретично обґрунтованими, достовірними та апробованими. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено застосуванням сучасних методів експериментальних досліджень, необхідною точністю вимірювань, статистичним обробленням отриманих експериментальних даних, ілюстративним супроводом представлених результатів досліджень, їх достатньою відтворюваністю, узгодженістю отриманих експериментальних результатів з описаними у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі.

7. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає у встановленні якісно нових закономірностей впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей та визначається такими положеннями:

1. Уперше встановлено вплив газоподібного водню на взаємодію трубних сталей з корозивно-наводнювальними середовищами, який проявляється у зміщенні рівноваги реакції $H_{адс} + H_{адс} \leftrightarrow H_2$ у бік адсорбованого водню, що, в свою чергу, посилює абсорбування водню металом за реакцією $H_{адс} \leftrightarrow H_{абс}$, внаслідок чого знижується корозійна тривкість сталей та зростає їх схильність до водневого розтріскування;

2. Уперше розкрито воднево-деформаційний механізм та стадійність розвитку пошкодженості в низькоміцних трубних сталях, що полягає у послабленні воднем адгезії неметалевих включень із матрицею з їх подальшим відшаруванням та деформаційним ростом і злиттям утворених порожнин внаслідок підвищення тиску молізованого у них водню, та спричиняє окрихчення сталей і підвищення їх чутливості до дії водню;

3. Уперше виявлено анізотропію корозійної тривкості зміцнених арматурних прутків (вищий в 1,7 рази поляризаційний опір бокової поверхні порівняно з перерізом у 3% розчині NaCl), яка пов'язана з різним структурно-напруженим станом прутків у поздовжньому і поперечному напрямі, сформованим під час їх зміцнення холодним волочінням.

4. Уперше встановлено механізм корозійно-механічного руйнування гладких перлітних прутків на різних стадіях семиетапного холодного волочіння за впливу корозивно-наводнювального середовища, який на перших етапах полягає у зародженні тріщини від бокової поверхні під дією водню та її просування вглиб зразка, а після 3-го етапу – одночасному формуванню осередку руйнування у центрі перерізу прутка з подальшим злиттям двох осередків;

5. Уперше обґрунтовано доцільність використання таніну як основи технологічного середовища для зупинки росту втомної тріщини в конструкційних сталях у широкому діапазоні розмахів коефіцієнта інтенсивності напружень. Механізм дії таніну пов'язаний із його хімічною взаємодією зі свіжоутвореною поверхнею тріщини, що виникає внаслідок тертя її берегів, та накопиченням твердих продуктів реакції в порожнині тріщини, та призводить до її штучного закриття і припинення подальшого розвитку.

6. Розширено наукові уявлення про механізми та закономірності корозійно-водневого руйнування трубних сталей в умовах, наближених до експлуатаційних для надземних ділянок трубопроводів. Отримані результати дозволили оцінити схильність сталей до водневої крихкості під час тривалої експозиції у газоподібному водні за наявності навантаження та коливань температури, характерних для природно-кліматичних умов експлуатації.

8. Практичне значення одержаних результатів

1. Удосконалено метод пришвидшеної деградації сталей з урахуванням розвитку в них корозійно-водневої пошкодженості, яку використано ВП «Галремергерго» АТ «ДТЕК Західенергерго» для прогнозування фактичного технічного стану сталей різних тривало експлуатованих об'єктів енергетики та обґрунтування висновків про можливість продовження їх подальшої експлуатації.

2. Для низькоміцних вальцьованих сталей систематизовано умови випробувань, які в комплексі підвищують чутливість оцінювання опору водневій крихкості та полягають у попередньому електролітичному наводнюванні за обґрунтованим режимом та використанні тонких (≈ 1 мм) пластинчастих зразків на розтяг, вирізаних у поперечному до вальцювання напрямі.

3. Розроблено напівнатурну методику оцінювання водневої крихкості сталей тонкостінних труб в умовах, близьких до експлуатаційних, яка уможливорює прогнозування їх окрихчення внаслідок тривалої експлуатації у водневовмісному середовищі. Вивчення методики включено в навчальну програму підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 185 – «Нафтогазова інженерія та технології» в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу МОН України.

4. Розроблено та обґрунтовано методологію досліджень впливу газоподібного водню на інтенсивність електрохімічних процесів на трубних сталях, яка відтворює експлуатаційні умови взаємодії конденсованої вологи з металом внутрішньої поверхні газопроводу в умовах транспортування водню та дозволяє оцінити зміну його корозійної тривкості та наводнювання за сумісного впливу газоподібного та електрохімічно генерованого водню.

5. Розроблено методику оцінювання адгезивної міцності армованого бетону за впливу корозивно-наводнювальних середовищ, що дало можливість спростити та пришвидшити її визначення у залізобетонних конструкціях.

6. Запропоновано новий спосіб зупинки росту корозійно-втомних тріщин в конструкційних сталях, який використано у ТОВ «Порттехексперт» для подовження стадії росту тріщини у сталях конструкційних елементів портових кранів і, відповідно, терміну їх безаварійної експлуатації.

7. Результати досліджень впливу експлуатаційної деградації на циклічну тріщиностійкість трубних сталей покладено в основу методики комплексного діагностування стану матеріалу і залишкового ресурсу магістральних газопроводів, яку впроваджено в УМГ «Львівтрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз».

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях

Дисертація М. І. Греділь містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, які відповідають постанові Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», що затверджує «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

Основні положення й наукові результати дисертації повністю викладено у 41 науковій праці. Серед них 29 статей у наукових журналах (з них 21 стаття входить до наукометричної бази даних Scopus та/або Web of Science), 9 публікацій у матеріалах конференцій, 3 патенти України на корисну модель. Опубліковано у журналах квартилів Q1 – 1, Q2 – 4 та Q3 – 7 наукових праць. Індекс Гірша автора (*h-index*) становить 15.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та які відносять до наукових вітчизняних та закордонних видань

Статті у періодичних виданнях, проіндексовані у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science:

1. Khaburskyi Y., Slobodyan Z., Hredil M., Nykyforchyn H. Effective method for fatigue crack arrest in structural steels based on artificial creation of crack closure effect. *International Journal of Fatigue*. 2019. Vol. 127. P. 217–221. (**Scopus та Web of Science; Q1**) <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.06.001>

Особистий внесок здобувача: аналіз впливу концентрації таніну в технологічному середовищі на сповільнення росту втомних тріщин в сталі.

2. Nykyforchyn H., Unigovskyi L., Zvirko O., Hredil M., Krechkovska H., Tsyurulnyk O., Student O. Methodology of hydrogen embrittlement study of long-term operated natural gas distribution pipeline steels caused by hydrogen transport. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2022. Vol. 59. P. 396–404. (**Scopus та Web of Science; Q2**) <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.59.26>

Особистий внесок здобувача: систематизація чинників, що забезпечують підвищену чутливість оцінювання водневого окрихчення експлуатованої сталі.

3. Nykyforchyn H., Zvirko O., Dzioba I., Krechkovska H., Hredil M., Tsyurulnyk O., Student O., Lipiec S., Pala R. Assessment of operational degradation of pipeline steels. *Materials*. 2021. Vol. 14. Article No. 3247. (**Scopus та Web of Science; Q2**) <https://doi.org/10.3390/ma14123247>

Особистий внесок здобувача: встановлення відмінностей в чутливості до водневого окрихчення зразків експлуатованих трубних сталей залежно від напрямку їх вирізання.

4. Hredil M. I. Loss of cohesion between concrete and steel reinforcement under the influence of corrosive-hydrogenating media. *Materials Science*. 2022. Vol. 57, No. 4. P. 459–465. (**Scopus та Web of Science; Q2**) <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00566-1>

5. Hredil M. I., Zvirko O. I., Tsyurulnyk O. T., Nykyforchyn H. M. Development of the laboratory method of degradation of steels for the evaluation of their resistance to corrosion cracking. *Materials Science*. 2022. Vol. 57, No. 6. P. 840–845. (**Scopus та Web of Science; Q2**) <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00616-8>

Особистий внесок здобувача: розвиток розробленого методу пришвидшеної деградації сталей для оцінки їх схильності до корозійного розтріскування.

6. Hredil M. I. Express method for the evaluation of the effect of corrosion of reinforcement on the integrity of reinforced concrete. *Materials Science*. 2013.

Vol. 49, No. 3. P. 394–397. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-013-9628-9>

7. Hredil M.I., Toribio J. Corrosion resistance of prestressing steel wires. *Materials Science*. 2015. Vol. 50. P.665–670. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-015-9769-0>

Особистий внесок здобувача: аналіз EX поведінки арматурної сталі у модельному розчині порової рідини бетону.

8. Hredil M. I., Toribio J. Susceptibility of prestressing steel wires to hydrogen-assisted cracking in alkaline media simulating concrete pore solutions. *Materials Science*. 2017. Vol. 52, No. 5. P. 669–674. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-017-0007-9>

Особистий внесок здобувача: досліджено схильність арматурної сталі до водневого окрихчення у модельному розчині порової рідини бетону.

9. Hredil M. I., Toribio J., Nykyforchyn H. M. Analysis of the plasticity characteristics of progressively drawn pearlitic steel wires. *Materials Science*. 2016. Vol. 51, No. 4. P. 514–519. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-016-9870-z>

Особистий внесок здобувача: отримано та проаналізовано істинні діаграми розтягу зразків перлітної сталі в корозивно-наводнювальному середовищі.

10. Hredil M. I., Kryzhanivskyi Ye. I., Demianchuk D. O., Shtoiko I. P., Bartoshevskyi D. P. Mechanochemical method of fatigue crack growth arrest in metals by its artificial closure. *Materials Science*. 2024. Vol. 60, No. 2. P. 176–182. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-025-00869-z>

Особистий внесок здобувача: встановлено механізм формування закриття тріщини в сталі за дії таніну.

11. Zvirko O. I., Hredil M. I., Tsyurulnyk O. T., Student, O. Z., Nykyforchyn H. M. Mechanism of development of damage of low-strength pipe steel due to hydrogenation under operation. *Materials Science*. 2023. Vol. 59, No. 3. P. 306–312. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-024-00778-7>

Особистий внесок здобувача: обґрунтування механізму розвитку пошкоджень у низькоміцній сталі під впливом водню.

12. Zvirko O. I., Hredil M. I., Tsyurulnyk O. T., Venhryniuk O. I., Nykyforchyn H. M. Method of assessing the influence of gaseous hydrogen on corrosion and hydrogenation of steels. *Materials Science*. 2024. Vol. 59, No. 5. P. 524–531. (*Scopus ma Web of Science; Q3*)
<https://doi.org/10.1007/s11003-024-00807-5>

Особистий внесок здобувача: розроблення методики дослідження впливу газоподібного водню на EX поведінку трубної сталі.

13. Hredil M. Peculiarities of bond strength degradation in reinforced concrete induced by accelerated electrochemical methods. *Procedia Structural Integrity*. 2018. Vol. 13. P. 1657–1662. (*Scopus ma Web of Science*)
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.347>

14. Hredil M., Krechkovska H., Student O., Tsyurulnyk O. Brittle fracture manifestation in gas pipeline steels after long-term operation. *Procedia Structural*

- Integrity*. 2020. Vol. 28. P. 1204–1211. (**Scopus ma Web of Science**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.11.102>
Особистий внесок здобувача: оцінка опору крихкому руйнуванню трубопровідних сталей різної міцності за ударною в'язкістю.
15. Hredil M., Krechkovska H., Student O., Kurnat I. Fractographic features of long term operated gas pipeline steels fracture under impact loading. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 21. P. 166–172. (**Scopus ma Web of Science**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.098>
Особистий внесок здобувача: встановлення закономірностей зниження опору крихкому руйнуванню сталі впродовж тривалої експлуатації.
16. Hredil M., Krechkovska H., Tsyurulnyk O., Student O. Fatigue crack growth in operated gas pipeline steels. *Procedia Structural Integrity*. 2020. Vol. 26. P. 409–416. (**Scopus ma Web of Science**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.06.052>
Особистий внесок здобувача: встановлення впливу експлуатаційної деградації на втомні характеристики трубних сталей.
17. Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Zvirko O., Hredil M. Role of hydrogen in operational degradation of pipeline steel. *Procedia Structural Integrity*. 2020. Vol. 28. P. 896–902. (**Scopus ma Web of Science**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.11.060>
Особистий внесок здобувача: проаналізовано роль водню в експлуатаційній деградації трубних сталей та виявлено їх схильність до водневого розтріскування.
18. Shtoyko I., Toribio J., Kharin V., Hredil M. Prediction of the residual lifetime of gas pipelines considering the effect of soil corrosion and material degradation. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 16. P. 148–152. (**Scopus ma Web of Science**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.07.034>
Особистий внесок здобувача: встановлено вплив корозивного середовища на швидкість росту втомної тріщини у трубній сталі.
19. Hredil M., Tsyurulnyk O., Shtoyko I., Zvirko O. Influence of gaseous hydrogen on corrosion of pipeline steel. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 151–157. (**Scopus**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.023>
Особистий внесок здобувача: Аналіз EX рівноваг на сталі під час її корозії в модельному розчині конденсату за наявності газоподібного водню.
20. Nykyforchyn H., Unigovskyi L., Zvirko O. Hredil M., Krechkovska H., Student O., Tsyurulnyk O. Susceptibility of carbon pipeline steels operated in natural gas distribution network to hydrogen-induced cracking. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 306–312. (**Scopus**) <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.039>
Особистий внесок здобувача: оцінка схильності сталі експлуатованої тонкостінної труби до водневого окрихчення.
21. Krechkovska H., Hredil M., Student O. Structural and fractographic features of gas pipeline steel degradation. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, Cham. 2021. Vol. 102. P. 45–59. (**Scopus**) https://doi.org/10.1007/978-3-030-58073-5_4
Особистий внесок здобувача: аналіз ролі водню в експлуатаційній деградації трубних сталей.

Статті у вітчизняних та зарубіжних фахових виданнях:

22. Hredil M. I., Tsyurulnyk O. T., Nykyforchyn H. M. Regularities of pipeline steels in-service corrosion-hydrogen degradation and its modelling. *Machines, Technologies, Materials*. 2013. Iss. 10. P. 35–37.

Особистий внесок здобувача: розроблення методу пришивидшеної деградації трубних сталей.

23. Hredil M., Ayaso J., Toribio J. Anisotropía de la fragilización por hidrógeno en alambres lisos de acero perlítico fuertemente trefilado. *Anales de mecánica de la fractura*. 2020. Vol. 37. P. 265–270. ISSN 0213-3725

Особистий внесок здобувача: виявлення анізотропії характеристик зміцнених арматурних прутків за впливу корозивно-наводнювальних середовищ.

24. Shtoyko I., Toribio J., Kharin V., Hredil M. Predicción de la vida residual en tuberías de gas considerando el efecto de la corrosión debido al terreno y la degradación del material. *Revista española de mecánica de la fractura*. 2021. Vol. 2. P. 97–100. ISSN-e 2792-4246 <https://gef.es/wp-content/uploads/2024/02/revista-espanola-mecanica-fractura-vol2-julio2021.pdf>

Особистий внесок здобувача: встановлено вплив корозивного середовища на швидкість росту втомної тріщини у трубній сталі.

25. Звірко О. І., Крижанівський Є. І., Греділь М. І., Никифорчин Г. М., Цирульник О. Т. Схильність до крихкого руйнування зварного з'єднання експлуатованого розподільного газопроводу. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2025. № 1. С. 60–65.

Особистий внесок здобувача: порівняння металу різних ділянок газорозподільного трубопроводу за їх опором крихкому руйнуванню.

26. Еволюція структури та механічних характеристик прутків арматурної сталі внаслідок холодного волочіння. *Наукові нотатки*. 2015. Вип. 50. С. 35–38. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2015_50_8

27. Греділь М. І. Особливості руйнування попередньо напруженої арматури за наводнювання у модельному робочому середовищі. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2015. № 4. С. 81–87. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/5947/2/DMDP_2015_M_I_Hredil-Osoblyvosti_ruinuvannia_23-26.pdf

28. Hredil M. I., Toribio J. Susceptibility of prestressing steel wires to hydrogen assisted cracking in a model working medium. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2016. Спецвип. № 11. С. 67–70.

Особистий внесок здобувача: аналіз схильності арматурної сталі до ВО у робочому середовищі залізобетону за катодного захисту.

29. Волошин В. А., Греділь М. І., Цирульник О. Т., Сидор П. Я. Оцінка схильності конструкційних сталей до експлуатаційної деградації. *Наукові нотатки*. 2013. Вип. 42. С. 21–26. https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/issue/view/58/64

Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність застосування ПЕН для моделювання експлуатаційної деградації трубних сталей.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

30. Hredil M. Peculiarities of bond strength degradation in reinforced concrete induced by accelerated electrochemical methods // *Loading and Environment Effects on Structural Integrity: Book of Abstracts. 22nd European Conference on Fracture – ECF22, Belgrade, 26–31 August, 2018. – 1st ed. – Belgrade: DIVK, 2018. – P. 456.*

31. Греділь М. І., Цирульник О. Т. Особливості корозійно-механічного руйнування тривало експлуатованих трубопровідних сталей у модельному ґрунтовому розчині. *Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування: V міжнар. наук.-техн. конф. 19–22 вересня 2017 р., Тернопіль, Україна. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 23–25.*

Особистий внесок здобувача: встановлення впливу експлуатаційної деградації на корозійно-механічну поведінку трубної сталі.

32. Hredil M., Krechkovska H., Student O., Kurnat I. Fractographic features of long term operated gas pipeline steels fracture under impact loading. *Proc. of the 1st International Workshop on Plasticity, Damage and Fracture of Engineering Materials, Ankara, Turkey, 22–23 August 2019. P. 25.*

Особистий внесок здобувача: встановлення закономірностей зниження опору крихкому руйнуванню сталі впродовж тривалої експлуатації.

33. Никифорчин Г., Звірко О., Греділь М. Проблеми досліджень роботоздатності існуючої мережі газопроводів для транспортування газо-водневої суміші. *Матеріали 15-го Міжнар. симпозіуму укр. інженерів-механіків у Львові (МСУІМЛ – 15), 20–21 травня 2021 р. С. 15–17.*

Особистий внесок здобувача: аналіз стану проблеми транспортування газо-водневої суміші існуючими газопроводами.

34. Звірко О. І., Греділь М. І., Никифорчин Г. М., Студент О. З., Цирульник О. Т., Кречковська Г. В. Вплив водню на розвиток експлуатаційної пошкодженості трубопровідної сталі. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023: III Міжнародна науково-технічна конференція, 01–03 червня 2023 р., м. Вінниця, Україна.*

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2023/paper/viewFile/18093/14937>

Особистий внесок здобувача: встановлено механізм формування воднем ініційованої пошкодженості в низькоміцній трубній сталі.

35. Lesiuk G., Nykyforchyn H., Zvirko O., Hredil M., Olaleye K., Grabiszewski K. Effect of the special technological environment on fatigue crack growth in ferrite pearlite steels. *Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials (Corrosion-2022): XVI International Conference, November 15–17, 2022, Lviv, Ukraine: Book of Abstracts. P. 24.*

Особистий внесок здобувача: обґрунтування застосування спеціального технологічного середовища для сповільнення росту втомної тріщини.

36. Hredil M., Toribio J., Kurnat I., Shtoyko I. Electrochemical methods for simulating bond strength degradation in reinforced concrete. *Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials (Corrosion-2022): XVI International Conference, November 15–17, 2022, Lviv, Ukraine: Book of Abstracts. P. 86.*

Особистий внесок здобувача: аналіз впливів катодної та анодної поляризації арматури в залізобетоні на міцність зв'язку арматури з бетоном.

37. Никифорчин Г., Уніговський Л., Звірко О., Греділь М., Кречковська Г., Цирульник О., Студент О. Методологія досліджень впливу транспортування водню газорозподільною мережею на цілісність труб. *Нафтогазова галузь України*. 2022, №1. С. 22–27. <https://www.naftogaz.com/short/8b5438e6>

Особистий внесок здобувача: обґрунтовано методологію оцінювання опору сталей до водневого окрихчення.

38. Никифорчин Г., Звірко О., Кречковська Г., Греділь М. Методологія досліджень корозійно-водневої деградації конструкційних сталей тривалої експлуатації. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Матеріалознавство і механіка матеріалів*. 2023. Том XXI. С. 135–157.

Особистий внесок здобувача: систематизовано чинники підвищення чутливості при оцінюванні схильності сталі до водневого окрихчення.

Патенти:

39. Греділь М. І., Никифорчин Г. М., Цирульник О. Т., Штойко І. П., Звірко О. І. Спосіб визначення опору металевих конструкційних матеріалів водневому окрихченню: патент на корисну модель № 127310 Україна. Заявл. 23.02.2018 р. Опубл. 25.07.2018 р. Бюл. № 14. 4 с.

Особистий внесок здобувача: експериментальна оцінка водневого окрихчення сталі в корозивно-наводнювальному середовищі за втомними характеристиками.

40. Звірко О. І., Греділь М. І., Соловей П. Р., Венгринюк О. І., Цирульник О. Т. Електрохімічний спосіб дослідження впливу газоподібного водню на електродні реакції та наводнювання сталі у водному середовищі: патент на корисну модель № 153951 Україна. Заявл. 26.04.2023 р. Опубл. 20.09.2023 р. Бюл. № 38. 4 с.

Особистий внесок здобувача: розроблення методики дослідження впливу газоподібного водню на корозійну тривкість сталі.

41. Никифорчин Г. М., Цирульник О. Т., Волошин В. А., Звірко О. І., Греділь М. І. Спосіб моделювання експлуатаційної деградації конструкційних сталей магістральних трубопроводів: деклараційний патент на корисну модель № 85446 Україна. Заявл. 28.03.2013 р. Опубл. 25.11.2013 р. Бюл. № 22. 3 с.

Особистий внесок здобувача: розроблення методу моделювання експлуатаційної деградації трубних сталей.

10. Впровадження результатів наукових досліджень

Розроблені у роботі методики використано ВП «Галремергерго» АТ «ДТЕК Західенерго» для прогнозування фактичного технічного стану сталей, ТОВ «Порттехексперт» для подовження стадії росту тріщини у конструкційних елементах портових кранів, УМГ «Львівтрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз» для комплексного діагностування стану матеріалу і визначення залишкового ресурсу магістральних газопроводів, а також включені в навчальну програму підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 185

– «Нафтогазова інженерія та технології» в Івано-Франківському національному університеті нафти і газу МОН України.

11. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та одержали підтримку на авторитетних міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференціях, семінарах, симпозиумах, конгресах: XIII, XVI Міжнародних конференціях “Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів” (Львів, 2016 р., 2022 р.); II, IV, V, VII Міжнародних науково-технічних конференціях “Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування” (Тернопіль, 2011 р., 2015 р., 2017 р., 2023 р.); II Всеукраїнській конференції молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» СММТ–2011 (Київ, 2011 р.); X Anniversary International Congress “Machines, Technologies, Materials” (Варна, Болгарія, 2013 р.); 22th and 24th European Conference on Fracture ECF22 and ECF24 (Белград, Сербія, 2018 р.; Загреб, Хорватія, 2024 р.); IV та V Міжнародній науково-практичній конференції “Теоретичні та експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства і машинобудування” (Луцьк–Світязь, 2013 р., 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Реологічні моделі і процеси деформування структурно-неоднорідних матеріалів» (Луцьк–Світязь, 2016 р.); 1st International Workshop on Plasticity, Damage and Fracture of Engineering Materials IWPDF 2019 (Анкара, Туреччина, 2019 р.); 6th International Conference “Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity” (Львів, 2019 р.); 1st Virtual European Conference on Fracture VECF1 (онлайн, 2020 р.); 1st and 2nd Mediterranean Conference on Fracture and Structural Integrity (Афіни, Греція, 2020 р., онлайн, 2022 р.); NATO Workshop “Development of novel methods for the prevention of pipeline failures with security implications” (Львів, 2020 р.); 15-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (2021 р.); 1st Virtual International Conference “In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction” (онлайн, 2021 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту” (онлайн, 2023 р.), German-Ukrainian Research Seminar “Hydrogen Influence on Metals” (онлайн, 2025 р.).

12. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) викладена послідовно, технічно грамотно, кваліфіковано та доступно для сприйняття. Матеріали логічно систематизовані та оформлені відповідно до вимог. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

13. Відповідність принципам академічної доброчесності

Перевірка дисертації М. І. Греділь на академічний плагіат показала відповідність її електронного та паперового варіантів. За результатами перевірки дисертації М. І. Греділь академічного плагіату не виявлено.

14. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту

Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії, зокрема напрямкам досліджень: «Дослідження корозійної стійкості матеріалів у промислових та природних умовах у різних агресивних середовищах залежно від температури, складу і режиму» та «Дослідження корозійно-механічної стійкості матеріалів: корозійна втома, корозійне розтріскування і фретінг-корозія в широкому діапазоні механічних навантажень та агресивних середовищ. Вивчення механізму корозійно-механічного руйнування конструкційних матеріалів».

15. Характеристика здобувача, ступінь наукової зрілості

Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують М. І. Греділь як кваліфікованого науковця, фахівця в галузі хімічного опору матеріалів та експериментатора-дослідника. Здобувач професійно володіє методологією наукових досліджень. Логічне мислення, вміння ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти основні та вторинні аспекти досліджень свідчить про те, що М. І. Греділь є сформованим науковцем з достатньо високим теоретичним та практичним рівнем підготовки.

ВИСНОВОК

Дисертація Греділь Мирослави Іванівни «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» є завершеною науковою працею, у якій вирішено важливу науково-технічну проблему – встановлено закономірності розвитку пошкодженості вуглецевих та низьколегованих сталей за дії корозійного та водневого чинників та розроблено методи її оцінювання, прогнозування та підвищення опору руйнуванню.

У 41 наукових публікаціях достатньо повно відображені результати дисертації. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України 14 вересня 2011 року № 1057), та вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

З урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни, теоретичного та практичного значення одержаних результатів, їх важливості

для практики, висновків, особистого внеску здобувача у розв'язанні важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти поданих матеріалів дисертації з послідовним їх викладом і відповідністю принципам академічної доброчесності, а також приймаючи до уваги наукову зрілість та професійні якості Греділь Мирослави Іванівни, рекомендувати дисертацію «Науково-методологічні засади оцінювання впливу корозійно-водневих чинників на експлуатаційну пошкодженість вуглецевих та низьколегованих сталей» для подання на розгляд спеціалізованій вченій раді щодо прийняття її до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

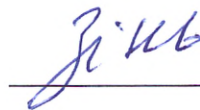
Рецензенти:

завідувач відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник



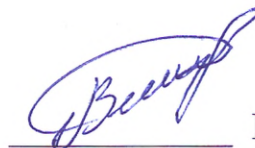
Сергій КОРНІЙ

провідний науковий співробітник відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, професор



Іван ЗІНЬ

старший науковий співробітник відділу корозії та протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник



Василь ВІНАР

Отримано
14.08.25
