

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Сов'як Іванни Миколаївни
на тему **«Розрахунково-експериментальна модель прогнозування впливу
концентрації водню у металі на довговічність трубопроводів із
тріщиноподібними дефектами»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 11 «Математика та статистика»
за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

За результатами вивчення дисертаційної роботи Сов'як Іванни Миколаївни, поданої у вигляді спеціально підготовленого рукопису, та аналізу наукових публікацій здобувачки за темою дисертації слід зазначити таке.

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 161 сторінку, основний текст викладено на 119 сторінках. Список використаних джерел налічує 135 найменувань. Робота містить 33 рисунки та 6 таблиць. Її структура відповідає поставленій меті та забезпечує послідовний і логічний виклад отриманих результатів.

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науковими програмами, планами, темами і договорами

Розвиток водневої енергетики та використання водню як енергоносія актуалізують питання надійності трубопровідних систем для транспортування водню та водневовмісних середовищ. У процесі виготовлення та тривалої експлуатації в металі труб можуть формуватися і розвиватися тріщиноподібні дефекти. Сумісний вплив циклічного навантаження, локального напружено-деформованого стану та водню, абсорбованого металом, може спричинити

суттєве пришвидшення росту втомних тріщин і зменшити залишкову довговічність трубопроводів.

З огляду на це, важливим є встановлення кількісних залежностей між концентрацією водню в трубній сталі та її характеристиками циклічної тріщиностійкості, геометрією дефекту, внутрішнім тиском у трубопроводі і періодом росту тріщини до критичного розміру. Запропоноване в дисертації поєднання експериментальних даних, фрактографічного аналізу, математичного опису дифузії та пасткування водню, скінченно-елементного визначення локального напружено-деформованого стану й аналітичного прогнозування росту втомної тріщини відповідає сучасним завданням оцінювання ресурсу відповідальних елементів трубопровідної інфраструктури.

Отже, тема дисертаційної роботи Сов'як І. М. є актуальною, своєчасною та має вагоме наукове і практичне значення для прогнозування довговічності трубопроводів, що працюють у контакті з воднем і водневовмісними середовищами.

Дослідження виконано відповідно до наукових напрямів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України в межах відомчих науково-дослідних робіт, зокрема теми НД Ш-10-24 «Розроблення методів оцінювання міцності та довговічності конструктивних елементів водневої енергетичної інфраструктури» (№ державної реєстрації 0124U000049, 2024–2026 рр.), а також у межах договору № 2032 від 15 грудня 2022 р. «Оцінювання впливу технологічної операції експандування під час виробництва зварних прямошовних труб великого діаметра на їх фізико-механічні та фізико-хімічні характеристики».

Відповідність отриманих результатів темі дисертації

Зміст дисертації, поставлена мета, сформульовані завдання та отримані результати відповідають її темі. У роботі послідовно розглянуто напружено-деформований стан трубопроводу з внутрішньою півеліптичною тріщиною, дифузію та пасткування водню в деформованому металі, залежність характеристик циклічної тріщиностійкості сталі від концентрації водню, а також проведено розрахунок залишкової довговічності дефектного трубопроводу.

Назва роботи коректно відображає її основний результат – побудову розрахунково-експериментальної моделі прогнозування впливу концентрації водню в металі на довговічність трубопроводу з тріщиноподібним дефектом. Об'єкт, предмет і методи дослідження узгоджуються з тематикою та спрямованістю спеціальності 113 «Прикладна математика».

Наукова новизна представлених теоретичних, розрахункових та експериментальних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку розрахунково-експериментального підходу до прогнозування залишкової довговічності трубопроводів із внутрішніми півеліптичними тріщинами з урахуванням концентрації водню в металі, внутрішнього тиску та геометрії дефекту.

Запропоновано математичну модель визначення просторового розподілу різних форм водню (дифузійно-рухомого, пасткованого та загального) в трубній сталі з урахуванням впливу гідростатичних напружень, еквівалентної пластичної деформації та пасткування водню за моделлю Оріані.

Розвинуто метод прогнозування залишкової втомної довговічності трубопровідних сталей за наводнювання шляхом урахування залежності параметрів тріщиностійкості від концентрації водню.

Виконаний параметричний аналіз спільного впливу внутрішнього тиску, форми тріщини та концентрації водню на кількість циклів до досягнення тріщиною критичного розміру свідчить про істотне зниження залишкової довговічності дефектного трубопроводу за дії водню навіть при порівняно низьких його концентраціях (<1 ppm).

Практичне значення отриманих результатів

Розвинута розрахунково-експериментальна модель дає змогу кількісно оцінювати залишкову втомну довговічність трубопроводу з внутрішнім тріщиноподібним дефектом з урахуванням внутрішнього тиску, геометрії тріщини, локального напружено-деформованого стану та концентрації водню в металі.

Встановлені залежності параметрів циклічної тріщиностійкості сталі 20 від концентрації водню можуть бути використані під час прогнозного оцінювання росту втомних тріщин у межах дослідженого діапазону цих параметрів, а також для аналізу небезпечності внутрішніх поверхневих дефектів і визначення допустимого періоду подальшої експлуатації елементів трубопроводів у водневовмісних середовищах.

Результати роботи використано у ТОВ «Науково-виробниче підприємство з іноземними інвестиціями «УКРТРУБОІЗОЛ» під час виконання прогнозних оцінок тривалої експлуатації трубопроводів у заданих умовах та формування технічних вимог до труб великого діаметра для магістральних газонафтопроводів і тепломереж.

Наукова обґрунтованість і достовірність результатів

Наукова обґрунтованість положень і висновків дисертації забезпечується комплексним застосуванням методів механіки деформівного твердого тіла, механіки руйнування, теорії дифузії та пасткування водню, методу скінченних елементів, регресійного аналізу та числового інтегрування рівняння росту втомної тріщини.

Експериментальна частина роботи включає аналіз характеристик циклічної тріщиностійкості сталі 20 за різних концентрацій водню та фрактографічному аналізі поверхонь втомного руйнування. Порівняння їх морфології у припороговій, середньоамплітудній і критичній областях діаграми росту втомної тріщини дало змогу обґрунтувати виявлені зміни параметрів циклічної тріщиностійкості.

Достовірність розрахункових результатів забезпечується застосуванням апробованих положень механіки руйнування, тривимірним скінченно-елементним моделюванням у пружно-пластичній постановці, використанням загальновизнаної моделі пасткування водню Оріані, зіставленням розрахованих закономірностей із очікуваними тенденціями та даними наукових публікацій. Для аналітичних апроксимацій параметрів циклічної тріщиностійкості наведено

коефіцієнти детермінації $R^2 > 0,97$ і середньоквадратичне відхилення, що не перевищує 5%.

Сформульовані загальні висновки відповідають поставленим завданням і відображають основні результати проведених досліджень. Достовірність отриманих кількісних оцінок забезпечується в межах досліджених характеристик сталі 20, розглянутих діапазонів концентрації водню, внутрішнього тиску та геометричних параметрів дефекту з урахуванням припущень, прийнятих у моделі щодо росту тріщини.

Науковий рівень публікацій та повнота висвітлення результатів дисертації

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць, з яких 4 статті – у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science, і 3 публікації – у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

Основні результати роботи достатньо повно висвітлено в опублікованих працях, тематика яких охоплює аналіз залишкової довговічності дефектних трубопроводів, оцінювання впливу концентрації водню та геометрії тріщини, аналітичне визначення концентрації водню в дефектному матеріалі, а також інші складові дисертаційного дослідження. Результати апробовано на міжнародних наукових конференціях і профільних семінарах Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Особистий внесок здобувачки

Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачкою особисто або за її безпосередньої участі. Сов'як І. М. проаналізувала сучасний стан проблеми впливу водню на довговічність трубопроводів із тріщиноподібними дефектами; побудувала та реалізувала розрахункову схему визначення напружено-деформованого стану трубопроводу з внутрішньою півеліптичною тріщиною; виконала моделювання розподілу дифузійно-рухомого, пасткованого

і загального водню; опрацювала результати досліджень циклічної тріщиностійкості та фрактографічного аналізу; побудувала залежності параметрів тріщиностійкості від концентрації водню; проаналізувала вплив внутрішнього тиску, форми тріщини та концентрації водню на залишкову довговічність трубопроводу.

У публікаціях, підготовлених у співавторстві, особистий внесок здобувачки конкретизовано. Він охоплює розрахункове моделювання, опрацювання та інтерпретацію результатів, побудову функціональних залежностей і формулювання висновків.

Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачкою методологією наукової діяльності

Поставлене наукове завдання виконано на належному рівні. Мети дисертаційної роботи досягнуто, а сформульовані завдання загалом виконано. Здобувачка продемонструвала володіння методами математичного та скінченно-елементного моделювання, механіки руйнування, теорії перенесення і пасткування водню, регресійного аналізу, числового інтегрування та опрацювання результатів експериментальних і фрактографічних досліджень.

Сов'яз І. М. проявила здатність формулювати прикладні наукові задачі, обґрунтовано обирати методи їх розв'язання, поєднувати розрахункові та експериментальні дані в єдиній моделі, виконувати параметричний аналіз і формулювати науково обґрунтовані висновки. Сукупність отриманих результатів свідчить про оволодіння нею методологією наукової діяльності та набуття компетентностей, необхідних для присудження ступеня доктора філософії.

Застосовані математичні моделі, числові методи, аналітичні апроксимації та алгоритм прогнозування залишкової довговічності відповідають предметній області спеціальності 113 «Прикладна математика».

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертація, у вигляді спеціально підготовленого рукопису, написана українською мовою, послідовно за формально-логічною структурою з дотриманням наукового стилю. Виклад матеріалу супроводжується достатньою кількістю рисунків, графіків і таблиць.

Дотримання академічної доброчесності

Аналіз тексту дисертації засвідчує, що здобувачка послідовно посилається на джерела під час викладення запозичених положень, методик і результатів інших авторів. Наукові результати, отримані у співавторстві або залучені з попередніх публікацій, ідентифіковано посиланнями та відомостями про особистий внесок здобувачки в кожній із публікацій.

Перевірку тексту дисертації здійснено системою StrikePlagiarism.com (звіт від 16.07.2026, ідентифікатор документа 334499255); встановлений коефіцієнт подібності становить 5,6%, коефіцієнт цитування – 0,32%, що відповідає нормі оригінальності наукового тексту. За сукупністю результатів аналізу тексту дисертації, перевірки коректності співавторства та даних автоматизованої перевірки на плагіат ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів не виявлено.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У розділі 4 використано методику та окремі експериментальні дані про циклічну тріщиностійкість сталі 20, наведені у працях [4, 5, 36, 37], причому табл. 4.3 безпосередньо містить дані з роботи [36]. Для однозначного визначення особистого внеску здобувачки доцільно було чіткіше розмежувати експерименти, виконані за її безпосередньої участі, та дані, залучені з раніше опублікованих праць інших авторів.

2. Експериментальна частина дослідження висвітлена недостатньо. Зокрема, варто було навести геометрію та орієнтацію зразків, режими циклічного навантаження, умови наводнювання, метод визначення концентрації водню. Це

полегшило б відтворення експериментів і оцінювання точності отриманих характеристик тріщиностійкості.

3. У табл. 4.1 і 4.2 наведено діапазони хімічного складу та нормативні механічні характеристики сталі 20 за літературним джерелом [5]. Для повнішої характеристики дослідженого матеріалу доцільно було подати фактичний хімічний склад і механічні властивості конкретної партії сталі, з якої виготовляли зразки.

4. Структура, наведена на рис. 4.1., не зовсім відповідає типовій ферито-перлітній сталі, а посилання на джерело відсутнє.

5. Аналітичні залежності $\Delta K_{th}(C_H)$, $\Delta K_{fc}(C_H)$, $A(C_H)$ і $n(C_H)$ побудовано за чотирма значеннями концентрації водню. Попри високі значення коефіцієнта детермінації, доцільно було навести довірчі інтервали параметрів апроксимації та перевірити отримані залежності за додаткових проміжних концентрацій водню. Це особливо важливо для області $C_H \approx 0,4\text{--}1,0$ ppm, у якій спостерігається найінтенсивніша зміна характеристик циклічної тріщиностійкості.

6. У розрахунку залишкової довговічності використано пороговий розмах коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK_{th} , встановлений експериментально, проте не вказано, за якого коефіцієнта асиметрії циклу R і за яких інших умов (частота навантаження, вид зразка) отримано це значення.

Наведені зауваження мають уточнювальний і рекомендаційний характер, не заперечують достовірності основних результатів, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи й не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Сов'як Іванни Миколаївни на тему «Розрахунково-експериментальна модель прогнозування впливу концентрації водню у металі на довговічність трубопроводів із тріщиноподібними дефектами» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані теоретичні, розрахункові та експериментальні результати, що в сукупності забезпечують розв'язання актуального наукового завдання – розроблення науково-

методичних основ оцінювання залишкової довговічності трубопроводу з внутрішньою півеліптичною тріщиною за дії водню з урахуванням напружено-деформованого стану, дифузії та пасткування водню, характеристик циклічної тріщиностійкості й закономірностей росту втомної тріщини.

До основних результатів роботи належать розроблена модель визначення розподілу дифузійно-рухомого, пасткованого та загального водню в деформованій трубній сталі; аналіз впливу концентрації водню в сталі 20 на параметри циклічної тріщиностійкості та їх аналітична апроксимація; розрахунково-експериментальна модель і результати параметричного аналізу залишкової довговічності трубопроводу з внутрішньою півеліптичною тріщиною.

Отримані результати відповідають темі дисертації, характеризуються належним рівнем наукової новизни, обґрунтованості та практичного значення. Мети роботи досягнуто, поставлені завдання виконано. Основні результати достатньо повно висвітлено в наукових публікаціях здобувачки, науковий рівень яких відповідає змісту проведеного дослідження. Практичне використання результатів підтверджено відповідними документами.

Здобувачка продемонструвала належний рівень виконання поставленого наукового завдання, володіння методологією наукової діяльності та здатність самостійно формулювати й розв'язувати комплексні прикладні задачі, поєднувати аналітичні, чисельні й експериментальні методи, аналізувати отримані результати та робити обґрунтовані висновки. Ознак порушення принципів академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових публікаціях здобувачки не виявлено.

Отже, за актуальністю теми, науковим рівнем дисертації та публікацій, новизною представлених теоретичних, розрахункових і експериментальних результатів, їх науковою обґрунтованістю та відповідністю темі дисертації, практичним значенням, повнотою висвітлення результатів у наукових публікаціях, рівнем виконання поставленого наукового завдання й оволодіння здобувачкою методологією наукової діяльності дисертаційна робота Сов'як Івanni Миколаївни відповідає спеціальності 113 «Прикладна математика» та

вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її авторка, Сов'як Іванна Миколаївна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Рецензент

старший науковий співробітник
відділу діагностики корозійно-водневої
деградації матеріалів
Фізико-механічного інституту
ім. Г. В. Карпенка НАН України,
доктор технічних наук, старший дослідник



Мирослава ГРЕДІЛЬ



Мирослава Греділь
ВІДЧУЮ
Головний секретар ФМІ НАН України
В.В.Корній