

**ВІДГУК  
офіційного опонента  
на дисертаційну роботу Волошина Віталія Андрійовича  
“Закономірності корозійно-механічного руйнування сталей  
трубопровідних систем за статичного, циклічного та  
кавітаційного навантажень”,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії**

**Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами.**

Територією України проходять численні трубопроводи. Переважна їх частка має тривалий час експлуатації. Дослідження корозійно-механічного руйнування трубних сталей має велике практичне значення. На цей час питанню зародження і розвитку корозійно-механічних пошкоджень приділяється достатньо велика увага. Але задача складна і не всі процеси можливо змоделювати в лабораторних умовах. Часто важко врахувати поведінку металу за одночасної дії кількох чинників, коли спрацьовує синергетичний ефект. Окрему проблему мають зварні шви і зона термічного впливу при експлуатації трубопровідних систем. Дуже часто саме вони є джерелами зародження структурних змін, а потім прогресуючої мікропошкоджуваності металу. На жаль, поки недостатньо досліджено схильність зварних з'єднань трубних сталей до деградації та корозійно-механічних руйнувань за час тривалої експлуатації. Відіграє роль і брак належної кількості зразків, що відпрацювали тривалий термін, і неможливість в окремих випадках виготовити зразки належного розміру і форми з деградованої в процесі експлуатації сталі.

Зрозуміло, що необхідно враховувати індивідуальність кожного корозійно-активного середовища з відповідним температурним полем і з статичними і циклічними навантаженнями. Також недостатньо досліджено вплив низки іонів, які інтенсивно забруднюють ґрунтові середовища, на цей процес, а також водню, який виділяється під час корозійної взаємодії сталей із водними середовищами і різко знижує їх опір корозійно-механічному руйнуванню на стадії росту тріщин.

Незважаючи на всі ці труднощі, важливість питання і об'єктивна необхідність розв'язання низки важливих практичних і наукових задач спонукає до проведення робіт у цьому напрямку.

Отже, дисертаційна робота Волошина В.А., яка полягає у пошуку закономірностей протікання корозійно-механічних руйнувань трубних сталей в умовах складного напруженого стану є, безперечно, актуальною.

Основні наукові результати дисертації використані при виконанні низки науково-дослідних робіт у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України.

**Загальна характеристика та зміст роботи.** Мета роботи у формулюванні автора полягає у встановленні електрохімічних особливостей та закономірностей корозійно-механічного руйнування сталей трубопровідних систем та зварних з'єднань залежно від хімічного складу водних середовищ і виду експлуатаційних навантажень. Поставлена мета досягається вирішенням наступних основних задач:

- дослідження впливу корозійного чинника на втомну витривалість сталі після попередньої кавітації та за сумісної дії циклічного і кавітаційного навантажень;
- виявлення можливості зменшення корозійного впливу за корозійно-кавітаційного руйнування сталі у водогінній воді інгібіторним захистом;
- уточнення механізму корозійно-механічного руйнування трубних сталей у водних середовищах, що моделюють ґрунтові;
- вивчення механізму впливу корозійно- та адсорбційно-активних аніонів на опір трубної сталі 17Г1С зародженню корозійно-втомної тріщини;
- визначення параметрів корозійно-циклічної тріщиностійкості трубної сталі 17Г1С залежно від складу водних середовищ за високої асиметрії циклу навантаження, що відповідає експлуатаційним умовам;
- оцінка впливу тривалої експлуатації магістральних газопроводів на корозійне та корозійно-механічне руйнування зварного з'єднання сталі 17Г1С.

Поставлені у роботі задачі були вирішенні, про що свідчать зміст роботи, автореферату, публікацій та результатів впровадження.

Виконана робота відповідає паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Дисертаційна робота В. А. Волошина містить: вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел (197 найменувань), 2 додатки. Загальний обсяг дисертації – 172 сторінки. Робота містить 58 рисунків та 14 таблиць.

У *вступі* висвітлено стан та обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету, об'єкт, предмет та методи дослідження, наведено інформацію про апробацію результатів, публікації та структуру дисертації. У *першому розділі* аналізом літературних джерел показані особливості та механізм корозійно-механічного руйнування конструкційних сталей та їх зварних з'єднань, що працюють в умовах складного напруженого стану з урахуванням впливу низки експлуатаційних чинників, в першу чергу агресивних середовищ. Сформульовано основні завдання дисертаційної роботи та визначено напрями їх вирішення. У *другому розділі* дано опис досліджуваних сталей, модельних корозійних середовищ, інгібіторів та описано методики експериментальних досліджень. В процесі роботи визначено механічні, корозійно-механічні та електрохімічні властивості сталей. Проведено порівняння властивостей основного металу, металу шва, та металу зони термічного впливу. В якості базового для порівняння вивчали

метал зі зварних з'єднань труб запасу, отриманого за технологією зварювання труб у польових монтажних умовах. **Третій розділ** присвячено аналізу впливу корозійного чинника на опір конструкційних сталей корозійно-кавітаційному та корозійно-втомному руйнуванню з урахуванням кавітації у водогінній воді та його зниження після застосування інгібіторів. Оцінювалась ступінь пошкодженості кавітованої поверхні як за корозійним руйнуванням, так і за утворенням поверхневих втомних тріщин. Досліджувались особливості протікання процесів на різних стадіях руйнування і відповідні механізми руйнування від стадії зародження до руйнування. Досліджено вплив інгібіторів і надані рекомендації щодо захисту сталі від ККР. У **четвертому розділі** наведено результати досліджень впливу складу водного середовища на опір корозії та корозійно-механічного руйнування низки трубних сталей. Спочатку оговорені методичні особливості визначення впливу середовища на пластичність трубних сталей за повільного активного деформування. В границях поставленої задачі установлено електрохімічні характеристики сталі 17Г1С у водних середовищах різного складу, оцінено вплив концентрації і природи низки аніонів на період зародження корозійно-втомної тріщини, досліджено вплив складу водного середовища на період зародження корозійно-втомної тріщини та характеристики відновлення рівноважного стану металу свіжодеформованої поверхні сталі 17Г1С, вивчено вплив асиметрії циклу навантаження та складу водного середовища на корозійно-циклічну тріщиностійкість трубної сталі. У **п'ятому розділі** проаналізовано вплив тривалої експлуатації на характеристики опору корозії та корозійно-механічне руйнування основного металу, зони зварювання і зони термічного впливу сталі 17Г1С. Було виявлено низку особливостей впливу тривалої експлуатації зони зварювання сталі 17Г1С на її корозійно-циклічну тріщиностійкість за різних значень асиметрії циклу. Установлено вплив на корозійно-циклічну тріщиностійкість зони зварювання сталі 17Г1С у розчині NS4 за сумісної дії низки чинників: тривалої експлуатації, асиметрії циклу навантаження та потенціалу катодного захисту. У **додатках** наведено документи по впровадженню результатів роботи та впровадження розроблених методик, а також перелік публікацій.

### **Наукова новизна отриманих в роботі результатів**

Грунтуючись на проведених експериментах і системному аналізі дисертантом були встановлені електрохімічні особливості та закономірності корозійно-механічного руйнування сталей трубопровідних систем та зварних з'єднань залежно від хімічного складу водних середовищ і виду експлуатаційних навантажень.

До основних наукових здобутків Волошина В. А., отриманих в результаті виконання роботи, можна віднести наступне.

Встановлено комбінацію чинників, а саме: тривалої експлуатації, асиметрії циклу навантаження, потенціалу катодного захисту, що найбільше впливають на корозійно-циклічну тріщиностійкість зони зварювання сталі

17Г1С у модельному середовищі для експлуатованих сталей і аналогічних сталей в стані поставки.

Удосконалено електрохімічний експрес-метод прогнозування корозійно-втомної витривалості ферито-перлітних трубних сталей у гідрокарбонатних середовищах залежно від їх складу на основі кореляційної залежності між опором зародження корозійно-втомної тріщини у сталі та кількістю електрики на окиснення її свіжодеформованої поверхні за потенціалу корозії.

Оцінено вплив кавітації за сумісної дії з циклічним навантаженням на характеристики корозійно-втомної витривалості сталі 35 і визначені граници змін корозійної втоми.

Установлено ефективність інгібіторного захисту сталі 30ХГСНА від корозійно-кавітаційного руйнування у водогінній воді йодидом триетиламонію і оцінено ступінь ефективності такого захисту залежно від інтенсивності кавітаційного навантаження.

Встановлено вплив на опір трубної сталі 17Г1С руйнуванню за постійної швидкості деформування  $10^{-7} \text{ с}^{-1}$  у модельних розчинах катодної поляризації і доведено, що він не залежить від інтенсивності виразкової корозії та зростає з поліпшенням бар'єрних властивостей продуктів корозії.

### **Практична цінність отриманих результатів**

Результатом виконаної роботи є впроваджена у виробництво методика діагностування стану сталей за їх опором втомному руйнуванню у ТОВ “Порттехексперт” (м. Одеса) для оцінювання експлуатаційної деградації сталей портових кранів, що зазнають сумісної дії циклічного навантаження за високої асиметрії та морської атмосфери. Методика оцінювання стану експлуатованих трубних сталей за їх опором корозійно-механічному руйнуванню використана в УМГ “Прикарпаттрансгаз” для створення бази даних характеристик експлуатованих сталей і визначення залишкового ресурсу ділянок трубопроводів та техніко-економічного обґрунтування їх реконструкції.

Запропоновано метод захисту сталей від корозійно-кавітаційного руйнування з використанням інгібітору за сумісної дії кавітації та циклічного навантаження.

Розроблено електрохімічний експрес-метод оцінювання корозійної агресивності складників водних середовищ за втомного руйнування трубних сталей за кількістю електрики, витраченої на електрохімічну релаксацію свіжодеформованої поверхні.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи Волошина В. А. забезпечується належним аналізом літературних джерел, що мають як наукове спрямування, так і присвячені питанням методики експерименту. Автор отримав великий за обсягом експериментальний матеріал, що був підданий відповідній обробці. Це

підтверджується також використанням адекватних методів і методик для вирішення поставлених завдань, а саме: гравіметричний метод визначення швидкості корозії та ефективності інгібіторного захисту сталі; електрохімічні методи дослідження характеру корозійного процесу та швидкості релаксації електрохімічних реакцій на свіжодеформованій поверхні; дослідження механізму захисної дії інгібіторів імпедансометричним методом; визначення опору корозійно-статичному та воднево-механічному руйнуванню за повільного розтягу гладких циліндричних зразків; визначення опору сталей виразковій корозії, кавітаційно-корозійного руйнування, втомному та корозійно-втомному росту тріщин; металографічні дослідження; методи математичної статистики.

Результати роботи добре узгоджуються з висновками інших дослідників та теоретичними основами деградації і корозії металів, що підтверджує їх правильне трактування. Основні положення та висновки дисертаційної роботи висвітлені в наукових публікаціях та представлені на авторитетних наукових семінарах і конференціях.

### **Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.**

Дисертація написана державною мовою, виклад матеріалу є логічним, послідовним від постановки задачі до отримання наукових результатів, стиль викладу науково грамотний, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії. Оформлення як дисертаційної роботи, так і автореферату відповідає вимогам МОН України, при цьому зміст автореферату повністю відповідає основним положенням та висновкам дисертаційної роботи.

**Повнота викладення здобувачем основних результатів.** Обсяг публікацій за матеріалами дисертації достатній. Він складає 11 праць, у тому числі 9 статей у наукових фахових виданнях. Серед них 5 статей у виданнях, що внесені до наукометричних баз Scopus та WoS, 2 – у матеріалах та тезах доповідей конференцій. Зміст дисертації достатньо повно відображеній в опублікованих роботах. Повнота викладення основних результатів дисертації відповідає чинним вимогам до публікації результатів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук та їх апробації. Зміст автореферату та основних положень дисертації є ідентичним.

### **Недоліки та зауваження до дисертації:**

1. Використання високоміцної вуглецевої сталі ШХ15 як аналога трубної сталі за корозійно-кавітаційної корозії, на мою думку, не зовсім переконливо доведено автором роботи. Аргументація щодо окрихчення трубної сталі справедлива, але недостатнє обґрунтування щодо конкретно

вибраної марки сталі в якості аналога.

2. На сторінці 72 автор стверджує, що ступінь пошкоджуваності треба оцінювати і за кількістю утворених втомних тріщин. Але час експозиції тривав лише 60 хвилин, тому втомні тріщини за цей час утворитися не могли. Отже термінологічно треба вести мову про іншу природу утворених тріщин, в тому числі у експлуатованих труб.

3. Автор стверджує (стор. 74), що внаслідок меншої твердості фериту відносно перліту, саме він буде джерелом зародження тріщини. При цьому є посилання на постулат спрямований на сталь як макрооб'єкт. Коли розглядати фазовий склад металу, то таке припущення треба ще довести, тому що часто початкові мікроструктурні попіддання локалізуються на границях фаз, які виступають спочатку джерелом зародження скучень дислокацій, а потім мікротріщин.

4. В розділі 4.4 автор цілком слушно посилається на те, що частота навантаження труб виника «внаслідок роботи перекачувальних станцій» без посилання на їх частотний робочий діапазон. Для випробувань на повітрі вибирається частота 5 Гц, в середовищі 0,3 Гц без належного обґрунтування саме цих величин.

5. Отримані у роботі результати (п. 4.4, стор. 112; пп. 5.3.4, стор. 142) демонструють, що використання високої асиметрії циклічного навантаження посилює негативний ефект корозивного середовища на корозійно-механічне руйнування сталей. Однак, експерименти за сумісної дії кавітаційного та циклічного навантаження проведено за нульової асиметрії циклу.

6. В тексті дисертації зустрічаються нечисленні стилістичні і мовні відхилення: «добавлянням» (стор. 93), замість додаванням; «по схемі» (стор. 99), замість за схемою; «низьколегованої» (стор. 104), замість щаднолегованої тощо.

Дані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних її результатів.

#### **Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:**

1. Дисертація Волошина Віталія Андрійовича “Закономірності корозійно-механічного руйнування сталей трубопровідних систем за статичного, циклічного та кавітаційного навантажень”, яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії, є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, науково обґрунтовані, результати та методики, які вирішують науково-технічне завдання встановлення закономірностей впливу хімічного складу водних середовищ та виду механічного навантаження на опір сталей трубопровідних систем та їх зварних з'єднань корозійно-механічному руйнуванню, розроблення методів прогнозування їх корозійно-втомної витривалості та інгібіторного захисту за кавітаційного впливу водних середовищ. Автореферат за своєю структурою і змістом відображає основні положення дисертації.

2. Робота відповідає вимогам паспорту вказаної спеціальності, а також чинним вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) від 24.07.2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р., № 943 від 20.11.2019 р. та № 607 від 15.07.2020), а її автор Волошин Віталій Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.14 – хімічний опір матеріалів та захист від корозії.

Офіційний опонент:

професор кафедри космічної інженерії  
Національного технічного університету  
України “Київський політехнічний інститут  
мені Ігоря Сікорського” МОН України,  
доктор технічних наук, професор

