

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу

ЧЕПІЛЬ Ольги Ярославівни “Методологія локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

Актуальність теми дисертації визначається необхідністю підвищення надійності та довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання, що експлуатуються в умовах підвищених температур та водневовмісних середовищ. З огляду на тенденції розвитку енергетики, зокрема впровадження водневих технологій, зростають вимоги до матеріалів, які використовуються в конструкціях, що піддаються агресивному впливу водню. Ці умови експлуатації можуть значно впливати на механічні властивості матеріалів, прискорювати їхнє старіння та призводити до передчасних руйнувань.

Сучасні методи оцінки довговічності конструкцій не завжди здатні адекватно врахувати всі фактори, що впливають на поведінку матеріалів у водневих середовищах, особливо коли мова йде про процеси повзучості під впливом високих температур. Це створює потребу в розробці нових підходів і методологій, що дозволять більш точно прогнозувати залишковий ресурс обладнання та запобігати можливим аваріям.

Дисертаційне дослідження, спрямоване на розробку методології оцінки впливу водню на довговічність матеріалів за умов повзучості, має велике практичне значення для енергетичної галузі. Впровадження таких методів дозволить підвищити безпеку та ефективність експлуатації енергетичних установок, а також зменшити ризики аварій і економічні втрати, пов'язані з виходом з ладу обладнання.

Таким чином, тема дисертації є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки вона вирішує важливу задачу підвищення

надійності та довговічності енергетичних систем в умовах сучасних викликів і вимог.

Наукова новизна дисертаційних досліджень.

1. Теоретична модель нагромадження пошкоджень: Вперше розроблено феноменологічну модель, що враховує вплив наводнювання та кінетику нагромадження мікропошкоджень, що дозволяє з високою точністю описати поведінку матеріалів під час пружно-пластичного деформування.
2. Комплексна методологія: Вперше запропоновано комплексну методологію, яка поєднує теоретичні та експериментальні підходи для визначення енергії деформування та руйнування конструкційних елементів за складних умов експлуатації.
3. Програми для розрахунків: Розроблено алгоритми та програми для розрахунку методом скінченних елементів напружено-деформованого стану та концентрації водню в елементах конструкцій, що дозволяє прогнозувати довговічність за різних режимів експлуатації.

Ці аспекти демонструють високий рівень наукової новизни та внесок у розвиток механіки деформівного твердого тіла, зокрема в контексті енергетичного підходу до оцінки довговічності матеріалів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, є високим, що забезпечено всебічним аналізом теоретичних і експериментальних досліджень, а також використанням сучасних наукових методів.

1. **Теоретичне обґрунтування:** Наукові положення ґрунтуються на комплексному теоретичному аналізі існуючих методів та моделей оцінки довговічності матеріалів у водневовмісних середовищах. У дисертації систематично розглянуто вплив водню на процеси повзучості, з використанням актуальних наукових джерел і сучасних теоретичних підходів, що додає науковій ваги отриманим результатам.
2. **Експериментальна перевірка:** Висновки і рекомендації, сформульовані в роботі, підкріплені результатами експериментальних досліджень, проведених з

урахуванням реальних умов експлуатації матеріалів. Використання нових методик, розроблених автором, дозволило отримати експериментальні дані, що підтверджують правильність теоретичних висновків і дають можливість розробити практичні рекомендації.

3. **Використання сучасних методів аналізу:** У роботі застосовано сучасні методи математичного моделювання, зокрема метод скінченних елементів, що дозволило точно змоделювати напружено-деформований стан конструкцій і вплив водню на процеси руйнування матеріалів. Це забезпечує високу достовірність отриманих результатів.
4. **Системність підходу:** Обґрунтованість наукових положень також забезпечується системним підходом до вирішення поставлених задач. Автор дисертації не лише запропонував нові моделі та методології, але й інтегрував їх у загальну концепцію прогнозування довговічності, що дозволяє комплексно оцінити надійність конструкцій.
5. **Апробація результатів:** Результати досліджень пройшли апробацію на наукових конференціях та в публікаціях у фахових журналах, що свідчить про їхню наукову і практичну цінність, а також про визнання науковою спільнотою.
6. **Відповідність науковим і практичним вимогам:** Рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають сучасним вимогам до прогнозування залишкової довговічності конструкцій, що працюють в умовах агресивних середовищ, і можуть бути використані у відповідних нормативних документах.

Таким чином, наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, мають високий ступінь обґрунтованості завдяки їх теоретичному і експериментальному підтвердженню, використанню сучасних методів дослідження та їх апробації в науковій спільноті.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертація Чепіль О.Я., яка складається із вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел та додатків є цілісною та завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримані нові важливі результати, що мають фундаментальне та прикладне значення.

У вступі показана актуальність роботи; дисертант посилається на відомих зарубіжних і вітчизняних вчених, які займалися проблемою, що досліджується

у роботі; визначено наукову новизну та практичну значущість роботи; показано апробацію роботи; наведено список публікацій дисертанта.

У *першому розділі* «Аналіз літературних даних по проблемі повзучості елементів конструкцій в умовах наводнювання» наведено огляд літературних джерел, який є підставою для вибору тематики досліджень. Він стосується аналізу досліджень щодо розвитку математичних моделей нагромадження пошкоджень за повзучості, механізмів впливу водню на повзучість, та способи їх врахування.

У *другому розділі* «Розроблення методики прогнозування довговічності елементів конструкцій в умовах повзучості і наводнювання металу» подано теоретичні основи роботи. За основу взято диференціальні рівняння теорії пружності та пластичності, а також рівняння Фіка для визначення розподілу концентрації водню. Відповідні задачі розв'язано за допомогою методу скінченних елементів і об'єднано в методику визначення енергії деформування. Представлено критерій руйнування на базі енергетичного підходу. Наведено алгоритми визначення залишкового ресурсу досліджуваних елементів конструкцій.

У *третьому розділі* «Апробація основних положень методики» використовуючи експериментальні дослідження та розв'язки класичних рівнянь повзучості наведені в літературі, представлено апробацію розробленої методології. Для проведення порівняння змодельовано зразок Бріджмана та тонкостінний зразок з боковим надрізом. Показано задовільну збіжність запропонованої методики, розв'язків класичних рівнянь та експериментальних даних. Встановлено що для використання методології запропонованої автором, потрібно експериментально визначати значно менше констант.

У *четвертому розділі* «Прогнозування довговічності прямолінійної ділянки ТОТ парогенератора, різні типи навантаження» наведено оцінку довговічності теплообмінних труб парогенераторів ПГВ – 1000, ПГВ – 4 та ПГВ – 1, які працюють в умовах високих температур та наводнювання.

Також визначено напружено-деформований стан ТОТ за трьох типів навантажень та порівняно з експериментальними даними. Показано вплив водневовмісного середовища та складних навантажень на довговічність ТОТ.

Встановлено що водень значно впливає на максимальні значення деформацій повзучості.

В *п'ятому розділі* «Оцінка довговічності попередньо деформованих ТОТ. Гини» представлено методику експериментального дослідження попередньо деформованих зразків та побудови діаграм деформування попередньо деформованих і наводнених зразків. Визначено вплив попереднього деформування та наводнювання на довговічність зразків. Використовуючи експериментально визначені діаграми деформування, проведено розрахунок напружено-деформованого стану гину теплообмінних труб парогенератора із урахуванням наводнювання стінки та попереднього деформування металу, за умов, що моделюють експлуатаційні.

В *шостому розділі* «Розрахунок ресурсу безпечної експлуатації теплоенергетичного обладнання за високотемпературної повзучості та дії водню» встановлено довговічність барабана парового котла ПГВ-1000 із врахуванням високотемпературної повзучості, водневовмісного середовища та різних режимів охолодження, за реальної геометрії та експлуатаційних навантажень. Встановлено, що вплив водню та режими охолодження значно впливають на термін експлуатації досліджуваного барабана

У *висновках* сформульовано основні результати проведених досліджень, а у *додатках* містяться свідоцтво про авторське право на розроблену програму, акти впровадження результатів роботи та список публікацій здобувача за темою дисертації.

Достовірність та наукова новизна наукових положень та висновків дисертації.

Дисертація побудована на основі узагальненої методології, яка базується на енергетичному підході для оцінки впливу наводнювання та повзучості на довговічність конструкційних елементів. Наукова достовірність підтверджується як експериментальними дослідженнями, так і числовим моделюванням. Основні положення апробовані на практиці та продемонстрували задовільну кореляцію з відомими експериментальними даними, що підтверджує їхню надійність і точність.

Апробація дисертації та повнота її викладу в опублікованих працях.

Основні результати роботи отримані автором самостійно та були представлені на наукових семінарах, вітчизняних та міжнародних конференціях з механіки деформівного твердого тіла. За темою дисертації опубліковано 32 наукові праці, з яких 21 стаття у фахових журналах. Шістнадцять статей прореферовані у міжнародних наукометричних базах Scopus і Web of Science, що свідчить про їхню високу якість та цитоване визнання в міжнародному науковому середовищі. Згідно з класифікацією SC Imago Journal and Country Rank, дві статті входять до квартилю Q2, тринадцять - до Q3.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі робиться наголос про врахування впливу наводнювання. Проте практично не описано, як визначається концентрація водню у металі.
2. В розділах 3 (стор. 162) та 5 (стор. 219) подано таблиці з константами, які входять у рівняння та критичні значення енергії деформування. Проте не сказано, як було визначено ці величини. Варто було б вказати, чи це власні дані чи літературні.
3. В дисертації не обґрунтовано, чому верифікація методології проводилася на зразках Бріджмана?
4. На сторінці 36. Кінцеві елементи чи скінченні елементи?
5. Сторінки 82 та 83 надписи на рисунках англійською мовою.
6. Зустрічаються описки, також в 3 розділі пропущений рисунок під номером 3.4

Наведені зауваження не применшують високий рівень дисертації, та не є принциповими щодо обґрунтованості і повноти її результатів і висновків

Загальні висновки. В цілому дисертаційна робота Чепіль О. Я. є завершеною науковою працею. У дисертації впроваджено та апробовано методологію оцінювання конструктивних елементів за високотемпературної повзучості та наводнювання.

Робота пропонує ефективний числовий інструментарій для вирішення складних задач, корисних для наукових досліджень та інженерної практики.

Текст дисертації та автореферату викладено на відповідному науковому та

літературному рівні й подано відповідно до вимог для дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Загальні висновки роботи повністю відображають досягнення її цілей.

Дисертаційна робота «Методологія локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання» за актуальністю, науковою новизною, обсягом, теоретичним значенням та прикладною цінністю отриманих результатів, повнотою їх викладу в журнальних публікаціях та апробацією цілком відповідає вимогам п.п. 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р., № 567 (зі змінами і доповненнями) до докторських дисертацій, а її авторка – Чепіль Ольга Ярославівна - заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри будівельної механіки
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Підпис: *Володимир Ясній*
засвідчують:
Начальник відділу: *В. А. Жуков*

Отримано
11.09.24 *Т.І.*

Я
Володимир ЯСНІЙ