

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. Елементи енергетичного обладнання, які є складовими частинами відповідальних технічних об'єктів, піддаються впливу термомеханічного навантаження та агресивних середовищ. На даний час існує значна кількість енергетичних об'єктів, час експлуатації яких наближається до проектного ресурсу або перевищує його. У зв'язку з цим досить важливою проблемою є оцінка показників надійності і прогнозування залишкового ресурсу. Існуючі на сьогодні нормативні документи для розрахунку міцності та роботоздатності елементів енергетичного обладнання або орієнтовані на детермінований підхід, або наближено враховують випадковий характер параметрів навантаження та водневовмісного середовища введенням відповідних коефіцієнтів запасу або розрахункових кривих. У зв'язку з цим, нормативні розрахункові схеми найчастіше є дуже далекими від умов роботи реальної конструкції, яка піддається впливу випадкових факторів. Тому виникла проблема побудови адекватних математичних моделей процесів деформування та отримання надійних характеристик для оцінки міцності, довговічності та роботоздатності конструкцій.

З огляду на сказане, дисертаційна робота Чепіль О.Я. “Методологія локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання”, яка присвячена розв'язанню цієї важливої науково-технічної проблеми, є актуальною і має велике науково-практичне значення.

Ця робота є новим етапом в розвитку та застосуванні теорії механіки руйнування до визначення міцності та оцінювання залишкової довговічності елементів конструкцій з урахуванням впливу водню на механічні характеристики повзучості. Представлені в ній дослідження виконані в рамках науково-дослідних тем Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України згідно з планами Національної академії наук України, в яких дисертант була відповідальним виконавцем.

Оцінка змісту та завершеності дисертації. Дисертація присвячена розробленню методології прогнозування довговічності елементів конструкцій за високотемпературної повзучості та наводнювання на базі енергетичного підходу.

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, основної частини – шести розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел з 333 і 4 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 332 сторінках загального машинописного тексту, з них – 267 основного тексту, містить 122 рисунки і 19 таблиць. Додатки містять свідоцтво на авторське право розробленої програми, акти використання результатів дисертаційної роботи та список праць автора за темою дисертації.

Структура роботи по складу та послідовності логічна та в цілому відповідає вимогам до докторських дисертацій. Викладені наукові положення, висновки та рекомендації в достатній мірі обґрунтовані та в більшості підтверджені експериментальними та літературними даними.

У вступі обґрунтована актуальність наукової проблеми, сформульовані мета та задачі досліджень, визначені об'єкт та предмет досліджень, відображені основні наукові результати та їх практичне значення. Підкреслено зв'язок з науковими програмами, творчий внесок автора та результати апробації.

У першому розділі представлено огляд літератури по розрахунку довговічності елементів конструкцій за високотемпературної повзучості та наводнювання. Також проведено аналіз теоретичних моделей нагромадження

пошкоджень за повзучості і механізми які лежать в їх основі. Приведено механізми впливу водню на елементи конструкцій і встановлено їх вплив на повзучість. На основі проведеного огляду і його аналізу сформульовано перелік основних завдань для подальших досліджень.

У **другому розділі** викладено наукові основи методології локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання. Сформульовано методики, які об'єднує в собі методологія, наведено задачі та їх розв'язки методом скінченних елементів для реалізації теоретичної методики визначення енергії деформування та експериментальні дослідження для реалізації методики визначення енергії руйнування. Запропоновано алгоритм врахування впливу концентрації водню за повзучості.

У **третьому розділі** представлено результати вкрифікації розробленої методології. Для порівняння використано експериментально визначені результати досліджень зразка Бріджмана та тонкостінного зразка з боковим надрізом. Також отримані розрахунки порівняно із розв'язками отриманими при розв'язанні класичних рівнянь повзучості. Показано задовільну кореляцію експериментальних, розрахункових та отриманих за запропонованим дисертантом енергетичним підходом даних. Також показано значний вплив водневовмісного середовища на довговічність досліджуваних зразків.

У **четвертому розділі** представлено розрахунок напружено-деформованого стану та оцінено довговічність за впливу водню та повзучості, використовуючи розроблені моделі та програми, теплообмінних труб парогенераторів ПГВ – 1000, ПГВ – 4 та ПГВ – 1.

Також проведено розрахунок ТОТ за складного навантаження та порівняно з експериментальними даними. Показано вплив водню та складного навантаження на довговічність ТОТ. Також встановлено вплив наводнювання і складного навантаження на граничні значення деформацій повзучості.

В **п'ятому розділі** представлено числовий аналіз напружено-деформованого стану гину теплообмінних труб парогенератора за умов, що моделюють експлуатаційні, з урахуванням наводнювання стінки та

попереднього деформування металу. Також наведено алгоритм експериментального дослідження попередньо деформованих зразків та побудови діаграм деформування попередньо деформованих і наводнених зразків. Встановлено вплив попереднього деформування та наводнювання на довговічність зразків.

В шостому розділі оцінено довговічність барабана парового котла ПГВ-1000 за реальної геометрії та експлуатаційних навантажень із врахуванням високотемпературної повзучості, дії водню, а також термоциклювання та різних режимів охолодження. Встановлено вплив на довготривалу міцність барабана парового котла різних концентрацій водню та швидкостей охолодження.

У висновках сформульовано основні результати проведених досліджень.

Наукова новизна дисертаційних досліджень.

1. Запропоновано методологію локального енергетичного підходу для оцінювання міцності та довговічності елементів енергетичного обладнання, яка враховує вплив водневовмісного середовища та повзучості на деформування матеріалу.

2. Розроблено моделі, складено алгоритм і програми для визначення методом скінченних елементів концентрації водню, температурного поля та напружено-деформованого стану в елементах конструкцій із врахуванням реальної геометричної форми. Обчислено на їх основі енергію деформування локального об'єму металу за наводнювання і повзучості.

3. Здійснено розрахунковий аналіз напружено-деформованого стану теплообмінних труб враховуючи високотемпературну повзучість і наводнювання. Визначено їх залишковий ресурс за умов, що моделюють експлуатаційні.

4. Розраховано НДС барабана парового котла виготовленого зі сталі 22К за складних режимів навантаження, впливу водневовмісного середовища та повзучості. Спрогнозовано кінетику нагромадження пошкодження металу барабана та визначено його експлуатаційний ресурс.

Важливість отриманих результатів для науки і практики, можливі шляхи використання результатів дослідження.

Результати отримані в дисертаційній роботі, мають вагомe наукове та прикладне значення. Зокрема, розроблена програма, яку можна використовувати для моделювання впливу водневовмісного середовища на різного типу конструктивні елементи, що працюють в умовах високих температур та механічних навантажень, щоб в подальшому спрогнозувати термін їх експлуатації. Також, запропонована теоретична методика дозволяє розрахувати розподіл енергії деформування та визначити місця виникнення нагромадження пошкоджень в досліджуваних об'єктах за їх реальної геометрії.

Використання результатів підтверджено ДП «Конструкторське бюро «Південне» та ТзОВ «Дослідний завод «Промкотлосервіс»

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

Робота виконувалася у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України в рамках низки бюджетних тем, де здобувач була відповідальним виконавцем:

- 1) науково-дослідних держбюджетних робіт відомчого замовлення НАН України:
 - «Розроблення методів оцінювання впливу повзучості металу у водневовмісному середовищі на тривалу міцність елементів енергетичного обладнання» № держреєстрації 0115U000118 (2015-2017 рр.);
 - «Розроблення методології оцінювання технічного стану та прогнозування ресурсу роботи елементів конструкції 2-го контуру енергоблоку АЕС за наявності водню», № держреєстрації 0118U000464 (2012 – 2016 рр.);
 - «Розвиток енергетичного підходу для оцінювання міцності та довговічності елементів конструкцій за складного навантаження у водневому середовищі», № держреєстрації 0121U108957 (2021 – 2023 рр.);
- 2) проєкту МОН:
 - «Розроблення методики та технічних засобів для моніторингу напружено-

деформованого стану гідротурбін з урахуванням умов експлуатації» № держреєстрації 0117U004447 (2017–2019 рр.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Детальний аналіз стану теоретичних розробок та результатів експериментальних досліджень по проблемі за літературними першоджерелами, чітке формулювання завдань теоретичних досліджень, комплексний підхід при їх розв'язанні, користування для досягнення мети визнаними у механіці руйнування методами розрахунку та різнобічний аналіз і порівняння отриманих результатів з відомими свідчать про високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації Чепіль О.Я.

Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи.

Розроблені моделі й методи дослідження, наукові положення, висновки й практичні рекомендації з достатньою повнотою наведені в роботах, що опубліковані за темою дисертації. Результати роботи пройшли необхідну апробацію на наукових конференціях.

Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в 32 наукових працях. Серед опублікованих праць 16 статей, що індексуються в наукометричних базах: Scopus, Web of Science, серед яких 2 у періодичних виданнях з Q2, 13 у закордонних періодичних виданнях Q3, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, що входить до наукометричних баз Scopus; 5 статей у фахових виданнях України категорії А; 10 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, а також свідоцтво на авторське право.

Результати дисертаційної роботи повністю викладені в опублікованих наукових працях, а аналіз публікацій, які висвітлені у дисертації, з питань внеску автора показав, що внесок Чепіль О.Я. є вирішальним.

Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Матеріали дисертаційної роботи Чепіль О.Я. «Методологія локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання» систематизовані, коректно оформлені, викладені в послідовній, логічній формі. Структура дисертації, мова та стиль викладення є на належному науково-технічному рівні і відповідають вимогам, що висуваються до докторських дисертацій відповідно до Наказу МОН № 40 від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН №759 від 31.05.2019 р.)

Текст і систематизована методика викладу дисертації є фаховими та одночасно доступними для широкого кола дослідників в галузі розв'язування задач механіки деформівного твердого тіла з коректними та зваженими формулюваннями та узагальненнями, що свідчить про високу кваліфікацію автора.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла, за якою вона подана до захисту, а також профілю спеціалізованої вченої ради Д 35.226.02.

Рукопис дисертації відповідає існуючим вимогам стосовно викладення науково-технічної інформації з використанням загальноприйнятої термінології. Автореферат відображує основні результати й висновки роботи, які оформлені відповідно до діючих вимог.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Згідно з нормативними документами, розрахунок довготривалої міцності базується на визначенні коефіцієнту запасу довготривалої міцності за значеннями еквівалентних напружень та границі довготривалої міцності за заданої температури і терміну служби. У роботі не достатньо чітко пояснюється, чим саме запропонований у роботі енергетичний підхід є кращим?
2. У формулюванні задачі про дифузію водню за товщиною стінки трубопроводів слід було б вказати, які крайові та початкові умови приймалися.

3. Не конкретизовано, який рівень наводнювання враховувався при розрахунках довговічності досліджуваних елементів. Чи проводилася оцінка часу повного насичення їх воднем?
4. На сторінці 35 перед формулою (1.5) J2 що це?
5. На сторінці 44 термінологія: пошкодження чи пошкоджуваність?
6. Незначна кількість мовних помилок (правописні, стилістичні тощо, напр. див. ст. 38, 40, 79).

Проте, наведені зауваження не зменшують наукового рівня та цінності дисертаційної роботи в цілому.

Висновки.

1. Дисертаційна робота Чепіль Ольги Ярославівни, яка виконана на тему «Методологія локального енергетичного підходу для прогнозування довговічності конструктивних елементів енергетичного обладнання за їх повзучості та наводнювання» є завершеною науковою працею, у якій на основі запропонованої концепції, в рамках побудованого наукового підходу розв'язано актуальну науково-прикладну проблему, що полягає у створенні нових теоретичних і експериментальних методик оцінювання довговічності конструктивних елементів у водневовмісних середовищах за складних умов експлуатації.

Робота цілком відповідає вимогам «Паспорту» спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

2. Дисертаційна робота містить раніше не захищені наукові положення і нові науково обґрунтовані результати. Основні положення дисертаційної роботи повністю відображені у публікаціях здобувача.

3. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертації.

4. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, внесеними

постановами Кабінету міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016, № 943 від 20.11.2019, № 607 від 15.07.2020, № 507 від 03.05.2024) які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор – Чепіль Ольга Ярославівни заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри механіки
Львівського національного
університету імені Івана Франка



Олександр АНДРЕЙКІВ

Отримано

12.09.24

Т.І.І.