

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Бардин Тетяни Петрівни**

"Оцінювання міцності контактних біметалевих термоперетворювачів засобами математичного і комп'ютерного моделювання",

поданої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами. В інженерній практиці широко використовують термоперетворювачі, термочутливі елементи яких мають кусково-однорідну структуру. Під час їх експлуатації можуть виникати значні температурні напруження, які порушують зчеплення між окремими складниками, спричиняють частковий або повний розрив між ними, зумовлюючи цим вихід з ладу термоперетворювача. У зв'язку з цим виникає потреба у підвищенні експлуатаційної надійності існуючих біметалевих та створенні нових термоперетворювачів. З огляду на це, надзвичайно важливими є дослідження напружено-деформованого стану відповідних кусково-однорідних елементів. Оцінювання, зокрема, міцності таких елементів на основі спрощених математичних моделей, що використовують співвідношення теорії стрижнів, балок, пластин і оболонок, може призводити до похибок.

Дисертаційна робота здобувачки спрямована на вирішення актуального науково-прикладного завдання - розроблення методики дослідження міцності й експлуатаційної надійності контактних біметалевих термоперетворювачів складної геометричної форми на основі рівнянь тривимірних задач термопружності.

За своїм науковим спрямуванням робота відповідає Планам наукових досліджень Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України: "Виявлення додаткового ресурсу конструкцій енергетичного машинобудування, озброєнь та військової техніки засобами математичного моделювання" (номер держреєстрації 0121U100692, 2021-2023); "Моделювання та розвиток методів розрахунку раціонального функціонування конструкційних елементів і систем різного цільового призначення за комплексних навантажень" (номер держреєстрації 0123U100908, 2023-2024).

Новизна презентованих результатів проведених здобувачкою досліджень полягає в розробці ефективного підходу до розв'язання задач теорії термопружності кусково-однорідних твердих тіл складної форми та структури за термосилових навантажень.

Здобувачкою сформульовано загальну тривимірну математичну модель для дослідження процесів деформування кусково-однорідних тіл за термосилового навантаження та розвинено методику числового розв'язування сформульованої задачі з використанням методу скінченних елементів і однокрокових багатопараметричних алгоритмів.

Побудовано обчислювальний алгоритм і створено відповідне програмне забезпечення, верифіковане на низці модельних задач. З його використанням досліджено напружено-деформований стан контактних біметалевих термоперетворювачів та захисної арматури у тривимірному формулюванні. Запропоновано новий клас біметалевих термоперетворювачів, особливості будови яких усувають основну причину виходу з ладу основного конструкційного елемента – порушення зчеплення між складниками з різними фізико-механічними характеристиками.

Отримано коефіцієнти запасу та оцінки експлуатаційного ресурсу захисних оболонок різних типорозмірів. Для них визначено граничне значення кількості циклів навантаження-розвантаження до руйнування.

Порівняльний аналіз результатів на основі запропонованого в роботі тривимірного підходу і галузевої нормативної методики з використанням інженерних співвідношень показав, що для найбільш навантаженої захисної оболонки максимальні експлуатаційні напруження відрізняються у півтора рази.

Наукова обґрунтованість і відповідність темі дисертації отриманих результатів та їх достовірність. Сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення, висновки і рекомендації є достатньо обґрунтованими. Їх достовірність забезпечується коректністю

основних наукових засад, фізичною обґрунтованістю вихідних положень математичної моделі, строгістю постановки сформульованих задач та методів їх розв'язування, доброю узгодженістю розв'язків окремих задач з відомими в літературі розв'язками інших авторів, виконанням комп'ютерних експериментів. Результати, отримані під час виконання дисертаційних досліджень, повністю відповідають темі дисертаційної роботи.

Практичне та теоретичне значення отриманих результатів полягає у розробці варіанту методики математичного й числового моделювання зумовлених дією термосилового навантаження процесів теплопровідності та деформування в кусково-однорідних тілах складної форми і структури. Розроблене програмне забезпечення надає можливість адекватного моделювання та дослідження термомеханічної поведінки кусково-однорідних тіл за термосилового навантаження у стислі терміни і може бути основою розробки раціональних за напруженнями конкретних елементів конструкцій за різними критеріями. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці біметалевих контактних термоперетворювачів нового типу, яких характеризує вища експлуатаційна надійність у порівнянні з існуючими. Встановлено температурні діапазони безпечної експлуатації термоперетворювачів нового типу та коефіцієнти запасу для кожного типу і розміру їхніх захисних оболонок.

Результати дисертаційної роботи використані в Державному підприємстві "Львівський державний завод "ЛОРТА" та Національній академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.

Особистий внесок здобувачки в отриманні наукових результатів. Усі результати, що становлять основний зміст дисертації, отримані авторкою самостійно. В опублікованих у співавторстві роботах здобувачці належить аналіз літературних джерел, в яких розглянуто питання, споріднені з напрямом досліджень дисертаційної роботи, розробка і обґрунтування математичної й числової моделі і відповідного програмного забезпечення, виконання числових досліджень, дослідження точності та збіжності отриманих розв'язків, інтерпретація отриманих результатів, висновки і рекомендації, які увійшли до дисертаційної роботи.

У цілому, кількість публікацій здобувачки відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Дослідження за темою дисертації виконано авторкою в межах планів наукових досліджень ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, теоретичних, прикладних і експериментальних досліджень розрахованих на чотирирічну програму підготовки аспірантів ступеня доктора філософії з галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Рівень виконання поставленого завдання та оволодіння здобувачкою методологією наукової діяльності. Зміст дисертації відображає суть розв'язаного наукового завдання. Мова дисертації зрозуміла, дисертантка вільно володіє науковою і технічною термінологією в області теорії термопружності. Терміни та визначення, які використовує авторка, відповідають прийнятим у чинних нормативних та нормативно-технічних документах. Стиль роботи доступний і уможливорює легке сприйняття матеріалу. Усі поставлені в роботі завдання виконані у повному обсязі.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 170 сторінок, до яких входить список використаних джерел зі 277 позицій.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження; сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дисертаційної роботи; відображено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; висвітлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Також відзначено внесок здобувачки, відомості про апробацію результатів досліджень, наведено список публікацій здобувачки, подано структуру і обсяг роботи.

У першому розділі проаналізовано наявні методи термометрії і наведено основні типи приладів, серед яких виділено біметалеві термоперетворювачі, як найпоширеніші. Висвітлено їхні сильні й слабкі сторони і показано, що вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності біметалевих термоперетворювачів і створення нових, надійніших термометричних

систем і схем, тісно пов'язана з наявністю адекватних методів оцінювання їхньої міцності. У зв'язку з цим проаналізовано відомі моделі й методи дослідження та визначення напруженого стану твердих тіл за термосилового навантаження і на цій основі обґрунтовано необхідність дослідження механічної поведінки складних за формою структурно неоднорідних засобів термометрії за умов експлуатації на основі тривимірних математичних моделей.

У другому розділі сформульовано варіант математичної моделі для кількісного опису термомеханічних процесів у пружних структурно-неоднорідних твердих тілах за температурного й силового навантаження. За основу прийнято просторово тривимірний підхід, що дає змогу достатньо адекватно кількісно описати деформування пружного тіла складної геометричної форми і структури. Температурне поле в тілі описує нестационарне рівняння теплопровідності, а процеси деформування – співвідношення квазістатичної теорії термопружності.

У третьому розділі наведено методику розв'язування задачі термопружності. На першому етапі, внаслідок проведення стандартної процедури скінчено-елементної дискретизації тіла, нестационарну задачу теплопровідності зведено до системи звичайних диференціальних рівнянь відносно невідомих значень температури у вузлах скінченно-елементного поділу. Розв'язок отриманих задач Коші побудовано з використанням однокрокових багатопараметричних різницевих алгоритмів. Отримані на першому етапі із розв'язків цієї задачі розподіли температури є вхідними для задачі другого етапу – визначення термонапруженого стану тіла у скінченно-елементному формулюванні. Наведено обчислювальні аспекти реалізації методу скінченних елементів і формування ключових скінчено-елементних рівнянь для задачі теплопровідності та термопружності. Описано алгоритми формування матричних характеристик для різних елементів. Розглянуто приклади розв'язування за запропонованою в роботі методикою задач, для яких відомі аналітичні розв'язки, і приведено результати порівняльного аналізу.

У четвертому розділі досліджено напружено-деформований стан контактних біметалевих термоперетворювачів різних типів за умов експлуатації на основі описаної у другому розділі математичної моделі і запропонованої у третьому розділі методики числового моделювання. Запропоновано нову версію біметалевого термоперетворювача зі суттєво вищою надійністю за довготривалого циклічного теплового навантаження. Завдяки запропонованому оригінальному конструкційному рішенню усунуто причину виходу з ладу основного елемента, що забезпечує процес термометрії. Отримано оцінки температурних діапазонів надійної роботи запропонованих конструкцій термоперетворювача.

У п'ятому розділі подано результати досліджень термомеханічної поведінки захисних оболонок термоперетворювачів різних типорозмірів за умов гідравлічних випробувань і стаціонарної експлуатації. Визначено коефіцієнти запасу захисних оболонок. Наведено порівняльний аналіз результатів, отриманих на основі запропонованого в роботі підходу і нормативної галузевої методики в межах спрощених математичних моделей. Отримано оцінки експлуатаційного ресурсу захисних оболонок на основі уточнених даних про напружено-деформований стан в них під час стаціонарної експлуатації. Досліджено можливість руйнування захисних оболонок від малоциклової втоми.

Кожний розділ містить підсумкові висновки, що відображають проміжні результати дослідження. У загальних висновках дисертації представлені результати проведеної роботи.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. В опублікованих працях здобувачки основні результати дисертаційної роботи представлені з достатньою повнотою. Кількість, обсяг та якісний рівень публікацій відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України, в них не виявлено академічного плагіату, текстових чи ідейних запозичень, а також недостовірної чи сфальсифікованої інформації. Ознак порушення академічної доброчесності не встановлено.

По роботі можна зробити наступні **зауваження**:

– рисунки не достатньо інформативні, не наведено необхідні розміри;

- доцільно було б верифікувати створене програмне забезпечення на квазістатичних задачах термопружності для кусково-однорідних тіл, навівши відповідні числові значення, зокрема, на поверхнях поділу;
- поза увагою залишився аналіз термопружного стану термочутливого елемента залежно від тепловіддачі;
- не ясно, що необхідно розуміти під циклічним тепловим навантаженням;
- відсутні дослідження щодо впливу захисної оболонки на похибку вимірювання;
- чи можна використовувати розглянутий термоперетворювач для визначення температур, які нижче нуля градусів за Цельсієм?

Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Бардин Тетяни Петрівни "Оцінювання міцності контактних біметалевих термоперетворювачів засобами математичного і комп'ютерного моделювання" є завершеним цілеспрямованим науковим дослідженням, в якому отримано нові, науково обґрунтовані результати, що мають теоретичну та практичну цінність і достатньо повно опубліковані у фахових виданнях.

За своєю актуальністю, обсягом виконаних досліджень, новизною, обґрунтованістю та науковою і практичною значимістю наукових результатів дисертаційна робота відповідає змісту освітньо-наукової програми спеціальності 113 - Прикладна математика, вимогам до оформлення дисертації, затверджених Міністерством науки та освіти України від 12.01.2017 р. № 40 та пунктам 6 - 9 "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 №44 від 12 січня 2022 (зі змінами), а її авторка, Бардин Тетяна Сергіївна, заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії з галузі знань 11 "Математика та статистика" за спеціальністю 113 "Прикладна математика".

Рецензент:

Провідний науковий співробітник
відділу термомеханіки Інституту
прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України,
доктор фіз.-мат. наук, ст. н. с.

Борис ПРОЦІЮК