

ВІДГУК

офіційного опонента
на дисертаційну роботу
Бардин Тетяни Петрівни

**“Оцінювання міцності контактних біметалевих термоперетворювачів
засобами математичного і комп’ютерного моделювання”**,

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

Актуальність обраної теми та її зв’язок з науковими програмами, планами, темами.

Контактні біметалеві термоперетворювачі широко використовуються як терморегулятори, запобіжники, теплові реле, обмежувачі, сигналізатори температури в різних системах теплового контролю. Ними комплектуються сучасні інженерні конструкції автомобільної, енергетичної, хімічної, харчової та інших галузей промисловості, а також озброєнь і військової техніки. Перевагами таких термоперетворювачів є простота виготовлення, можливість відносно легкого вбудовування в системи автоматики і телемеханіки. Їх характеризує достатня точність і адекватність вимірювань; процес термометрії контактним способом має високу продуктивність і добре регулюється. Як основний їхній недолік слід вважати порівняно незначний ресурс за умов циклічного навантаження, тому що відносно легко порушується зчеплення між елементами термоперетворювача з різними фізико-механічними характеристиками. Для вирішення цього завдання виникає практична потреба в засобах математичного та комп’ютерного моделювання процесів деформування кусково-однорідних конструкцій складної форми та структури, які здатні адекватно оцінювати їхню міцність і експлуатаційну надійність. Тому актуальною та важливою є проблема розробки, розвитку та вдосконалення уточнених методик моделювання процесів термопружного деформування засобів контактної термометрії складної форми та структури, які розглядаються у дисертаційній роботі.

Дослідження за темою дисертації виконувалися в рамках науково-дослідних тем Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Під-

стригача НАН України: "Виявлення додаткового ресурсу конструкцій енергетичного машинобудування, озброєнь та військової техніки засобами математичного моделювання" (2021-2023, № держреєстрації 0121U100692); "Моделювання та розвиток методів розрахунку раціонального функціонування конструкційних елементів і систем різного цільового призначення за комплексних навантажень" (2023-2024, № держреєстрації 0123U100908).

Оцінка змісту та завершеності дисертації.

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій досліджена міцність і експлуатаційна надійність біметалевих контактних термоперетворювачів засобами математичного й комп'ютерного моделювання, розробленими на основі тривимірної термопружності. Обсяг основної частини дисертаційної роботи – 126 сторінок; вона складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 277 найменувань і додатків.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження; сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дисертаційної роботи; відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та грантами. 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 та наведено основні типи приладів, серед яких виділено біметалеві контактні термоперетворювачі, як найпоширеніші.

У другому розділі сформульовано варіант математичної моделі для кількісного опису термомеханічних процесів у пружних структурно-неоднорідних твердих тілах за температурного та силового навантаження.

У третьому розділі відповідно до прийнятої розрахункової схеми наведено процедуру розв'язування сформульованої задачі термопружності.

У четвертому розділі досліджено напружено-деформований стан контактних біметалевих термоперетворювачів різних типів за умов експлуатації на

основі описаної в другому розділі математичної моделі та запропонованої у третьому розділі методики числового моделювання.

У п'ятому розділі подано результати виконаних на основі запропонованої методики математичного й числового моделювання 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 та нормативної галузевої методики в межах спрощених математичних моделей.

Результати, отримані під час виконання дисертаційних досліджень, повністю відповідають темі дисертаційної роботи.

Усі поставлені в роботі завдання виконані в повному обсязі.

Зміст дисертації відображає суть розв'язаного наукового завдання.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях.

Основні результати досліджень, отримані в дисертації, опубліковано в 13-ох наукових працях, зокрема в 4-ох статтях у наукових фахових виданнях (одна стаття опублікована в періодичному виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus), 2-ох патентах на корисну модель, 7-ми тезах і доповідях у збірниках матеріалів конференцій.

Основні наукові результати та їх наукова новизна.

У дисертаційному дослідженні запропоновано новий клас біметалевих термоперетворювачів, особливості будови яких усувають причину виходу з ладу основного конструкційного елемента – порушення зчеплення між конструкційними елементами з різними фізико-механічними характеристиками. Через проміжок між складниками та бурти закріплення, напруження на внутрішній поверхні секцій з більшим коефіцієнтом лінійного температурного розширення та верхній поверхні складника з буртами з меншим коефіцієнтом не працюють на розрив, тому термоперетворювач при довготривалому циклічному тепловому навантаженні до температур порядку 760–850 С зберігає свою цілісність.

Розроблено числову методику дослідження та створено оригінальне програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання теплових і механічних процесів у кусково-однорідних тілах складної форми та структури за умов термосилового навантаження на основі тривимірних залежностей теорії теплопровідності та неізотермічної термопружності. Програмне забезпечення верифіковане на задачах, для яких відомі аналітичні розв'язки, продемонструвало ефективність при дослідженні міцності термоперетворювачів і захисної арматури. На цій основі отримані уточнені коефіцієнти запасу та оцінки експлуатаційного ресурсу захисних оболонок термоперетворювачів.

Наукова обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

Сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення, висновки і рекомендації є достатньо обґрунтованими. Їх достовірність забезпечується фізичною обґрунтованістю вихідних положень математичної моделі, строгістю постановки сформульованих задач і методів їх розв'язування, доброю узгодженістю розв'язків задач з відомими в літературі розв'язками інших авторів, виконанням комп'ютерних експериментів і перевіркою практичної збіжності отримуваних розв'язків задач.

Практичне та теоретичне значення отриманих результатів.

Розроблене програмне забезпечення на основі тривимірної теорії термопружності дає можливість адекватно оцінювати міцність кусково-однорідних тіл складної форми. З його використанням запропоновано конструкції біметалевих контактних термоперетворювачів нового типу, в яких відсутня основна причина розшарування окремих складових елементів з різних матеріалів. Результати дисертаційної роботи безпосередньо використані в Державному підприємстві “Львівський державний завод ЛОРТА” та Національній академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності.

В опублікованих працях здобувачки основні результати дисертаційної роботи представлені з достатньою повнотою. Кількість, обсяг і 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.

Зауваження до викладеного у дисертації.

1. У формулі (3.2) важко впізнати формулу Остроградського-Гауса.
2. У формулах (3.4), (3.6) використовується коефіцієнт β' , який не описаний у тексті.
3. На сторінці 86 наведено оптимальні кількості точок Гауса, при цьому не відзначено, що ця кількість точок є оптимальною для сирендипових пара-лелідальних елементів близьких до кубічних.
4. На сторінці 92 при описі алгоритму формування матриці жорсткості $[A]$ на кроці 6 можна прискорити виконання алгоритму, обчисливши матрицю розмірності $N_s \times N_s$, виконавши матричне множення.
5. У роботі не наведено обчислювальних характеристик для задач, які розв'язувалися та немає опису розробленого програмного забезпечення.
6. У тексті роботи є деякі неточності та описки: стор. 35 – “у Вишах”; стор. 106– “трьох вимірного”; стор. 124 – “середовище з температурою 5 К”.

Вказані зауваження та неточності, на нашу думку, в цілому не впливають на загальну позитивну оцінку наукових результатів, отриманих у дисертаційній роботі.

Загальний висновок.

Представлена робота є завершеним науковим дослідженням у якому розроблено методику термомеханічної поведінки пружних біметалевих

термоперетворювачів складної форми та структури за умов термосилового навантаження для побудови теоретичних основ раціонального проектування оптимальних за напруженнями пристроїв термометрії, а також прогнозування їх функціональної здатності та міцнісних характеристик.

Дисертація відповідає спеціальності 113 – Прикладна математика. Вона присвячена розробці методів математичного, числового і комп'ютерного моделювання для дослідження теплових і механічних процесів у кусково-однорідних тілах складної форми.

Підсумовуючи все вище сказане, можна стверджувати, що дисертація за обсягом виконаних досліджень, новизною, науковою значимістю отриманих результатів та їх рівнем повністю відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” та вимогам, передбаченим пунктом 10 “Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167, заслуговує позитивної оцінки, а її авторка, Бардин Тетяна Петрівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Офіційний опонент:

Декан факультету прикладної математики та інформатики
Львівського національного університету імені Івана Франка,
доктор фіз.-мат. наук, професор

Іван ДИЯК