**РЕЦЕНЗІЯ**

**на дисертаційну роботу Скіцка Марії Вікторівни**

**на тему «Деякі задачі теорії термопружності для багатозв'язних тіл», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії**

**в галузі знань 11 Математика і статистика**

**за спеціальністю 113 Прикладна математика.**

**Актуальність теми дисертації.**

Розвиток сучасних техніки та технології супроводжується використанням нових матеріалів із особливою структурою, яка обумовлює особливі механічні властивості таких матеріалів при термомеханічних навантаженнях. Особливо це стосується композитних пористих і керамічних матеріалів, які сьогодні посідають провідне місце в конструкціях різноманітного призначення — від мікроелектроніки до космічної техніки. Дисертаційна робота, присвячена математичному моделюванню термопружного стану тіл із внутрішніми неоднорідностями, відповідає нагальним потребам прикладної механіки, матеріалознавства та інженерної справи.

Особливої актуальності дослідженню надає зростаюча потреба у створенні матеріалів з наперед заданими властивостями. Розв’язання задач проектування таких матеріалів неможливе без побудови точних математичних моделей, які враховують складну мікроструктуру, наявність включень і пор, дії температурних полів, внутрішні джерела тепла та умови експлуатації. При дослідженні та експлуатації технічних та технологічних систем, наприклад, систем тепловиділення або складених багатошарових структур, виникають граничні задачі термопружності матеріалів з просторовими неоднорідностями, розв’язання яких вимагає удосконалення відомих методів їх дослідження.

З огляду на це, тема дисертації є не лише актуальною, але й науково значущою, оскільки спрямована на подолання існуючих обмежень традиційних методів, зокрема у випадках складної геометрії або за наявності внутрішніх джерел тепла.

Таким чином, обрана тематика повною мірою відповідає сучасним запитам науки і техніки та має практичне значення для створення нових матеріалів і конструкцій з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Матеріали, викладені у дисертаційній роботі, свідчать про високий ступінь обґрунтованості та достовірності отриманих наукових результатів. Обґрунтованість забезпечується строгим математичним підходом до постановки і розв’язання задач термопружності, а також впровадженням узагальненого методу Фур’є для аналітичного опису локальних термопружних полів у складених тілах з включеннями сферичної форми. Метод коректно враховує складну геометрію та неоднорідну структуру матеріалів і дає змогу строго задовольнити механічні та температурні умови на міжфазних границях у складеному тілі.

Достовірність результатів, отриманих в дисертації, підтверджується їх узгодженістю з точними аналітичними розв'язками задач для відповідних однозв’язних тіл.

**Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному**:

1. Набув подальшого розвитку апарат узагальненого методу Фур'є: побудовані нові вісесиметричні векторні базисні розв'язки рівнянь Ламе і Дюамеля – Неймана в сферичних координатах. Для цих розв'язків вперше сформульовано та доведено теореми додавання в системах координат, початки яких довільно віддалені вздовж осі симетрії.

2. Вперше за методом Фур'є строго обґрунтовано розв’язано вісесиметричну задачу теорії пружності для кулі з концентричним сферичним включенням при загальному навантаженні, прикладеному до її поверхні. Доведено теорему про умови існування класичного розв'язку задачі.

3. Вперше отримано локальну аналітико-числову модель термонапруженого стану у пористому матеріалі в області між двома сферичними порами.

4. Вперше поставлено і розв’язано задачу оптимального керування температурним полем напруженого стану кусково-однорідного простору зі сферичними включенням і порожниною. Для цього вперше розв’язано задачу оптимального керування системою, стан якої визначається нескінченною системою лінійних алгебраїчних рівнянь.

5. Розроблено новий метод параметричного розв'язання нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, праві частини яких лінійно залежать від параметрів.

6. Вперше розв’язано задачу про розподіл температурних напружень у кусково-однорідному просторі зі сферичними включеннями при наявності в них розподілених джерел тепла у випадку, коли включення і простір мають різні термомеханічні характеристики.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За змістом дисертаційна робота Скіцка Марії Вікторівни повністю відповідає вимогам до наукових кваліфікаційних робіт за спеціальністю 113 Прикладна математика. Дисертація є самостійним завершеним дослідженням, результати якого мають наукову новизну і практичну цінність.

У роботі чітко простежується логічна послідовна структура викладення матеріалу, обґрунтованість постановок задач, вибір методів і аналіз отриманих результатів. Дисертація відповідає принципам академічної доброчесності: відсутні ознаки плагіату, компіляції, фальсифікації чи фабрикації результатів. Усі залучені джерела коректно процитовано, використані матеріали інших авторів мають належні бібліографічні посилання.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота виконана українською мовою відповідно до академічних вимог, властивих фізико-математичним наукам. Стиль викладення чіткий, науково обґрунтований, з дотриманням термінологічної точності у сфері математичного моделювання, термопружності та теорії оптимального керування. Дисертація характеризується логічною структурою, послідовною побудовою матеріалу.

Робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок, з них 148 сторінок основного тексту, що містить 22 рисунки, 4 таблиці, 166 бібліографічних позицій, із яких значна частина — публікації у виданнях, що індексуються у Scopus та WoS.

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики, сформульовано мету дослідження та його основні задачі, визначено об'єкт, предмет, наукову новизну, практичну цінність та методи дослідження.

Також подано характеристику використаних методів дослідження та перелік наукових публікацій, у яких оприлюднено основні положення дисертації.

У **першому розділі** роботи проаналізовано сучасний стан формулювання та вирішення термопружних задач для багатозв’язних тіл, особливо з порожнинами та сферичними включеннями. Розділ містить огляд основних методів математичного моделювання, зокрема методів розв’язання задач оптимального керування температурним полем в таких системах.

**Другий розділ** присвячено подальшому розвитку апарату узагальненого методу Фур’є для задач вісесиметричної стаціонарної термопружності для тіл зі сферичними неоднорідностями. Введено нові базисні розв’язки рівнянь Ламе і Дюамеля–Неймана для сферичних тіл, доведено теореми додавання для них в парах сферичних координат.

**Третій розділ** присвячено розв’язанню задачі термопружності для простору, що має дві сферичні порожнини. Отримані параметричні розв'язки фактично задають локальну чисельно-аналітичну модель напруженого стану в пористому матеріалі в області між двома сусідніми сферичними порами. Наведено аналіз розподілу нормальних компонент тензора напружень на поверхнях порожнин в залежності від геометричних параметрів задачі і відношення сталих температур, заданих на поверхнях включень.

**Четвертий розділ** містить аналітичний розв'язок класичної пружної задачі для кулі з концентричним сферичним включенням. Вважається, що на поверхню кулі діє довільне врівноважене вісесиметричне навантаження. Задачу розв’язано методом Фур'є. Для обґрунтування існування розв'язку отримано оцінку визначника розв’язувальної системи. Чисельний аналіз напружень на поверхні включення наведено для різних типів матеріалів та навантажень.

У **п’ятому розділі** представлено новий підхід до розв’язання термопружних задач для багатокомпонентних систем з тепловиділенням. Розроблений метод є універсальним і не має обмежень, пов’язаних з термомеханічними характеристиками областей теплових джерел.

**Шостий розділ** присвячено оптимальному керуванню термопружним станом складених тіл. Описано новий метод, який дозволяє звести задачу оптимального керування до розв'язання нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Метод є строго обґрунтованим і дозволяє визначати оптимальний розподіл температури на сферичній поверхні порожнини в нескінченному тілі, при якому середньоквадратичне значення радіального навантаження на поверхні сферичного включення приймає мінімальне значення.

У **висновках** підсумовуються основні результати дисертаційної роботи. Тут виділяється актуальність вибраної теми, формулюється наукова новизна розвинених методів і отриманих математичних моделей, описано практичну цінність отриманих результатів, дається обґрунтування їх достовірності

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог, сформульованих у наказі МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

У рамках виконання дисертаційного дослідження було опубліковано 3 наукові статті, з яких одна –у виданні, що реферуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, а інші дві – у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України. Окрім цього, основні результати досліджень були апробовані на трьох науково-технічних конференціях.

Публікації виконані на високому науковому рівні, з урахуванням усіх важливих аспектів досліджуваної проблеми, і повністю відповідають тематиці дисертаційної роботи.

Відзначаючи виконану роботу, можна стверджувати, що наукові результати, викладені в дисертації, в основному висвітлені в опублікованих працях здобувача. Окрім того, варто відзначити відсутність порушень принципів академічної доброчесності.

Отже, на основі проаналізованих наукових публікацій, можна зробити висновок про повноту та оригінальність викладення результатів досліджень, що підтверджують вагомий внесок здобувача у відповідну галузь науки.

**Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

У ході ознайомлення з дисертаційною роботою можна відзначити кілька зауважень, які стосуються деяких аспектів викладення матеріалу:

1. Хоча задача, наведена у розділі 5, носить модельний характер, було б більш доцільно, як матеріали матриці і включень вибрати такі, які відповідають конкретним технічним системам.
2. Мабуть через друкарську помилку в теоремі 5.1 не вистачає певного результату, на який спирається доведення теореми.
3. У дисертації недостатньо висвітлено практичні приклади застосування розв'язуваних задач у реальних умовах. Більше прикладів із практичного застосування підвищили б наочність результатів і їх значимість для практики.
4. Перший розділ дисертації має друкарські помилки і некоректні математичні терміни. Наприклад, це таке: на стор. 21 цитування Ревенка за роком, а не за номером; на стор. 30 використано скорочення USDFLD без пояснення; на стор. 31 термін «сферичні матеріали з порожнинами»; на стор. 33 використано термін «тривимірні кінцеві елементи»; на стор. 34 «розчини розкладаються в ряди», там же «залишки Коші»; на стор. 36 «термопровідність»; на стор. 37 у посиланні на джерело [100] є друкарська помилка. У деяких реченнях потрібна перестановка слів.
5. Не зовсім зрозуміло навіщо в бібліографічному огляді наведено джерела, в яких описується застосування методів теорії оптимального керування до проблем економіки, біології, медицини.

Незважаючи на зазначені зауваження, слід підкреслити, що вони не знижують загальної наукової новизни та значущості результатів дисертації. Вказані недоліки не впливають на основні положення роботи і не змінюють загальну позитивну оцінку дослідження.

**Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота, яку надала здобувачка ступеня доктора філософії Скіцка Марія Вікторівна, на тему «Деякі задачі теорії термопружності для багатозв'язних тіл» виконана на високому науковому рівні. Вона відповідає всім вимогам, зазначеним у чинному законодавстві України, зокрема в п. 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 від 12 січня 2022 р. №44.

Дисертація не порушує принципів академічної доброчесності, а висновки здобувача є оригінальними, обґрунтованими, і такими, що мають теоретичну новизну і практичне значення.

З огляду на вищезазначене, вважаю, що здобувачка Скіцка Марія Вікторівна повністю заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 11 Математика і статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри теоретичної механіки,

машинознавства та роботомеханічних систем

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут» Олександр НАРИЖНИЙ