

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію

Василишина Андрія Володимировича

“Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями”

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 11 – Математика та статистика

за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність дисертаційної роботи

Термомагнітоелектропружні смарт матеріали – це нове покоління матеріалів, що здатні адаптуватися до змінюваних зовнішніх впливів, контролювати та керувати внутрішнім станом конструкції. Вони мають широкий спектр властивостей, які можуть змінюватися під впливом зовнішніх чинників, зокрема, температури, електричного і магнітного полів, світла, механічне навантаження тощо. У цілому, смарт матеріали мають потенціал для трансформації багатьох галузей науки і техніки. Вони дозволяють створювати нові високотехнологічні вироби і системи, що мають унікальні властивості і можуть вирішувати складні завдання.

Одними з найбільш поширених типів неоднорідностей структури термомагнітоелектропружних матеріалів є тонкі неоднорідності. Вони можуть виникати внаслідок природних процесів, або ж внаслідок зовнішніх впливів, під час виробництва, обробки чи експлуатації. Крім цього вони можуть бути впроваджені з метою підсилення, оперативного контролю чи зміни функціональних властивостей конструкційних матеріалів. Наявність у тілі таких тонких неоднорідностей нерідко призводить до появи областей концентрації напружень та інших фізичних полів, що істотно змінює їхній розподіл у тілі. Крім цього, у таких місцях можуть виникати процеси незворотного деформування чи навіть руйнування.

Робіт, у яких досліджуються задачі теорії тонких включень, є доволі багато (огляд відповідної літератури здійснено у рецензованій дисертаційній роботі). Проте праць, у яких би досліджувалася проблематика тонких неоднорідностей саме у термомагнітоелектропружних матеріалах є значно менше. Хоча даний клас матеріалів на сьогодні застосовується в широкому спектрі галузей

виробництва та сучасного високотехнологічного інженерного проектування, вплив тонких неоднорідностей на розподіл фізико-механічних полів у цих матеріалах досі вивчено недостатньо. Ще менше робіт, стосуються вивчення впливу тонких включень у термомагнітоелектропружних мультиматеріальних тілах за ідеального чи неідеального контакту компонент.

Саме тому дисертаційна робота Василюшина А.В., що стосується розробки підходу для розв'язування задач термомагнітоелектропружності неідеально поєднаних структур із внутрішніми тонкими включеннями, є актуальною та має важливе науково-практичне значення.

Дослідження за темою дисертації виконані в межах наукової бюджетної теми Львівського національного університету імені Івана Франка МОН України “Математичні моделі та методи розрахунку процесів локального деформування структурно-неоднорідних тіл” (№ д/р 0121U109716, термін виконання: 2021–2023). Результати дисертації частково використані у науково-технічній розробці “Розробка дорожніх конструкцій і жорстких покриттів на автомобільних дорогах із використанням дисперсійного армування” (фінансувалася за кошти державного бюджету в межах конкурсу підтримки досліджень молодих вчених, Луцький національний технічний університет), де Василюшин А.В. був виконавцем.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

У **першому розділі** дисертант провів огляд великої кількості наукових джерел, у яких вивчаються підходи до дослідження і математичного моделювання взаємодії фізико-механічних полів в ізотропних та анізотропних тілах, в тім із тонкими неоднорідностями.

У **другому розділі** подано основні рівняння рівноваги та конститутивні співвідношення термомагнітоелектропружності для анізотропних тіл; розкрита основана ідея розширеного формалізму Стро і наведено відповідні формули; описано метод функцій стрибка і принцип спряження континуумів різної вимірності; подано моделі тонкого магнітоелектропружного та термомагнітоелектропружного включень і описана схема модифікованого методу граничних елементів.

У **третьому розділі дисертант** демонструє підхід для отримання систем сингулярних інтегральних рівнянь для анізотропного півпростору із тонкими неоднорідностями та мішаними крайовими умовами. Також автор дослідження наводить числові розв'язки нових задач для півпростору з тонким включенням;

демонструє відповідні графічні залежності для узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень; досліджує вплив ефекту згину включення на значення цих коефіцієнтів.

У четвертому розділі автор дисертації наводить підхід до побудови інтегральних рівнянь крайових задач термомагнітоелектропружності для біматеріальних скінченних та нескінченних тіл з тонкими включеннями та порожнинами. На межі поділу компонентів біматеріалу задаються умови ідеального механічного та неідеального теплового контакту. Також дисертант наводить числові розв'язки нових задач для скінченного та безмежного тіл з одним та двома тонкими включеннями.

Новизна представлених результатів проведених здобувачем досліджень

У рамках сформульованого та вирішеного в дисертації завдання отримано такі нові наукові результати:

- розроблено підхід для отримання сингулярних інтегральних рівнянь для анізотропного термомагнітоелектропружного півпростору, який дозволяє враховувати різні типи змішаних крайових умов на межі півпростору, а також наявність циліндричних порожнин, тріщин і тонких деформівних включень;

- на основі розробленого методу отримано числові розв'язки відповідних нових задач, шляхом розв'язання побудованої системи сингулярних інтегральних рівнянь модифікованим методом граничних елементів;

- розроблено підхід для побудови інтегральних рівнянь для термомагнітоелектропружного біматеріального тіла із неідеальним тепловим контактом складових, що може містити порожнини, циліндричні отвори та тонкі деформівні включення;

- запропоновано напіваналітичний обчислювальний метод для аналізу фізико-механічних полів у біматеріальних структурах із неідеальним контактом компонентів, заснований на розвиненні комплексних потенціалів Стру у степеневі ряди.

Практичне значення отриманих результатів

Внаслідок того, що на сьогодні термомагнітоелектропружні матеріали широко використовуються у різних галузях мікроелектроніки, робототехніки, енергетики, тощо, здійснені у рецензованій роботі дослідження мають важливе практичне значення. Розроблений у роботі аналітично-числовий підхід дозволяє оцінювати розподіл фізико-механічних полів у конструкціях із термомагнітоелектропружних матеріалів та давати оцінку їхньої міцності,

експлуатаційного ресурсу, оптимізувати самі конструкції. Крім цього, запропонований метод дає можливість розв'язувати плоскі задачі термомагнітоелектропружності для скінченних та безмежних біматеріальних тіл, компоненти яких поєднані тонким сполучним прошарком високої теплопровідності, та містять чутливі до впливу фізико-механічних полів тонкі включення. Отримані результати вказують на значний вплив крайових умов на межі півпростору чи внутрішній межі мультиматеріального тіла на розподіл фізико-механічних полів та їхню концентрацію біля вершин тонких неоднорідностей, що обов'язково необхідно враховувати при проєктуванні відповідних елементів конструкцій із анізотропних та інтелектуальних матеріалів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження.

Отримані Васишином А.В. наукові результати є новими, достовірними, належно обґрунтованими та відповідають меті і завданням роботи. У дисертації проаналізовано сучасний стан досліджень за літературними джерелами, чітко сформульовано мету та завдання дослідження; застосовано обґрунтований комплексний підхід для їх розв'язування. Отримані числові розрахунки старанно перевірено шляхом контрольного розв'язування вже вивчених іншими дослідниками задач, а також шляхом зіставленням отриманих результатів у часткових і граничних випадках із вже відомими розв'язками інших авторів. Крім цього обґрунтованість сформульованих автором наукових висновків підтверджується його публікаціями в українських та міжнародних рецензованих фахових наукових виданнях. Результати досліджень було представлено на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Василишин А.В. розробив високопродуктивний аналітичний та аналітично-числовий методи аналізу фізико-механічних полів у кусково-однорідних тілах зі змішаними крайовими умовами на поверхнях (зокрема, і контактних). Йому також вдалося створити підхід для отримання інтегральних формул та відповідних інтегральних рівнянь на основі розширеного формалізму Стро. Дисертант розробив комп'ютерне програмне забезпечення для числового аналізу сформульованих задач, представив отримані результати досліджень у графічній формі, верифікував правильність побудованих

аналітичних залежностей і надійність застосування побудованих обчислювальних методів і програм.

Отримані у роботі результати засвідчують те, що Васишин А.В. на високому рівні оволодів методологією наукової діяльності та необхідними для рівня доктора філософії компетенціями.

Повнота викладу сформульованих у дослідженні наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у 13 наукових працях, у тому числі: 3 наукових статтях у закордонних виданнях, включених до Web of Science та Scopus; 1 – у науковому фаховому виданні України, що входить до міжнародних наукометричних баз даних (Web of Science, Scopus); 9 – у збірниках матеріалів міжнародних та національних наукових та науково-технічних конференцій і симпозіумів. Обсяг опублікованих робіт, їх кількість та якісні показники відповідають вимогам стосовно публікацій для дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. При числовому аналізі конкретних задач розглядалися тіла лише з прямолінійними включеннями. Чи можливо використовувати отриманий числовий підхід і для криволінійних включень? Якщо так, то добре було би навести відповідні приклади.
2. Для розв'язування систем інтегральних рівнянь застосовувався метод граничних елементів. У роботі недостатньо обґрунтовано, чому був вибраний саме цей числовий метод і в чому його перевага над іншими.
3. Автору можна висловити побажання щодо отримання у майбутньому авторських свідоцтв на розроблені програмні комплекси, а також щодо їхнього поширення у науковій спільноті.
4. У роботі зустрічається незначна кількість описок і повторень.

Зроблені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Відсутність порушень академічної доброчесності. Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі Васишина А.В. та його наукових публікаціях не виявлено.

Заклучна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Васишина Андрія Володимировича є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові, науково обґрунтовані, результати, спрямовані на розробку нових математичних моделей та

високопродуктивних методів аналізу плоских фізико-механічних полів у кусково-однорідних тілах із змішаними термомеханічними крайовими умовами на їхніх поверхнях, включаючи контактні. При цьому, врахована можлива присутність в даних тілах тонких стрічкових включень чи тріщини.

За актуальністю, науковою новизною, практичним та фундаментальним значенням дисертаційна робота “Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями” , повністю відповідає вимогам “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 року, а її автор, Василишин Андрій Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Рецензент

доцент кафедри механіки
Львівського національного університету
імені Івана Франка,
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Ігор КУЗЬ