

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Васишина 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 композити широко використовуються у галузях мікроелектроніки, біотехнологій, енергетики, авіаційній та космічній техніці тощо. Без них практично неможливе створення сучасних приладів точної механіки, перетворювачів енергії, розумних мікроелектромеханічних систем, що самі підлаштовуються до режимів експлуатації. Широкий спектр застосування обумовлений здатністю даних матеріалів поєднувати і перерозподіляти енергію полів різної фізичної природи. Для отримання таких властивостей термомагнітоелектропружні композити створюють за допомогою механічного поєднання (стохастичного чи впорядкованого) піроелектричних (сегнетоелектричних) та мігнітоелектричних (п'єзомагнітних) матеріалів. Однак унаслідок такого поєднання складових утворюються проміжні шари, що можуть істотно впливати на термомагнітоелектропружні властивості такої мультиматеріальної композиції.

Також на властивості термомагнітоелектропружних матеріалів можуть впливати тонкі неоднорідності різноманітної природи (в тому числі тонкі включення та тріщини). Вони можуть бути природними, спеціально впровадженими, з ціллю зміни функціональних властивостей, а також виникати під час виробництва, обробки та експлуатації. Незалежно від природи походження, поблизу вершин (фронтів) тонких неоднорідностей можуть виникати значні концентрації усіх фізико-механічних полів (зокрема й механічних напружень), що може справляти істотний вплив на експлуатаційну надійність та довговічність елементів конструкцій.

Таким чином, виникає потреба в опрацюванні нових та адекватних до природи явища високопродуктивних аналітичних та аналітично-числових методів, які дали би можливість здійснювати належно точну кількісну оцінку інтенсивності та розподілу фізико-механічних полів у термомагнітоелектропружних тілах, які можуть містити отвори, тріщини та інші тонкі неоднорідності. Також необхідно розробляти нові складніші розрахункові моделі термомагнітоелектропружних середовищ, які би враховували вплив складних фізико-механічних властивостей матеріалів, передусім і анізотропію.

Враховуючи вищесказане, актуальність теми дисертаційного дослідження Василюшина Андрія Володимировича не викликає сумнівів як у науковому, теоретичному, так і у практичному аспектах.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів

Робота стосується опрацювання математичних моделей та високопродуктивних аналітичних і аналітично-числових методів аналізу плоских фізико-механічних полів у кусково-однорідних анізотропних термомагнітоелектропружних тілах, що можуть також містити отвори, тонкі прошарки, включення та тріщини. Розглядалися півпростори, скінченні та нескінченні біматеріальні тіла зі змішаними термомеханічними крайовими умовами на зовнішніх та контактних поверхнях.

У **першому розділі** роботи здійснено аналіз літературних джерел, у яких висвітлювалися основні питання математичної теорії тонких неоднорідностей, основні методи дослідження ізотропних та анізотропних тіл із тонкими неоднорідностями, а також основні методи розв'язування відповідних задач.

У **другому розділі** дисертації подано основні співвідношення термомагнітоелектропружності для анізотропних тіл, описано принцип спряження континуумів різної вимірності та базову ідею методу функцій стрибка, які використовуються для моделювання тіл із тонкими неоднорідностями, а також викладено моделі тонкого магнітоелектропружного та термомагнітоелектропружного включень. Крім цього, тут подано залежності розширеного формалізму Стро, який застосовувався для побудови інтегральних рівнянь сформульованих задач. Продемонстровано, яким чином інтегральні залежності для області з отворами можна отримати аналогічні співвідношення для області з математичними розрізами із заданими на них функціями стрибка.

Третій розділ стосується розробки підходу для дослідження задач термомагнітоелектропружності неоднорідного анізотропного півпростору з тунельними отворами і тонкими стрічковими включеннями, на межі якого задані змішані термомеханічні крайові умови. Для побудови інтегральних формул типу Сомільяни та систем сингулярних інтегральних рівнянь використано розширений формалізм Стро та теорію функцій комплексної змінної. Отримані системи інтегральних рівнянь розв'язувалися із застосуванням модифікованого методу граничних елементів. Це створило можливість отримати розв'язки низки нових задач для анізотропного півпростору зі змішаними крайовими умовами на його межі, всередині якого міститься тонке прямолінійне включення.

У четвертому розділі на основі теорії функції комплексної змінної та розширеного формалізму Стро у замкненій формі побудовано інтегральні рівняння крайових задач для термомагнітоелектропружних біматеріальних тіл з інтерфейсом високої теплопровідності, за наявності отворів та внутрішніх тонких неоднорідностей. Одержані системи інтегральних рівнянь розв'язувалися за допомогою модифікованого методу граничних елементів. З огляду на велику складність здійснюваних перетворень та громіздкість отриманих залежностей та відсутність розв'язків подібної задачі навіть для тріщини, велику увагу приділено верифікації отриманих обчислювальних формул та надійності відповідних розрахункових даних. Використано дуже оригінальний метод апробації результатів із обчисленням значень температурних полів поза областю тіла (всередині вирізів), а також прямого визначення комплексних потенціалів у вигляді скінченних сум степеневих рядів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження. Достовірність представлених автором результатів дисертаційної роботи не викликає сумнівів з огляду на такі фактори як:

- використання математичного апарату й апробованих рівнянь лінійних теорій пружності, термопружності, магнітоелектропружності та термомагнітоелектропружності;
- контрольне розв'язування вивчених іншими дослідниками задач;
- зіставленням отриманих результатів у часткових і граничних випадках із вже відомими розв'язками інших авторів;
- відповідністю результатів розв'язування нових задач фізичній суті досліджуваних явищ;
- використанням твердження про фізико-механічний сенс розв'язку у точках, що не належать до області визначення комплексних потенціалів, а також додатковим визначенням комплексних потенціалів у вигляді скінченних сум степеневих рядів.

Обґрунтованість наукових висновків, сформульованих автором дисертаційної роботи, підтверджується його публікаціями в українських та міжнародних фахових наукових виданнях, а також апробацією результатів роботи на авторитетних міжнародних наукових конференціях.

Новизна одержаних теоретичних та/або експериментальних результатів досліджень полягає в тому, що дисертантом:

- запропоновано аналітичний підхід для отримання сингулярних інтегральних рівнянь для анізотропного термомагнітоелектропружного півпростору, що містить тунельні отвори і тонкі неоднорідності з урахуванням усіх можливих змішаних температурних та механічних крайових умов на його межі;
- із застосуванням модифікованого методу граничних елементів розв'язано низку нових задач для термопружного півпростору зі змішаними крайовими умовами на його межі та системою внутрішніх тунельних отворів і тонких включень;
- отримано інтегральні формули та рівняння, для моделювання термомагнітоелектропружного біматеріального тіла із інтерфейсом високої теплопровідності, що в свою чергу може містити тонкі деформівні включення;
- розв'язано нові задачі термомагнітоелектропружності для біматеріальних тіл з інтерфейсом високої теплопровідності та внутрішніми тонкими неоднорідностями;
- на основі застосування розвинень комплексних потенціалів Стро у степеневі ряди, побудовано напіваналітичний обчислювальний метод аналізу фізико-механічних полів у біматеріальних структурах із неідеальним тепловим контактом складових.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Поставлені в дисертаційній роботі наукові завдання дисертант реалізував на високому науково-методичному рівні з дотриманням методологічних вимог до наукової діяльності. Дисертант розробив математичну модель та високопродуктивні аналітичні та аналітично-числові методи аналізу фізико-механічних полів у кусково-однорідних тілах зі змішаними крайовими умовами на поверхнях (зокрема, і контактних), побудував інтегральні рівняння на основі розширеного формалізму Стро, розробив комп'ютерне програмне забезпечення для числового аналізу сформульованих задач, представив отримані результати досліджень у графічній формі та старанно верифікував правильність побудованих аналітичних залежностей і надійність застосування побудованих обчислювальних методів і програм.

Поставлені наукові завдання виконані на високому методологічному рівні, а дисертант оволодів необхідними для рівня доктора філософії компетенціями.

Повнота викладу сформульованих у дослідженні наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях. Представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають значення для науки і техніки.

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..

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Добре було би у числових прикладах показати також збіжність отриманої числової реалізації запропонованого підходу зі згущенням сітки розбиття. Також добре було би навести дані щодо часу розрахунків.
2. Із дисертаційної роботи не ясно, чи було враховано особливості фізико-механічних полів у точці перетину включення та межі контакту матеріальних півпросторів. Ця особливість також потребує вивчення.
3. Оскільки у роботі розглядаються плоскі задачі, можливо було б доцільніше на рис. 4.1 зобразити лише плоский поперечний переріз замість об'ємного зображення біматеріалу.
4. Автор у роботі вивчає лише узагальнені коефіцієнт інтенсивності фізико-механічних полів для граничних значень теплофізичних характеристик тонкого включення. Добре було би вивчити також розподіл полів у матеріалі, а також дослідити вплив на них теплофізичних характеристик включення у повному спектрі їх зміни (а не лише вплив теплопровідності міжфазного прошарку).
5. У тексті зустрічаються незначні відхилення від загальноприйнятої термінології. Зокрема на с. 136 вжито термін “теплові модулі” замість “модулі теплового розширення”.

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

Заключна оцінка дисертаційної роботи. На основі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота Васишина Андрія Володимировича є завершеним науковим дослідженням. Робота містить нові науково обґрунтовані

результати, які у сукупності є важливими для розвитку прикладної математики та механіки деформівного твердого тіла, а також прикладних застосувань у створенні інноваційних продуктів. 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, Васишин Андрій Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент
професор кафедри вищої математики
Національного університету
«Львівська політехніка»,
докт. фіз.-мат. наук, професор

Роман МУСІЙ

Підпис докт. фіз.-мат. наук, проф. Мусія Р. С. засвідчую.

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»

Роман БРИЛИНСЬКИЙ