

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

Інтелектуальні композити, завдяки своїм унікальним адаптивним властивостями, займають провідне місце у сучасних технологічних досягненнях і вносять революційні зміни у різноманітні галузі електроніки, комп'ютерної техніки, біомеханіки тощо. Ці матеріали здатні реагувати на зовнішні впливи, такі як температура, світло, тиск або електричні та магнітні поля, що дозволяє їм динамічно модифікувати свої характеристики. Завдяки цьому, варіанти застосування даного класу матеріалів просто безмежні. Проте, як і в будь яких інших, в термомагнітоелектропружних матеріалах можуть міститися тонкі неоднорідності різного походження, зокрема тонкі включення, тріщини та отвори. Їх наявність може спричиняти появу у тілі небажаних концентрацій усіх фізико-механічних полів, що у свою чергу впливає та експлуатаційні характеристики виробів, зниження їх надійності та довговічності.

Таким чином, постає потреба в роботі над новими аналітичними та аналітично-числовими методами, що давали б можливість досліджувати розподіл фізико-механічних полів у термомагнітоелектропружних тілах, які можуть містити отвори, тріщини та інші тонкі неоднорідності, а також здійснювати точну кількісну оцінку їх інтенсивності.

Також, фактором, що значно впливає на термомагнітоелектронапружений стан інтелектуальних матеріалів, є наявність міжфазних прошарків, які виникають у результаті поєднання піроелектричних (сегнетоелектричних) та магнітоелектричних (п'єзомагнітних) матриць. Навіть при майже ідеальному механічному контакті такі прошарки можуть породжувати істотні збурення теплових, електричних та магнітних полів. Що в свою чергу, може істотно впливати на термомагнітоелектропружні характеристики таких матеріалів. Саме тому, створення нових методів для вивчення розподілу фізикомеханічних полів у термомагнітоелектропружних тілах із неідеально поєднаними компонентами в та внутрішніми тонкими неоднорідностями є важливою науковою проблемою з широкими можливостями практичного використання.

Беручи до уваги, все вищезгадане можна стверджувати, що дисертаційна робота Васишина Андрія Володимировича є актуальною, як з теоретичної так із практичної точок зору.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична проблема, пов'язана із опрацюванням нових високопродуктивних аналітичних та аналітично-числових методів аналізу плоских фізико-механічних полів у кусково-однорідних анізотропних термомагнітоелектропружних тілах, з отворами, тонкими прошарками, включеннями та тріщинами. У роботі розглянуто нові задачі для півпросторів, скінченних та безмежних біматеріальних тіл зі змішаними термомеханічними крайовими умовами на зовнішніх та контактних поверхнях.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків списку використаних джерел та додатку. У **вступі** вказано на актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, висвітлено наукову новизну. У **першому** розділі здійснено огляд літературних джерел, у яких досліджується проблематика теорії тонких неоднорідностей, а також висвітлюються основні методи дослідження тіл (анізотропних п'єзоелектричних, п'єземагнітних, термомагнітоелектропружних) із тонкими неоднорідностями, а також основні підходи до розв'язування відповідних задач.

Другий розділ дисертації містить основні співвідношення термомагнітоелектропружності для анізотропних тіл та формули розширеного формалізму Стро. Із використанням останнього у роботі побудовано інтегральні рівняння сформульованих задач. Крім цього, тут автор описує концепцію методу функцій стрибка, принцип спряження континуумів різної вимірності та демонструє, перехід від інтегральних залежностей для області з отворами, до аналогічних співвідношень для області з математичними розрізами із заданими на них функціями стрибка.

У **третьому розділі** автор, використовуючи розширений формалізм Стро та теорію функцій комплексної змінної демонструє підхід для побудови інтегральних формул типу Сомільяни та систем сингулярних інтегральних рівнянь для задач термомагнітоелектропружності неоднорідного анізотропного півпростору з тунельними отворами і тонкими стрічковими включеннями, на межі якого задані змішані термомеханічні крайові умови. Отримані системи рівнянь розв'язувалися за допомогою модифікованого методу граничних елементів, завдяки чому отримано розв'язки нових задач для анізотропного півпростору.

У **четвертому розділі** розглянуто крайові задачі для термомагнітоелектропружних біматеріальних тіл з неідеальним тепловим та

ідеальним магнітоелектромеханічним контактом складових, котрі у свою чергу можуть містити отвори, тріщини та внутрішні тонкі неоднорідності. Продемонстровано, метод отримання інтегральних рівнянь для сформульованих крайових задач із застосуванням розширеного формалізму Стро, які розв'язувалися за допомогою модифікованого методу граничних елементів. Також, тут сформульовано та доведено твердження, яке обґрунтовує новий підхід до простої та ефективної верифікації побудованих інтегральних рівнянь та застосованих до їхнього розв'язування методів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження. Наукові положення дисертації є достатньо обґрунтованими та відображеними у висновках. Основні результати, які були отримані здобувачем, відповідають меті та завданням дисертаційної роботи і добре висвітлені в опублікованих наукових працях. Результати досліджень представлено на українських та міжнародних наукових конференціях. Ступінь вірогідності отриманих результатів забезпечується наступними факторами

- використанням відомих та загально визнаних положень механіки деформівного твердого тіла;
- використанням математичного апарату та апробованих рівнянь лінійних теорій пружності, термопружності, магнітоелектропружності та термомагнітоелектропружності;
- коректністю і строгістю формулювань задач, контрольованою точністю обчислень, зіставленням отриманих результатів у часткових і граничних випадках із вже відомими розв'язками інших авторів;
- 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. У рамках поставленого та вирішеного у дисертації завдання отримано такі нові наукові результати

- запропоновано підхід для отримання інтегральних формул типу Сомільяни та сингулярних інтегральних рівнянь для анізотропного

- термомагнітоелектропружного півпростору, що містить тунельні отвори та тонкі неоднорідності з урахуванням різних типів змішаних крайових умов на його межі;
- отримано розв'язки нових задач для термопружного півпростору зі змішаними крайовими умовами на його межі та внутрішніми тунельними отворами і тонкими включеннями, шляхом розв'язування отриманих інтегральних рівнянь модифікованим методом граничних елементів;
 - побудовано інтегральні формули типу Сомільяни, та відповідні системи сингулярних інтегральних рівнянь для термомагнітоелектропружного біматеріального тіла з неідеальним тепловим та ідеальним магнітоелектромеханічним контактом складових, що в свою чергу можуть містити порожнини й тонкі деформівні включення;
 - отримано аналітичні та числові розв'язки нових задач для термомагнітоелектропружного біматеріального тіла з інтерфейсом високої теплопровідності та внутрішніми тонкими неоднорідностями;
 - використовуючи розвинення комплексних потенціалів Стро у степеневі ряди, запропоновано новий 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

Дисертаційна робота написана державною мовою, викладена грамотно. Структура побудови роботи добре продумана, логічна. Кожен розділ дисертації відповідає сформульованому завданню, містить вичерпний виклад матеріалу та закінчується висновками. Це свідчить про високий рівень оволодіння здобувачем методології проведення наукових досліджень. Поставлені в дисертаційній роботі наукові завдання дисертант реалізував на високому науково-методичному рівні з дотриманням методологічних вимог до наукової діяльності. Автор 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. При розв'язуванні числових прикладів, у роботі використовувалися широко відомі характеристики реальних матеріалів таких, як анізотропний склопластик, титанат барію та селенід кадмію, проте не здійснено посилання на джерело, звідки вони були запозичені.
2. Попри великий масив числових даних автор практично не вказує на якісь особливості відповідних явищ, а також на їхнє практичне використання.
3. Із дисертаційної роботи не зрозуміло, скільки вузлів квадратурних формул використовувалося при числовому інтегруванні уздовж граничних елементів і яким чином це число обиралося. Чи використовувалися адаптивні квадратури?
4. Не зрозуміло, чи є запропонований підхід придатним до розв'язування задач для міжфазних тонких включень
5. У роботі отримані досить громіздкі вирази для ядер інтегральних рівнянь, що до того ж виражені через деякі спеціальні функції. Чи не буде їхнє обчислення для складнішої геометричної конфігурації задачі займати надто багато часу на персональному комп'ютері?
6. У роботі зустрічається незначна кількість описок і повторень. Зокрема розшифрування аббревіатури CPV зустрічається на с. 51 та с. 68; описки у формулюванні інтегральної формули (теорема) Коші (2.84) на с. 51.

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, завідувач кафедри теоретичної та комп’ютерної механіки

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара МОН України,

докт. фіз.-мат. наук, професор

Володимир ЛОБОДА

Підпис докт. фіз.-мат. наук, проф. Лободи В. В. засвідчую.

Вчений секретар

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара МОН України