

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Василишина Андрія Володимировича

“Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями”,

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

Актуальність дисертаційної роботи. На сьогоднішній день спостерігається інтенсивний запит використання високотехнологічними галузями виробництва на кшталт аерокосмічної, медицини, оборонної сфери, нанотехнологічної та ін. т. зв. багатофункціональних смарт матеріалів, для яких характерна адаптаційна поведінка на дію зовнішніх подразників. Окремий клас таких матеріалів та нову сферу досліджень становлять термомагнітоелектропружні структури, здатні часто навіть за екстремальних умов роботи зберігати та проявляти нові функціональні властивості під одночасним впливом кількох фізичних полів різної природи. Такі смарт матеріали чутливі до теплового, магнітного електричного та класичного механічного полів, а їх мультифізична поведінка в поєднанні з подальшим прогнозуванням та аналізом властивостей мають важливе значення для ефективного теоретичного та прикладного застосування. Додатковий інтерес для досліджень становлять врахування наявності у зазначених структурах тонких неоднорідностей на кшталт включень, тріщин, анізотропії пружних властивостей матеріалів, різнотипних крайових умов спряження на інтерфейсних та обмежувальних поверхнях тощо.

Необхідність прогнозування властивостей, розрахунку міцності, прогнозування довговічності конструктивних елементів зі згаданих матеріалів призводить до розуміння розробки ефективного математичного апарату, який уможливорює фізично коректний опис комплексної дії полів різної природи на мультифізичну поведінку відповідних термомагнітоелектропружних структур. Незважаючи на певний обсяг наявних у літературі теоретичних та експериментальних даних, теоретичні доробки цієї проблематики вивчені недостатньо і далекі від свого логічного завершення. Математичному моделюванню та розробці теоретико-розрахункових моделей для опису плоских фізико-механічних полів у кусково-однорідних термомагнітоелектропружних анізотропних тілах з тонкостінними дефектами під тепловим навантаженням і присвячена дисертаційна робота.

Враховуючи вищесказане, дана дисертаційна робота є, поза сумнівом, актуальною в науковому та прикладному аспектах.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. У **першому розділі** на підставі аналізу літературних джерел окреслено сучасний стан розглянутих у дисертації проблем, проведено огляд досліджень, присвячених аналізу складного характеру взаємодії полів різної фізичної природи в пружних, термопружних та анізотропних термомагнітоелектропружних структурах з тонкими неоднорідностями типу тріщин та включень. Визначено мету роботи та сформульовані необхідні для її досягнення задачі. У **другому розділі** дисертаційної роботи сформульовані визначальні співвідношення теорії термомагнітоелектропружності анізотропних тіл, описано формалізм Стро стосовно дослідження плоских полів відповідних задач та пов'язаний з ним протокол побудови інтегральних рівнянь магнітоелектропружності тіл з тонкими включеннями, проведено аналіз сингулярностей ядер рівнянь та запропонований стійкий числовий алгоритм їх розв'язання з використанням модифікованого методу граничних елементів. **Третій розділ** дисертації присвячено виведенню сингулярних інтегральних рівнянь для термопружного анізотропного півпростору з внутрішнім тонкостінним включенням під тепловим навантаженням та різнотипними механічними і тепловими крайовими умовами на зовнішній поверхні. На підставі аналізу отриманих числових результатів проведено кількісний та якісний аналіз впливу геометричних та фізичних структурних параметрів на коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) у вершинах включення. **Четвертий розділ** роботи присвячено побудові інтегральних рівнянь плоских задач термомагнітоелектропружності для біматеріального анізотропного тіла з тонкостінними включеннями та порожнинами за неідеального теплового та ідеального магнітоелектропружного контактів на інтерфейсі. З використанням отриманих числових результатів спостережено низку фізичних феноменів поведінки КІН у вершинах включень.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження. Достовірність отриманих автором у дисертаційній роботі результатів та висновків забезпечена обґрунтованим застосуванням класичних положень та методів математичної фізики, механіки деформівного твердого тіла; строгістю застосування ефективних математичних та числових методів для розв'язування отриманих інтегральних рівнянь; верифікацією в часткових випадках отриманих результатів з аналітичними результатами, отриманими іншими дослідниками; відповідністю виявлених висновків суті фізичних явищ у досліджуваних об'єктах.

Новизна отриманих теоретичних та числових результатів досліджень полягає в тому, що дисертантом:

- вперше з використанням концептуальних засад формалізму Стро, принципів спряження різновимірних континуумів та методу функцій стрибка розроблено

методику зведення плоских задач термомагнітоелектропружності анізотропних тіл до інтегральних рівнянь;

- запропоновано ефективний модифікований метод граничних елементів розв'язання сингулярних інтегральних рівнянь для тіл з тонкими структурними дефектами, який враховує різнотипні сингулярності у вершинах дефектів та забезпечує стійкий алгоритм отримання числових розв'язків;
- описано математичну модель з подальшим її зведенням до інтегральних рівнянь плоскої задачі термопружності для анізотропного півпростору з різнотипними крайовими умовами на зовнішній поверхні та внутрішніми отворами і тонкостінними податливими включеннями;
- побудовано інтегральні рівняння крайової задачі для термомагнітоелектропружного біматеріалу за неідеального теплового та ідеального магнітоелектромеханічного спряження анізотропних компонент з отворами та тонкостінними включеннями. Запропоновано методику вилучення з розгляду безмежного інтерфейсу, вплив якого описано у рівняннях додатковими ядрами з інтегруванням по скінченних межах структурних дефектів, що важливо для числового знаходження розв'язків;
- на підставі проведеного широкоюсяжного аналізу отриманих числових результатів виявлені та детально описані нові феномени залежності узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершинах включень від видів крайових умов на зовнішній/інтерфейсній поверхнях тіл, значень параметрів полів різної природи, ефекту згину включення.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. У дисертаційній роботі з використанням методів математичної фізики, механіки деформівного твердого тіла та числових методів проведено коректне математичне моделювання низки фізичних процесів в термомагнітоелектропружних анізотропних півбезмежних та біматеріальних структурах з тонкостінними включеннями зі зведенням їх до розв'язування сингулярних інтегральних рівнянь. Дисертантом розроблено відповідні програми для числового розрахунку зазначених рівнянь та визначення КІН у вершинах включень за широкого спектру вхідних геометричних та фізичних параметрів.

Поставлені наукові завдання виконані на високому методологічному рівні, а дисертант оволодів необхідними для рівня наукового ступеня доктора філософії компетенціями, навичками та досвідом.

Повнота викладу сформульованих у дослідженні наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях. Отримані в дисертаційній роботі результати висвітлені в наукових фахових виданнях, пройшли апробацію на національних та міжнародних конференціях. За результатами дисертаційних досліджень автором опубліковано 13 наукових праць, серед яких 4 статті у фахових наукових виданнях, прореферованих міжнародними

наукометричними базами даних Web of Science та/або Scopus; 9 публікацій в матеріалах тез наукових вітчизняних та міжнародних конференцій.

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. У роботі під час зведення розглянутих задач до сингулярних інтегральних рівнянь запропонована методика вилучення з розгляду безмежних поверхонь – обмежувальної поверхні для півпростору та інтерфейсної поверхні для біматеріалу. Окрім того, для випадку біматеріального тіла крайові умови на інтерфейсі сформульовані по всій його поверхні (для $-\infty < x_2 < \infty$). Разом з тим в 4-му розділі дисертаційної роботи розглянуто задачі про квадратну область і тонкі неоднорідності, які перетинають інтерфейс, порушуючи його неперервність. Не зовсім зрозуміло, наскільки коректними є отримані при цьому результати.

2. У роботі вплив поверхні анізотропного півпростору з включенням на коефіцієнти інтенсивності напружень досліджено лише заданням різнотипних крайових умов на згаданій поверхні. Разом з тим поза увагою залишилося питання аналізу впливу глибини залягання внутрішніх неоднорідностей, і, відповідно, з'ясуванням обставин, за яких можна знехтувати впливом/наявністю зовнішньої поверхні півпростору та інтерфейсної поверхні для біматеріалу.

3. Безумовно, громіздкість наведених у дисертаційній роботі математичних викладок спонукала дисертанта застосовувати компактний запис формул з широким застосуванням індексно-матричних позначень. Разом з тим вважаю, що було б корисно для одного вибраного прикладу навести розгорнутий вигляд інтегральних рівнянь (їх можна було б винести у Додатки роботи). Такий запис уможливило б детальний аналіз структури ядер, наочно описує внесок кожного фізичного поля та зовнішньої/інтерфейсної поверхні, демонструє різнотипні види сингулярностей ядер тощо.

4. У роботі трапляються окремі описки: параметром θ одночасно позначено температуру і кут нахилу включення до поверхні півпростору; у розділі **3** досліджено задачі термопружності для анізотропного півпростору, а у висновках помилково згаданий термомагнітоелектропружний півпростір; півпростори у біматеріалі розділу **4** розділені поверхнею $x_1=0$, а не $x_2=0$ тощо.

Викладені зауваження не заперечують позитивного враження від поданої до захисту роботи, а також не впливають на достовірність основних результатів та висновків.

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

Заключна оцінка дисертаційної роботи. Подана до захисту дисертаційна робота А.В. Васишина є цілісною та завершеною науковою працею, в якій детально і строго математично вирішено актуальну і складну проблему розробки і дослідження математичних моделей та адаптованих під них числових методів аналізу плоских фізико-механічних полів різної природи у півбезмежних та біматеріальних анізотропних структурах за різнотипних крайових умов на їх поверхнях та з урахуванням наявності в них тонких структурних дефектів. Сформульовані завдання та мета успішно досягнуті. Виклад змісту роботи добре структуровано, послідовно логічно подано та викладено на належно високому науковому рівні. Робота містить нові науково обґрунтовані та цікаві результати, які у сукупності є важливими для розвитку прикладної математики та механіки деформівного твердого тіла. За актуальністю теми, науковою новизною, обсягом, теоретичною та практичною значущістю отриманих результатів 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 ступеня доктора філософії з галузі знань 11 “Математика та статистика” за спеціальністю 113 “Прикладна математика”.

Рецензент:

професор кафедри механіки
Львівського національного університету
імені Івана Франка,
д-р фіз.-мат. наук, доцент

Володимир СТАНКЕВИЧ