

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Білого Дмитро Володимировича

**«Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних
квazікристалах»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дисертаційна робота Білого Дмитра Володимировича «Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квazікристалах» присвячена розробці та обґрунтуванню нових розрахункових моделей та методів розв'язання задач деформування п'єзоелектричних квazікристалів з тріщинами на межі поділу матеріалів. Детальний аналіз дисертації дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності досліджень, наукової новизни та практичного і теоретичного значення отриманих результатів, а також оцінити їх ступінь апробації.

1. Актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

П'єзоелектричні квazікристали важлива та перспективна область в матеріалознавстві та конденсованих речовинах. Ця тема є актуальною з кількох причин:

1. П'єзоелектричні матеріали мають властивість генерувати електричне поле при деформації та навпаки, деформуватися при наявності електричного поля. Це робить їх цінними у різних технологічних застосуваннях, таких як датчики, прецизійні приводи, актуатори тощо. Дослідження внутрішніх та міжфазних тріщин у п'єзоелектричних квazікристалах може привести до покращення їхньої довговічності та стабільності в різних середовищах, що робить цю тему актуальною для розробки нових технологічних рішень.

2. Дослідження п'єзоелектричних квazікристалів, зокрема внутрішніх та міжфазних тріщин, може розкрити нові погляди на механічні та електричні властивості цих матеріалів. Відсутність достатньої кількості досліджень у цій області створює науковий вакуум, який можна заповнити цими дослідженнями.

3. Дослідження внутрішніх та міжфазних тріщин в п'єзоелектричних квazікристалах має потенційний вплив на декілька наукових галузей. Наприклад, це може мати важливі наслідки для розуміння та розвитку нових матеріалів для електроніки, енергетики, медицини та інших галузей.

Отже, тема "Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квазікристалах" є актуальною не лише для наукового співтовариства, а й для технологічного та промислового розвитку. Її вивчення відкриває можливості для нових досліджень, здобуття нових знань та знаходження практичних застосувань у різних галузях.

Слід також відзначити, що дослідження було виконано в межах науково-дослідної лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів, яка належить до кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки механіко-математичного факультету ДНУ. Це було реалізовано в рамках двох державних бюджетних тем: тема 1-335-18 "Розрахункові моделі п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних композитів з тріщинами на межі поділу матеріалів", що мала державну реєстрацію під номером 0118U003302, і тривала з 2018 до 2020 року, та тема 1-655-21 "Моделі та методи визначення параметрів руйнування п'єзоактивних та п'єзопасивних композитів з дефектами на межі поділу матеріалів", яка була зареєстрована під номером 0121U109767 та виконується у період з 2021 по 2023 роки.

2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, наданих у дисертаційній роботі

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану наукової проблеми і його участі в обґрунтуванні та розробці основної ідеї і теми дисертації, формуванні мети і завдань дослідження; теоретичному обґрунтуванні і розробці методів і алгоритмів розв'язання поставлених задач; якісному та кількісному аналізу результатів та їх інтерпретації; оформленні статей та доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність забезпечується коректністю та строгістю постановок задач, математичним обґрунтуванням розроблених і застосованих алгоритмів та методів. Для побудови математичних моделей використовувалися загально прийняті у світовій літературі визначальні рівняння для квазікристалічних середовищ; аналітичні розв'язки будувалися за допомогою добре апробованого апарату теорії функцій комплексної змінної.

4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення

Новизна отриманих результатів полягає в наступному: була вирішена нова наукова задача, пов'язана з тунельною електрично провідною тріщиною вздовж межі розділу двох зчеплених одновимірних п'єзоелектричних

квазікристалічних півпросторів. Ця задача враховує вплив віддалених рівномірно розподілених антиплоских фононних та фазонних зсувних напружень, а також електричного поля в площині, перпендикулярній фронту тріщини.

По-друге, було проведено дослідження антиплоскої задачі для електропровідної міжфазної тріщини у п'єзоелектричному квазікристалі, який піддавався впливу фононного механічного навантаження та електричного поля, а також електричного заряду, розподіленого вздовж берегів тріщини. Цей аспект дозволив розглянути взаємодію різних факторів на тріщину та її поведінку.

Крім того, вперше був проведений аналітичний аналіз плоскої задачі для електрично проникної тріщини на межі поділу двох напівнескінчених одновимірних п'єзоелектричних квазікристалічних півпросторів. Ця задача враховувала вплив віддалених рівномірно розподілених фононних та фазонного напружень, а також електричного зміщення. В результаті розв'язку встановлено якісні та кількісні характеристики фононних та фазонних полів в околі вершин тріщин.

Також було досліджено поведінку тріщини, що рухається з усталеною дозвуковою швидкістю у ортотропному матеріалі під дією сосереджених сил, прикладених до її берегів.

5. Практичне значення отриманих результатів

Важливе практичне значення полягає у високій точності аналітичних розв'язків, які отримані в дисертаційній роботі. Ці аналітичні розв'язки можуть виступати як база для експериментальних досліджень, а також для розробки та перевірки чисельних методів, які використовуються для аналізу тіл скінчених розмірів згідно з проблематикою даної дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи можуть бути впроваджені в навчальному процесі та при виконанні курсових та дипломних робіт студентами кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

6. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації

Результати проведених досліджень були піддані апробації та отримали позитивне визнання на наукових семінарах і на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях.

Матеріали дисертації достатньо повно опубліковано у 8 друкованих роботах, зокрема 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у виданні, що індексується науково-метричною базою Scopus.

Зазначені публікації з достатньою повнотою розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

7. Аналіз основного змісту роботи

У *вступі і першому розділі* висвітлено структуру квазікристалів і подано їх класифікацію. Встановлені математичні моделі, які описують напружено-деформаційний стан квазікристалів, зокрема одновимірних квазікристалічних тіл. Проведений аналіз доступних джерел по темі дисертації і виділено внесок авторів у дослідження з композитних тіл зі складними фізичними властивостями при наявності дефектів у їхній структурі.

У *другому розділі* досліджено антиплоску задачу для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з міжфазною тріщиною. Представлені ключові співвідношення для випадку антиплоскої деформації одновимірних п'єзоелектричних квазікристалів, з урахуванням фононних та фазонних властивостей. Виконано побудову компонент електро-пружно-деформівного стану через кусково-аналітичні функції та сформульовано задачу лінійного спряження для випадку електропровідної тріщини. Приведено аналітичний розв'язок цієї задачі, здійснено чисельну ілюстрацію впливу механічного навантаження та електричного поля на фононні та фазонні напруження та зсувне відкриття тріщини.

Третій розділ присвячений розгляду плоскої задачі для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з тунельною тріщиною на межі поділу матеріалів. Запропоновані матрично-векторні представлення для фононних та фазонних напружень, електричного зміщення та похідних від стрибків фононних та фазонних переміщень та електричних потенціалів. Сформульовано задачу лінійного спряження Рімана-Гільберта для випадку електрично непроникної тріщини та отримано аналітичний розв'язок. Також розглянуто модель електрично проникної тріщини, яка є більш адекватною дійсності. Розв'язок цієї задачі також подано аналітично. Для обох випадків граничних умов наведено аналітичні вирази для стрибків переміщень та напружень.

У *четвертому розділі* вивчено тріщину, що рухається усталено з дозвуковою швидкістю в ортотропному матеріалі під дієюсосереджених сил, прикладених до берегів тріщини. Використовуючи метод комплексних потенціалів та метод заміни координат, проблему зводиться до неоднорідної задачі лінійного спряження, для якої знайдено аналітичний розв'язок. Розглянуто чисельну реалізацію отриманого аналітичного розв'язку для ортотропного вуглепластика при різних інтенсивностях зовнішнього навантаження та швидкостях руху тріщини.

8. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Дисертаційна робота включає в себе вступ, аналіз літератури, чотири розділи, висновки та список використаних джерел, який включає 120 джерел на сторінках від 101 до 112. Загальний обсяг дисертації складає 112 сторінок, з основним текстом, який охоплює 102 сторінки. У роботі міститься 30 графіків та 4 таблиці.

Текст дисертації написаний українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу в роботі є логічним та відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень.

9. Зауваження щодо змісту дисертації

В результаті розгляду дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. В розділі 3.5 в постановці задачі про електрично проникної тріщини між двома 1D гексагональними п'єзоелектричними квазікристалами нічого не сказано про розтягуюче навантаження σ_{11}^{∞} яке зображене на рисунку 3.5 до цієї ж постановки задачі, тому виникає питання яку роль в задачі виконує це навантаження, та як воно враховувалось в її розв'язку.
2. На сторінці 47 після фрази: «Транспонуючи ліву і праву частину останнього рівняння, отримаємо» повинно слідувати транспоноване рівняння. Незважаючи на те, що запис цього рівняння є очевидним, слід було б його привести під номером (2.36), який у тексті дисертації відсутній.
3. В параграфі (2.2) при посиланні на Рис. 2.1 на сторінці 49 вказується, що півпростори піддаються рівномірно розподіленому зсувному фоновому σ_{23}^{∞} та фазонному H_{23}^{∞} напруженням. На самому ж рисунку 2.1 навантаження позначені як τ_1 і τ_2 . Хоч перед Рис. 2.1 є пояснення $\sigma_{23}^{\infty} = \tau_1$ і $H_{23}^{\infty} = \tau_2$, це в деякій мірі утруднює розуміння постановки задачі.
4. В таблиці 1.1 при описі точкових груп зустрічаються цифри 1, 3, 4, 6, а також ці ж цифри з рисочкою зверху. Слід було б пояснити сенс рисочок. Крім того, на сторінці 89 після (4.4) слід було б пояснити, що таке символ “v”.
5. У тексті роботи є описки. Наприклад: перед рівнянням (4.15) замість [6] доцільніше було б зробити посилання на [21]; у змісті в назві розділу III замість «трищиною» треба писати «тріщиною»; у підписі до Рис. 3.3 загублено пробіл; у реченні перед рівнянням (3.69) перед словом «фонон» пропущена кома.

Однак, зроблені зауваження не носять принципового характеру, не зменшують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи і не можуть істотно вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації.

10. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

Дисертаційна робота Білого Д.В. на тему «Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квазікристалах» повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

11. Загальні висновки

Викладене демонструє, що дисертаційна робота Білого Дмитро Володимировича є результатом самостійного та завершеного наукового дослідження. Вона характеризується актуальністю обраної теми, науковою новизною, достовірністю одержаних результатів та чіткими висновками. Дисертаційна робота має як теоретичну, так і практичну цінність. Тематика роботи відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

Вважаю, що дисертаційна робота Білого Дмитро Володимировича «Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квазікристалах», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика відповідає встановленим вимогам відповідно наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами від 21.03.2022), а її автор Білий Дмитро Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри вищої математики, фізики та
загальноінженерних дисциплін
Дніпровського державного
аграрно-економічного університету

Володимир ГОВОРУХА

Підпис Володимира ГОВОРУХИ засвідчую:

Вчений секретар Дніпровського державного
аграрно-економічного університету,
доктор фізико-математичних наук, професор

Олена БЕРЕЗА

