

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу *Білого Дмитра Володимировича*
на тему: *«Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних
квазікристалах»*,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дисертаційна робота Білого Д.В. присвячена розв'язанню низки питань стосовно особливостей напружено-деформівного стану квазікристалів з п'єзоелектричними властивостями, які можуть бути послабленими внутрішніми або міжфазними тріщинами. **Актуальність обраної теми дисертації** обумовлена широким практичним застосуванням квазікристалічних покриттів та використанням квазікристалів з п'єзоелектричним ефектом у вимірювальних пристроях, а також недостатнім рівнем розробки вказаної тематики.

Основна **мета** дисертаційної роботи полягає в дослідженні тріщини між двома різнорідними п'єзоелектричними квазікристалами під впливом плоского та антиплоского навантаження механічного та електричного типу.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літературних джерел.

У **вступі** проведено опис актуальності, мети та завдань поставлених в роботі, її новизни та практичного значення.

У **першому розділі** відображено основні етапи вивчення квазікристалів як порівняно недавно відкритих матеріалів, детально описано їх структуру та наведено класифікацію. Проаналізовано доступні джерела по темі та визначено математичні моделі, що описують напружено-деформований стан квазікристалів, з фокусом на одновимірні квазікристалічні тіла з п'єзоелектричними складовими. Також був виконаний аналіз літературних джерел щодо тематики дисертації і відзначено внесок автора дисертації у дослідження композитних тіл з ускладненими фізичними властивостями за наявності дефектів їх структури.

У другому розділі досліджена антиплоска задача для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з міжфазною тріщиною. В цьому розділі представлені визначальні співвідношення для антиплоского випадку одновимірних п'єзоелектричних квазікристалів з ідентифікацією їх фононних та фазонних компонент.

Були побудовані представлення компонент електро-пружно-деформованого стану за допомогою кусково-аналітичних функцій, на основі яких була сформульована задача лінійного спряження для випадку електропровідної тріщини. Було знайдено точний аналітичний розв'язок цієї задачі, і на його основі проведена числова ілюстрація впливу зовнішнього механічного фонон-навантаження та різних величин електричного поля на фонон- і фазон-напруження та зсувне відкриття тріщини.

Також був представлений розв'язок задачі антиплоского навантаження для одновимірного п'єзоелектричного біматеріального квазікристала з тріщиною під впливом як механічного навантаження і електричного поля, прикладених на нескінченності, так і електричного заряду, розподіленого вздовж берегів тріщини. Для цього використовувався аналітичний підхід, який дозволив отримати точний розв'язок і в цьому більш складному випадку.

У третьому розділі була розглянута плоска задача для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з тунельною тріщиною на межі поділу матеріалів. Вдало отримано матрично-векторні представлення для фононних і фазонних напружень, а також для похідних від стрибків фононних і фазонних зміщень та електричних потенціалів.

За допомогою цих представлень сформовано задачу лінійного спряження Рімана – Гільберта для випадку електрично непроникної тріщини, і знайдено аналітичний розв'язок. Також, використовуючи перетворення матрично-векторних представлень, сформовано аналогічну задачу лінійного спряження для моделі електрично проникної тріщини, що є більш адекватною до дійсності, і також отримано аналітичний розв'язок.

Представлено аналітичні вирази для фононних і фазонних стрибків зміщень вздовж області тріщини, а також для фононних і фазонних напружень вздовж зв'язаних частин поверхні розділу матеріалів при різних видах

електричних граничних умов на берегах тріщини. Здійснено числову реалізацію одержаних результатів і представлені графічні та табличні дані залежностей фононних та фазонних полів від зовнішнього механічного та електричного навантажень.

У четвертому розділі проведено дослідження тріщини, що рухається усталено із дозвуковою швидкістю в ортотропному матеріалі під дією зосереджених сил на берегах тріщини. За допомогою методу комплексних потенціалів та заміни координат задача зводиться до неоднорідної задачі лінійного спряження. Був знайдений аналітичний розв'язок задачі, який дозволив отримати вирази для напружень і переміщень в околі фронту тріщини.

Числова реалізація аналітичного розв'язку була проведена для ортотропного вуглепластика з різними інтенсивностями зовнішнього навантаження та різними дозвуковими швидкостями руху тріщини. Були побудовані графічні залежності нормального напруження перед фронтом тріщини. Виявлено, що напруження необмежено зростають при наближенні до вершини тріщини. Також був продемонстрований ріст розкриття тріщини при збільшенні швидкості її руху.

У висновках викладені основні результати роботи. Список літературних джерел, з моєї точки зору, досить повно відображає стан справ по тематиці дисертаційної роботи.

Отримані результати дослідження мають **наукову новизну**. Вперше були розв'язані нові задачі, зокрема, для тунельної електрично провідної тріщини вздовж межі розділу двох зчеплених одновимірних п'єзоелектричних квазікристалічних півпросторів під дією віддалених рівномірно розподілених антиплоских фононних та фазонних зсувних напружень та електричного поля в площині, перпендикулярній фронту тріщини.

Також була досліджена антиплоска задача для електропровідної міжфазної тріщини у п'єзоелектричному квазікристалі, який знаходиться під впливом як фононного механічного навантаження та електричного поля, так і електричного заряду, розподіленого безпосередньо вздовж берегів тріщини.

Для випадків електрично проникних і електрично ізолюваних берегів

тріщини виконаний аналітичний аналіз плоскої задачі теорії пружності для п'єзоелектричного квазікристала з тріщиною, береги якої ортогональні квазі-періодичному напрямку розміщення атомів кристалічної решітки.

Досліджено тріщину, що рухається усталено з дозвуковою швидкістю в ортотропному матеріалі під дією зосереджених сил, прикладених до її берегів.

Отримані аналітичні розв'язки мають **практичне значення**, оскільки вони є точними аналітичними. Це дозволяє використовувати їх як еталонні при проведенні експериментальних досліджень або при розробці та апробації числових методів для об'єктів зі скінченними розмірами, пов'язаних з проблематикою даної роботи. Результати сприятимуть вдосконаленню наукових досліджень та допоможуть в розробці нових методів та технологій.

Дисертаційна робота виконувалась у 2018–2023 рр. у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, а також в науково-дослідній лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки механіко-математичного факультету ДНУ в рамках держбюджетних тем 1-335-18 «Розрахункові моделі п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних композитів з тріщинами на межі поділу матеріалів», номер державної реєстрації № 0118U003302, 2018–2020 рр. та 1-655-21 «Моделі та методи визначення параметрів руйнування п'єзоактивних та п'єзопасивних композитів з дефектами на межі поділу матеріалів», номер державної реєстрації № 0121U109767, 2021–2023 рр.

Тема дисертації відображена автором у 5 статтях. Одна з них опублікована у виданні, яке включено до наукометричної бази даних Scopus. Чотири інші статті входять до переліку наукових фахових видань України. Основні результати дослідження автора є самостійними. Вважаю, що ці публікації докладно висвітлюють зміст роботи та її ключові положення.

Основні положення та результати дисертаційної роботи **доповідалися й обговорювалися** на підсумкових наукових конференціях Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара протягом 2019–2022 рр.; а також на трьох міжнародних конференціях.

Рукопис дисертації Білого Д.В. написано українською мовою та оформлено відповідно до існуючих вимог. Отримані результати дослідження за змістом повністю відповідають спеціальності 113 Прикладна математика.

У ході ознайомлення з роботою виникли такі зауваження:

1. У рівняннях (2.53) та (2.54) представленні загальні вирази для комбінацій переміщень та напружень, але в роботі не описано як з цих загальних рівнянь було отримано кожне з трьох невідомих значень стрибків переміщень та стрибків напружень, числові значення яких наведено далі в розділі 2.5.
2. Розв'язок, наведений в третьому розділі, дозволив представити графічно числовий розв'язок задачі для електрично проникної тріщини між двома різними 1D гексагональними п'єзоелектричними квазікристалами. При цьому на рис. 3.9 зображено від'ємні значення стрибка переміщень. На жаль, опису цього явища не приділена належна увага. Слід було б детальніше описати, який сенс мають від'ємні стрибки переміщень, чому вони виникають і як їх уникнути.
3. У формулі (2.7) вперше вводиться кома з відповідним індексом, яка означає диференціювання по змінній, пов'язаній з цим індексом. Після формули (2.7) слід було б навести пояснення стосовно сенсу такого позначення.
4. В роботі зустрічаються невдалі формулювання та описки. Наприклад, «Представлене вище розв'язки в частині 1.4» на початку пункту 2.5; посилання на систему (9) замість (4.8) в кінці сторінки (90); посилання на табл. 3.1 замість 4.1 в пункті 4.3.

Однак, суттєвих недоліків, які зменшували б цінність роботи, не виявлено. Зроблені зауваження і побажання не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Викладене демонструє, що ця дисертаційна робота 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 Дмитра 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 р.), а її автор Білий Дмитро Володимирович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара



Етері ГАРТ

Підпис професора Гарт Е. засвідчую:

Вчений секретар ДНУ



Тетяна ХОДАНЕН