

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Білого Дмитра Володимировича

«Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квазікристалах»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за

спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність теми дисертації.

Проблеми, що розглянуті в дисертаційній роботі Білого Д.В. є, без сумніву, актуальними, оскільки квазікристали з п'єзоелектричною складовою останнім часом широко використовуються на практиці і часто причиною їх руйнувань є дефекти на межі поділу матеріалів – тріщини, включення і т.д. Дослідження проблем руйнування таких матеріалів почалось порівняно недавно і присвячене, в основному, тріщинам в однорідних квазікристалах. Це обумовлено складністю математичних моделей задач, що виникають при дослідженні проблем механіки руйнування для тріщин на межі поділу різних п'єзоелектричних квазікристалічних матеріалів. В даній роботі розглянуті якраз такі задачі як у антиплоскому, так і плоскому випадках механічного та електричного навантажень. Результати отримані в аналітичному вигляді, зручному для практичного використання, що додатково підкреслює їх важливість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що вона виконувалась у відповідності з планами наукових досліджень в науково-дослідній лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів кафедри теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара 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.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації. Мета роботи полягає в дослідженні тріщини між двома різнорідними

п'єзоелектричними квазікрystalами під впливом плоского та антиплоского навантаження механічного та електричного типу, а також рухомої тріщини в анізотропному матеріалі.

Для досягнення цієї мети автор вирішив наступні основні завдання:

- представив фононні, фазонні та електричні характеристик для біматеріального тіла через кусково-аналітичні функції для плоского та антиплоского видів зовнішнього навантаження;
- з використанням одержаних представлень сформулював та аналітично розв'язав задачі лінійного спряження, що мають місце при плоскій та антиплоскій постановці задач для біматеріального тіла з тріщинами на межі поділу матеріалів;
- одержав аналітичні вирази для фононних, фазонних та електричних компонент в біматеріальному тілі під дією механічного навантаження та електричного поля, а також визначив коефіцієнти інтенсивності напружень та електричного поля;
- побудував аналітичний розв'язок задачі для анізотропного тіла з рухомою тріщиною під дією віддаленого стаціонарного навантаження.

Вважаю, що

- *об'єкт дослідження* – напружено-деформований стан п'єзоелектричних квазікрystalів з тріщинами на межі поділу матеріалів та
- *предмет дослідження* – плоскі та антиплоскі задачі для міжфазних тріщин у квазікрystalах із п'єзоелектричною складовою адекватно відображають коло завдань, які розв'язуються в даній роботі.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Вважаю, що наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше розв'язано задачу для тунельної електрично провідної тріщини вздовж межі поділу двох зчеплених одновимірних п'єзоелектричних квазікрystalічних півпросторів під дією віддалених рівномірно розподілених *антиплоских* фононних та фазонних зсувних напружень та електричного поля в площині, перпендикулярній фронту тріщини.

2. Для антиплоскої задачі, розглянутої в попередньому пункті, враховано *електричний заряд*, розподілений вздовж берегів тріщини.
3. Аналітично розв'язано *нову плоску задачу* для електрично проникної тріщини на межі поділу двох напівнескінчених одновимірних п'єзоелектричних квазікристалічних півпросторів під дією віддалених рівномірно розподілених фононних нормальних та зсувних напружень, а також фазонного напруження та електричного зміщення.
4. Проведено аналітичне дослідження тріщини, що рухається усталено з дозвуковою швидкістю в ортотропному матеріалі під дією зосереджених сил, прикладених до її берегів. Встановлені особливості напружень в точках фронту тріщини та проілюстровані залежності напружень та переміщень від зовнішнього навантаження та швидкості руху тріщини.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені в роботі методи й алгоритми дозволяють досліджувати фононні, фазонні та електричні поля в п'єзоелектричних квазікристалічних біматеріалах з міжфазними тріщинами. Отримані в явному вигляді формули для напружень та їх коефіцієнтів інтенсивності дозволяють оцінити вплив зовнішніх чинників на ці величини і тим самим сприяють підвищенню тріщиностійкості конструкцій, виготовлених із квазікристалічних матеріалів. Точні аналітичні розв'язки, отримані в роботі можуть служити еталонними при розробці й апробації чисельних методів розв'язання задач вказаного класу для тіл кінцевих розмірів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Дисертаційна робота відповідає вимогам до досліджень такого рівня. Роботу виконано на належному науковому рівні.

Вважаю, що одержані результати в достатній мірі є обґрунтованими і достовірними. Це забезпечується строгістю та коректністю постановок задач, використанням точних методів теорії функцій комплексної змінної для їх розв'язання, відповідністю одержаних розв'язків результатам простих фізичних міркувань.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто або за його безпосередньою участю. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, виконаним автором самостійно відповідно до програми його наукових досліджень. Зокрема, дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел; побудова

аналітичних розв'язків сформульованих разом із науковим керівником математичних моделей, їх чисельна реалізація та ілюстрація одержаних результатів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота включає вступ, 4 розділи, висновки та список використаних джерел, що містить 120 найменувань на 13 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 112 сторінок, обсяг основного тексту – 102 сторінки. Робота містить 30 рисунків та 4 таблиці.

У вступі визначено мета дослідження, наукова новизна одержаних результатів, їх практичне значення, визначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено математичні моделі, що описують напружено-деформівний стан квазікристалів з особливим акцентом на випадок одновимірних квазікристалічних тіл та проведено аналіз доступних джерел за темою дисертації.

У другому розділі розроблено методику та побудовано аналітичний розв'язок антиплоскої задачі для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з міжфазною тріщиною. Проілюстровано вплив зовнішнього механічного фонону навантаження і різних величин електричного поля на фононні і фазонні напруження та зсувне відкриття тріщини. Враховано також електричний заряд, розподілений вздовж берегів тріщини.

У третьому розділі розв'язано плоску задачу для одновимірного біматеріального п'єзоелектричного квазікристала з тунельною тріщиною на межі поділу матеріалів. Розглянуто випадок електрично непроникної тріщини, але основна увага приділена моделі електрично проникної тріщини, яка є більш адекватною до дійсності. Отримані аналітичні вирази для відкриття тріщини, напружень на її продовженні та їх коефіцієнтів інтенсивності.

У четвертому розділі досліджено тріщини, що рухається усталено з дозвуковою швидкістю в ортотропному матеріалі під дією зосереджених сил, прикладених до берегів тріщини. Знайдено аналітичний розв'язок вказаної задачі, на основі якого отримано вирази для напружень в околі фронту тріщини та переміщень її берегів.

Висновки по роботі чіткі, логічні і впливають із теоретичних даних та результатів чисельного аналізу, проведеного автором.

Проте до дисертаційної роботи є деякі зауваження.

1. З моєї точки зору найбільш важливим результатом роботи є аналітичне дослідження електрично проникної тріщини між двома різними 1D гексагональними п'єзоелектричними квазікристалами, що проведено в пунктах 3.5-3.7. При цьому слід було б вказати, чи можливий подібний аналіз

для інших видів електричних граничних умов на берегах тріщини, наприклад, для електроізолюваної та електропровідної тріщини.

2. В поясненні до рисунка 2.6 на сторінці 58 вказується, що на рис. 2.6(а) показана зміна фононного напруження в околі правої вершини тріщини, а на 2.6 (б) - зміна фазонного напруження в цій області. В той же час у підписі під цим рисунком вказується протилежне, а саме, що рисунок (а) ілюструє фазонне напруження, а (б) – фононне. З аналізу результатів можна здогадатись, що правильним є перший варіант, але слід це підтвердити.
3. В українськомовній літературі одиниця електричного заряду «кулон» позначається як «Кл». Таке позначення використано і у більшій частині дисертації, але у формулах (2.55), (2.56) для цього позначення використано «К». Аналогічно у більшості розділів дисертації стрибок функції при переході через вісь x_1 позначається кутовими дужками, а в (3.22), (3.23) ці стрибки позначені квадратними дужками. Такі невідповідності в деякій мірі ускладнюють розуміння роботи.
4. В тексті роботи зустрічаються описки, наприклад:
 - сторінка 23, рядок 8: Замість «рис. 5» повинно бути «рис. 1.3»;
 - сторінка 45, перед (2.22): замість (21) повинно бути (2.21);
 - сторінка 53, рис. 2.2 (а) і (б): « x_1 (м)» приводиться по 2 рази на кожному рисунку.
5. У формулі (2.9) вперше вводиться риска для позначення операції спряження функції комплексної змінної. Хоч такий спосіб є загально прийнятним, слід було б після формули (2.9) навести пояснення стосовно сенсу такого позначення.

Вказані зауваження не знижують позитивної оцінки роботи в цілому, а також розроблених автором основних наукових положень, висновків та отриманих результатів проведених досліджень.

Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових робіт такого рівня. Текст дисертації є оригінальним, а її структура цілком узгоджується з назвою, метою і завданням дослідження. Зміст та результати дисертації відповідають спеціальності 113 Прикладна математика.

Загальний висновок. Враховуючи актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а

також практичну цінність сформульованих положень і висновків, вважаю, що дисертаційна робота Білого Дмитра Володимировича «Внутрішні та міжфазні тріщини в п'єзоелектричних квазікристалах», представлена на здобуття наукового 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,
професор кафедри прикладної математики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Тетяна КАГАДІЙ

Підпис професора Кагадій Т.С.
засвідчую

Вчений секретар Вченої ради
НТУ «Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА