

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Шевельової Наталії Володимирівни
«Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних
матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113
Прикладна математика

Актуальність теми дисертації. Бурхливий розвиток виробництва п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних матеріалів обумовлює велику увагу до вивчення особливостей їх деформування та руйнування. Оскільки найбільш розповсюджені п'єзоактивні матеріали є крихкими, одним з найважливіших напрямів їх досліджень є вивчення тріщин, що виникають у таких матеріалах та на межах їх розділу.

До теперішнього часу розроблені різні методи дослідження задач механіки руйнування п'єзоелектричних і п'єзоелектромагнітних тіл з міжфазними тріщинами. Методи дослідження міжфазних тріщин істотно залежать від моделювання електричних умов на берегах тріщин. З цієї причини розроблені та активно використовуються в даний час так звані електропроникні та електроізольовані моделі тріщин. Крім того, поверхні тріщини іноді можуть бути покриті електродами або тріщина може бути заповнена провідною рідиною. В обох таких випадках слід застосовувати так звану модель електропровідної тріщини.

Багато проблем для окремих міжфазних тріщин в рамках згаданих моделей вже вирішено, однак низка питань, присвячених дослідженню множини колінеарних тріщин між п'єзоактивними матеріалами залишаються невирішеними досі. Оскільки вирішення цих завдань і визначає цілі даного дослідження, то тему дисертації можна вважати актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що проведені в дисертаційній роботі, виконано у відповідності з основними напрямками наукової діяльності кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України у межах держбюджетної теми 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. при кафедрі теоретичної та комп'ютерної механіки у відповідності з тематичними планами науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся

Гончара.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації. Наукову задачу роботи можна умовно розділити на дві основні частини: першою є розвиток аналітичних методів розв'язання плоских та антиплоских задач для п'єзоактивних біматеріальних тіл з колінеарними міжфазними тріщинами при різних електричних та магнітних умовах на їхніх берегах, друга присвячена аналізу електромагнітомеханічного стану п'єзоелектромагнітних біматеріальних тіл з довільними системами тріщин на межах поділу різнорідних компонент. *Об'єктом* дослідження є процеси деформування та руйнування п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних біматеріальних з'єднань із системами тріщин на межах поділу різнорідних компонент. *Предметом* дослідження є критичні параметри для систем міжфазних тріщин у п'єзоактивних композитах при різних електричних та магнітних умовах на берегах тріщин.

Основними завданнями дослідження є:

1. Отримання аналітичних представлень механічних, електричних та магнітних компонент через кусково-аналітичні функції для п'єзоактивних матеріалів у плоскому та антиплоскому випадках;
2. Формулювання за допомогою цих представлень задач лінійного спряження і побудова їхніх аналітичних розв'язків для конкретних типів навантажень, наборів тріщин та умов на їхніх берегах;
3. Аналітичне визначення механічних напружень на межі поділу матеріалів поза тріщинами, а також стрибків переміщень, електричного та магнітного потенціалів в області тріщин;
4. Знаходження аналітичних формул для визначення швидкості звільнення енергії при розвитку тріщин та аналіз залежностей цих параметрів від зовнішнього навантаження, довжин тріщин, їхнього розташування та характеристик матеріалів.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Дисертаційна робота представляє інтерес як отриманими вперше аналітичними результатами, так і прикладами їх чисельної ілюстрації, що демонструють особливості розв'язків нових задач механіки руйнування.

Основні нові наукові результати дисертації полягають у наступному.

1. Розробка та реалізація методики дослідження двох колінеарних тріщини між двома п'єзоелектричними матеріалами з різними електричними умовами на їх берегах під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля. Отримання досить простих аналітичних виразів для швидкості

звільнення енергії та інших електромеханічних факторів на межі поділу матеріалів.

2. Розв'язання антиплоскої задачі для п'єзоелектромагнітного біматеріалу з двома тріщинами на межі поділу різнорідних компонент при різних електричних та магнітних умовах на берегах різних тріщин.
3. Результати розв'язку нових плоских задач для систем тріщин на межі поділу п'єзоелектромагнітних матеріалів, зокрема:
 - для довільної системи колінеарних електро- та магнітопроникних тріщин під дією змішаного механічного навантаження;
 - для скінченної множини тріщин на при умові, що береги тріщин покриті механічно м'якими електродами із заданим електричним зарядом і нульовою магнітною індукцією.

Аналіз впливу довжин та взаємного розташування тріщин, а також механічних, електричних та магнітних полів на електромеханічні поля в околі тріщини та на швидкість звільнення енергії при їх можливому розвитку виявило нові ефекти стосовно деформування тріщин.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що їх можна використовувати для дослідження механічних, електричних і магнітних полів у п'єзоактивних біматеріалах, що важливо для мікроелектроніки, робототехніки, біотехнології, енергетики та інших галузей інженерії. Важливо, що точні аналітичні розв'язки, отримані в роботі, можуть служити еталонними при аналізі аналогічних задач для тіл кінцевих розмірів чисельними методами.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Дисертаційну роботу виконано на сучасному науковому рівні із застосуванням актуальних комп'ютерних технологій прикладної математики. Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується коректним застосуванням апробованих рівнянь лінійних теорій пружності, електропружності, магнітоелектропружності, механіки руйнування і точних методів теорії функцій комплексної змінної; зіставленням отриманих результатів у часткових і граничних випадках із вже відомими розв'язками інших авторів.

Особистий внесок здобувача. За темою дисертації опубліковано 5 статей, три з яких опубліковані у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus. Більшість результатів наукової роботи автор одержав самостійно, а саме: зведення поставлених задач механіки руйнування до відповідних задач лінійного спряження і отримання аналітичних розв'язків, чисельна

реалізація результатів, порівняння результатів розрахунків для часткового випадку з відомими. і перевірки достовірності аналітичних результатів.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися автором роботи й обговорювалися на підсумкових наукових конференціях Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара протягом 2022-2024 років, на наукових семінарах кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки і таких міжнародних конференціях: Міжнародній науковій конференції «Математичні проблеми технічної механіки», Дніпро, Кам'янське – 2021; XX та XXI міжнародних науково-практичних конференція «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», Дніпро - 2022 та 2023; Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми механіки», Київ – 2023.

Мова і стиль роботи. Матеріал роботи викладений логічно і послідовно, написаний українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, з характерною системністю та обґрунтованістю. Основні результати наукових досліджень представлені і проаналізовані в повній мірі.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 5 статей. Три статті опубліковані у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, дві з яких у журналах квартиля Q2, а третя – у виданні, що входить також до переліку наукових фахових видань України категорії Б. До цього ж переліку входять також видання, в яких опубліковані інші дві статті.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 136 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, огляду літератури, п'яťох розділів, висновку і списку використаних джерел. Робота містить 26 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел охоплює 119 найменувань, з них 36 кирилицею та 83 латиницею.

У вступі та огляді літератури автором проведено огляд і аналіз підходів і методик до розв'язання подібного класу задач іншими авторами, зосереджено увагу на їх внесок до досліджень відповідних проблем механіки руйнування.

У першому розділі розглянуто взаємодію електропровідної та електропроникної колінеарних тріщин довільної довжини та розташування уздовж межі поділу двох п'єзоелектричних матеріалів під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля.

У другому розділі вивчена проблема взаємодії двох штампів з плоскими підшвами, що діють на пружну ізотропну півплощину. Вважається, що

штампи можуть мати різну ширину і різні умови взаємодії із пружною основою.

У *третьому розділі* вивчена взаємодія електромагнітопроникної та електромагнітопровідної тріщин, що розташовані на межі поділу двох п'єзоелектромагнітних півпросторів під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного і магнітного полів.

У *четвертому розділі* досліджено плоску задачу для системи електромагнітопроникних тріщин між двома п'єзоелектромагнітними півпросторами. Тріщини можуть мати довільну довжину і розташування, а їхня кількість може бути довільною.

У *п'ятому розділі* проаналізовано біматеріальний магнітоелектропружний простір зі скінченням набором електродованих тріщин уздовж межі поділу матеріалів під дією змішаного механічного навантаження, електричного та магнітного полів. Отримані аналітичні вирази для електромагнітомеханічних факторів, а також для швидкості звільнення енергії.

Висновок по роботі відповідає аналітичним і чисельним результатам, отриманим автором, є логічним і послідовним.

Окремі дискусійні питання і зауваження.

1. Перед (1.6) вказується що s_{kl} — дійсні коефіцієнти матриці S . Але ж коефіцієнти на головній діагоналі цієї матриці є чисто уявними. Як тоді розуміти пояснення щодо коефіцієнтів матриці S ?
2. На ст. 79 авторка приводить графіки зміни розкриття електромагнітопровідної тріщини в залежності від зовнішнього магнітного поля. А чому не представлені графіки розкриття електромагнітопроникної тріщини?
3. При чисельній реалізації одержаних розв'язків в задачі для штампа на сторінці 61 авторка вибирає $\mu = 8 \cdot 10^{10}$ Па, не вказуючи, якому матеріалу відповідає цей модуль зсуву.
4. З моєї точки зору при отриманні формули (4.45) на основі інтеграла (4.43) проведена велика кількість нестандартних перетворень. Треба було б хоч частину їх навести або в основному тексті дисертації, або хоч в додатках до неї.
5. В тексті дисертації зустрічаються невдалі формулювання та описки. Зокрема: на сторінці 12 в рядку 13 є комбінація літер «tsps», яка, мабуть, повинна бути словом «tips»; через 2 рядки немає крапки в кінці речення; символ L , що зустрічається на 2 рядки вище формули (5.10), не визначений у цьому розділі.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Шевельової Наталії Володимирівни «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах» є актуальною за змістом, містить наукову новизну, основні результати та висновки дисертації обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення. Рецензована дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня доктора філософії відповідно до положень Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами), а її авторка Шевельова Наталія Володимирівна заслуговує присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент,

доцент кафедри комп'ютерних технологій
факультету прикладної математики
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара
канд. техн. наук, доцент



П.А. Дзюба

Підпис канд. техн. наук,
доц. Дзюби П.А. засвідчую

Проректор з наукової роботи



Олег МАРЕНКОВ