

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Шевельової Наталії Володимирівни**
на тему: «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу
п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на
їхніх берегах», подану на здобуття ступеня доктора філософії зі
спеціальності 113 Прикладна математика

Актуальність теми дослідження. На сучасному етапі розвитку науки, технологій та виробництва особливої актуальності набувають різноманітні проблеми механіки руйнування, пов'язані із визначенням міцнісних характеристик конструкцій, їхніх окремих елементів та складових частин, зокрема виготовлених з композитних матеріалів. Про це свідчить зростання кількості як вітчизняних, так і закордонних досліджень, присвячених проблемам розшарування композитів на границі з'єднання матеріалів з різними властивостями. Зазвичай такий вид руйнування спричинюється наявністю дефектів у вигляді тріщин між шарами композиту. Композитні матеріали з різними властивостями використовуються майже в усіх галузях будівництва та виробництва, а умови їх експлуатації урізноманітнюють фізичні постановки відповідних задач механіки руйнування. Тому навіть така велика кількість наукових досліджень, які ґрунтовно і досить розлого проаналізовані авторкою у відповідній частині роботи, не охоплює повною мірою все це різноманіття можливих постановок задач. Таким чином, актуальність дослідження Шевельової Н. В. не викликає ніяких сумнівів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Свідченням актуальності теми роботи також є виконання досліджень в рамках держбюджетної теми кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара № 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.).

Основною *метою* роботи був розвиток аналітичних методів розв'язання плоских та антиплоских задач для п'єзоактивних біматеріальних тіл з колінеарними міжфазними тріщинами з різними умовами на їхніх берегах та аналіз електромагнітомеханічного стану п'єзоелектромагнітних біматеріальних тіл з системами довільної кількості тріщин на межах поділу різнорідних компонент.

Задля досягнення мети авторкою сформульовано та повною мірою вирішено такі *завдання*:

- отримано аналітичні представлення механічних, електричних та магнітних компонент через кусково-аналітичні функції для п'єзоактивних матеріалів у плоскому та антиплоскому випадках;
- сформульовано за допомогою цих представлень задачі лінійного спряження і побудовано їхні аналітичні розв'язки для конкретних типів навантажень, наборів тріщин та умов на їхніх берегах;

- визначено аналітично механічні напруження на межі поділу матеріалів поза тріщинами, а також стрибки переміщень, електричного та магнітного потенціалів в області тріщин;

- отримано аналітичні формули для визначення швидкості звільнення енергії при розвитку тріщин та проаналізовано залежності цих параметрів від зовнішнього навантаження, довжин тріщин, їхнього розташування та характеристик матеріалів.

Поставлені і вирішені задачі повністю узгоджуються із наведеними висновками до роботи.

Об'єктом дослідження були процеси деформування та руйнування п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних біматеріальних з'єднань із системами тріщин на межах поділу різнорідних компонент, предметом – параметри руйнування, визначені для систем міжфазних тріщин у п'єзоактивних композитах з різними умовами на берегах.

Для побудови і аналізу математичних моделей біматеріальних тіл з колінеарними міжфазними тріщинами цілком закономірно і коректно використано аналітичні методики лінійної теорії пружності, механіки руйнування, теорії функцій комплексної змінної, зокрема, задачі лінійного спряження.

Найбільш вагомі результати виконаного дослідження сформульовано в пунктах **наукової новизни** та полягають у такому:

Уперше:

- запропоновано та реалізовано методику дослідження електропровідної та електропроникної колінеарних тріщини між двома п'єзоелектричними матеріалами під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля;

- розв'язано антиплоску задачу для п'єзоелектромагнітного біматеріалу з двома тріщинами на межі поділу різнорідних компонент при різних електричних та магнітних умовах на берегах різних тріщин.

Сформульовано та розв'язано **нову плоску задачу** для довільної системи колінеарних електромагнітопроникних тріщин між двома п'єзоелектромагнітними матеріалами під дією змішаного механічного навантаження.

Розроблено та реалізовано **новий аналітичний підхід** до дослідження скінченної множини тріщин на межі поділу п'єзоелектромагнітних матеріалів при умові, що береги тріщин покриті механічно м'якими електродами із заданим електричним зарядом і нульовою магнітною індукцією.

Для всіх розглянутих задач проаналізовано параметри руйнування (зокрема швидкість звільнення енергії), вивчено поведінку електромагнітомеханічних полів в залежності від конкретних умов на берегах тріщин та заданого навантаження, проведено числові розрахунки, які проілюстровано відповідними графіками і таблицями.

Отримані в роботі результати є **науково обґрунтованими**, що забезпечується коректністю постановок задач, використанням апробованих

математичних моделей і аналітичних методів, порівнянням часткових і граничних випадків із відомими аналітичними розв'язками та відповідністю результатів розв'язання нових задач фізичній суті досліджуваних явищ.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їхнього використання у наукових дослідженнях з аналогічної тематики, а також для оцінки впливів зовнішніх факторів на можливість розвитку тріщин та визначення шляхів підвищення тріщиностійкості композитних конструкцій із п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних матеріалів. Точні аналітичні розв'язки можна використовувати як еталонні при розробці й апробації чисельних методів розв'язання задач указанного класу для тіл кінцевих розмірів.

Апробація результатів роботи є цілком достатньою: основні положення та результати дисертації доповідалися й обговорювалися на підсумкових наукових конференціях Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара протягом 2021-2024 років, на 4 міжнародних конференціях та на міжкафедральному семінарі «Математичні проблеми механіки» Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Публікації за темою дисертації. Матеріали дисертації повністю опубліковано у 5 статях, з яких 2 статті – у виданнях, які мають квартиль Q2 та проіндексовано у наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, 3 статті у фахових виданнях України категорії Б, зокрема 1 стаття у фаховому виданні України, яке проіндексовано у базі Scopus. Апробацію роботи підтверджують опубліковані 2 тез доповідей та 2 матеріалів міжнародних наукових конференцій.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел, що містить 119 найменувань, серед яких 83 - англomовні. Робота добре структурована. Загальний обсяг – 136 сторінок, обсяг основного тексту – 122 сторінки. Числові результати проілюстровано 26 рисунками та 11 таблицями. Обсяг основного тексту – 122 сторінки, що відповідає вимогам, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» спеціальності 113 Прикладна математика. Оформлення роботи відповідає вимогам, встановленим наказом МОН України № 40 від 12.01.2017р. (зі змінами).

У **вступі** та огляді літератури наведено ґрунтовний аналіз публікацій за проблематикою дисертації із відповідними посиланнями на вітчизняних та зарубіжних дослідників, визначено напрямки власних досліджень авторки.

У **розділі I** детально розглянуто взаємодію електропровідної та електропроникної колінеарних тріщин уздовж межі поділу двох п'єзоелектричних матеріалів під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля.

У **розділі II** розглянуто задачу про взаємодію двох штампів з плоскими підошвами, що вдавлюються у пружну ізотропну півплощину. Показано, що розв'язання цієї задачі здійснюється математичними методами, подібними до тих, які застосовані для задачі про електропроникну і електропровідну колінеарні тріщини на межі поділу різних матеріалів.

У *Розділі III* досліджено електромагнітомеханічний стан двох спаяних між собою п'єзоелектромагнітних півпросторів з двома тріщинами на межі поділу матеріалів під дією антиплоского механічного навантаження та електричного і магнітного полів в площині, ортогональній фронтам тріщини.

Розділ IV присвячено дослідженню системи тріщин між двома п'єзоелектромагнітними півпросторами. Найвагомішим результатом, отриманим в даному розділі роботи є отримання аналітичних виразів для швидкості звільнення енергії у всіх вершинах тріщин із використанням асимптотичних представлень усіх полів в околі вершин тріщин та інтегрального методу віртуального закриття тріщини.

У *розділі V* розв'язано задачу про біматеріальний простір, що складається з двох напівнескінчених магнітоелектропружних просторів зі скінченним набором тріщин уздовж межі поділу матеріалу. У замкненому вигляді отримано представлення механічних, електричних та магнітних компонент вздовж інтерфейсу. Показано, що всі поля мають осциляційну сингулярність у вершинах тріщин. Отримано асимптотичні представлення механічних, електричних і магнітних полів у вершинах тріщин, застосовано метод віртуального закриття тріщини. В результаті одержано формули для швидкості звільнення енергії у правій і лівій вершинах будь-якої тріщини.

Висновки сформульовано до кожного розділу роботи, логічно впливають з проведеного дослідження, а найбільш вагомими з них, що відповідають завданням дослідження, подано в кінці роботи.

При загальній позитивній оцінці представленої Шевельовою Н. В. дисертації все ж таки можна висловити певні зауваження та побажання:

1. Для числового аналізу результатів у розділах VI та V використано біматеріал, що складається з композиту $\text{BaTiO}_3\text{--CoFe}_2\text{O}_4$ з різними об'ємними частками BaTiO_3 для верхньої і нижньої частини композиту. У назві ж цих розділів та при викладенні аналітичних розрахунків у VI розділі використано термін «п'єзоелектромагнітний біматеріал», а у V розділі – «магнітоелектропружний матеріал». З тексту роботи незрозуміло, чи ці терміни є синонімами, чи є якісь відмінності між цими матеріалами?
2. Числові результати для конкретних даних геометрії задачі та зовнішнього навантаження проілюстровано багатьма графіками і таблицями, проте для більш наочної оцінки впливу одних чинників на інші бажано було б їх наводити в унормованому вигляді в усьому тексті роботи, а не лише у розділі V.
3. На Рис. 4.4 не вказані одиниці для переміщень і напружень. На основі попередніх графіків цього параграфу можна здогадатись, що переміщення надається в метрах, а напруження в паскалях, але слід було б це вказати у тексті дисертації.

4. Робота не позбавлена технічних помилок та невдалих висловів. Зокрема, майже дослівно повторюється останній абзац англійської анотації. Невдалим вважаємо використання у назвах підрозділів 3.1 і 4.1 слів «Основні формули...» – більш коректно було б сформулювати, наприклад, «Визначальні співвідношення...» тощо. Невдалою є назва рисунку 4.2. «Зміна розкриття тріщин *при зміні* відстаней між ними».

Висловлені зауваження не знижують в цілому високої оцінки виконаної роботи.

Загальний висновок. На підставі аналізу представленої до захисту дисертації вважаю, що аспірантка Шевельова Н. В. під час виконання дисертаційної роботи повністю оволоділа методологією наукової діяльності, отримала вагомі цілком обґрунтовані наукові результати, які мають наукову новизну, теоретичну та практичну цінність. Дисертація Шевельової Наталії Володимирівни на тему: «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах» та комплекс публікацій відповідають 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 від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а її авторка заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент:

завідувач кафедри комп'ютерних технологій
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара
кандидат технічних наук,
доцент

Тетяна ЗАЙЦЕВА

Підпис канд. техн. наук,
доц. Зайцевої Т. А. засвідчую

Проректор з наукової роботи

Олег МАРЕНКОВ