

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу *Левченка Максима Станіславовича*  
на тему «*Моделювання тріщини між двома п'єзоматеріалами*  
*з урахуванням електричної проникності її заповнювача*»,  
подану на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності  
113 Прикладна математика

Дисертаційна робота Левченка М. С. присвячена розв'язанню низки питань стосовно особливостей деформування п'єзоелектричних біматеріальних тіл з тріщиною, що знаходиться на межі поділу матеріалів під дією електричного та механічного навантажень. **Актуальність обраної теми дисертації** обумовлена широким практичним застосуванням п'єзоелектричних матеріалів і необхідністю удосконалення методів запобігання їх руйнуванню у зв'язку з наявністю тріщин на межах поділу різних компонент.

**Мета** дисертаційної роботи полягає в розвитку методів дослідження та розв'язанні плоских та просторових задач механіки руйнування для п'єзоелектричних біматеріальних тіл з міжфазними дефектами із особливою увагою до розвитку моделі міжфазної тріщини зі скінченною електричною проникністю.

Дисертаційна робота складається зі вступу, що містить огляд літератури, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У **вступі** проведено аналіз публікацій за темою дисертації, зазначено внесок досліджень інших авторів до розвитку цього напрямку, визначено актуальність теми, мета та завдання дисертаційної роботи, новизна і практичне значення одержаних результатів.

У **розділі 1** розглянуто тріщину між двома п'єзоелектричними матеріалами в біматеріальному просторі під розтягувальним навантаженням на нескінченності та під дією електричного зміщення. Основним результатом



цього розділу є побудова 3-х розв'язків: аналітичного, який отриманий в припущенні, що розмір тріщини набагато менший розміру пластини, числового (для плоского випадку), коли за допомогою методу скінченних елементів була розв'язана аналогічна попередній задача для тіла скінченних розмірів, та числового (для просторового випадку), коли розрахунок здійснено для біматеріального куба, при цьому аналіз результатів проводився для перерізу, що проходить через середню точку фронту тріщини, перпендикулярно до нього. Порівняння отриманих результатів виявило їх добру узгодженість.

**В розділі 2** роботи одержано числові розв'язки задач для тріщини між двома п'єзоелектричними матеріалами для наступних варіантів електричних умов на її берегах: 1) електропроникна тріщина, 2) електроізолювана тріщина, 3) електропровідна тріщина, 4) частково електродована і частково електроізолювана тріщина. Представлені результати показали, що вид електростатичних граничних умов на берегах тріщини суттєво впливає на напружено-деформований стан і параметри руйнування п'єзоелектричного біматеріалу з тріщиною.

**У розділі 3** запропоновано методику визначення електричного потоку в біматеріальному тілі скінченних розмірів з тріщиною зі скінченною електричною проникністю. Розв'язки будувались за допомогою аналітичного методу та методу скінченних елементів. Розглядались плоский та просторовий випадки. Для знаходження величини електричного потоку через тріщину у просторовому випадку було використано ітераційний алгоритм. Знайдено значення електричного потоку та одержано підтвердження щодо його квазірівномірного розподілу по берегах тріщини для будь-якого поперечного перерізу тривимірного тіла.

**У розділі 4** розглянуто задачу, аналогічну до розділу 3, для якої будувалась нова розрахункова модель і застосовувався метод скінченних елементів. Тріщину змодельовано у вигляді видовженого еліпсу, який



заповнений гіпотетичним матеріалом з дуже малими пружними константами, але реальним значенням діелектричної проникності. Одержані результати числового розрахунку показали добру узгодженість з результатами, отриманими в рамках моделі тріщини, побудованої на основі конденсаторної аналогії.

У **висновках** викладені основні результати роботи. Вони повністю відповідають змісту роботи.

**Список літературних джерел**, з моєї точки зору, досить повно відображає стан справ по тематиці дисертаційної роботи.

Дисертантом у роботі одержані результати, що характеризуються **науковою новизною**. Особливо цінним, з моєї точки зору, є те, що у роботі запропоновані нові методики знаходження швидкості вивільнення енергії у п'єзоелектричному біматеріалі при різних електричних граничних умовах в області тріщини; проведено аналіз тріщини зі скінченною електричною проникністю в рамках конденсаторної моделі як в плоскому, так і в просторовому випадках; запропоновано новий підхід для аналізу тріщини зі скінченною електричною проникністю без прийняття до уваги спрощувальних гіпотез стосовно взаємодії берегів тріщини.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає, перш за все, у тому, що запропонована нова методика розв'язування плоских та тривимірних задач для п'єзоелектричних біматеріальних тіл з міжфазними тріщинами при скінченній електричній проникності їх заповнювача, яка дає можливість оцінити розподіл фізико-механічних полів у конструкціях з п'єзоелектричних матеріалів та дати оцінки їхньої міцності.

Дисертаційна робота виконувалась у 2020–2024 рр. у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Дослідження проводились також в науково-дослідній лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів



кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки механіко-математичного факультету ДНУ в рамках 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.

За темою дисертації **опубліковано** 5 статей, з них: 2 статті у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus, 3 статті у наукових фахових виданнях України. Основні результати дисертації отримані автором самостійно. Вважаю, що вказані публікації достатньо повно висвітлюють зміст роботи та її основні положення.

Основні положення та результати дисертаційної роботи **доповідалися й обговорювалися** на підсумкових наукових конференціях Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара протягом 2020–2023 рр., а також на чотирьох міжнародних конференціях.

Рукопис дисертації Левченка М. С. 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 другому розділі, у табл. 2.3 – табл. 2.5 (стор. 61–67), багато значень швидкостей вивільнення енергії біля вершин тріщини є нульовими. Враховуючи той факт, що ці результати отримані для ненульових значень або механічного навантаження, або електричного поля, це суперечить дійсності. Чи дійсно вони є нульовими? Чи можливо є дуже малими? В такому випадку бажано було б все одно їх вказувати.
2. З моєї точки зору перехід від формули (3.21) до формули (3.22) (стор. 75) включає досить складні перетворення, тому слід було б хоч основні їх складові навести у додатку до дисертації.
3. В анотації перша частина назви дисертації сформульована як «Моделювання тріщини між двома п'єзоелектричними



матеріалами...» (початок стор. 2), хоча в назві дисертації замість «п'єзоелектричними матеріалами» використано скорочення «п'єзоматеріалами».

4. Незрозуміло, чому на деякі публікації зі списку використаних джерел є Інтернет-посилання (наприклад, [109] та ін.), а на деякі немає (наприклад, [110] та ін.).
5. У роботі зустрічаються невдалі формулювання та описки. Наприклад, в реченні перед рис. 1.7 (стор. 48) : «центрального перерізу» повторюється двічі; в назві статті [82] списку використаних джерел помилково написано «biomaterial»; в назві статті [114] скорочення «Cemm» для слова «Ceramic» явно невдале.
6. Є зауваження щодо якості оформлення роботи, зокрема: не витримано єдиний стиль щодо оформлення літературних джерел; не вказано до якої категорії наукових фахових видань відносяться статті автора; анотація не повинна бути відображена у змісті (див. стор. 15); багато «висячих» рядків, не завжди виконується правило щодо заповненості кожної сторінки не менше 75% від її загального обсягу (наприклад, стор. 49 та ін.); подекуди некоректно виконано перенесення таблиць (наприклад, на стор. 61, 62; 64,65 та ін.).

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

Викладене дозволяє стверджувати, що подана дисертаційна робота – це самостійно виконане, завершене наукове дослідження, що характеризується актуальністю обраної теми, науковою новизною, достовірністю одержаних результатів та чіткими висновками; має теоретичну та практичну цінність. Дисертаційна робота за тематикою відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

Вважаю, що дисертаційна робота Левченка Максима Станіславовича «Моделювання тріщини між двома п'єзоматеріалами з урахуванням електричної проникності її заповнювача», що подана на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 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 Левченко Максим Станіславович заслуговує присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 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.Л. засвідчую*

Вчений секретар ДНУ



Тетяна ХОДАНЕН