

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Шевельової Наталії Володимирівни**

**«Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів  
із різними електричними умовами на їхніх берегах»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дисертаційна робота Шевельової Наталії Володимирівни «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах» присвячена розробці та обґрунтуванню нових розрахункових моделей та методів розв'язання задач деформування п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних тіл з тріщинами на межі поділу матеріалів. Детальний аналіз дисертації дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності досліджень, наукової новизни та практичного і теоретичного значення отриманих результатів, а також оцінити їх ступінь апробації.

### **1. Актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами**

У механіці деформівного твердого тіла в останні роки значна увага приділяється дослідженням, в яких враховується взаємодія фізичних полів різної природи. Необхідність проведення такого роду досліджень викликана широким використанням в різних галузях сучасної техніки елементів конструкцій, виготовлених із різнорідних п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних матеріалів. Часто в таких елементах на межі поділу матеріалів з технологічних або експлуатаційних причин виникають тріщини, поблизу вершин яких спостерігається значна концентрація напружень та електричної індукції, що може призвести до істотного зниження механічної та електричної міцності, а іноді й до повного руйнування конструкції. Дослідженню міжфазних тріщин присвячено велику кількість публікацій, але в переважній більшості з них розглядаються поодинокі тріщини між різними п'єзоактивними та п'єзопасивними матеріалами або ж періодичні набори таких тріщин. Але на практиці часто зустрічаються проблеми, пов'язані з необхідністю аналізу кількох тріщин між п'єзоактивними матеріалами, які можуть мати довільну довжину і розташування і, більш того, різні типи граничних умов на їхніх берегах. Аналіз літературних джерел показує, що до теперішнього часу дослідженням у цьому напрямку приділяється недостатньо уваги, особливо для випадку п'єзоелектромагнітних біматеріалів. Саме тому дисертаційна робота «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами



на їхніх берегах» цілком актуальна, науково спроможна та перспективна щодо можливостей подальшого теоретичного розвитку і практичного застосування її результатів.

Наголосимо також на тому, що дослідження за темою дисертації Н. В. Шевельової проводилися в науково-дослідній лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара 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.

## **2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, наданих у дисертаційній роботі**

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково проблеми і обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації, формуванні мети і завдань дослідження; теоретичному обґрунтуванні і розробленні методів і алгоритмів розв'язання поставлених задач; якісному та кількісному аналізу результатів та їх інтерпретації; оформленні статей та доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

## **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість одержаних результатів і їхня достовірність забезпечується коректністю та строгістю постановок задач, математичним обґрунтуванням розроблених і застосованих алгоритмів та методів. Для побудови математичних моделей використовувалися добре апробовані методи лінійної теорії електропружності, механіки руйнування, теорії функцій комплексної змінної, зокрема крайових задач теорії аналітичних функцій. Достовірність результатів підтверджується фізичною коректністю зроблених у дисертації висновків та їх узгодженням у часткових випадках з відомими результатами інших авторів.

## **4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення**

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку теоретичні та практичні аспекти застосування розрахункових моделей кількісного опису спряжених електромеханічних полів у п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних композитах з міжфазними тріщинами.

До основних наукових результатів, отриманих у роботі, можна віднести:



- нову методику дослідження двох колінеарних тріщини між двома п'єзоелектричними матеріалами під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля при умові, що одна з тріщин є електропровідною, а інша електропроникною;
- методику та результати 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;
- формулювання та розв'язання нової плоскої задачі для довільної системи колінеарних електро- та магнітопроникних тріщин між двома п'єзоелектромагнітними матеріалами під дією змішаного механічного навантаження;
- 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.

## **5. Практичне значення отриманих результатів**

Розроблені в роботі методи й алгоритми можуть бути застосовані до розв'язування прикладних задач щодо дослідження електромеханічних полів у п'єзоактивних композитних тілах, послаблених міжфазними тріщинами, що перебувають під дією зовнішнього електромеханічного навантаження. Запропоновані методики можуть застосовуватися також для розв'язування споріднених контактних задач при взаємодії декількох штампів.

Одержані точні аналітичні розв'язки можна використовувати як еталонні при розробці й апробації наближених числових методів розв'язування задач зазначеного класу.

Результати дисертаційної роботи можуть бути впроваджені в освітньому процесі та при виконанні курсових та кваліфікаційних робіт студентами кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

## **6. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації**

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях.

Матеріали дисертації достатньо повно опубліковано у 9 друкованих роботах, зокрема 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 роботи у виданнях, що індексується науково-метричною базою Scopus.

Зазначені публікації з достатньою повнотою розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

## **7. Аналіз основного змісту роботи**

У вступі обґрунтований вибір теми дослідження, сформульована мета і завдання дослідження, наукова новизна одержаних результатів, проведено аналіз публікацій за проблематикою дисертації.



У *першому розділі* розглянуто взаємодію електропровідної та електропроникної колінеарних тріщин уздовж межі поділу двох п'єзоелектричних матеріалів під дією антиплоского механічного навантаження та плоского електричного поля. Наведено аналітичний розв'язок цієї задачі в замкненій формі для довільних довжин тріщин і відстаней між ними та будь-яких зовнішніх електромеханічних навантажень. Представлено аналітичні вирази для електромеханічних полів на інтерфейсі. З використанням асимптотичних виразів напружень та електричного поля, механічних та електричних переміщень біля вершин тріщин записано аналітичні вирази для швидкості вивільнення енергії для електропровідної та електропроникної тріщин.

У *другому розділі* розглянуто задачу про взаємодію жорстко зчепленого та проковзуючого штампів з плоскими підшвами, що вдавлюються у пружну ізотропну півплощину. Сформульовано задачу лінійного спряження, яка складається із комбінації рівнянь Діріхле і Рімана, записаних на відповідних ділянках границі півплощини та виписано її розв'язок. На його основі одержано формули, що дають можливість знайти осадку кожного штампу та форму вільної границі півплощини після деформації, а також визначають розподіл напружень під штампами.

У *третьому розділі* вивчено електромагнітомеханічний стан двох п'єзоелектромагнітних півпросторів з електромагнітопроникною та електромагнітопровідною тріщинами на межі поділу матеріалів під дією антиплоского механічного навантаження та електричного і магнітного полів. Проблему зведено до задач лінійного спряження для кусково-аналітичних функцій, для яких отримано точні аналітичні розв'язки. На їх основі знайдено аналітичні вирази для напружень, електричного та магнітного полів на межі поділу матеріалів поза тріщинами, а також розкриття тріщин і стрибки електричного і магнітного зміщень при переході через тріщини.

*Четвертий розділ* присвячено дослідженню системи електро- і магнітопроникних тріщин між двома п'єзоелектромагнітними півпросторами. Тріщини можуть мати довільну довжину і розташування. З використанням комплексних потенціалів сформульовано задачу лінійного спряження, яку розв'язано аналітично. В замкненому вигляді отримано всі потрібні для аналізу механічні, електричні та магнітні компоненти вздовж межі поділу матеріалів. Записано аналітичні вирази для швидкості вивільнення енергії у всіх вершинах тріщин.

У *п'ятому розділі* досліджено біматеріальний простір, що складається з двох напівнескінченних магнітоелектропружних просторів зі скінченним набором електродованих тріщин уздовж межі поділу матеріалів. Сформульовано задачу лінійного спряження Рімана-Гільберта, яку розв'язано аналітично. Всі необхідні механічні, електричні та магнітні компоненти вздовж інтерфейсу представлено в замкненому вигляді. З використанням асимптотичних представлень механічних, електричних і магнітних полів у вершинах тріщин і методу віртуального закриття тріщини одержано формули для швидкості вивільнення енергії у вершинах тріщин.



*Висновки*, які впливають зі змісту роботи, є логічними та віддзеркалюють основні результати дисертаційної роботи.

## **8. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення**

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, огляду літератури, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел із 119 найменувань. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 136 сторінках, містять 26 рисунків та 11 таблиць.

Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним і відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень.

## **9. Зауваження щодо змісту дисертації**

В результаті розгляду дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. На Рис. 3.3 проілюстровано досить цікаве явище, пов'язане з появою від'ємного стрибка переміщень. Слід було б детальніше проаналізувати це явище, зокрема вказати причину його появи, а також набір зовнішніх чинників, які на нього впливають.
2. На с. 34 авторка вказує: «...а  $\langle f \rangle$  означає стрибок функції  $f$  через інтерфейс (межу поділу матеріалів);»  
Вважаю, що краще було б писати «стрибок функції  $f$  через вісь  $x_1$ ». Таке визначення є більш загальним, оскільки воно буде справедливим і для часткового випадку тріщини в однорідному матеріалі.
3. Для задачі розділу I на с. 46 авторка побудувала графіки ковзання лівої тріщини. Доцільно було б побудувати графіки ковзання і правої тріщини або хоча б пояснити, чому вони не побудовані.
4. В параграфі 3.5 при чисельному аналізі п'єзоелектромагнітного біматеріалу наведено лише правило знаходження матеріальних констант для верхнього і нижнього матеріалів, а самі константи не наведені. Для зручності роботи з матеріалом слід було б ці константи навести.
5. Мають місце деякі описки та невдалі формулювання. Наприклад, в 5-му рядку сторінки 6 в слові «полями» є зайва літера «і»; в останньому рядку сторінки 77 пропущена кома; в кінці англomовного варіанту анотації є подвійне повторення інформації про практичну важливість результатів.

Однак, зроблені зауваження не носять принципового характеру, не зменшують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи і не можуть істотно вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації.



## **10. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту**

Дисертаційна робота Шевельової Н. В. «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах» повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

## **11. Загальні висновки**

В цілому, дисертаційна робота Шевельової Наталії Володимирівни є завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Отримані науково обґрунтовані теоретичні та числові результати утворюють нову ланку досліджень механіки деформівного твердого тіла.

Враховуючи актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, дисертаційна робота Шевельової Наталії Володимирівни «Взаємодія колінеарних тріщин на межі поділу п'єзоактивних матеріалів із різними електричними умовами на їхніх берегах», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика відповідає встановленим вимогам відповідно до 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 авторка Шевельова Наталія Володимирівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

### **Офіційний опонент**

доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри вищої математики, фізики та  
загальноінженерних дисциплін  
Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету

 Володимир ГОВОРУХА

Підпис В.Б. Говорухи засвідчую:

Вчений секретар Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор

 Олена БЕРЕЗА