

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями» здобувача ступеня доктора філософії з галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика» Васишина Андрія Володимировича

1. Актуальність теми дисертації

На сьогоднішній день термомагнітоелектропружні матеріали щораз ширше використовуються у сучасному інженерному проектуванні і на високотехнологічних виробництвах. Важливі для практичного використання властивості цих матеріалів обумовлені здатністю внутрішньо поєднувати та перерозподіляти енергію декількох полів різної фізичної природи, що відіграє істотну роль та досі має великі перспективи застосування у галузях мікроелектроніки, біотехнологій, енергетики, озброєння тощо. Без них практично неможливе створення сучасних високотехнологічних приладів точної механіки, перетворювачів енергії, пристроїв точного позиціонування та ін.

З метою проектування бажаних властивостей термомагнітоелектричних матеріалів їх часто виготовляють шляхом механічного поєднання піроелектричної та піромагнітної фаз, яке зазвичай, виконується за допомогою зв'язуючого прошарку, що в свою чергу впливає на термомагнітоелектропружні властивості такої мультиматеріальної композиції.

Як і будь які інші, термомагнітоелектропружні матеріали можуть містити різного роду неоднорідності і включення, зокрема, й тонкі. Останні можуть буди як природніми, так і цілеспрямовано впровадженими, з метою зміни функціональних макро- та мікро-властивостей. Окрім включень, у процесі виробництва, обробки та експлуатації в елементах конструкцій чи деталях приладів можуть виникати різного роду структурні зміни, що в свою чергу у більшості випадків спричиняють появу тріщин. Наявність таких неоднорідностей нерідко призводить до виникнення концентрацій напружень і, відповідно, зниження надійності та експлуатаційних характеристик виробів.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових високопродуктивних аналітичних та аналітично-числових методів, що дали би можливість здійснити кількісну оцінку інтенсивності та розподілу фізико-механічних полів, що можуть взаємодіяти, у тілах складної геометричної конфігурації із тріщинами,

включеннями та іншими тонкими неоднорідностями. Крім цього, розрахункові моделі термомагнітоелектропружних середовищ повинні враховувати велику кількість фізичних властивостей полів, що діють у них, внаслідок чого постає необхідність розробки нових складніших математичних моделей. Саме тому тематика досліджень є актуальною.

Тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, протокол № 58/11 від 28.11.2018.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дослідження за темою дисертації виконані в межах наукової бюджетної теми Львівського національного університету імені Івана Франка МОН України “Математичні моделі та методи розрахунку процесів локального деформування структурно-неоднорідних тіл” (№ д/р 0121U109716, термін виконання: 2021–2023). Результати дисертації частково використані у науково-технічній розробці “Розробка дорожніх конструкцій і жорстких покриттів на автомобільних дорогах із використанням дисперсійного армування” (фінансувалася за кошти державного бюджету в межах конкурсу підтримки досліджень молодих вчених, Луцький національний технічний університет, термін виконання: 2019–2021), де Василюшин А.В. був виконавцем.

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. Усі наведені в роботі основні наукові результати отримані автором самостійно. У спільних публікаціях, співавторам належить участь у постановці задач, виборі методів дослідження та обговоренні одержаних результатів. Автору належить математичне моделювання об'єкту дослідження, побудова інтегральних рівнянь на основі формалізму Стро, розробка комп'ютерного програмного забезпечення для числового аналізу сформульованих задач, розрахунок числових прикладів, аналіз результатів, формулювання висновків.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором вирішень, висновків, рекомендацій

Дисертаційна робота містить повні та строгі доведення усіх отриманих наукових результатів дослідження. Основні матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на 9-ти міжнародних та національних наукових та науково-технічних конференціях і симпозіумах. Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 13 наукових працях, у тому числі: 3 наукових статтях у закордонних виданнях, включених до наукометричних баз Web of Science та Scopus; 1 стаття у науковому фаховому виданні України, що входить до міжнародних наукометричних баз даних (Web of Science, Scopus); 9 праць – у збірниках матеріалів міжнародних та національних наукових та науково-технічних конференцій і симпозіумів.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

У дисертаційній роботі:

- із використанням формалізму Стро та теорії функції комплексної змінної розроблено аналітичний підхід для отримання сингулярних інтегральних рівнянь для анізотропного термомагнітоелектропружного півпростору, що містить отвори, тріщини та тонкі включення;
- побудовано інтегральні формули типу Сомільяни для анізотропного термопружного півпростору з урахуванням усіх можливих змішаних температурних та механічних крайових умов на його межі;
- застосування до розв'язування отриманих для півпростору систем сингулярних інтегральних рівнянь модифікованого методу граничних елементів дало можливість розв'язати низку нових задач для термопружного півпростору зі змішаними крайовими умовами на його межі та системою внутрішніх тонких включень;
- отримано інтегральні формули та рівняння, що моделюють термомагнітоелектропружне біматеріальне тіло з неідеальним тепловим та ідеальним магнітоелектромеханічним контактом складових, що в свою чергу можуть містити тонкі деформівні включення;
- застосування модифікованого методу граничних елементів дало можливість із високою точністю розв'язувати задачі термомагнітоелектропружності для біматеріальних тіл з інтерфейсом високої теплопровідності та внутрішніми тонкими неоднорідностями;
- на основі застосування розвинень комплексних потенціалів Стро у степеневі ряди, з подальшим задоволенням крайових умов на основі

підходу найменших квадратів побудовано напіваналітичний обчислювальний метод аналізу фізико-механічних полів у біматеріальних структурах із неідеальним контактом компонентів;

- побудовані інтегральні рівняння дають можливість для їхнього розв'язування легко використовувати навіть довільну схему методу граничних елементів оскільки не містять у явній формі інтегралів по об'єму, по безмежній межі та по інтерфейсу біматеріалу.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

6.1. Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Пастернак Я.М., Сулим Г.Т., Василюшин А.В., Ясній О.П. Вплив міжфазних прошарків високої теплопровідності на розподіл фізико-механічних полів у двокомпонентних структурах. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. № 6. С. 34–38 (2022).

Те саме: Vasylyshyn A. V., Pasternak Ia. M., Sulym H. T., Iasniy O. P. Influence of interfacial layers of high thermal conductivity on the distribution of physicomachanical fields in two-component structures. *Materials Science*. Vol. 58, № 6. P. 725–730 (2023). (Q2 Scopus) *Особистий внесок здобувача*: математичне моделювання об'єкту досліджень, розрахунок числових прикладів, аналіз результатів.

6.2. Публікації у наукових періодичних виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та/або Web of Science Core Collection:

2. Vasylyshyn A., Sulym H., Pasternak I., Smal M. Mixed boundary value problem for an anisotropic thermoelastic half-space containing thin inhomogeneities. *Acta Mechanica et Automatica*, 13, P. 238-244. (2019). (Scopus, Q3) *Особистий внесок здобувача*: математичне моделювання об'єкту досліджень, побудова інтегральних рівнянь, розрахунок числових прикладів, аналіз результатів, формулювання висновків.

3. Vasylyshyn A., Sulym H., Pasternak I. Thermomagnetoelasticity of Bimaterial Solids with High Temperature Conducting Interface and Thin Internal Inhomogeneities. *Structural Integrity*, Vol. 16. P. 261-267. (2020). (Scopus) *Особистий внесок здобувача*: побудова інтегральних рівнянь, створення

програми числового аналізу задачі, розрахунок числових прикладів, аналіз результатів, формулювання висновків.

4. Sulym H, Vasylyshyn A., Pasternak I. Influence of imperfect interface of anisotropic thermomagnetoelastic bimaterial solids on interaction of thin deformable inclusion. *Acta Mechanica et Automatica*. 3. P. 242–249. (2022) (Scopus, Q3) *Особистий внесок здобувача*: математичне моделювання об'єкту досліджень, побудова інтегральних рівнянь, розрахунок числових прикладів аналіз результатів, формулювання висновків.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

1. Васишин А. Термомагнітоелектропружність анізотропного біматеріалу із неідеальним магнітоелектромеханічним контактом складових / А Васишин, Я. Пастернак // Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2020» // Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. (2020).
2. Васишин А. Періодичні задачі термомагнітоелектропружності тіл із тонкими включеннями // Конференція молодих учених “Підстригачівські читання – 2021” // Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. (2021).
3. Васишин А. Термомагнітоелектропружність біматеріальних тіл із тонкими включеннями та тріщинами за неідеального контакту фаз /А. Васишин, Г. Сулим, Я. Пастернак // Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій / Тези доповідей Другої міжнародної науково-технічної конференції пам'яті академіка НАН України В.І. Моссаковського (до сторіччя від дня народження). – Дніпро: – С. 340. (2019).
4. Васишин А. Вплив інтерфейсу високої теплопровідності обмежених біматеріальних тіл на взаємодію внутрішніх тріщин / А. Васишин, Г. Сулим// 15-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові // матеріали симпозіуму. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД,– 164 с. (2021).
5. Sulym H. Influence of high temperature conducting interface on temperature induced fields in finite bimaterial solids/ H. Sulym, A. Vasylyshyn, I. Pasternak // Polish Conference on Crystal Growth // Institute of High Pressure Physics Polish Academy of Sciences, president-elect of the Polish Society for Crystal Growth. (2022)

6. Василишин А. Вплив інтерфейсу високої теплопровідності у біматеріальних скінченних тілах / А. Василишин, І. Звізло // Конференція молодих учених "Підстригачівські читання – 2022 // Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. (2022).
7. Василишин А. Термомагнітоелектропружність структурно неоднорідних біматеріальних тіл із неідеальним тепловим контактом складових / А. Василишин, Г. Сулим // Математичні проблеми механіки неоднорідних структур: збірник наукових праць 10-ї Міжнародної наукової конференції / За заг. ред. Р.М. Кушніра і Г.С. Кіта // Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України.– Вип. 5. – с. 202-203. (2019)
8. Василишин А. Термопружність анізотропного півпростору зі змішаними крайовими умовами на межі та внутрішніми тонкими неоднорідностями / А. Василишин // Конференція молодих учених "Підстригачівські читання – 2019". Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. (2019).
9. Василишин А. Термомагнітоелектропружність скінченних кусково-однорідних тіл за наявності сполучного прошарку та внутрішніх тонких включень// А. Василишин, Я. Пастернак, І. Звізло, Г. Сулим. // Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми механіки та математики – 2023» Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. (2023).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Отримані наукові результати мають вагоме значення для розвитку методів сингулярних інтегральних рівнянь, теорії функцій комплексної змінної, числових методів розв'язування крайових задач. Вони можуть бути використаними у механіці деформівного твердого тіла, прикладній математиці для формулювання та розв'язування задач математичної фізики. Також отримані у роботі результати можуть бути використаними при підготовці навчальних курсів із обчислювальних методів, теорії інтегральних рівнянь, рівнянь математичної фізики для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) та третього (доктора філософії) рівнів галузі знань 11 «Математика та статистика».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі, де вони можуть бути застосовані

Отримані моделі та методи можуть бути використані у галузях приладобудування, аерокосмічного машинобудування, робототехніки при розрахунку розподілу фізико-механічних полів у високотехнологічних елементах приладів та пристроїв, виготовлених із магнітоелектричних композитів, зокрема й плівкових та нанокомпозитів, з метою проектування чи подальшої оптимізації їх властивостей.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

Дисертацію заслухано та обговорено на науковому семінарі кафедри механіки механіко-математичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка (протокол № 1 від 30 серпня 2023 року). У ході обговорення дисертації суттєвих зауважень, які стосуються суті роботи, не було висунуто.

Дисертація Василюшина Андрія Володимировича «Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями» є завершеною науковою працею в рамках поставлених задач.

На основі вищесказаного можна зробити такі висновки щодо поданої дисертаційної роботи:

1. За актуальністю обраної теми, обсягом, достовірністю та рівнем апробації отриманих результатів, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, практичною цінністю дисертаційна робота «Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та п. 6 «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 року № 44 (з наступними змінами).

2. Дисертація відповідає спеціальності 113 «Прикладна математика» (галузь знань 11 «Математика та статистика»).

3. Наукові праці Васишина Андрія Володимировича, опубліковані за результатами дисертаційної роботи, за кількістю та якістю відповідають пп. 8-9 «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 року № 44 (з наступними змінами).

4. Дисертація «Термомагнітоелектропружність неідеально поєднаних структур з внутрішніми тонкими включеннями» Васишина Андрія Володимировича рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні наукового семінару,
завідувач кафедри механіки
д-р фіз.-мат. наук, проф.

Олександр АНДРЕЙКІВ

30 серпня 2023 року

Підпис проф. Олександра АНДРЕЙКІВА засвідчую.

Вчений секретар
Львівського національного
університету імені Івана Франка,
доцент



Ольга ГРАБОВЕЦЬКА