

**ВІДГУК**  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шевчука Віктора Анатолійовича  
**“Математичні моделі та методи термомеханіки тіл з покриттями”,**  
що представлена на здобуття наукового ступеня  
доктора фізико-математичних наук за спеціальністю  
01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Дисертація В. А. Шевчука є закінченою науковою роботою, присвяченою побудові математичних моделей і методів розрахунку термонапруженого стану тіл з покриттями. Таке дослідження є актуальним як з практичної точки зору, оскільки його результати можуть використовуватись для оцінки міцності та надійності елементів конструкцій із захисними покриттями, так і з наукової – завдяки розвитку нових підходів до розв'язування задач термомеханіки тіл з покриттями.

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційне дослідження проведено відповідно до планів наукових робіт Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України у межах науково-дослідних тем: “Розробка математичних моделей і теоретико-експериментальних методів оптимізації, керування та дослідження нелінійних температурних, дифузійних і корозійних процесів в неоднорідних і термочутливих тілах з покриттями з метою прогнозування їх довговічності” (№ держреєстрації 0102U001615, 2002–2004 pp.); “Математичне моделювання, розвиток методів розрахунку та оптимізація фізико-механічних процесів у неоднорідних деформівних структурах та тілах з багатошаровими покриттями при комплексній зовнішній дії” (№ держреєстрації 0102U000453, 2002–2005 pp.), “Моделі та методи прямих і обернених задач для дослідження фізико-механічних процесів у неоднорідних шаруватих структурах із залишковими деформаціями та дефектами” (№ держреєстрації 01060U000592, 2006–2009 pp.); “Математичні моделі та методи дослідження напруженого стану неоднорідних тіл та тіл з покриттями за дії силових і теплових навантажень та наявності дефектів і залишкових деформацій” (№ держреєстрації

0109U008764, 2010–2013 pp.); “Моделювання та оптимізація термомеханічної поведінки структурно неоднорідних тіл за сталого та змінного навантаження” (№ держреєстрації 0113U007685, 2014–2018 pp.); “Методи визначення та оптимізації напружено-деформованого стану і граничної рівноваги структурно-неоднорідних систем стосовно проблем оцінювання їх міцності, прогнозування ресурсу та надійності функціонування” (№ держреєстрації 0119U100672, 2019–2023 pp.).

**Метою** дисертаційної роботи є розробка моделей та ефективних методів розрахунку термонапруженого стану тіл з багатошаровими тонкими та одношаровими товстими ізотропними та анізотропними покриттями за силового та теплового навантаження. У дисертації використано методи інтегральних перетворень Лапласа, квазілінеаризації, зведення до інтегральних рівнянь Вольтерра другого роду, послідовних наближень, а також ітераційну схему і методики розв’язування сингулярних рівнянь та обчислення невласних інтегралів. **Достовірність** отриманих автором результатів забезпечується застосуванням усталених математичних методів, коректністю формулювань розв’язуваних задач, аналізом тестових задач та співставленням отриманих результатів з наявними в літературі. Усі положення та висновки дисертаційної роботи **науково обґрунтовані** з належним ступенем повноти. До найважливіших результатів дисертаційного дослідження, які визначають **наукову новизну** роботи, варто віднести такі:

- побудову математичних моделей для визначення температурного поля та термонапружень в тілах з тонкими багатошаровими покриттями;
- формулювання та розробку методики розв’язування відповідних некласичних краївих задач;
- отримання на її основі розв’язків нових задач термопружності для тіл з багатошаровими тонкими покриттями при тепловому навантаженні та задач дослідження еволюції пошкоджень у тілах з шаруватими керамічними покриттями;
- розробку аналітично-числової методики розв’язування нестационарної задачі термопружності для тіл з покриттями з нелінійною граничною умовою при конвективно-променевому нагріванні;

– розвинення методики розв'язування задач пружності та термопружності для неоднорідних порожнистих циліндрів із матеріалу з ортотропними властивостями та її застосування до дослідження накопичення пошкоджень у керамічних покриттях довільної товщини.

**Практичне значення** результатів дисертаційної роботи полягає у можливості застосування розробленого ефективного підходу до розв'язування задач термомеханіки тіл з покриттями, а отримані у роботі наближені розв'язки потенційно застосовні як тестові при побудові нових та апробації наявних числових методів дослідження нестационарних термонапружень в елементах конструкцій з шаруватими тонкими та одношаровими неоднорідними покриттями.

**За результатами наукових досліджень опубліковано** 57 наукових праць, з них 15 у виданнях, включених до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 24 статті у наукових фахових України та міжнародних наукових періодичних виданнях, 1 стаття у галузі технічних наук, 1 стаття в енциклопедії, 31 у збірниках матеріалів міжнародних та вітчизняних наукових конференцій; одноосібних публікацій – 34. Особливо слід відзначити статті в авторитетних високорейтингових виданнях, що входять до квартилів Q1 та Q2 згідно з SCImago Journal and Country Rank – “International Journal of Solids and Structures”, “Materials Science and Engineering A”, “Journal of Thermal Stresses”, “Lecture Notes of Computer Sciences” та “Journal of Engineering Physics and Thermophysics”. Отже, публікації здобувача цілком відповідають чинним вимогам за кількістю, повнотою розкриття проблематики дисертаційного дослідження та якістю видань, у яких їх опубліковано.

**Результати дисертаційної роботи апробовано на наукових семінарах та численних конференціях.** Слід особливо відзначити участь здобувача у престижних міжнародних форумах, що свідчить як про належний рівень оприлюднення результатів дисертаційного дослідження, так і про інтегрованість автора дисертації у профільні наукові спільноти.

Наведений перелік публікацій та їх зміст відповідає темі роботи та в доситьному обсязі відображає її основні наукові результати, положення та висновки.

Зміст автореферату повністю відображає основні наукові положення, отримані автором результати та висновки дисертації. У дисертації та авторефераті розкрито особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковано у співавторстві.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел (586 найменувань) та додатків. Повний обсяг роботи – 350 сторінок, основний текст викладено на 254 сторінках.

У *вступі* проаналізовано стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність досліджуваної тематики, сформульовано мету та задачі дослідження, окреслено його методи, наведено дані про його апробацію.

У *першому* розділі розроблено методологію розв'язування задач термо-механіки тіл з тонкими покриттями. Методологія базується на моделюванні покрить оболонками з відповідними термомеханічними властивостями покриття, а вплив покрить на тепловий і механічний стан системи тіло-покриття описується узагальненими граничними умовами.

*Другий* розділ присвячено теоретичному дослідженню впливу тонких покрить на термонапружений стан тіл з плоскими границями.

У *третьому* розділі сформульовано нелінійну нестационарну задачу тепlopровідності та відповідну задачу термопружності для півпростору з багатошаровим покриттям за променево-конвективного теплообміну із зовнішнім середовищем.

У *четвертому* розділі проаналізовано вплив геометричних і фізико-механічних характеристик покриття і підкладки на основі аналітичного розв'язку статичної задачі пружності для циліндра з тонким багатошаровим покриттям, отриманого із застосуванням узагальнених граничних умов, а також умов закріплення торців циліндра на залишковий напружений стан системи тіло-багатошарове покриття.

*П'ятий* розділ присвячено розвиненню методу безпосереднього інтегрування диференціальних рівнянь рівноваги та сумісності в напруженнях одно-

вимірних задач теорії пружності та термопружності для циліндричних тіл з неподорідними трансверсально ізотропними покриттями.

У *шостому* розділі запропоновано ефективний напіваналітичний підхід для дослідження процесу накопичення пошкоджень у крихких тонких багатошарових і товстих одношарових покриттях під впливом теплових навантажень.

У *сьомому* розділі розглянуто нестационарну задачі термопружності для півпростору з багатошаровим покриттям з тріщиною під покриттям, яка перпендикулярна до поверхні поділу.

У *висновках* до дисертації зроблено загальну оцінку отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Текст дисертації написано зрозуміло, чітко і граматично коректно. Обраний спосіб викладу належно характеризує високий науковий рівень автора.

### **Зауваження до змісту дисертаційної роботи та автореферату**

1. У дисертації розглянуто значну кількість тестових задач (загальне число 9) для підтвердження достовірності та ефективності застосованого підходу з використанням узагальнених граничних умов. Але якщо для випадку ізотропного покриття розглянуто три тестові задачі – для кусково-однорідного та кусково-неоднорідного покриття на циліндричній основі за силового (задача Ляме) та кусково-однорідного покриття за рівномірного теплового навантаження, то для складнішого випадку трансверсально ізотропного покриття такого тестування не проведено. Так само при дослідженні процесу накопичення пошкоджень у керамічних покриттях (шостий розділ), де проведено детальний аналіз пошкоджень для різних випадків, але відсутнє дослідження збіжності ітераційної процедури. Отже, бажано було проаналізувати тестові задачі для усіх досліджуваних випадків.

2. При розгляді тестових задач доцільним було б, окрім дослідження збіжності та точності, порівняння з відомими розв'язками, провести з'ясування ефективності запропонованого підходу, тобто провести порівняльний аналіз затрат комп'ютерних і обчислювальних ресурсів за різними підходами.

3. Розв'язання двовимірної нестационарні задачі на основі запропонованих підходів значно би підсилило враження від ефективності запропонованих підходів, напевно, в цьому випадкові потрібно використання системи комп'ютерної математики.

4. У списку використаних джерел, який загалом ґрунтовний ( 586 найменувань), на наш погляд, недостатньо уваги приділено огляду використання числових методів у галузі термомеханіки тіл з покриттями, хоча у шостому розділі при дослідженні накопичення пошкоджень процедура МСЕ замінюється аналітичним розв'язком проміжної задачі термопружності.

5. Щодо оформлення, то текст дисертації підготовлений на належному рівні, хоча можна зауважити, що часто вживається “співпадає” замість “збігається”, на стор.239 потрібно “введення, виведення” замість “ввід, вивід”, якість деяких рисунків могла б бути кращою (наприклад, рис. 2.21).

Вказані зауваження та неточності, на нашу думку, не впливають на загальну позитивну оцінку наукових результатів і не зменшують цінність і наукову вагомість, отриманих у дисертаційній роботі результатів.

### **Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам**

Актуальність тематики, наукова новизна, зміст, ступінь обґрунтування результатів та висновків і практична цінність отриманих результатів свідчать, що дисертаційне дослідження Шевчука В.А. є завершеною науковою працею, в якій розв'язано актуальну науково-прикладну проблему, що полягає у необхідності побудови адекватних математичних моделей та розробки ефективних методів розрахунку і дослідження теплового та напружено-деформованого стану тіл з покриттями.

Результати дисертаційної роботи опубліковано у достатній кількості фахових видань і апробовано на престижних українських і міжнародних наукових конференціях і наукових семінарах провідних установ у галузі дослідження.

Матеріали кандидатської дисертації автора не виносяться на захист докторської дисертації.

Зміст автореферату відповідає змістові дисертаційної роботи.

Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла (фізико-математичні науки).

Структура дисертації, її обсяг та оформлення відповідають усім вимогам, зазначеним у діючому “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України.

Мова, стиль викладу у дисертації та технічне оформлення тексту вирізняються належним рівнем.

Отже, вважаю, що дисертаційна робота Шевчука Віктора Анатолійовича **“Математичні моделі та методи термомеханіки тіл з покриттями”** є актуальним, новим, завершеним і самостійним науковим дослідженням. Робота виконана на високому професійному рівні та містить нові, науково обґрунтовані результати в галузі механіки деформівного твердого тіла, які сукупно вирішують важливу науково-прикладну проблему – побудову адекватних математичних моделей і розробку ефективних методів розрахунку та дослідження теплового та напружено-деформованого стану тіл з покриттями

Дисертація цілком відповідає вимогам пп.10, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами та доповненнями) до докторських дисертацій, а її автор – **Шевчук Віктор Анатолійович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук зі спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

## Офіційний опонент

декан факультету прикладної математики та інформатики  
Львівського національного університету імені Івана Франка,  
доктор фізико-математичних наук, професор

I.I. Дияк

Підпис

*Боніса*  
**ПІДТВЕРДЖУЮ**  
**ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР**  
ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

