

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Старушенко Галини Аркадіївни** на тему: «**Асимптотичні методи та моделі в механіці композитних матеріалів**», представлену на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Актуальність теми дисертації.

Композитні матеріали широко використовуються у багатьох галузях сучасної техніки, а саме, в авіаційній та ракетній, будівельній, оборонній, суднобудівельній, енергомашинобудівній та інших. В будівельній індустрії композитні матеріали відіграють особливу роль, тому що вони поліпшують міцність та довговічність будівельних конструкцій, мостів, морських споруд, залізничних платформ та інших об'єктів. Слід відзначити, що поєднання у композиті різнорідних матеріалів призводить до створення нового матеріалу, властивості якого кількісно та якісно відрізняються від властивостей кожної з його складових. Варіюючи склад матриці та наповнювача, можна отримати широкий спектр матеріалів, які перевершують традиційні матеріали та сплави за своїми фізичними властивостями. Тому створення нових композитних матеріалів з покращеними теплопровідними, електропровідними, оптичними, магнітними та іншими властивостями залишається актуальною проблемою. Але створення нових композитних матеріалів в свою чергу потребує розробки відповідних математичних моделей, які б адекватно описували фізичні процеси, що в них відбуваються та сприяли розрахунку їх поведінки. Дана дисертаційна робота як раз і присвячена розробці математичних моделей та методів аналізу макроскопічних властивостей композитних матеріалів різної структури.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційне дослідження виконувалося згідно з чинним законодавством України в галузі архітектури та містобудування (Закон України № 687-XIV у редакції від 31 березня 2023 р. «Про архітектурну діяльність»), а також згідно пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України (Закон України № 2623-III у редакції від 13 січня 2024 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»). Результати роботи були також одержані в рамках проекту Національного Наукового Центру Польщі:

Вх. № 37-05/26
27.05.2024р.

Research grant OPUS 14 N. 2017/27/B/ST8/01330, Lodz University of Technology, Department of Automation, Biomechanics and Mechatronics, співвиконавець та Гранту Фонда Саймонса (США): Award ID 1160642, Project Title “Simons Foundation Support to Researchers in Ukraine”, Program “Presidential Discretionary Ukraine Support Grants”, головний дослідник.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, обґрунтовані:

– з математичної точки зору: використанням строгого математичного апарату, оцінкою області застосування побудованих моделей та аналітичних методів їх опису, аналізом граничних станів композитних структур і відповідних їм розв’язків;

– з фізичної точки зору: порівнянням з наближеними аналітичними розв’язками, знайденими на основі спрощених фізичних моделей чи інженерних схем, використанням для оцінки розв’язків меж Хашина – Штрікмана або (при можливості) більш вузьких границь, які враховують форму включення, аналізом фізичної суті розв’язків та чіткою відповідністю отриманих результатів фізичному змісту задач;

– чисельним моделюванням: використанням обчислювальних можливостей сучасних математичних пакетів, всебічно виконаним чисельним та асимптотичним аналізом отриманих розв’язків, порівнянням в окремих випадках з асимптотичними розв’язками, чисельними розрахунками та експериментальними даними інших авторів.

Структура та зміст роботи.

Наукова доповідь за сукупністю статей, опублікованих у журналах, віднесених до першого та другого кварталів (Q1 та Q2), складається з анотації, змісту, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел (182 найменування) та 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 165 сторінок; робота містить 96 рисунків і 6 таблиць. Основний текст дисертації складає 96 сторінок та додатки на 27 сторінках.

Практичне значення результатів, наведених в дисертаційній роботі.

Результати дисертації були впроваджені в Науково-дослідному інституті гірничих проблем Академії Інженерних Наук України для дослідження макроскопічних властивостей композитних матеріалів при розробці низки тематик (АД-464, АД-465, АД-475, АД-476), присвячених вирішенню актуальних питань енергоефективності України.

Отримані в роботі аналітичні розв'язки, чисельні оцінки та розроблений математичний апарат доцільно використовувати в інженерній практиці будівельної механіки при розрахунках ефективних параметрів волокнистих композитів із включеннями різної форми, структури та умовами контакту фаз – за різних конструкційних вимог та технологічних умов виробництва композитних матеріалів.

Знайдені асимптотичні співвідношення має сенс використовувати у фундаментальних та прикладних дослідженнях механіки композитів та будівельної механіки для оцінки чисельних розв'язків в області граничних значень параметрів композитів.

Моделі континуальної апроксимації доречно застосовувати при практичному дослідженні 1D лінійних хвильових процесів, зокрема, при проектуванні сейсмічно стійких будівельних конструкцій і споруд.

Побудовані моделі композитів та розроблені аналітичні й асимптотичні методи їх дослідження можуть використовуватися в навчальному процесі при викладанні варіативних навчальних дисциплін «Моделювання та аналітичні розв'язання задач механіки композитів», «Асимптотичні методи в інженерних задачах будівельної механіки» за освітньо-науковою програмою «Промислове та цивільне будівництво» при підготовці фахівців ступеня магістра і ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Наукова новизна досліджень автора полягає в тому, що в роботі вперше побудовані асимптотичні моделі для аналізу макроскопічних властивостей композитних матеріалів різної структури, розроблено строгий математичний апарат їх опису, знайдені аналітичні розв'язки задач будівельної механіки в області граничних значень фізичних і геометричних параметрів композитів.

До основних пунктів наукової новизни слід віднести наступні результати:

1. Проведено узагальнення трифазної моделі композиту з урахуванням форми включення. Для композитів з циліндричними включеннями круглого і квадратного профілів на основі трифазної моделі композита знайдено розв'язки задач визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності в нульовому наближенні та його першої поправки за методом збурення форми межі. Для цих же композитів побудовано двофазну модель, на основі якої знайдено вищі наближення формули Максвелла та проведено її асимптотичний аналіз.

2. Розв'язки за трифазною моделлю композиту перебудовано за допомогою апроксимацій Паде, що дозволяє не тільки принципово розширити кількісні межі застосування моделі, а й якісно описати фізичний процес, що відбувається в композиті при великих розмірах включень.

3. Для композитних структур із гексагональним масивом круглих включень в аналітичному вигляді визначено умови, за яких можна отримати ненульову першу поправку власної частоти мембрани, а для високопровідних щільно упакованих композитів отримані двосторонні оцінки ефективного параметра з більш вузькою «вилкою», ніж межі Хашина – Штрікмана.

4. Розроблено й обґрунтовано математичний апарат методу пилкоподібного перетворення аргументу й асимптотично еквівалентних функцій для опису моделей композитів з тонким інтерфейсом на межі розділу фаз та наведено класифікацію асимптотичних виразів ефективних параметрів композитів різної структури за умовами контакту «матриця – включення». Метод застосовано до розв'язку періодичних задач теорії пружності для шаруватих композитів.

5. Для дискретного рівняння Ферхюльста розроблено процедуру континуалізації, засновану на перебудові диференціального оператора в діагональну апроксимацію Паде, та чисельно й аналітично доведено наявність хаосу в неперервній моделі.

Дістали подальший розвиток:

- дослідження нестационарного теплообміну в композитній мембрані з гексагональним масивом круглих включень за методом асимптотичної гомогенізації і з використанням перетворення Лапласа;
- асимптотичне осереднення вищого порядку для динамічних задач; зокрема, для системи з неперервними і кусково-неперервними параметрами, дискретної системи, неперервної системи з дискретними елементами;

– чисельне дослідження моделей континуальної апроксимації 1D лінійних хвильових процесів з використанням техніки апроксимацій Паде.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1) Вважаю, що перший розділ «УЗАГАЛЬНЕННЯ ТРИФАЗНОЇ МОДЕЛІ КОМПОЗИТУ З УРАХУВАННЯМ ФОРМИ ВКЛЮЧЕННЯ» було б доцільним доповнити можливими узагальненнями трифазної моделі для композитів з іншою формою включень, с гексагональною сіткою їх розташування тощо.

2) У підрозділі 4.1. «Визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності композиту з квадратними включеннями шляхом зрощування асимптотичних розкладень» бажано було б пояснити асимптотичний та фізичний зміст зрощеного виразу осередненого коефіцієнта.

3) У підрозділі 4.6. «Асимптотична оцінка ефективної провідності гексагонального масиву непровідних круглих включень за наявності інтерфейсу на межі розділу фаз» слід було б описати, за якою моделлю визначається приведений параметр гексагонального масиву непровідних круглих включень великих геометричних розмірів з інтерфейсом.

4) У підрозділі 7.2. «Застосування техніки несиметричного пилкоподібного перетворення аргументу до періодичних задач теорії пружності для шаруватих композитів» не представлені умови, за яких виключаються з розв'язку локальної задачі періодичні сингулярні члени.

Повнота викладу наукових положень дисертаційного дослідження в наукових публікаціях, зарахованих за темою докторської дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у докторській дисертації, опубліковані в повному обсязі в українських та зарубіжних наукових виданнях. Усього за результатами дослідження опубліковано 104 наукові праці, у тому числі:

- 1 монографія, реферована в наукометричній базі даних Scopus;
- 1 одноосібна монографія, опублікована в зарубіжному видавництві (Німеччина);
- 72 статті, з яких 38 статей реферовано в Scopus та/або Web of Science Core Collection (у тому числі 21 стаття – в журналах, віднесених до першого Q1 та другого Q2 кuartилів, 3 статті – в журналах третього Q3 і

четвертого Q4 квантилів); 2 статті – в збірнику наукових праць, що входить до переліку фахових видань Міністерства освіти і науки України; 32 статті – в наукових періодичних виданнях, продовжуваних виданнях та виданнях матеріалів конференцій (із яких 21 статтю опубліковано в зарубіжних видавництвах);

– 30 публікацій – тези доповідей на конференціях (із яких 17 видані в зарубіжних видавництвах).

Робота пройшла апробацію на 43 українських та міжнародних наукових конференціях, семінарах і конгресах.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст реферату повністю відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації, містить основні результати виконаних досліджень і дає змогу достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну цінність. Стель викладання матеріалу у дисертації та реферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача. **Плагіат відсутній.**

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам.

На підставі вищевикладеного, вважаю, що в цілому дисертаційна робота **Старушенко Галини Аркадіївни** у вигляді наукової доповіді за сукупністю статей, опублікованих у журналах, віднесених до першого та другого квантилів (Q1 та Q2), «Асимптотичні методи та моделі в механіці композитних матеріалів», подана на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка, є завершеною науковою працею, виконаною автором самостійно на високому науковому рівні, в якій досліджено важливу науково-прикладну проблему: побудовані й обґрунтовані на фізичному рівні асимптотичні моделі для аналізу макроскопічних властивостей композитних матеріалів різної структури, розроблено строгий математичний апарат їх опису в області граничних значень фізичних і геометричних параметрів композитів, знайдені аналітичні розв'язки задач будівельної механіки, які мають широкий спектр

практичних прикладань, надана асимптотична й чисельна оцінка точності результатів, їх достовірності та області застосовності.

За актуальністю, обґрунтованістю наукових положень, науковою новизною, практичним значенням, повнотою викладу матеріалу дисертації в наукових публікаціях, структурою та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» МОН України, а її автор Старушенко Галина Аркадіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри прикладної математики
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»



L. Kurpa

Лідія КУРПА

Особистий підпис проф. Л.В. Курпи засвідчує.
Вчений секретар НТУ «ХПІ» проф.

Y. Zaytsev

Юрій ЗАЙЦЕВ