

В І Д З И В
о ф і ц і й н о г о о п о н е н т а
на дисертаційну роботу **Скіцка Марії Вікторівни**
"Деякі задачі теорії термопружності для багатозв'язних тіл",
поданої до захисту на здобуття наукового ступеня
доктора філософії з галузі знань 11 – Математика та
статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами. В інженерній практиці, зокрема в авіаційній промисловості, машинобудуванні, ракетно-космічній техніці, хімічній промисловості, мікроелектроніці, будівництві, енергетиці, біології, медицині та ін. широко використовують технології, пов'язані з використанням пористих і композитних матеріалів. Внаслідок цього **актуальним** є як прогнозування параметрів міцності конструкцій з таких матеріалів, так і формування в них заздалегідь заданих міцнісних характеристик. Проте ще недостатньо розроблені математичні методи адекватного оцінювання тримкої здатності, довговічності та надійності таких технічних конструкцій складної геометричної форми з наявністю численних неоднорідностей, які спричиняють істотні локальні концентрації напружень і, врешті-решт, визначають експлуатаційну надійність конструкцій.

Дисертаційна робота здобувачки певним чином заповнює цей пробіл. Вона спрямована на подальший розвиток методу Фур'є розв'язування задач термопружності для багатозв'язних тіл зі сферичними порожнинами та включеннями, а також прогнозування функціональної здатності та міцнісних характеристик таких тіл за температурного навантаження, зумовленого як зовнішніми тепловими умовами, так і внутрішніми розподіленими джерелами тепла. У роботі досліджено ефективність методу і окреслено межі його практичної реалізації, проілюстровано його ефективне застосування в задачах термопружності для тіл зі сферичними порожнинами і включеннями. Значну увагу в роботі приділено задачам із внутрішніми розподіленими джерелами тепла, які суттєво ускладнюють побудову точних математичних моделей і вимагають застосування новітніх підходів до їхнього аналізу.

Слід зазначити, що за своїм науковим спрямуванням робота відповідає Планам наукових досліджень Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» і зв'язана з виконанням науково-дослідних тем: "Розвиток та застосування математичних методів дослідження прикладних задач" (номер держреєстрації № 0122U201064, 2021 – 2023 рр.); "Розвиток та застосування конструктивних математичних методів розв'язання прикладних задач" (номер держреєстрації № 0124U001351, 2024 р.).

Новизна презентованих результатів проведених здобувачкою досліджень. Під час виконання дисертаційної роботи здобувачкою отримано низку нових вагомих результатів, серед яких можна виділити такі:

Розвинено апарат узагальненого методу Фур'є, побудовано нові вісесиметричні векторні базисні розв'язки рівнянь Ламе і Дюгамеля-Неймана у сферичних координатах на основі наборів гармонічних, бігармонічних і полігармонічних функцій третього порядку. Для цих

розв'язків отримано теореми додавання в системах координат, початки яких довільно зсунуті один відносно одного вздовж осі симетрії.

Отримано обґрунтований аналітичний розв'язок вісесиметричної крайової задачі теорії пружності для кулі з концентричним сферичним включенням у загальному формулюванні звичайним методом Фур'є. Встановлено клас розв'язності задачі. Отримано оцінку знизу модуля багатопараметричного визначника розв'язувальної системи в задачі спряження деформаційних полів.

Побудовано локальну аналітико-числову модель термонапруженого стану у пористому матеріалі в області між двома сферичними порами.

Сформульовано і розв'язано задачу оптимального керування температурним полем напруженого стану кусково-однорідного простору зі сферичними включеннями і порожниною. З цією метою розв'язано задачу оптимального керування системою, стан якої визначається нескінченною системою лінійних алгебраїчних рівнянь.

Розроблено новий метод параметричного розв'язання нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, праві частини яких лінійно залежать від параметрів.

Розв'язано задачу про розподіл температурних напружень у кусково-однорідному просторі зі сферичними включеннями за наявності в них розподілених джерел тепла у випадку, коли включення і простір мають різні термомеханічні характеристики.

Наукова обґрунтованість і відповідність темі дисертації отриманих результатів та їх достовірність. Достовірність наукових положень дисертаційної роботи і отриманих в ній результатів забезпечується прийняттям за вихідні відомих з літератури і достатньо добре апробованих співвідношень термопружності, строгістю постановки сформульованих задач, а також методів їх розв'язування, використанням експериментально визначених фізико-механічних характеристик матеріалів, порівнянням отриманих результатів з відомими для однозв'язних тіл, виконанням численних комп'ютерних експериментів і перевіркою практичної збіжності отримуваних розв'язків розглянутих задач. Результати, отримані під час виконання дисертаційних досліджень, повністю відповідають темі дисертаційної роботи.

Теоретичне і практичне значення отриманих результатів. Отримані в дисертації результати мають не тільки теоретичне, але й важливе практичне значення. Аналітичні розв'язки розглянутих у дисертації задач для простору з двома сферичними порожнинами і двома включеннями задають локальні параметричні моделі термопружного стану в пористих і зернистих композитних матеріалах.

Важливість і практичне значення отриманих параметричних моделей продемонстровано при розв'язанні задачі оптимального керування температурним полем термопружного стану простору зі сферичними порожниною і включенням. Отримані математичні моделі без суттєвих труднощів поширюються на тіла з різною кількістю неоднорідностей і періодичні задачі.

Важливими практичними результатами роботи є числове моделювання розглянутих термопружних полів, отриманий на цій основі аналіз розподілу напружень в околі порожнин і включень залежно від геометричних і термомеханічних параметрів, встановлені закономірності

взаємного впливу концентраторів напружень на їх локальний розподіл. Ці результати можуть бути використані при конструюванні різних термомеханічних систем.

Узагальнений метод Фур'є дозволяє точно задовольнити крайові умови, а числове розв'язання ключових систем рівнянь можна виконати з наперед заданою точністю. При математичному і комп'ютерному моделюванні полів напружень і деформацій це особливо важливо в областях з великою концентрацією напружень, де неточні результати можуть істотно вплинути на конструкторські чи технологічні рішення.

Особистий внесок здобувачки в отриманні наукових результатів. Усі результати, що становлять основний зміст дисертації, отримані авторкою самостійно. В опублікованих у співавторстві роботах здобувачці належать розроблені математичні моделі, формулювання теорем і їх доведення, розрахункові алгоритми, виконанні числові дослідження, математичне обґрунтування отриманих результатів, доведення збіжності розв'язків, висновки і рекомендації, які увійшли до дисертаційної роботи. У цілому, кількість публікацій здобувачки відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Дослідження за темою дисертації виконано авторкою самостійно в межах планів теоретично-прикладних та експериментальних досліджень розрахованих на чотирирічну програму підготовки аспірантів ступеня доктора філософії з галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Рівень виконання поставленого завдання та оволодіння здобувачкою методологією наукової діяльності. Зміст дисертації відображає суть розв'язаного наукового завдання. Мова дисертації зрозуміла, дисертантка вільно володіє науковою і технічною термінологією в області термопружності. Терміни та визначення, які використовує авторка, відповідають прийнятим у чинних нормативних та нормативно-технічних документах. Авторка користується іноземними джерелами. Незважаючи на описки й недоліки технічного характеру стиль роботи доступний і дозволяє легко сприймати матеріал. Усі поставлені в роботі завдання виконані у повному обсязі.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 160 сторінок, до числа яких входить список використаних джерел зі 166 позицій.

У вступі викладено обґрунтування актуальності обраної теми дисертації, чітко визначено мету і завдання дослідження, а також окреслено об'єкт, предмет і використані в роботі методи. Розкрито наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, відзначено зв'язок дослідження з науковими темами, а також наведено інформацію про апробацію результатів та їхнє висвітлення у наукових публікаціях.

У першому розділі проведено огляд літератури і виконано аналіз методів розв'язку задач пружності та термопружності багатозв'язних тіл.

Другий розділ присвячено розвитку апарату узагальненого методу Фур'є на вісесиметричні крайові задачі стаціонарної термопружності для простору зі сферичними неоднорідностями, який полягає в побудові нових інваріантних базисних розв'язків рівнянь Ламе і Дюгамеля-

Неймана у сферичних координатах. Для цих розв'язків доведено теореми додавання в однаково спрямованих системах координат.

У третьому розділі розглянуто локальну модель стаціонарного термопружного стану в пористому матеріалі в області між двома сферичними порожнинами, на поверхнях яких задано сталу температуру. Завдяки формалізму узагальненого методу Фур'є крайові задачі зведено до систем алгебраїчних рівнянь, для чисельного розв'язання яких використано метод редукції. Отримано розв'язки за різних геометричних параметрів порожнин та температур на їхніх поверхнях. Досліджено збіжність отриманих розв'язків та наведено порівняння з відповідними результатами для однієї порожнини.

У четвертому розділі розв'язано вісесиметричну крайову задачу термопружності в загальному формулюванні для кулі з концентричним сферичним включенням. Строго математично обґрунтовано отриманий розв'язок. Наведено результати числових розрахунків для трьох типів матеріалів включень і для двох типів зовнішніх навантажень. Проілюстровано практичну збіжність розв'язків.

У п'ятому розділі розроблено і строго обґрунтовано ефективний метод дослідження напружено-деформованого стану багатокомпонентних механічних систем з тепловиділеннями. Досліджено напружено-деформований стан кусково-однорідного пружного простору з двома включеннями. Виконано відповідні обчислювальні експерименти. Показано ефективність методу для різних відносних відстаней між включеннями.

У шостому розділі на основі узагальненого методу Фур'є запропоновано ефективний метод визначення оптимального керування термопружним станом просторового багатозв'язного складеного тіла за допомогою стаціонарного температурного поля. Ефективність методу проілюстровано для випадку стаціонарної вісесиметричної термопружної задачі для простору зі сферичними включеннями і порожниною. Задачу зведено до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, права частина яких параметрично залежить від керування. Достоїнством методу є отримання явної залежності стану системи від керування. Розроблений метод строго математично обґрунтовано, встановлено умови існування та єдиності розв'язку задачі оптимального керування без обмеження.

Кожний розділ містить підсумкові висновки, що відображають проміжні результати дослідження. У загальних висновках дисертації представлені узагальнені результати проведеної роботи.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. В опублікованих працях здобувачки основні результати дисертаційної роботи представлені з достатньою повнотою. Кількість, обсяг та якісний рівень публікацій відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України, в них не виявлено академічного плагіату, текстових чи ідейних запозичень, а також недостовірної чи сфальсифікованої інформації. Ознак порушення академічної доброчесності не встановлено.

По роботі можна зробити наступні **зауваження**:

– огляд літератури і аналіз методів розв'язку задач пружності та термопружності багатозв'язних тіл у першому розділі не достатньо структурований, деякі висновки до першого розділу в ньому не акцентовано, зокрема він не підводить читача до необхідного подальшого кроку в розвитку розглядуваної області досліджень, який зроблено в даному дослідженні, з приведення огляду не очевидно, що узагальнений метод Фур'є є оптимальним для розглядуваного класу задач;

– усі результати в роботі наведені у відносних величинах, що не дає можливості легко визначити фактичні значення температури та напружень, що важливо для оцінювання того, чи отримувані розв'язки не порушують припущень моделі пружного тіла (фізико-механічні характеристики залежать від температури і при підвищених температурах матеріал може деформуватися пластично);

– в роботі є окремі описки і неточності.

Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Скічка Марії Вікторівни "Деякі задачі теорії термопружності для багатозв'язних тіл" є завершеним цілеспрямованим науковим дослідженням, в якому отримано нові, науково обґрунтовані результати, що мають теоретичну та практичну цінність і достатньо повно опубліковані у фахових виданнях.

За своєю актуальністю, обсягом виконаних досліджень, новизною, обґрунтованістю та науковою і практичною значимістю наукових результатів дисертаційна робота відповідає змісту освітньо-наукової програми спеціальності 113 - Прикладна математика, вимогам до оформлення дисертації, затверджених Міністерством науки та освіти України від 12.01.2017 р. № 40 та пунктам 6 - 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 №44 від 12 січня 2022 (зі змінами), а її авторка, Скічка Марія Вікторівна, заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії з галузі знань 11 "Математика та статистика" за спеціальністю 113 "Прикладна математика"

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник
відділу теорії фізико-механічних полів
Інституту прикладних проблем механіки
і математики ім. Я.С. Підстригача
НАН України,
доктор фіз.-мат. наук, ст. н. с.

Богдан ДРОБЕНКО