

## **ВІДЗИВ**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Крайніченко Аліни Сергіївни**

**"Деякі задачі теорії пружності для багатозв'язних трансверсально-ізотропних 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 дедалі частіше використовують матеріали із заданими фізико-механічними властивостями, зокрема сучасні трансверсально-ізотропні матеріали. Однак в таких матеріалах під час експлуатації легко можуть виникати різного роду дефекти, зокрема тріщини, порожнини, включення, що істотно впливає на міцність і експлуатаційну надійність конструкцій з таких матеріалів. З огляду на зазначене, дослідження міцності конструкцій з трансверсально-ізотропних матеріалів за умов, які моделюють експлуатаційні, є надзвичайно **актуальним**.

Процеси деформування конструкцій із трансверсально-ізотропних матеріалів з неоднорідностями слабо вивчені, недостатньо розроблені математичні методи адекватного оцінювання їх міцності, довговічності та експлуатаційної надійності. Дисертаційна робота здобувачки певним чином заповнює цей пробіл. Вона спрямована на вирішення актуального наукового завдання – розроблення засобів математичного й комп'ютерного моделювання процесів деформування багатозв'язних трансверсально-ізотропних тіл з неоднорідностями на зразок включень, порожнин, тріщин. Розроблені здобувачкою математичні та комп'ютерні моделі базуються на системах рівнянь рівноваги у переміщеннях для трансверсально-ізотропних багатозв'язних тіл, обмежених координатними поверхнями стиснутих сфероїдальних систем координат. Основним методом розв'язування відповідних задач пружності для таких тіл є узагальнений метод Фур'є, який отримав свій подальший розвиток у розглядуваній роботі. Головним достоїнством цього методу є можливість побудови таких функцій переміщень у розглянутих тілах, які точно задовольняють граничні умови на всіх поверхнях.

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** полягає в розробці ефективного підходу до розв'язання задач теорії пружності багатозв'язних трансверсально-ізотропних тіл з неоднорідностями на зразок тріщин, порожнин, включень тощо.

Здобувачкою розвинено апарат узагальненого методу Фур'є, вперше доведено базисність системи вісесиметричних розв'язків рівнянь рівноваги в переміщеннях трансверсально-ізотропного стиснутого сфероїда і простору зі стиснутою сфероїдальною порожниною.

Встановлено класи розв'язності крайових задач про визначення напруженого стану трансверсально-ізотропного стиснутого сфероїда і простору зі стиснутою сфероїдальною порожниною звичайним методом Фур'є.

Отримано теореми додавання для вісесиметричних базисних стиснутих сфероїдальних розв'язків у випадку, коли початки систем координат довільно зсунуті вздовж осі симетрії.

Побудовано параметричну модель для кількісного опису напруженого стану трансверсально-ізотропного стиснутого сфероїда зі стиснутою сфероїдальною порожниною і

проведено комп'ютерне моделювання процесів деформування стиснутого сфероїду з круговою тріщиною.

Досліджено напружений стан трансверсально-ізотропного простору з двома круговими тріщинами за допомогою узагальненого методу Фур'є.

Сформульовано і розв'язано задачі визначення напруженого стану трансверсально-ізотропного простору з різними конфігураціями періодичних систем плоских кругових тріщин і антитріщин.

**Наукова обґрунтованість і відповідність темі дисертації отриманих результатів та їх достовірність.** Сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення, висновки і рекомендації є достатньо обґрунтованими. Їх достовірність забезпечується коректністю основних наукових засад, фізичною обґрунтованістю вихідних положень математичної моделі, строгістю постановки сформульованих задач та методів їх розв'язування, доброю узгодженістю розв'язків окремих задач з відомими в літературі розв'язками інших авторів, проведеними дослідженнями достовірності розв'язків кожної із розглянутих в роботі задач, 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 з погляду оцінювання міцності елементів конструкцій з трансверсально-ізотропних матеріалів. Застосування отриманих аналітичних розв'язків дозволяє ефективно з достатньою точністю описувати розподіли напружень у зонах їх концентрації, що є критично важливим для оцінки експлуатаційної надійності конструкцій. Отримані точні розв'язки можуть бути використані при тестуванні та верифікації числових методів. Побудовані моделі кількісного опису напружено-деформованого стану трансверсально-ізотропного простору з тріщинами можуть бути впроваджені в системи інженерного аналізу при розрахунках конструкцій з потенційними дефектами в елементах конструкцій.

**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 проведення 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 теорії пружності. Терміни та визначення, які використовує авторка, відповідають прийнятим у чинних нормативних та нормативно-технічних документах. Незважаючи на описки й недоліки технічного характеру, стиль роботи доступний і уможливорює легке сприйняття матеріалу. Усі поставлені в роботі завдання виконані у повному обсязі.

**Аналіз змісту дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 137 сторінок, до яких входить список використаних джерел зі 143 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, зв'язок дослідження з науковими темами, а також репрезентовано інформацію про апробацію результатів і їхнє висвітлення у наукових публікаціях.

У першому розділі проведено огляд сучасного стану досліджень в області теорії пружності трансверсально-ізотропних тіл з урахуванням дефектів та неоднорідностей на зразок тріщин, включень, порожнин тощо. Проаналізовано класичні й сучасні підходи, аналітичні та числово-аналітичні методи дослідження напружено-деформованого стану тіл із неоднорідностями.

Другий розділ присвячено розвитку узагальненого методу Фур'є для вісесиметричних задач теорії пружності трансверсально-ізотропних тіл. Отримані частинні розв'язки системи рівнянь рівноваги в переміщеннях у стиснутих сфероїдальних координатах. Строго математично обґрунтуванню коректність побудованої базисної системи розв'язків. Розширено апарат узагальненого методу Фур'є на задачі для багатозв'язних областей із декількома центрами симетрії або порожнинами.

У третьому розділі побудовано математичну модель для кількісного опису напруженого стану трансверсально-ізотропного стиснутого сфероїда зі сфероїдальною порожниною в осесиметричній постановці. Задачу зведено до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Доведено фредгольмовість оператора розв'язувальної системи задачі. Обчислювальні експерименти виконано у випадку трансверсально-ізотропного сфероїда з екваторіально розташованою круговою тріщиною. Проаналізовано вплив геометрії тіла на локалізацію напруженого стану. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з точним аналітичним розв'язком для тріщини в трансверсально-ізотропному просторі. Досліджено практичну збіжність отримуваних методом редукції розв'язків.

У четвертому розділі досліджено напружено-деформований стан трансверсально-ізотропного простору, ослабленого двома паралельними круговими тріщинами, центри яких розташовані на осі анізотропії простору. Дослідження виконано для нормального навантаження, прикладеного до площин тріщин. Унаслідок застосування узагальненого методу Фур'є задачу зведено до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, для чисельного розв'язання якої використано метод редукції. Отримані результати корелюють з відомими аналітичними оцінками для задачі з однією тріщиною. Проілюстровано практичну збіжність розв'язків.

П'ятий розділ присвячено дослідженню напруженого стану трансверсально-ізотропного простору, послабленого періодичними системами плоских кругових тріщин, центри яких знаходяться на осі анізотропії, а їх площини перпендикулярні їй. Усі тріщини знаходяться під сталим нормальним навантаженням. Кожна періодична система визначається представницьким шаром, площини якого перпендикулярні осі анізотропії і який містить скінченну систему тріщин різних розмірів. Усі задачі розв'язувалися узагальненим методом Фур'є, в результаті використання якого задачі зведено до нескінченних алгебраїчних систем. Виконано низку обчислювальних експериментів, в межах яких обчислювалися розподіли напружень не тільки в періодичних структурах, а й у неперіодичних, утворених кількома представницькими шарами. Намічено подальші дослідження в цьому напрямку.

У шостому розділі досліджено напружено-деформований стан трансверсально-ізотропного простору з періодичними пакетами плоских кругових антитріщин, центри яких розташовані на осі анізотропії, а площини перпендикулярні до неї, за дії постійного двовісного стискального напруження, прикладеного на нескінченності. Усі обчислювальні експерименти виконано за допомогою узагальненого методу Фур'є, в результаті чого задачі було зведено до нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Кожний розділ містить підсумкові висновки, що відображають проміжні результати дослідження. У загальних висновках дисертації представлені 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 у першому розділі безпосередньо не підводить до необхідного наступного кроку дослідження в розглядуваній області, не акцентує увагу на незроблених ще, але потрібних дослідженнях, одне з яких і стало предметом даного дисертаційного дослідження; деякі висновки до першого розділу не достатньо розкриті в самому розділі;

- у розділі 3 наведено графіки нормальних напружень у площині тріщини сфероїда, але нічого не сказано про матеріал сфероїда, не приведено його фізико-механічних характеристик;

- результати в роботі наведені у відносних величинах, що не дає можливості оцінити фактичні значення напружень, а тому важко оцінити, чи не перевищують напруження межу пластичності і чи розв'язки не порушують припущення моделі пружного тіла;

- в роботі є окремі описки і неточності.

Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

**Загальні висновки.** Дисертаційна робота Крайніченко Аліни Сергіївни "Деякі задачі теорії пружності для багатозв'язних трансверсально-ізотропних 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, Крайніченко Аліна Сергіївна, 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