

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Яремченка Сергія Миколайовича**

«Чисельний аналіз стаціонарного деформування циліндрів та куль неоднорідної структури на основі різних моделей», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертації. Широкого використання в умовах зростаючого рівня інтенсивності зовнішнього впливу набувають конструкції у вигляді циліндричних та сферичних тіл. Як приклад, можна навести посудини високого тиску, криогенну техніку, двигуни, сховища різного призначення, корпуси надводних і підводних кораблів, літальних і космічних апаратів тощо. В залежності від умов експлуатації та призначення такі конструкції можуть мати складну геометричну та механічну структуру поперечного перерізу, змінну товщину та ряд інших особливостей.

Дослідження стаціонарного деформування товстостінних неоднорідних циліндричних і сферичних оболонок з геометричними та фізико-механічними особливостями вимагає використовувати уточнені моделі оболонок, а в ряді випадків і просторову модель теорії пружності.

Для визначення характеристик напружено-деформованого стану широко застосовуються різноманітні підходи, що вдало поєднують в собі аналітичні та чисельні методи. Останнім часом набувають розвитку різні модифікації методу скінчених елементів, що є універсальними і найбільш застосовуваними при розв'язуванні значної кількості задач механіки деформівного твердого тіла. Поряд з методом скінчених елементів розвиваються дискретно-континуальні методи, які в окремих класах задач є більш ефективними і можуть давати точніші розв'язки. При цьому, дискретно-континуальні методи дають змогу не тільки отримати розв'язок тієї чи іншої задачі, а і бути використаними як еталонні при розробці і тестуванні інших підходів.

Враховання вищезгаданих обставин обумовлює **актуальність** обраної теми дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладено в дисертаційній роботі, виконано у відповідності з науковими темами відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, а саме: НДР 1.3.1.349 «Розробка методів розв'язання задач та дослідження статичного і динамічного деформування пружних тіл складної геометрії та структури на основі моделей різного рівня», номер державної реєстрації 0105U001991, 2005 - 2009 рр.; НДР № 1.3.1.358 «Розробка нових нетрадиційних підходів на основі дискретно-континуальних методів і комбінованих моделей до дослідження деформування і руйнування композитних матеріалів для розв'язання проблем міцності і довговічності сучасних конструкцій», номер державної реєстрації 0107U000345, 2007 - 2011 рр.; НДР № 1.3.1.370 «Розробка нових підходів до дослідження деформування складних оболонкових систем з неоднорідних анізотропних матеріалів при різних видах навантаження на основі методів чисельного аналізу», номер державної реєстрації 0109U004184, 2009 - 2013 рр.; НДР № 1.3.1.382 «Дослідження механічної поведінки неоднорідних анізотропних елементів сучасних конструкцій складної структури за допомогою нових підходів на основі різних моделей», номер державної реєстрації 0112U000249, 2012 - 2016 рр.; НДР № 1.3.1.401 «Чисельний аналіз впливу конструктивної та структурної неоднорідності анізотропних оболонкових структур на їх стаціонарне деформування», номер державної реєстрації 0115U005709, 2016 - 2020 рр.; НДР № 1.3.1.410 «Динамічне деформування елементів конструкцій сучасного машинобудування та стійкість і досяжність множин траєкторій механічних систем», номер державної реєстрації 0117U000700, 2017 - 2021 рр.

Наукова новизна та основні наукові результати дослідження полягають у наступному:

- виконано постановку та побудовані розрахункові схеми ряду нових задач про стаціонарне деформування циліндричних тіл з різним поперечним перерізом та тіл сферичної форми з врахуванням їх конструктивної та структурної неоднорідності в рамках просторової та оболонкових моделей;
- розроблено нові дискретно-континуальні методики на основі методу сплайн-колокації та розвинуто варіант дискретного підходу (метод скінченних елементів) для дослідження нового класу задач про НДС і коливання неоднорідних циліндричних та сферичних тіл в рамках різних моделей;
- досліджено напружено-деформований стан неоднорідних циліндричних тіл з різним поперечним перерізом та куль в рамках просторової та оболонкових моделей за допомогою розробленої методики;
- побудовано розподіли полів напружень та переміщень в залежності від характеру неоднорідності, навантаження, типу граничних умов та геометрії пружного тіла;
- на основі отриманих розв'язків проведено аналіз особливостей НДС і коливання широкого класу неоднорідних циліндричних та сферичних тіл, виявлено основні механічні закономірності щодо впливу характеру неоднорідної структури, геометричних, механічних параметрів, видів навантаження та граничних умов об'єктів, що розглядаються, на розподіл полів напружень та переміщень.

Практичне значення результатів роботи полягають в тому, що вони можуть бути використані при розв'язанні широкого класу практичних задач стаціонарного деформування неоднорідних конструктивних елементів сучасної техніки; розроблені програмні комплекси дають можливість отримати достовірну інформацію про розподіл полів напружень та переміщень в елементах конструкцій при різних режимах експлуатації і проведення оцінок їх міцності і надійності; багатосерійні розрахунки за розробленими програмами на етапі проектування конструкцій можуть бути альтернативою до проведення коштовних натурних експериментів.

Ступінь обґрунтованості нових положень та висновків забезпечується коректністю та строгістю математичних постановок задач у рамках просторової теорії пружності та теорії оболонок зі скінченною зсувною жорсткістю; застосуванням обґрунтованих чисельних дискретно-континуальної і дискретної методик, фізично правдоподібною інтерпретацією отриманих результатів; порівняльним аналізом точності розв'язання поставлених задач на основі зазначених методик.

Оцінка змісту та завершеності роботи. Робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновку, списку використаної літератури (297 найменувань на 30 сторінках) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 261 сторінку тексту, 70 рисунків та графіків, 20 таблиць, додаток 1 на 9 сторінках, додаток 2 на 2 сторінках. Структура і об'єм роботи відповідають вимогам до докторських дисертацій (наказ МОН № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій»).

В цілому дисертаційна робота Яремченка С.М. є **завершеним науковим дослідженням**, вона виконана на досить високому науковому рівні і є цілісним науковим дослідженням, в якому отримані нові наукові результати, що в сукупності є вагомим внеском у вирішення актуальної наукової проблеми механіки деформівного твердого тіла, зокрема механіки оболонок та оболонкових систем. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту роботи і її основним положенням. Тексти дисертації і автореферату викладені на належному науковому рівні. Загальні висновки дисертаційної роботи повністю відповідають її меті. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Апробація результатів роботи та публікації. Дисертаційна робота пройшла достатньо повну апробацію. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних і вітчизняних наукових та науково-практичних

конференціях, зокрема: 35th and 36th Solid Mechanics Conference (Краків, Польща, 2006, Гданськ, Польща 2008); «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур» (Львів, 2006); International Workshop «Research in Mechanics of Composites» (Бад-Герпенальб, Німеччина 2006); 6th International Conference on Composite Science and Technology (Дурбан, ПАР, 2007); 9th and 10th International Conference «Modern Building Materials, Structures and Techniques». (Вільнюс, Литва, 2007, 2010), «Актуальні проблеми аналізу та моделювання складних систем» (Черкаси, 2007), XI Міжнародна науково-методична конференція «Сучасні проблеми природничих наук та підготовка фахівців» (Миколаїв, 2007); 9th Conference «Shell Structures and Applications» (Гданськ, Польща, 2009); «Математичні проблеми технічної механіки» (Дніпро – Кам'янське, 2014, 2017); Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми механіки та фізико-хімії конденсованого стану речовин» (Миколаїв, 2015); «Сучасні проблеми механіки та математики» (Львів, 2018).

В завершеному вигляді робота обговорювалась на семінарі відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – д.ф.-м.н., професор О.Я. Григоренко, 2020 р.), на науковому семінарі за напрямом “Механіка оболонкових систем” Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – д.т.н., професор П.З. Луговий, 2020 р.), на науковому семінарі кафедри теоретичної та прикладної механіки Національного транспортного університету (керівник – д.ф.-м.н., професор І.А. Лоза, 2021 р.), на науковому семінарі кафедри теоретичної та прикладної механіки Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (керівник – д.ф.-м.н., професор Я.О. Жук, 2021 р.), на загальноінститутському семінарі з механіки Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – академік НАН України д.т.н., професор О.М. Гузь, 2020 р.)

Результати, викладені в дисертації, у повній мірі оприлюднені в наукових фахових виданнях, які відповідають наказу МОН № 1112 від 17.10.2012 "Про опублікування результатів дисертації на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук". За результатами дисертації опубліковано 36 робіт, в тому числі: 21 в наукових фахових виданнях за спеціальністю дисертації; одна стаття опублікована у виданні, що віднесене до другого квартиля (Q2) SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, 11 статей у виданнях третього квартиля (Q3), 15 тез в матеріалах вітчизняних та міжнародних наукових конференцій; 5 робіт опубліковані автором одноосібно. Зазначені наукові роботи були опубліковані після захисту кандидатської дисертації автора, а їх матеріали не включалися до кандидатської дисертації.

Зауваження. За змістом роботи можна зробити такі зауваження.

1) В роботі розроблено нові підходи на основі методу сплайн-колокації та дискретної ортогоналізації, які застосовуються у випадку двовимірних (в уточненій постановці) та тривимірних крайових задачах про напружено-деформований стан, наприклад, товстостінних неоднорідних оболонок. Доцільно було б розглянути задачі стосовно границь застосування уточненої теорії оболонок на конкретних прикладах.

2) Розв'язки розглянутих в дисертаційній роботі задач у вигляді розподілу полів переміщень та напружень наводяться в безрозмірних величинах, окрім задачі про коливання п'єзокерамічного циліндра. Варто було б вказати, яким чином здійснюється перехід до таких безрозмірних величин.

3) Серед основних результатів роботи зазначено, що отримано нові розв'язки задач стаціонарного деформування пружних тіл, зокрема, при різних видах навантаження. Але в авторефераті наведено приклади, в яких пружні тіла знаходяться під дією нормального рівномірно розподіленого навантаження. В дисертаційній роботі (розділ 3) розв'язано задачу про напружений стан еліптичної замкненої трансверсально-ізотропної оболонки при дії нерівномірного вздовж нормалі навантаження. Доцільно було б навести результати розв'язання цієї задачі в авторефераті також.

4) Має місце незначна розбіжність в позначеннях криволінійних координат, наведених в авторефераті і дисертаційній роботі. Так, на стор. 8 автореферату, за криволінійну систему координат обрано $\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ і нормальна складова навантаження позначена через q_γ , тоді як в дисертаційній роботі маємо відповідно криволінійну систему координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ і нормальну складову q_3 (стор. 56, 131).

5) В авторефераті та дисертаційній роботі мають місце описки, наприклад, формула (37, стор. 26) автореферату і формула (6.5, стор. 206) дисертації: друге диференціальне рівняння розв'язане відносно другої похідної від переміщення u_r , замість u_θ , формули (5.24, 5.25, стор. 192) дисертації замість переміщення u_φ зазначено переміщення u_z ; та неточності формулювання, наприклад, стор. 79 дисертації записано «...», що базується на апроксимації шуканого розв'язку в одному координатному напрямку за допомогою сплайн-функцій, методів колокації та дискретної ортогоналізації», хоча, очевидно, що метод дискретної ортогоналізації застосовується в другому координатному напрямку; на стор. 186 дисертації записано «...колові навантаження σ_θ ...», хоча, зрозуміло, що мова йде про колові напруження.

Вищезазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують ступеня обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків.

Висновок. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, практичною та теоретичною цінністю результатів, дисертаційна робота С.М. Яремченка на тему «Чисельний аналіз стаціонарного деформування циліндрів та куль неоднорідної структури на основі різних моделей» відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 січня 2015 р та № 567 від 27 липня 2016 р), а її автор, Яремченко Сергій Миколайович, за вирішення актуальної проблеми механіки оболонок та оболонкових систем, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки
Національного транспортного університету

Л.С. Рожок

