

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.** В останні роки дослідження механічної поведінки товстостінних оболонкових систем, яким притаманна структурна неоднорідність різної природи, привертає все більшу увагу дослідників в галузі механіки деформівного твердого тіла. Збільшується кількість конструкцій та їх елементів, виконаних у вигляді оболонок різної товщини з круговим та некруговим поперечним перерізом. Використання конструкцій подібного типу дає змогу задовольнити вимогам, що пов'язані зі зменшенням ваги конструкції без зниження її несівної здатності. Можна навести багато прикладів застосування оболонок вказаного класу в різних областях сучасного машинобудування, транспортних системах, авіаційній та космічній техніці. Отримання інформації про особливості їх механічної поведінки грає суттєву роль в проектуванні та експлуатації багатьох елементів конструкцій та будівельних споруд. Автором дисертаційної роботи досліджено стаціонарне деформування неоднорідних товстостінних циліндричних та сферичних оболонок з геометричними та фізико-механічними особливостями. Такі дослідження вимагають застосування до аналізу напружено-деформованого стану (НДС) уточнених моделей оболонок, а в ряді випадків – рівнянь просторової теорії пружності. На етапі проектування конструкцій значну роль відіграє застосування чисельно-аналітичних методів теорії оболонок, тому що вони дозволяють найбільш ефективно виявити вплив різних чинників та визначити шляхи покращення самої конструкції стосовно підвищення характеристик її міцності. Відсутність достатньо точних та ефективних методів розв'язання крайових задач теорії пружності для нетонких неоднорідних анізотропних оболонок призводить до необхідності розробки нових методик для розв'язання задач даного класу в просторовій постановці, що дозволять отримати з високим ступенем точності значення всіх факторів НДС в широких діапазонах зміни геометричних та механічних характеристик за різних видів навантаження. Тому можна зробити висновок про актуальність досліджень, які виконано автором дисертації.

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

Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам наукових досліджень відділу обчислювальних методів Інституту механіки імені С.П.Тимошенка НАН України. Дослідження проведено в рамках виконання наступних науково-дослідних робіт: 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 р.р.; 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 р.р.; 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 р.р.; 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 р.р.; 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 р.р.; 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 р.р.

**Наукова новизна та основні результати дослідження** полягають в постановці та побудові уточнених розрахункових схем і моделей для розв'язання крайових задач стосовно аналізу НДС та коливань циліндричних оболонок із різним поперечним перерізом, а також просторових тіл сферичної форми з урахуванням їх конструктивної та структурної неоднорідності на основі тривимірної та уточненої оболонкової моделей. Розроблено нові дискретно-континуальні підходи на основі методу сплайн-колокації та розвинено варіант дискретного підходу, що пов'язаний з методом скінченних елементів, для дослідження зазначеного класу задач стаціонарного деформування. Побудовано нові розв'язки крайових задач статички та коливань оболонок і просторових тіл з використанням різних розрахункових моделей. Розроблені дискретно-континуальні та дискретні підходи реалізовано в проблемно-орієнтованих обчислювальних комплексах з автоматизацією окремих етапів розрахунку та застосовано в науково-дослідних та договірних роботах відділу обчислювальних методів Інституту механіки НАН України.

Основні наукові результати дослідження полягають у наступному:

- уточнений аналіз НДС циліндричних оболонок некругового перерізу та пластин змінної та знакозмінної кривизни з урахуванням різних фізико-механічних властивостей на основі уточненої оболонкової моделі;
- уточнений аналіз НДС циліндричних оболонок зі скісними зрізами кругового і еліптичного перерізів на основі уточненої оболонкової моделі;

- тривимірний аналіз НДС неоднорідних за властивостями порожнистих пружних циліндрів та куль на основі осесиметричної моделі;
- тривимірний аналіз НДС кругових циліндрів, а також циліндрів, обмежених конфокальними еліпсами, в циліндричній та еліптичній системах координат на основі осесиметричної моделі;
- уточнений аналіз коливань циліндрів скінченної довжини із п'єзокерамічного матеріалу на основі тривимірної моделі;
- порівняльний аналіз ефективності методу сплайн-колокацій з вибором різних напрямків апроксимації стосовно двовимірних задач статички циліндричних оболонок некругового перерізу;
- аналіз ефективності методів сплайн-колокацій, скінченних елементів та методу Фур'є в двовимірних та тривимірних задачах дослідження НДС та коливань неоднорідних пружних та електро-пружних циліндрів;
- встановлено характерні закономірності впливу фактору неоднорідності структури циліндричних та сферичних тіл на розподіл переміщень та напружень;
- виявлено нові механічні ефекти, пов'язані з неоднорідною структурою, геометричними та механічними характеристиками об'єктів дослідження.

**Практичне значення.** Результати роботи та розроблені розрахункові підходи можуть бути використані для розв'язання широкого кола актуальних практичних задач стаціонарного деформування неоднорідних конструктивних елементів сучасної техніки; розроблені програмні засоби дають змогу отримати достовірну інформацію щодо розподілу напружень та переміщень в елементах конструкцій за різних режимів експлуатації для оцінки їх міцності та обґрунтування ресурсу; розрахунки на основі розроблених програмних засобів можуть бути альтернативою коштовним натурним експериментам на етапі проектування конструкцій.

**Ступінь обґрунтованості нових положень, висновків та рекомендацій** забезпечується коректністю і строгістю математичних постановок крайових задач у рамках просторової теорії пружності та теорії оболонок зі скінченною зсувною жорсткістю; застосуванням обґрунтованих числової дискретно-континуальної і дискретної методик; фізичною інтерпретацією одержаних результатів; порівняльним аналізом точності розв'язання сформульованих задач на основі зазначених методик.

**Оцінка змісту та завершеності роботи.** Робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновку, списку використаної літератури (297 найменувань). Загальний обсяг роботи становить 261 сторінку тексту, 70 рисунків та графіків, 20 таблиць. 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. 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. За результатами дисертації опубліковано 36 наукових праць, в тому числі: 21 публікація у наукових фахових виданнях України та наукових періодичних виданнях інших держав, 15 публікацій в матеріалах міжнародних і національних конференцій, 14 статей опубліковано у виданнях, які включені до категорії «А» Переліку наукових видань України та у закордонних виданнях, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science Core Collection. Зазначені наукові роботи були опубліковані після захисту (у 2006 р.) кандидатської дисертації автора, а їх матеріали не включалися до кандидатської дисертації.

Викладені в дисертації результати в повній мірі опубліковано 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".

**Зауваження.** За змістом дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження.

1. Бажано зосередитись на особливостях реалізації алгоритмів чисельних підходів, які застосовано в дисертації на сучасних персональних комп'ютерах; навести розміри оперативної пам'яті та розрядної сітки; швидкість та час обчислень.

2. У розділі 3 наведено рівняння для розрахунку НДС циліндричної оболонки довільного поперечного перерізу зі змінною в двох координатних напрямках товщиною. Проте циліндр, напружено-деформований стан якого розглядається в пункті 6.2 є оболонкою еліптичного поперечного перерізу змінної товщини вздовж напрямної. Корисно провести порівняння результатів отриманих в тривимірній постановці та за допомогою теорії оболонок.

3. У 6-му розділі розв'язано задачу про дослідження НДС еліптичного циліндра із використанням методу скінченних елементів у варіаційній постановці. Цю задачу можливо також розв'язати із застосуванням двовимірних сплайнів, як це зроблено для кругового циліндра, і порівняти розв'язки. Таке дослідження в роботі не проведено.

4. У авторефераті дисертації в 3-6 розділах не вказано на основі яких механічних моделей проводяться дослідження.

Вищезазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, мають в основному характер побажань і не зменшують ступінь обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків.

**Висновок.** Дисертаційна робота С.М. Яремченка на тему «Чисельний аналіз стаціонарного деформування циліндрів та куль неоднорідної структури на основі різних моделей» є завершеним науковим дослідженням, у якому одержано нові науково обґрунтованні результати щодо розроблення ефективних чисельно-аналітичних методів дослідження напружено-деформованого стану та коливань товстостінних циліндричних і сферичних тіл з різною неоднорідною структурою.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, практичною та теоретичною цінністю результатів, дисертаційна робота С.М.Яремченка 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 проведені актуальні дослідження стаціонарного деформування циліндрів та куль неоднорідної структури на основі уточнених моделей з використанням розроблених методів числового аналізу заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент -  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки  
головний науковий співробітник  
відділу чисельних і експериментальних методів дослідження  
конструкційної міцності  
Інституту проблем міцності  
імені Г.С. Писаренка НАН України

О.Ю. Чирков

Підпис О.Ю. Чиркова засвідчую:

Учений секретар  
Інституту проблем міцності  
імені Г.С. Писаренка НАН України  
кандидат технічних наук



В.І. Скрипченко