

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Рожок Лілії Степанівни «Просторові задачі теорії пружності для циліндричних оболонок складної геометрії та структури», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Оболонки та оболонкові конструкції різної товщини знаходять широке застосування в багатьох галузях, серед яких авіакосмічна техніка, будівництво споруд, машинобудування, трубопровідна техніка, медицина тощо. Для забезпечення надійності експлуатації таких конструкцій в складних умовах та з метою вибору оптимальної форми, необхідно визначати їх напруженодеформований стан, викликаний прикладеним навантаженням. Тому розробка та удосконалення методів розрахунку для забезпечення достатнього степеня точності розв'язку задачі є актуальною проблемою механіки деформівного твердого тіла, зокрема, механіки оболонкових систем.

Дослідження, результати яких викладено в дисертаційній роботі проведено в межах затверджених спільним наказом МОН та НАН України переліком найважливіших проблем фізико-математичних та технічних наук, зокрема напрямів: методи розрахунку та дослідження напруженено-деформованого стану, у тому числі при наявності дефектів різного походження; механіка композитних матеріалів, включаючи нанокомпозити; науково обґрунтовані методи оцінки технічного стану та залишкового ресурсу конструкцій тривалої експлуатації. Отримані у роботі аналітичні співвідношення та обчислювальні результати увійшли до відповідних звітів з тем науково-дослідних робіт відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ.

Новизна викладених у дисертаційній роботі результатів полягає в наступному:

- розроблено загальну методику чисельно-аналітичного розв'язання задач статики для циліндричних тіл двох типів: нетонких циліндричних оболонок зі складною геометрією та структурою (циліндричні тіла першого типу) за певних граничних умов на торцях і суцільних ізотропних циліндрів (циліндричні тіла другого типу) за різних способів закріплення торців. Запропонована методика полягає в застосуванні ефективних аналітичних методів для зведення вихідної крайової задачі для системи диференціальних рівнянь в частинних похідних до одномірної, що описується звичайними диференціальними рівняннями зі сталими коефіцієнтами та розв'язанням останньої за допомогою стійкого числового методу дискретної ортогоналізації;
- отримав розвиток метод апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є для циліндричних тіл першого типу та вперше автором застосовано метод сплайн-апроксимації для циліндричних тіл другого типу та розкрито невизначеність в геометрично особливій точці;
- з використанням розробленої методики, автором побудовано розв'язки нових розширеніх класів просторових задач для циліндричних тіл двох типів, пов'язаних з їх ускладненими геометричними та механічними характеристиками. При цьому для опису некругового поперечного перерізу нетонких циліндричних оболонок були використані рівняння гладких кривих: гофрованих еліпсів, овалів Касині – в полярних координатах, скороченої епі- та гіпоциклоїди – в параметричній формі:

– на основі отриманих розв'язків проведено аналіз напружено-деформованого стану циліндричних тіл першого типу, за певних граничних умові на торцях, в залежності від суттєвої кривизни поверхні відліку поперечного перерізу, анізотропії матеріалу, з врахуванням шарів по товщині та локальності прикладеного навантаження та способу закріплення торців для циліндричних тіл другого типу. При цьому автором було виявлено ряд характерних закономірностей в розподілі полів переміщень та напружень і встановлені нові ефекти, пов'язані з геометрією та структурою розглядуваних тіл, зокрема було досліджено суперпозицію еліптичної та гофрованих форм поперечних перерізів для циліндричних тіл першого типу для ізотропного та ортотропного матеріалу, а також за наявності ортотропного середнього шару тришарової циліндричної оболонки.

Практичне значення отриманих у роботі результатів полягає в тому, що вони можуть бути основою при проектуванні функціональних елементів авіакосмічної галузі, машинобудування, будівництва споруд, трубопровідної техніки тощо. Застосування розробленої методики, що враховує складну геометрію та структуру розглядуваних циліндричних тіл дозволяє проводити дослідження їх напружено-деформованого стану з метою проведення розрахунків оцінки міцності та надійності подібних конструкцій та їх елементів, вибору відповідної структури та форми поперечного перерізу, що задовольнятиме необхідним складним умовам роботи та експлуатації. Крім того, розроблена методика може бути використана для індуктивних оцінок результатів, отриманих з використанням різних уточнених моделей теорії оболонок.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновку, списку використаних джерел та додатку. Текст роботи викладено на 331 сторінці. Структура, обсяг та оформлення дисертаційної роботи відповідають вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук (наказ МОН № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій»).

Важливим моментом дисертаційної роботи є зокрема те, що в просторовій постановці на основі основних рівнянь лінійної теорії пружності для некругових неоднорідних по товщині нетонких ортотропних циліндричних оболонок, отримано розв'язувальну систему диференціальних рівнянь в частинних похідних зі змінними коефіцієнтами, що описує тривимірну крайову задачу. Із застосуванням аналітичного методу відокремлення змінних в одному з координатних напрямків, тривимірну задачу було зведенено до двовимірної. Для зниження розмірності двовимірної крайової задачі, для відокремлення змінних у другому координатному напрямку, застосовано метод апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є, розроблений у відділі обчислювальних методів Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, який було адаптовано для розвязування більш складних задач для нетонких циліндричних оболонок з ускладненими геометричними та механічними параметрами.

В роботі також отримано розв'язувальну систему звичайних диференціальних рівнянь, яка розв'язується стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації з достатнім степенем точності. При цьому, амплітудні значення введених до розв'язувальної системи диференціальних рівнянь доповняльних функцій знаходяться на кожному кроці застосування чисельного методу як коефіцієнти

від кількості точок, в яких обчислюються табличні значення доповняльних функцій та кількості утримуваних членів в дискретних рядах Фур'є на прикладі задачі про напружений стан нетонких ортотропних циліндричних оболонок з еліптичним гофрованим поперечним перерізом, а також ізотропних циліндричних оболонок з поперечним перерізом у вигляді з'єднаних напівгофрів. Було встановлено, що для досягнення задовільної точності отримуваних результатів, необхідно враховувати співвідношення між кількістю точок, в яких визначаються табличні значення доповняльних функцій та кількості членів, що утримуються в дискретних рядах Фур'є. При цьому для оболонок, поперечний переріз яких, описується кривою з більш змінною кривизною, необхідно використовувати більшу кількість точок напрямної для визначення табличних значень доповняльних функцій. Крім того, досліджено збіжність отримуваних результатів при застосуванні чисельного методу дискретної ортогоналізації в залежності від кількості точок інтегрування та відповідної кількості точок ортогоналізації. Було показано, що достатню точність можна отримати (до 4 – 5 знаків) збільшуючи кількість як точок інтегрування, так і точок ортогоналізації. Проведено аналіз результатів розв'язування задач теорії оболонок з еліптичним поперечним перерізом, отриманих на основі уточненої моделі Тимошенка, що базується на гіпотезі прямої лінії та в просторовій постановці із застосуванням методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є. Було встановлено, що похибка в отриманих результатах залежить як від ступеня відхилення форми поперечного перерізу від кругової, так і від збільшення товщини оболонки. При застосуванні уточнених моделей, зокрема, гіпотези прямої лінії (модель Тимошенка) для некругових оболонок, при дії розподіленого навантаження за певних граничних умов на торцях, необхідно звертати увагу, крім товщини, ще і на відношення товщини до радіуса кривизни поверхні відліку, оцінюючи виникаючу похибку в різних перерізах.

Особливо хочу відзначити що на основі запропонованої методики побудовані розв'язки нових задач про напружено-деформований стан розглядуваних класів циліндричних тіл в просторовій постановці; розроблені алгоритми їх чисельного розв'язання, які реалізовані в проблемно-орієнтованих обчислювальних комплексах та пакетах прикладних програм; проведено дослідження напружено-деформованого стану та встановлено закономірності в розподілі полів переміщень та напружень, що характерні для даних класів циліндричних тіл, при цьому встановлені нові ефекти пов'язані з геометричними та механічними характеристиками циліндричних тіл першого типу.

Загалом, робота є завершеним науковим дослідженням. 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».

Автореферат дисертації ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації. Текст автореферату та дисертаційної роботи викладено на належному науковому рівні. Висновки, викладені в роботі, повністю відповідають її заявленій меті.

Результати, отримані автором у межах дисертаційної роботи, пройшли належну апробацію науковим співавторством під час доповідей за матеріалами дисертаційної роботи на ряді семінарів та наукових вітчизняних та міжнародних конференцій.

Наукові роботи, що є основою дисертації, опубліковані після захисту кандидатської дисертації. Матеріали кандидатської дисертації не входять до даної дисертаційної роботи.

В цілому, дисертаційна робота Рожок Л.С. 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. У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову проблему лінійної просторової теорії пружності – розробка та удосконалення чисельно-аналітичної методики для дослідження напружено-деформованого стану циліндричних тіл двох типів: нетонких циліндричних оболонок зі складною геометрією та структурою за певних граничних умов на торцях та ізотропних суцільних циліндрів за різних способів закріплення торців, що знаходяться під дією прикладеного поверхневого навантаження.

Результати та висновки роботи повністю відповідають сформульованій меті та завданням роботи, а автoreферат є ідентичним основним положенням дисертації і в повній мірі відображає її основний зміст. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

До дисертаційної роботи є наступні **зауваження**:

1. В даній дисертаційній роботі розв'язується задача статики лінійної теорії пружності для циліндричних тіл двох типів: нетонких циліндричних оболонок зі складною геометрією та структурою за певних граничних умов на торцях та суцільних ізотропних циліндрів за різних способів закріплення торців. Чи можна дану методику застосувати при розв'язуванні задач стійкості та динамічних задачах?

2. Останнім часом, популярності набувають конструкції з неперервно-неоднорідною структурою, виконані з функціонально-градієнтних матеріалів, в яких властивості змінюються в певному напрямку згідно певного закону і не мають при цьому шарів та границь розмежування. Чи є обмеження на застосування запропонованої в роботі методики для розгляду конструкцій з таких матеріалів?

3. У роботі результати, отримані в просторовій постановці, порівнюються з результатами розрахунків в рамках уточненої теорії (типу Тимошенка). Чому Ви не використали для порівняння одну з уточнених теорій третього порядку, в яких допускається викривлення нормалі, і які, відповідно, є точнішими.

4. З методологічної точки зору більш коректним було б порівняння Ваших результатів у просторовій постановці з результатами МСЕ, отриманими також в просторовій постановці, інакше Ви порівнюєте тривимірну модель із різними двовимірними моделями.

5. В дисертаційній роботі не наводяться прямі дані, що характеризують ефективність запропонованого методу в порівнянні з іншими.

Втім, зазначені зауваження не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок. Автор розв'язала складну і актуальну наукову проблему, отримала нові наукові результати фундаментального характеру. За актуальністю теми, новизною, обсягом досліджень, практичною та теоретичною цінністю результатів, дисертаційна робота Л.С. Рожок «Просторові задачі теорії пружності для циліндричних оболонок складної геометрії та структури» повністю відповідає вимогам п.10 і п.13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, які висуваються до дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, а її автор Рожок Лілія Степанівна за вирішення актуальної проблеми механіки оболонкових систем, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент

завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка,

доктор фізико-математичних наук, професор

Я.О. Жук

