

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

Дисертаційна робота Рожок Л.С. "Просторові задачі теорії пружності для циліндричних оболонок складної геометрії та структури" присвячена важливій проблемі механіки деформівного твердого тіла, а саме, розробці та удосконаленню методів розв'язання задач статики лінійної теорії пружності в просторовій постановці для циліндричних тіл двох типів: нетонких циліндричних оболонок складної геометрії та структури за певних граничних умов на торцях та суцільних ізотропних циліндрів за різних способів закріплення торців. Розв'язання класу задач про напружено-деформований стан нетонких циліндричних оболонок здійснюється на основі уточнених та просторової моделей з використанням різних методів, серед яких асимптотичні, варіаційні, чисельно-аналітичні тощо. При цьому точні розв'язки отримано для незначної кількості задач, здебільшого для циліндричних оболонок з круговим поперечним перерізом та близьким до нього. Побудова методики, що дає змогу отримати якомога більш точний розв'язок залишається актуальною проблемою.

Взявши за основу ідею методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є, розробленому у відділі обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, автором роботи було адаптовано його до розв'язання просторових розширеніх класів задач про напружено-деформований стан нетонких циліндричних оболонок з ускладненими геометричними та механічними параметрами, що знаходяться при дії розподіленого та локального поверхневого навантаження.

Крім того, в роботі вперше застосовано метод сплайн-функцій до розв'язання задачі про напружений стан суцільних ізотропних циліндрів за різних способів закріплення торців.

Зміст дисертації розділено на вступ, сім розділів та висновки. Загальний обсяг дисертації складає 331 сторінку. Основні наукові результати, що викладені в дисертаційній роботі, опубліковані у 54 наукових працях (з них 21 – без співавторів), 2 – у англомовному виданні, 29 статей у наукових фахових виданнях України за спеціальністю дисертації, 7 робіт – у фахових виданнях з технічних наук та 16 тез доповідей і матеріалів вітчизняних та міжнародних наукових конференцій. Результати роботи пройшли достатньо широку апробацію на 16 вітчизняних і міжнародних наукових конференціях та семінарах. Наведені публікації в повній мірі висвітлюють основний зміст роботи і були опубліковані після захисту кандидатської дисертації автора. Докторська дисертація не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача.

Отримані наукові результати відповідають одному з основних напрямків наукових досліджень відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України та увійшли у звіти з семи науково-дослідних робіт, а також до звітів науково-дослідної роботи кафедри теоретичної та прикладної механіки Національного транспортного університету МОН України.

У **першому** розділі викладено короткий огляд відомих робіт, присвячених виникненню та становленню теорії пластин і оболонок, напрямкам розвитку, а також сучасному стану проблеми, що розглядається.

У **другому** розділі дано постановку та розроблено методику розв'язування класу задач про напружено-деформований стан нетонких шаруватих анізотропних некругових

циліндричних оболонок за певних граничних умов на торцях в просторовій постановці. При цьому отримав розвиток метод апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є. В розділі проведено оцінки контролю точності отримуваних результатів в результаті апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є та при застосуванні чисельного методу. За рахунок вибору розв'язувальних функцій, розроблена методика дозволяє отримувати розв'язок з достатнім степенем точності і використовуватись для індуктивної оцінки результатів, отриманих на основі різних уточнених моделей. В розділі наведено аналіз результатів розв'язування задач теорії циліндричних оболонок з еліптичним поперечним перерізом, отриманих на основі двох моделей – розробленої просторової та уточненої моделі типу Тимошенка.

В **третьому** розділі на основі розробленої методики розв'язано задачу про напружене-деформований стан нетонких ізотропних циліндричних оболонок з поперечним перерізом що має двопараметричне відхилення від кругової форми. Поверхня відліку у вигляді гофрованих еліпсів описується гладкою кривою в полярних координатах. В розділі проведено оцінку достовірності результатів та досліджено напружене-деформований стан даних оболонок різної товщини в залежності від зміни еліптичності та параметрів гофрів. При цьому встановлено ефект суперпозиції еліптичної та деяких гофрованих форм поперечного перерізу та надано інженерні рекомендації щодо спрощення розрахункової геометричної форми (без врахування еліптичності) при розрахунках на міцність.

В **четвертому** розділі роботи наведено результати досліджень напружене-деформованого стану циліндричних оболонок з поперечним перерізом у вигляді з'єднаних напівгофрів. Поперечний переріз поверхні відліку таких оболонок задано в параметричній формі гладкою кривою, що являє собою скорочену епі- або гіпоциклоїду. В розділі проведено оцінку достовірності отримуваних результатів, досліджено напружене-деформований стан даних оболонок різної товщини в залежності від зміни їх кривизни та встановлено характерні закономірності розподілу полів переміщень та напружень.

У **п'ятому** розділі проведено дослідження напружене-деформованого стану нетонких циліндричних оболонок з некруговим поперечним перерізом, що виготовлені з трансверсально-ізотропного та ортотропного матеріалу одношарових та за наявності шарів по товщині оболонки. Проведено оцінки достовірності отримуваних результатів та досліджено напружений стан оболонок з одно- та двопараметричним відхиленням від кругової форми одношарових, в залежності від характеристик матеріалу, та тришарових оболонок некругового поперечного перерізу в залежності від механічних характеристик середнього шару. В розділі досліджено суперпозицію двох форм поперечних перерізів для оболонок, виготовлених з ортотропного матеріалу та за наявності ортотропного середнього шару тришарової оболонки симетричної будови. Проведено розрахунки стосовно оптимізації геометричних параметрів автоцистерни еліптичного поперечного перерізу для перевезення світлих нафтопродуктів.

В **шостому** розділі роботи досліджено вплив локального навантаження на напружене-деформований стан некругових нетонких циліндричних оболонок в залежності від геометричних та механічних параметрів оболонок та способу інтервалу прикладання локального навантаження. Задане локальне навантаження подається у вигляді розвинень в ряди Фур'є, при цьому наводяться результати точності отримуваних результатів в залежності від кількості членів зазначених рядів Фур'є. В розділі також досліджено вплив локального навантаження на напружений стан овальних циліндричних оболонок, поверхня відліку яких описана рівняннями овалів Касині.

В **сьомому** розділі метод сплайн-функцій вперше застосовано для визначення напруженого стану кругових суцільних ізотропних циліндрів за різних способів закріплення торців, при цьому розкрита невизначеність в геометрично особливій точці.

Наведено результати достовірності розв'язків та проведено дослідження напруженого стану суцільних циліндрів в залежності від їх геометричних параметрів для двох способів закріплення торців.

Результати та висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті та поставленим завданням, автореферат дисертації є ідентичним положенням роботи і достатньо повно і адекватно відображає основний зміст.

Актуальність теми дисертації. Оболонкові конструкції найбільш оптимальним способом поєднують у собі, з одного боку, мінімальну вагу, а з іншого – необхідну міцність та жорсткість. Широкого використання в умовах зростаючого рівня інтенсивності зовнішнього впливу набувають конструкції у вигляді нетонких та товстостінних пластин і оболонок. Необхідність створення конструкцій з підвищеними вимогами до їх міцності й довговічності з використанням мінімальної кількості матеріалів та з найменшими витратами на їх виготовлення і експлуатацію висуває на перший план проблему оптимального проектування. Відсутність достатньо точних та надійних методів розв'язання задач теорії пружності для нетонких неоднорідних анізотропних оболонок призводить до необхідності розробки нових ефективних методик до розв'язання задач статики даного класу в просторовій постановці, що дозволяє отримати з високим степенем точності значення всіх факторів напружено-деформованого стану в широких діапазонах зміни геометричних та механічних характеристик за різних видів прикладеного навантаження. Крім того, певну зацікавленість викликає питання, пов'язане з розширенням класів задач, розв'язок яких можна отримати за допомогою вже існуючих методів.

Це зумовлює актуальність та важливість подальшого розвитку чисельно-аналітичних методик дослідження напружено-деформованого стану циліндричних тіл у вигляді нетонких оболонок зі складною геометрією та структурою.

Обґрунтованість результатів дисертації забезпечується коректністю та строгостю математичних постановок задач у рамках механіки деформівного твердого тіла та просторової лінійної теорії пружності, застосуванням обґрунтованих, здебільш точних аналітичних методів розв'язування поставлених задач, тестуванням підходу на ряді задач даного класу та контролем точності розрахунків на базі індуктивних оцінок.

Наукова новизна результатів роботи. Здобувачем розроблено спільну методику чисельно-аналітичного розв'язання задач статики для циліндричних тіл двох типів: нетонких циліндричних оболонок зі складною геометрією та структурою за певних граничних умов на торцях і суцільних ізотропних циліндрів за різних способів закріплення торців. При цьому, отримав подальшого розвитку методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є для циліндричних тіл першого типу та вперше було застосовано метод сплайн-апроксимації для циліндричних тіл другого типу з розкриттям невизначеності в геометрично особливій точці.

З використанням розробленої методики, здобувачем побудовано розв'язки нових розширеніх класів просторових задач для циліндричних тіл двох типів, пов'язаних з ускладненими геометричними та механічними характеристиками, що знаходяться при дії розподіленого та локального навантаження. На основі отриманих розв'язків було проведено аналіз напружено-деформованого стану циліндричних тіл, що розглядаються, при заданих навантаженнях.

Здобувачем виявлено характерні закономірності розподілу полів переміщень та напружень і встановлено нові ефекти, пов'язані з геометрією та структурою розглядуваних тіл, зокрема, розглянуто і досліджено суперпозицію еліптичної та гофрованої форм поперечних перерізів для циліндричних тіл першого типу в залежності від їх геометричних та механічних параметрів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої методики, що враховує складну структуру та форму поперечного перерізу розглядуваних циліндричних тіл для дослідження їх напруженого-деформованого стану з метою проведення розрахунків оцінки міцності та надійності подібних конструкцій та їх елементів, вибору відповідної структури та форми поперечного перерізу, що задовільнятиме заданим умовам експлуатації і дасть можливість уникнути проведення дорогих пошукових експериментальних досліджень, а також для індуктивних оцінок правомірності результатів, отриманих з використанням уточнених моделей теорії оболонок.

Зауваження.

1. Методика, що розроблена в роботі для циліндричних тіл першого типу, базується на застосуванні просторової моделі лінійної теорії пружності з використанням чисельно-аналітичних методів, що дає змогу отримати достатньо точний розв'язок. При цьому, як зазначено в роботі, така методика може бути використана для індуктивної оцінки результатів, отриманих на основі уточнених моделей. В підрозділі 2.4 наводиться аналіз результатів, отриманих на основі розглянутої методики та на основі уточненої моделі типу Тимошенка для циліндричних оболонок з еліптичним поперечним перерізом. Було б цікаво отримати результати порівняльного аналізу для оболонок з, наприклад, гофрованим поперечним перерізом, та при застосуванні інших уточнених моделей (наприклад, моделі Власова).

2. За рахунок вибору розв'язувальних функцій, відпадає необхідність задовольняти умови спряження шарів у випадку шаруватих по товщині циліндричних оболонок, що дає змогу досліджувати шаруваті оболонки як в залежності від кількості шарів, їх механічних характеристик, так і від розташування шарів. В роботі досліджується вплив несиметричного розташування шарів на розподіл полів переміщень та напружень в еліптичних тришарових оболонках. Доцільно було б розглянути і інші форми поперечного перерізу оболонок у випадку несиметричної будови та різної товщини шарів.

3. В табл. 5.18 відсутня розмірність наведених величин. При цьому, очевидно, що частина лінійних параметрів цистерни наведена в $мм$, а інша частина – у $м$, площа – у $м^2$ і об'єм – у $м^3$. Крім того, на рис. 5.31, 5.33 так само відсутня розмірність наведених величин.

4. Метод сплайн-функцій застосовано для задачі про напружений стан суцільних ізотропних циліндрів для шарнірного або жорсткого закріплення обох торців при дії розподіленого вздовж твірної навантаження. Цікаво було б отримати результати для комбінованих граничних умов: на одному торці – шарнірне закріплення, на іншому – жорстке. Крім того, дана методика дозволяє також розглянути локальне вздовж твірної навантаження.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих в дисертаційній роботі результатів і можуть розглядатися як побажання щодо подальших напрямів досліджень автора.

Тема, зміст та результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла (фізико-математичні науки).

В цілому, дисертаційна робота Л.С. Рожок є закінченою науково-дослідною роботою, а сукупність результатів, що містяться в ній, можна кваліфікувати як вагоме досягнення в розвитку важливого розділу механіки деформівного твердого тіла – механіки оболонок та оболонкових систем.

Вважаю, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні. В ній розв'язана важлива актуальна наукова проблема. Дисертація має суттєву наукову та

практичну новизну і 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 Рожок Лілія Степанівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент
завідувач кафедри фізики та математики
Миколаївського національного університету
ім. В.О. Сухомлинського,
доктор фізико-математичних наук, професор



Л.В. Мольченко