

РІШЕННЯ ЩОДО ПРИСУДЖЕННЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ ДОКТОРА ТЕХНІЧНИХ НАУК

Спеціалізована вчена рада з присудження наукового ступеня доктора наук Д 26.056.04 при Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, м. Київ, прийняла рішення щодо присудження наукового ступеня доктора технічних наук Подворному Андрію Володимировичу на підставі прилюдного захисту дисертації «Деформування, динаміка та стійкість конструктивно анізотропних циліндричних оболонок в просторовій постановці» у вигляді рукопису за спеціальністю 05.23.17 – «Будівельна механіка»

«21» червня 2024 року, протокол № 12.

Подворний Андрій Володимирович, 1976-го року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 1998 році Українську державну академію водного господарства за спеціальністю «Промислове і цивільне будівництво».

У 1999 році поступив в аспірантуру Рівненського державного технічного університету за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

У 2004 році на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04 у Київському національному університеті будівництва і архітектури захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

У 2005 році присуджено науковий ступінь кандидата технічних наук зі спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

У 2010 році присвоєно вчене звання доцента кафедри опору матеріалів і будівельної механіки.

Після закінчення аспірантури по теперішній час здобувач працює на кафедрі опору матеріалів і будівельної механіки, нині кафедра мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки Національного університету водного господарства та природокористування, Міністерства освіти і науки України, м. Рівне на посадах асистента, старшого викладача, зараз доцента.

У 2023 році здобувач поступив до докторантури при кафедрі будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Докторська дисертація виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, місто Київ.

Науковий консультант: Трач Володимир Мирославович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури.

Рекомендовано до захисту 12 лютого 2024 року.

Основні положення дисертаційної роботи здобувача висвітлені у 38 наукових працях, серед яких: чотири статті у фахових журналах, що входять до переліку, затвердженого ДАК України категорії «А», з них – три у періодичному виданні, що індексується в наукометричній базі Web of Science інша в Scopus; п'ятнадцять статей у фахових журналах, що входять до переліку, затвердженого ДАК України категорії «Б», сім статей у закордонних фахових журналах, з них – чотири у періодичних виданнях, що індексуються в наукометричних базах Scopus,

одинадцять публікацій у збірниках матеріалів та доповідей українських і міжнародних наукових конференцій та одна монографія, що видана у співавторстві.

Офіційні опоненти:

ЖУК Ярослав Олександрович, доктор фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки, Київського національного університету імені Тараса Шевченка МОН України, дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У дисертаційній роботі автором не акцентована увага на тому, як може впливати конструктивна анізотропія матеріалу з якого вона виготовляється на напружено-деформований стан циліндричної оболонки?

2. Чому в дисертаційній роботі автором при запису модифікованого змішаного варіаційного принципу $X_u - \text{Васідзу}$ був використаний саме такий розподіл на дві частини векторів напружень, деформацій та температурних дій?

3. Чому у роботі автором, при розв'язанні задачі про напружено-деформований стан, розглянуто лише чотири типи граничних умов і саме такі, а не інші?

4. В другому розділі дисертаційної роботи при розгляді напружено-деформованого стану циліндричних оболонок автор користується терміном «докритичний». Який сенс вкладається тут в цей термін?

5. Відомо, що фізико-механічні характеристики функціонально-градієнтного матеріалу під дією температури можуть змінюватися як за товщиною, так і за поздовжньою координатою. Тобто при такій дії, наприклад, напружений стан є просторовим. Тоді постає питання, чому у дисертаційній роботі автор використав зміни характеристики такого матеріалу лише за його товщиною?

6. В роботі відсутнє пояснення, чому отримана одновимірна система диференціальних рівнянь у випадку бокового стискання має дванадцятий порядок.

7. Чим зумовлена потреба урахуванні нескінченно малих сталих у п'ятому розділі при виведенні рівнянь, що описують стійкість циліндричних оболонок?

8. Як при розв'язанні задачі стійкості враховується нескінченність одновимірної системи однорідних диференціальних рівнянь?

9. Чи можливо узагальнити запропоновані автором методики та підходи визначення параметрів напружено-деформованого стану на випадки не лише колових циліндричних оболонок?

МАРЧУК Олександр Васильович, доктор технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка, професор, завідувач кафедри опору матеріалів і машинознавства Національного транспортного університету (м. Київ) МОН України, дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. З тексту роботи незрозуміло, чому у випадку дії бокового тиску зменшення розмірності тривимірної розв'язувальної системи диференціальних рівнянь проводиться за допомогою методу Бубнова – Гальоркіна, а у випадку дії навантажень на торцях оболонки застосовується метод прямих?

2. Чому в роботі задачі стійкості розглядаються тільки для нетонких циліндричних анізотропних оболонок? Тонкостінні оболонки не розглядались.

3. При розв'язанні задач стійкості, автором не проаналізовано, чи можуть в оболонкових конструкціях виникати напруження більші за межу міцності матеріалу при навантаженнях менших за критичні?

4. У роботі не приведено співставлення хоча б деяких результатів, наприклад, розрахунку напружено-деформованого стану товстостінних анізотропних циліндричних оболонок, що отримані автором при використанні запропонованого підходу, з розрахунками, які можуть бути здобуті методом скінчених елементів.

КОЗУБ Юрій Гордійович, доктор технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка, професор, професор кафедри математики та інформатики, Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» (м. Полтава) МОН України, дав позитивний відгук із зауваженнями:

1. У дисертаційній роботі створено комп'ютерний програмний комплекс, в якому в єдиному процесі поєднано встановлення параметрів докритичного напружено-деформованого стану та розв'язок нових задач стійкості нетонких анізотропних циліндричних оболонок. Хотілося б щоб автор конкретизував зміст алгоритму поєднання в обчислювальному процесі знаходження параметрів докритичного стану та величин критичних навантажень.

2. Було б доцільно більш детально обґрунтувати вибір методу прямих при розв'язуванні задач про напружено-деформований стан товстостінних циліндричних оболонок при осьовому тиску чи крученні.

3. В третьому розділі розглядаються фізико-механічні характеристики функціонально-градієнтних матеріалів та їх залежності від температури. Було б доцільно вказати межі інтервалу температур при яких вони використовуються.

4. У диференціальних рівняннях, що описують стійкість, містяться докритичні напруження позначені зверху нульовим індексом. Такі ж позначення використовуються для умов на бічних поверхнях циліндричної оболонки у розрахунках про її докритичний напружено-деформований стан. Повстає питання, чи йдеться про одні й ті ж напруження?

На докторську дисертацію та реферат дисертації надійшли відгуки від:

1. НАЗАРЕНКО В.М., академіка НАН України, д.т.н., професора, в.о. директора Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В рефераті недостатньо ґрунтовно представлена залежність частот вільних коливань від геометрії, схем армування, конфігурації пакетів шарів анізотропних циліндричних оболонок.

2. У третьому розділі представлено результати дослідження напружено-деформованого стану товстостінних композитних циліндричних оболонок із зовнішнім шаром функціонально-градієнтного матеріалу (ФГМ) під температурним та термосиловим впливом. Причому, температурне поле змінне

лише за товщиною шару ФГМ. Було б цікаво також дослідити вплив змінного за довжиною температурного поля на напружено-деформований стан товстостінних анізотропних циліндричних оболонок.

2. МІКУЛІЧ О.А., д.т.н., професора, завідувачки кафедри прикладної математики та механіки Луцького національного технічного університету.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В авторефераті на с. 32 в останньому реченні третього абзацу автором наведено порівняння величин критичного навантаження для різних типів оболонок, що подані у відсотковому представленні. Для практичного застосування було б доцільніше їх представити у частковому вигляді (вказати у скільки разів).

3. СЯСЬКОГО А.О., д.т.н., професора, професора кафедри інформаційних технологій та моделювання Рівненського державного гуманітарного університету.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В рефераті (стор.26) йдеться про дослідження впливу на частоти вільних коливань анізотропних шаруватих товстостінних циліндричних оболонок різних схем армування, структурної конфігурації пакету шарів, товщини. Однак, результатів таких досліджень не представлено.

4. ГОРИКА О.В., д.т.н., професора, професора кафедри будівництва та професійної освіти Полтавського державного аграрного університету.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В якості зауваження хотілося б звернути увагу на те, що на стор.5 йдеться про «розроблені нові методики чисельного розрахунку стосовно деформування, стійкості дозволяють проводити структурну оптимізацію параметрів анізотропних циліндричних оболонок». Однак, у тексті реферату окремо така оптимізація не представлена.

5. ЯСНІЯ В.П., д.т.н., професора, завідувача кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В якості шарів анізотропних циліндричних оболонок використано два види функціонально-градієнтних матеріалів: кераміко-металевий і нанокерамічний. Однак, в рефераті не подано їх фізико-механічні характеристики.

2. Чи можливо поширити запропонований автором підхід до розрахунку анізотропних циліндричних оболонкових конструкцій в просторовій постановці на оболонки не нульової гауссової кривини?

6. СУР'ЯНІНОВА М.Г., д.т.н., професора, завідувача кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. При виведенні рівнянь руху автором використано лінійні співвідношення Коші. Чи можливо використати при виведенні систем таких рівнянь геометрично або фізично нелінійні співвідношення?

2. При записі граничних умов (27) і (28) автором не приведено тлумачення характеристик b_1 і b_2 .

3. Наприклад, на рис.2 представлена графічна залежність параметрів напружено-деформованого стану (НДС) анізотропних циліндричних оболонок, що знаходяться під розподіленим боковим тиском, від кількості шарів і кута укладання волокнистого композиту. Графічно описано якісну картину, однак у тексті не приведено її кількісна характеристика.

7. КЛИМЕНКО Є.В., д.т.н., професора, завідувача кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Відгук позитивний, є зауваження:

1. При знайомстві з рефератом видно, що деяка кількість представлених результатів розрахунків конструктивно анізотропних циліндричних оболонок, щодо встановлення параметрів НДС, вільних коливань, величин критичних навантажень, кількісно не описана у порівнянні, наприклад, з ортотропними даними, отриманими автором.

8. САВЧЕНКО О.В., д.т.н., доцента, завідувачки кафедри архітектури і дизайну середовища Національного університету «Чернігівська політехніка».

Відгук позитивний, є зауваження:

1. Як зауваження по реферату можливо вказати на дещо складні для сприйняття рисунки, особливо ті, що описують напружено-деформований стан у випадку дотичного рівномірно розподіленого по торцях оболонки зусилля (кручення).

9. ХАРЧЕНКО Є.В., д.т.н., професора, завідувача кафедри опору матеріалів та будівельної механіки Національного університету «Львівська політехніка».

Відгук позитивний, є зауваження:

1. В роботі не досліджено вплив зміни температури на стійкість нетонких циліндричних оболонок як з композитних, так і з функціонально-градієнтних матеріалів.

10. МАКСИМОВИЧ О.В., д.т.н., професора, завідувачки кафедри нафтогазової інженерії та заварювання Національного університету «Львівська політехніка».

Відгук позитивний, є зауваження:

1. У рефераті на стор.17 приведені геометричні характеристики товстостінних (відношення товщини h до радіуса серединної поверхні r складає $h/r=1/5$ і довжини L до радіуса серединної поверхні $L/r=2$) анізотропних шаруватих циліндричних оболонок, що знаходяться під дією зовнішніх силових факторів. В подальшому розрахунками встановлені параметри, що описують напружено-деформований стан лише таких оболонок (див. рис.2-9). Однак, цікавим було б провести розрахунки для інших геометричних характеристик анізотропних циліндричних оболонок;

2. В третьому розділі дисертаційної роботи представлено залежність розподілу параметрів НДС за товщиною циліндричної оболонки від температури лише від спільної дії розподіленого зовнішнього бокового тиску та температури. Чи можливо, за пропонованим автором підходом, встановити параметри НДС від спільної дії осевого тиску та температури?

11. ДОХОЙДИ М., д.т.н., професора, професора кафедри механіки і будівельних конструкцій Варшавського природничого університету (Республіка Польща).

Відгук позитивний, є зауваження:

1. У висновках роботи йдеться про волокнисті функціонально-градієнтні матеріали, що проявляють анізотропні властивості в осях криволінійної системи координат циліндричних оболонок. Однак, з реферату не зрозуміло як проявляється розглядуваний вид анізотропії у випадку кераміко-металевого функціонально-градієнтного матеріалу;

2. В рефераті не вказано на критерій, що використовується автором роботи при оцінці стійкості циліндричних оболонкових конструкцій під дією зовнішнього силового навантаження;

3. У випадку розробленого програмного алгоритму ПК з використанням методу ортогоналізації перед впровадженням методу слід виконати перевірку комп'ютерних результатів, отриманих на реальній моделі.

12. КРИЩУКА М.Г., д.т.н., професора, професора кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Відгук позитивний, є зауваження:

1. При знаходженні параметрів напружено-деформованих станів автором роботи в якості граничних використовуються умови ((17), див. стор.12), що діють на бічних поверхнях циліндричних анізотропних оболонок, в яких при навантаженнях містяться символи "+" і "-". Однак, використання, наприклад, додатнього за напрямком навантаження може спричинити виникнення в оболонці напружень розтягу. Чи не буде зазначене суперечити розв'язку задачі стійкості?

2. На сторінках 19 і 20 приведені рис.3 та рис.6 на яких в осях одних і тих же напружень і збільшення кількості парних шарів представлені графіки, які при візуальному аналізу виглядають однаковими. Прохання пояснити, в чому полягає необхідність наведення таких графічних залежностей;

3. Коректніше вживати загальноприйняті терміни: Зменшення розмірності не «тривимірних систем диференціальних рівнянь», а зменшення розмірності рівнянь для просторових моделей конструкцій оболонок.

У дискусії взяли участь члени спеціалізованої вченої ради:

1. ЛІЗУНОВ П. П., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

Робота відповідає вимогам до докторських дисертацій з будівельної механіки.

2. НЕМЧИНОВ Ю. І., д.т.н. за спеціальністю 05.23.01.

Мы рассмотрели сегодня довольно сложную теоретическую работу, которая посвящена анизотропным оболочкам, и в ней достаточно много публикаций, которые соответствуют требованиям. Конечно, каждая работа имеет свои недостатки. Эти недостатки сводятся в данном случае, не рассмотрели тонкие оболочки, не рассмотрели оболочки сжатые по толщине. Но это не мешает. Мы рассматриваем комплексный подход, и в связи с этим, в целом, работа отвечает требованиям ВАК.

3. СОЛОДЕЙ І. І., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

Необхідно дуже чітко відзначити ті об'єкти, які можуть бути прототипами цієї роботи. Тому що будь-яка робота, навіть теоретична, аналітична, створюється для розрахунку конкретних об'єктів. І це б підсилило, цю роботу. Також повинно було одразу прозвучати, які об'єкти розраховуються і які є обмеження. Трохи не вистачило якраз можливості порівняння з існуючими програмними комплексами: «Лірою», «Скадом», які також оперують оболонковими конструкціями.

4. МАРТИНОВ В. Л., д.т.н. за спеціальністю 05.23.01.

Хоча хотілося б, щоб в роботі було наведено декілька прикладів практичних розрахунків і використання тієї самої програми. І якби ви ще й показали, де, в яких галузях, і при якому типі задач, доцільно використовувати ці розрахунки.

5. КОЧКАРЬОВ Д. В., д.т.н. за спеціальністю 05.23.01.

Тут не використовується гіпотеза плоских перерізів. І якраз це дає змогу дійсно отримувати доволі непогані рішення.

6. ВАБИЩЕВИЧ М. О., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

Ми всі сходимося до думки, що не вистачило демонстрації практичних результатів.

7. ШКРИЛЬ О. О., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

На мій погляд робота є актуальною, виконана на високому рівні.

8. МАКСИМ'ЮК Ю. В., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

Безумовно, я буду підтримувати роботу.

9. ІВАНЧЕНКО Г. М., д.т.н. за спеціальністю 05.23.17.

Я, з свого боку, також підтримую цю роботу.

При проведенні таємного голосування виявилось, що з 17 членів спеціалізованої вченої ради, які взяли участь у голосуванні (з них 10 докторів наук за профілем дисертації) проголосували:

„За”	– 17 членів ради,
„Проти”	– немає,
недійсних бюлетенів	– немає

ВИСНОВОК

спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04

Київського національного університету будівництва і архітектури про дисертаційну роботу Подворного Андрія Володимировича на тему «Деформування, динаміка та стійкість конструктивно анізотропних циліндричних оболонок в просторовій постановці» подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – «Будівельна механіка»

Відповідно до вимог Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197 спеціалізована вчена рада відкритим голосуванням дійшла такого висновку:

1. Оцінка мови і стилю дисертації та автореферату. Дисертаційна робота Подворного А.В. є завершеною та самостійно виконаною, представлена у вигляді рукопису й написана якісною українською мовою з використанням загальноприйнятої технічної та математичної термінології. В рефераті дисертаційної роботи ґрунтовно та повною мірою відображений її зміст і основні положення.

2. Відповідність дисертації спеціальності. Зміст дисертаційної роботи повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка, зокрема:

I. Формула спеціальності:

Галузь науки і техніки, що вивчає теоретичні принципи та практичні методи розрахунку конструктивних систем, із допомогою яких будуються споруди та машини. Досліджуються міцність, жорсткість, стійкість та коливання під дією навантажень різної фізичної природи.

II. Напрямки досліджень:

1) Загальні принципи побудови конструктивних систем та математичних моделей об'єктів, які перебувають під дією навантажень.

Розроблені математичні моделі, що спираються на просторові співвідношення лінійної теорії пружності, побудовані алгоритми й складені програмні комплекси для персональних комп'ютерів та на цій основі розв'язані нові задачі стосовно встановлення параметрів напружено-деформованих станів від силового, температурного та термосилового впливів, вільних коливань товстостінних і стійкості нетонких композитних конструктивно анізотропних шаруватих циліндричних оболонок.

2) Екстремальні енергетичні принципи деформівних систем, їх застосування як основи методів розрахунку просторових стержневих та тонкостінних конструкцій.

Модифіковано варіаційний принцип Ху – Васідзу для виведення систем диференціальних рівнянь руху, рівноваги та стійкості просторової теорії пружності щодо встановлення параметрів напружено-деформованого стану від силового та температурного впливів, частот вільних коливань товстостінних і стійкості

нетонких конструктивно анізотропних композитних циліндричних оболонкових конструкцій.

3) Розроблення загальних методів розрахунку конструктивних систем: чисельних, аналітичних, чисельно-аналітичних тощо.

Зменшення розмірності систем диференціальних рівнянь просторової теорії пружності в частинних похідних, що описують напружено-деформовані стани, вільні коливання та стійкість конструктивно анізотропних циліндричних шаруватих оболонок здійснено шляхом приведення їх до одновимірних за використанням методів: аналітичного Бубнова – Гальоркіна, чисельних - прямих і дискретних перетворень Фур'є. Розв'язок одновимірних систем диференціальних рівнянь нормального виду Коші реалізовувався чисельним методом дискретної ортогоналізації.

4) Принципи пошуку та побудови раціональних форм та структури просторових конструкцій. Розроблення моделей напружено-деформованого стану конструктивних систем складної геометричної форми, неоднорідної будови тощо.

Розроблені підходи до чисельного розрахунку стосовно напружено-деформованого стану, стійкості та вільних коливань дозволяють проводити структурну оптимізацію параметрів неоднорідних за товщиною конструктивно анізотропних циліндричних оболонок з волокнистих композитних, кераміко-металевих та нанокерамічних функціонально-градієнтних матеріалів, що мають одну площину пружної симетрії паралельну серединній поверхні конструкції.

5) Розроблення та застосування методів граничного аналізу конструкцій та дослідженні несучої здатності систем, розв'язання контактних задач стосовно конструктивних систем різного призначення.

За використанням розробленого аналітично-чисельного підходу, проведені дослідження та проаналізовано отримані нові числові результати, які вказують на таке. Врахування анізотропії композитних і функціонально-градієнтних матеріалів, при розрахунках в просторовій постановці напружено-деформованих станів, вільних коливань, стійкості циліндричних оболонкових конструкцій, є важливим фактором щодо реальної оцінки їх несучої здатності.

6) Проблеми динаміки і стійкості конструкцій при дії різноманітних навантажень, зокрема сейсмічних.

На основі отриманих просторових співвідношень лінійної теорії пружності розроблено підходи, проведено розрахунки та здійснено аналіз отриманих результатів дослідження частот вільних коливань товстостінних та стійкості, нетонких анізотропних циліндричних оболонок з волокнистих композитних та функціонально-градієнтних матеріалів, від дії розподіленого бокового чи осьового тисків, дотичного зсувного зусилля, рівномірно розподіленого на торцю, які можуть проявляти анізотропні властивості в осях криволінійної циліндричної системи координат;

7) Теорія та методи оптимального проектування конструкцій, оцінки їх надійності та строків служби, дослідження навантажень на них.

При використанні розроблених підходів, що реалізовані в програмних обчислювальних комплексах для персональних комп'ютерів, можливо проводити структурну оптимізацію параметрів, зокрема оцінка впливу кута укладання

попередньо ортотропних композитних матеріалів на параметри, які описують напружено-деформовані стани, вільні коливання та стійкість анізотропних циліндричних оболонок.

8) *Теорія та методи розрахунку конструктивних систем при їх взаємодії з різними середовищами та фізичними полями різної природи.*

Проведено дослідження впливу температурної чи термосилової дій, проаналізовано параметри, що описують, в просторовій постановці, напружено-деформовані стани товстостінної анізотропної циліндричної оболонки, виготовленої з композитного матеріалу, який з боку дії температурного поля захищений шаром кераміко-металевого або нанокерамічного функціонально-градієнтного матеріалу.

3. Найсуттєвіші результати, одержані особисто здобувачем наступні:

– при використанні модифікованого варіаційного принципу Ху – Васідзу, виведено системи з шести диференціальних рівнянь руху просторової лінійної теорії пружності, що описують напружено-деформований стан і вільні коливання товстостінних шаруватих конструктивно анізотропних циліндричних оболонок;

– на основі використання модифікованого варіаційного принципу Ху – Васідзу, розроблено підхід щодо виведення системи з шести однорідних диференціальних рівнянь стійкості лінійної просторової теорії пружності, що описують стійкість нетонких конструктивно анізотропних циліндричних оболонок;

– за використанням розроблених алгоритмів створені програмні комплекси для персональних комп'ютерів (ПК) стосовно встановлення параметрів, що описують напружено-деформовані стани, коливання товстостінних і стійкість нетонких анізотропних циліндричних оболонок;

– проведено дослідження та проаналізовано результати встановлення параметрів напружено-деформованого стану конструктивно анізотропних композитних товстостінних циліндричних оболонок, що знаходяться в полі силових дій від розподілених бокового або осьового тисків, дотичного зсувного зусилля рівномірно розподіленого на торцю (кручення), а також температурних впливів;

– проведено дослідження та проаналізовано результати знаходження параметрів, що характеризують вільні коливання товстостінних шаруватих анізотропних композитних циліндричних оболонкових конструкцій;

– проведено дослідження та проаналізовано результати встановлення параметрів стійкості нетонких конструктивно анізотропних композитних циліндричних оболонок, що знаходяться в полі дії: розподіленого бокового чи осьового тисків, дотичного зсувного зусилля, рівномірно розподіленого на торцю.

4. Достовірність наукових положень, висновків та результатів.

Достовірність основних положень та здобутих результатів забезпечується математичною коректністю постановки задач; співставленням отриманих результатів розв'язку задач з даними, що приведені в науковій літературі; застосуванням надійних і детально апробованих методів аналітичного та чисельного інтегрування при розв'язку однорідних і неоднорідних систем

диференціальних рівнянь; збіжністю отриманих результатів при використанні чисельних методів та контролем їх точності.

5. Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні розрахункової моделі та проведенні дослідження напружено-деформованого стану (від силового, температурного й термосилового впливу) та параметрів вільних коливань товстостінних і стійкості нетонких анізотропних циліндричних композитних шаруватих оболонок, матеріал яких має одну площину пружної симетрії, паралельну серединній поверхні. При цьому:

Уперше:

- розроблена нова модифікація варіаційного принципу Ху – Васідзу стосовно виведення систем тривимірних диференціальних рівнянь в частинних похідних, що в рамках лінійної теорії пружності анізотропного тіла описують деформування та динаміку товстостінних і стійкість нетонких анізотропних композитних циліндричних оболонок;

- приведення систем диференціальних рівнянь просторової постановки задачі до одновимірних здійснено при використанні процедури методу Бубнова – Гальоркіна, за яким всі функції напружень й переміщень розкладаються у подвійні тригонометричні ряди за коловим напрямом і вздовж твірної циліндричної оболонки;

- за використанням розроблених алгоритмів і створених програмних комплексів для персональних комп'ютерів (ПК), розв'язано нові задачі щодо встановлення параметрів напружено-деформованого стану товстостінних шаруватих анізотропних композитних циліндричних оболонок від зовнішньої силової дії;

- реалізовано використання розроблених алгоритмів і створених на їх основі комп'ютерних програмних комплексів для ПК щодо встановлення параметрів напружено-деформованого стану товстостінних анізотропних циліндричних оболонок, виготовлених з композитного матеріалу, який захищений з боку високого температурного поля шаром функціонально-градієнтного матеріалу;

- розроблений алгоритм і створений при використанні числового методу дискретної ортогоналізації комп'ютерний програмний комплекс для ПК, в якому в єдиному процесі поєднані встановлення параметрів докритичного напружено-деформованого стану та розв'язку нових задач стійкості нетонких шаруватих анізотропних циліндричних оболонок;

- за використанням розроблених алгоритмів і створених на їх основі комп'ютерних програмних комплексів для ПК, отримані нові дані щодо впливу анізотропії, лінійного деформування на втрату стійкості нетонких анізотропних циліндричних оболонок з волокнистих та функціонально-градієнтних матеріалів;

- за допомогою числових досліджень отримано нові дані про вплив кута повороту головних напрямів пружності матеріалу відносно координатних осей конструкції, при різних граничних умовах, геометрії та структурній будові оболонки, на її стійкість при дії осьового тиску, зовнішнього бокового тиску, дотичного зусилля, рівномірно розподіленого на торцях оболонки (кручення);

- встановлено, що при стиску шаруватих оболонок з косоперехресним армуванням розрахункові критичні навантаження для нетонких анізотропних циліндричних оболонок можуть бути суттєво завищеними, якщо користуватись традиційною для оболонок із композитів моделлю ортотропного тіла;

- розроблені нові методики чисельного розрахунку стосовно деформування, стійкості дозволяють проводити структурну оптимізацію параметрів анізотропних циліндричних оболонок і в той же час отримувати дані, що не викликають сумнівів стосовно їх достовірності.

Удосконалено:

- при використанні розроблених алгоритмів складенні програмні комплекси для персональних комп'ютерів щодо розв'язання задач зі встановлення параметрів вільних коливань товстостінних шаруватих анізотропних циліндричних оболонок з волокнистих та функціонально-градієнтних матеріалів.

Набули подальшого розвитку:

підходи щодо дослідження в просторовій постановці впливу анізотропії, структурної будови за товщиною, умов закріплення на параметри вільних коливань товстостінних анізотропних циліндричних оболонок з функціонально-градієнтних матеріалів.

6. Практичне значення отриманих результатів

Результати роботи суттєво розширюють можливості використання підходів будівельної механіки щодо впровадження розробленого розрахункового підходу для розв'язку просторових задач теорії анізотропних оболонкових конструкцій. Практичне значення представленої роботи полягає в розробці підходів і відповідних алгоритмів на основі тривимірних співвідношень лінійної теорії пружності, що представлені в обчислювальних програмних комплексах для ПК і використовуються для чисельних розрахунків задач деформування, динаміки товстостінних і стійкості нетонких шаруватих циліндричних оболонок із матеріалів з однією площиною пружної симетрії. Розв'язання проблеми розрахунків параметрів деформування та стійкості реалізується при дії на циліндричні оболонки різних видів статичного навантаження та температурної дії. При цьому, оцінено вплив на напружено-деформований стан, частоти вільних коливань і стійкість анізотропії композитного матеріалу, різних умов закріплення торців, шаруватості та геометрії циліндричних оболонок.

Підходи та алгоритми, що реалізовані в програмних обчислювальних комплексах для ПК, впроваджено в ДП «Антонов» м. Київ, у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури, Національному університеті водного господарства та природокористування (м. Рівне), при виконанні держбюджетних тем згідно із замовленням і фінансуванням МОН України.

7. Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.

Отримані результати можливо використовувати при дослідженні напружено-деформованого стану, частот вільних коливань товстостінних та стійкості нетонких конструктивно анізотропних циліндричних оболонкових елементів

конструкцій. Такі дослідження є особливо важливими у зв'язку із можливим застосуванням конструктивно анізотропних композитних оболонкових систем в авіаційній, ракетній, космічній галузях, а також в машинобудуванні та будівництві.

8. Повнота викладених наукових результатів в опублікованих працях.

Основні положення дисертаційної роботи відображено у 38 друкованих наукових працях, зокрема чотири статті у фахових журналах, що входять до переліку, затвердженого ДАК України категорії «А», з них – три у періодичному виданні, що індексується в наукометричній базі Web of Science інша в Scopus; п'ятнадцять статей у фахових журналах, що входять до переліку, затвердженого ДАК України категорії «Б», сім статей у закордонних фахових журналах, з них – чотири у періодичних виданнях, що індексуються в наукометричних базах Scopus; одинадцять публікацій у збірниках матеріалів та доповідей українських і міжнародних наукових конференцій та одна монографія, що видана у співавторстві. Результати дисертаційного дослідження були апробовані на 11 наукових конференціях.

9. Формулювання наукової проблеми, за вирішення якої здобувач заслуговує присудження наукового ступеня доктора наук.

Науковий ступінь доктора технічних наук присуджується Подворному Андрію Володимировичу за вирішення важливої наукової проблеми, яка полягає у розробці підходів щодо виведення систем диференціальних рівнянь руху, рівноваги та стійкості просторової лінійної теорії пружності, а також розробленні алгоритмів та створенні, при використанні аналітичних і чисельних методів, програмних комплексів для персональних комп'ютерів щодо встановлення в тривимірній постановці параметрів напружено-деформованого стану, вільних коливань товстостінних і стійкості нетонких шаруватих конструктивно анізотропних циліндричних оболонок з композитних й функціонально-градієнтних матеріалів, що мають одну площину пружної симетрії; проведенні числових досліджень з встановлення параметрів напружено-деформованого стану товстостінних анізотропних циліндричних оболонок, що знаходяться в полі силових дій від розподілених бокового або осьового тисків, дотичного зсувного зусилля рівномірно розподіленого на торцю (кручення), а також температурних впливів; виконанні числових досліджень стосовно встановлення параметрів стійкості нетонких конструктивно анізотропних композитних циліндричних оболонок, що знаходяться під дією: розподіленого бокового чи осьового тисків, дотичного зсувного зусилля, рівномірно розподіленого на торцю.

10. Дисертаційна робота Подворного Андрія Володимировича на тему: «Деформування, динаміка та стійкість конструктивно анізотропних циліндричних оболонок в просторовій постановці» відповідає вимогам, передбаченим п. 7 та п. 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 (зі змінами) і є завершеною науковою роботою, що сприяє вирішенню важливої науково-технічної проблеми що пов'язана з дослідженням параметрів

напружено-деформованого стану, вільних коливань товстостінних, а також стійкості нетонких шаруватих конструктивно анізотропних циліндричних оболонок в рамках просторових співвідношень лінійної теорії пружності.

На підставі результатів таємного голосування та прийнятого висновку докторська рада присуджує Подворному Андрію Володимировичу науковий ступінь доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – Будівельна механіка.

Головуючий на засіданні
спеціалізованої вченої ради
з присудження наукового ступеня
доктора наук Д 26.056.04

В. о. вченого секретаря
Спеціалізованої вченої ради
з присудження наукового
ступеня доктора наук Д 26.056.04



Г. М. Іванченко

І. І. Солодей

21 червня 2024 року