

ВІДГУК

офіційного опонента
Марчука Олександра Васильовича

на дисертаційну роботу **Шматко Тетяни Валентинівни** на тему: «Математичне моделювання та розробка чисельно-аналітичних методів дослідження функціонально-градієнтних пологих оболонок та пластин з використанням теорії R-функцій», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. Розробка ефективних методів дослідження стійкості та міцності сучасних тонкостінних конструкцій, елементи яких моделюються композитними пластинами та оболонками, є актуальною проблемою на сьогоднішній час. Особливо це стосується функціонально-градієнтних пластин та оболонок. Існує велика кількість досліджень, присвячених цій проблемі, що виконані закордонними вченими. У нашій країні цією проблемою почали займатися зовсім недавно. Як показує огляд публікацій, більшість вчених використовують метод скінчених елементів, який є наближеним, а тому виникає потреба в розробці альтернативних методів для перевірки вірогідності отриманих результатів. Значно менше використовуються варіаційні методи, хоча для дослідження динамічної поведінки ФГМ об'єктів вони є найбільш ефективними. Це пов'язано з труднощами, які виникають при побудові системи координатних функцій для варіаційних методів. Важливим проривом у цій сфері стало відкриття теорії R-функцій, запропонованої академіком В.Л. Рвачовим, що дозволило формувати системи координатних функцій для конструкцій довільної форми. Метод R-функцій успішно застосовувався для вирішення задач механіки деформованого твердого тіла, проте його використання для дослідження ФГМ пластин та пологих оболонок залишається недостатньо вивченим. Саме ця проблема лягла в основу даної дисертаційної роботи.

Bx 102/2025

Big 10.04.2025 p.

Актуальність дослідження підтверджується тим, що воно виконувалося у межах міжнародного проекту Програми НАТО Science for Peace and Security (SPS) Programme "Composite Metamaterials for Aerospace Structures – CoMetA G6176" (виконавець, 2023-2025 pp.), а також у рамках держбюджетних наукових тем: ДР №0105U000573 (виконавець, 2005-2007 pp.), ДР №0108U001443 (виконавець, 2008-2011 pp.), ДР №0111U002260 (виконавець, 2011-2013 pp.).

Обґрунтованість та достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі підтверджується: коректністю математичних постановок задач, використанням обґрунтованих та апробованих математичних методів; порівнянням отриманих результатів з відомими, що отримані за допомогою аналітичних та чисельних методів механіки деформівного твердого тіла, контролем практичної збіжності результатів при збільшенні числа координатних функцій; дослідженням збіжності результатів до відомих при виродженні ФГМ оболонки/пластини складної форми в оболонку /пластину, форма якої близька до прямокутної.

Оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, дев'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 3-х додатків.

Вступ відображає інформацію щодо актуальності дослідження. Сформульовано мету і завдання, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів та особистий внесок автора в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

У першому розділі аналізується література за напрямом досліджень та обґрунтовується необхідність розвитку ефективних методів дослідження лінійних та геометрично нелінійних коливань ФГМ одношарових та сендвіч пологих оболонок та пластин з урахуванням різних законів обчислення ефективних властивостей ФГМ, пружної основи, типу пористості,

нерівномірного стискаючого навантаження а також оболонок змінної товщини.

У другому розділі роботи наведено необхідний матеріал для подальшого розуміння роботи. Представлено найбільш поширені моделі для визначення ефективних властивостей ФГМ. В загальному вигляді представлені рівняння руху ФГМ пологих оболонок/пластин в рамках трьох теорій: класичної, уточненої теорії першого порядку та уточненої зсувної теорії третього порядку(теорії Редді). Наведено основні співвідношення для деформацій, зусиль в серединній площині, моментів та перерізуючих сил.

У третьому розділі дисертаційної роботи пропонується метод розв'язання лінійних та геометрично нелінійних задач про коливання ФГМ пологих оболонок і пластин, який базується на варіаційних методах та використанні теорії R- функцій.

Розділ четвертий присвячено використанню розробленого підходу для дослідження лінійних та геометрично нелінійних коливань одношарових ФГМ пологих оболонок та пластин.

П'ятий, шостий та сьомий розділи дисертації присвячені розробці методів дослідження сендвіч оболонок, в тому числі пористих, на пружній основі, змінної товщини.

У восьмому розділі запропоновано метод дослідження стійкості та коливань оболонок та пластин стиснутих в серединній площині. Запропонований підхід враховує неоднорідний стан ФГМ оболонки/пластини.

У дев'ятому розділі наведено результати виконаного практичного експерименту, які показують добрий збіг одержаних результатів та підтверджують достовірність запропонованого методу.

Висновки дисертаційної роботи узагальнюють найбільш важливу інформацію щодо результатів попередніх розділів, та підтверджують, що дисертація в цілому є закінченим науковим дослідженням.

Дисертація містить три **додатки**. Перші два додатки підтверджують використання окремих результатів дисертаційної роботи при виконанні держбюджетних тем та гранту, а також у навчальному процесі. У третьому доданку наведено основні програми, які були побудовані на вхідній мові системи POLE-RL та використані для конкретних розрахунків.

Наукова новизна досліджень автора полягає в тому, що розроблено та практично реалізовано новий підхід дослідження згину, коливань та стійкості ФГМ пластин та пологих оболонок зі складною геометричною формою плану, який суттєво підвищує ефективність існуючих обчислювальних методів завдяки використанню теорії R-функцій.

До основних пунктів наукової новизни слід віднести наступні:

1. Розроблено метод розв'язання задач про лінійні коливання пологих одношарових та сендвіч ФГМ оболонок та пластин із урахуванням таких факторів, як пористість, наявність пружної основи, різних способів гомогенізації ФГМ, змінної товщини, геометричної форми та способів закріплення оболонок. Важливо, що метод реалізовано в рамках трьох теорій: класичної теорії пологих оболонок та уточнених зсувних деформаційних теорій першого та третього порядків.

2. Запропоновано підхід для розв'язання задач про геометрично нелінійні коливання оболонок та пластин, який дозволив звести нелінійні системи диференціальних рівнянь з частинними похідними до звичайного нелінійного диференціального рівняння другого порядку. Не дивлячись на те, що підхід передбачає деякі припущення відносно ігнорування інерційними членами відносно переміщень в площині та обертання, він має важливе значення для дослідження поведінки об'єкту при невеликих амплітудах.

3. Одним із суттєвих результатів представленої роботи є запропонований метод дослідження стійкості ФГМ пластин та пологих оболонок з урахуванням неоднорідного докритичного стану при

рівномірному і нерівномірному навантаженні оболонки або пластини в серединній площині.

4. Дуже важливо, що розроблені підходи використано для аналізу ФГМ пластин та пологих оболонок різної геометричної форми плану та видів граничних умов. Особливо це відноситься до оболонок з вирізами та отворами різної геометричної форми. Одержані результати будуть корисними не тільки для науковців, які займаються аналогічними проблемами, але і для інженерів при проектуванні подібних елементів сучасних конструкцій.

Практичне значення результатів, наведених у дисертаційній роботі, полягає у розширенні можливостей чисельно-аналітичного моделювання поведінки функціонально-градієнтних пластин та оболонок. Запропонований підхід, що поєднує теорію R-функцій із варіаційними методами, дозволяє враховувати складну геометрію та різноманітні крайові умови в аналітичному вигляді, що суттєво підвищує точність і ефективність обчислень порівняно з традиційними методами.

Розроблені алгоритми дають змогу проводити широкомасштабні обчислювальні експерименти в межах однієї програми, виконувати багатоваріантні розрахунки та застосовувати метод до нелінійних задач динаміки та стійкості. Одержані результати впроваджені у навчальний процес, а також використовуються у науково-дослідних проєктах у галузі механіки композитних конструкцій.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Розглянуті в роботі задачі стійкості передбачують тільки статичне навантаження, але досить часто об'єкти піддаються дії динамічного навантаження, коли може виникнути параметричний резонанс, що призводить до втрати стійкості системи. Тому бажано було б дослідити вплив саме таких навантажень.

2. В дисертації не наведено прикладів впливу температури на поведінку ФГМ пластин та оболонок, що було б дуже цікавим дослідженням.

3. Досить мало в роботі наведено прикладів, пов'язаних з дослідженням збіжності отриманих результатів при збільшенні кількості координатних функцій.

Зроблені зауваження мають рекомендаційний характер, не впливають на високий науковий рівень і практичне значущість дисертаційної роботи та можуть бути використані для подальшого розвитку, вдосконалення та поширення запропонованих підходів. Розширення методів дослідження на випадки динамічних навантажень, температурних ефектів та аналізу збіжності сприятиме підвищенню точності та універсальності розроблених підходів. Крім того, отримані результати можуть стати основою для майбутніх досліджень, зокрема у напрямку створення бази знань для систем штучного інтелекту у прогнозуванні поведінки складних композитних конструкцій.

Повнота викладення результатів дисертаційних досліджень у опублікованих працях. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи знайшли відображення у 74 наукових працях, що свідчить про високу наукову значущість отриманих результатів. Представлені результати свідчать про високий рівень апробації дисертаційного дослідження, його визнання у міжнародному науковому співтоваристві, а також широке впровадження отриманих напрацювань у науково-дослідну діяльність.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертаційної роботи. Зміст реферату повністю відображає основні положення дисертаційної роботи, відповідає структурі її розділів та містить ключові результати дослідження. У рефераті послідовно викладено основні наукові досягнення, що дозволяє достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну значущість проведеного дослідження. Стиль викладення

матеріалу у дисертації та рефераті відповідає загальноприйнятим академічним стандартам, а зміст роботи є чітко структурованим та логічно узгодженим.

Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, що були викладені у кандидатській дисертації здобувача. Аналіз проведеної роботи свідчить про відсутність плагіату, що підтверджує оригінальність дослідження та його самостійний характер.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам. На підставі проведеного аналізу вважаю, що дисертаційна робота Шматко Тетяни Валентинівни на тему «Математичне моделювання та розробка чисельно-аналітичних методів дослідження функціонально-градієнтних пологих оболонок та пластин з використанням теорії R-функцій» є завершеним науковим дослідженням, виконаним із дотриманням принципів академічної доброчесності.

У дисертації отримано нові наукові результати, спрямовані на вирішення актуальної науково-технічної проблеми розробки ефективних чисельно-аналітичних методів дослідження статичної та динамічної поведінки функціонально-градієнтних конструкцій. Запропоновані математичні моделі враховують ключові особливості процесів деформування, зокрема нелінійність, пористість, наявність пружної основи, варіацію розподілу об'ємних часток складових ФГМ, геометрію та вид граничних умов. Результати дисертаційної роботи відповідають поставленим цілям та завданням, а реферат повно та коректно відображає зміст дослідження.

Тема, зміст та результати дисертації повністю відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

З урахуванням актуальності теми, високого наукового рівня проведених досліджень, наукової новизни та практичної значущості

отриманих результатів, дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» (від 17.11.2021 №1197).

Вважаю що, **Шматко Тетяна Валентинівна** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри опору матеріалів
і машинознавства Національного
транспортного університету,
доктор технічних наук, професор

Особистий підпис проф. О.В.Марчука засвідчую.
Вчений секретар О.М. Іванушко, доц.
31.03.2025



О.В. Марчук