

ВІДГУК
офіційного опонента
Яковлева Сергія Всеволодовича

на дисертаційну роботу **Шматко Тетяни Валентинівни** «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 дисертаційної роботи. Проблема, якій присвячена дисертаційна робота, є актуальною завдяки широкому використанню функціонально-градієнтних матеріалів в багатьох галузях промисловості – авіабудівній, оборонній, будівельній, машинобудівній та інших галузях для виготовлення тонкостінних елементів сучасних конструкцій, які моделюються пластинами та пологими оболонками. Тому не дивлячись на широке використання числових методів, розробка чисельно-аналітичних підходів є важливою проблемою, оскільки такі методи сприяють створенню прикладних автоматизованих систем, за допомогою яких можна виконувати комп'ютерне моделювання процесів, проводити широкий обчислювальний експеримент, необхідний для раціонального вибору конструктивних параметрів. Створення і застосування інтелектуальних прикладних систем є одним з найбільш актуальних напрямків комп'ютерної механіки. Зрозуміло, що такі системи повинні використовувати ефективні універсальні обчислювальні методи. Система POLE-RL, яка була створена під керівництвом В.Л.Рвачова та О.М. Шевченко є добрим прикладом інтелектуальної системи, в основу якої було покладено використання теорії R-функцій та варіаційних методів. У даній роботі метод R-функцій вперше розвинено та використано для дослідження одношарових та сендвіч ФГМ пластин і пологих оболонок, з урахуванням геометричної нелінійності, пористості, пружної основи, що є важливою та актуальною проблемою сьогодення. Використання системи POLE-RL для дослідження ФГМ пологих

Вх 100/2025

Віз 10.04.2025 р.

оболонок та пластин, потребувало створення математичного забезпечення, яке включає такі складові, як комп'ютерні моделі даного класу задач, розробка відповідних методів, алгоритмів та програм, які записані на вхідній мові системи.

Робота виконувалась у відповідності з важливими та пріоритетними науковими держбюджетними темами з номерами держреєстрації ДР №0105U000573 у 2005-2007 роках (виконавець), ДР № 0108U001443 у 2008-2011 роках (виконавець), ДР № 0111U002260 у 2011-2013 роках (виконавець) та за міжнародним проектом Програми NATO Science for Peace and Security (SPS) Programme Composite Metamaterials for Aerospace Structures – CoMetA G6176 у 2023-2025 роках (виконавець).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, ґрунтуються на коректних математичних постановках задач, апробованих методах дослідження, широкій верифікації отриманих результатів та їх порівнянні з відомими літературними даними. Обґрунтованість отриманих результатів підтверджується аналізом збіжності чисельних методів і тестуванням на задачах із точними або наближеними розв'язками. Проведено дослідження збіжності чисельних розв'язків при виродженні складних геометричних форм до канонічних, що свідчить про коректність моделей. Додатковою верифікацією є порівняння з літературними даними та числовими методами, зокрема методом скінченних елементів. Використання системи POLE-RL та розробленого програмного забезпечення дозволило автоматизувати моделювання коливань, згину й стійкості функціонально-градієнтних оболонок і пластин, що значно підвищує точність і надійність отриманих результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні нового ефективного чисельно-аналітичного підходу для дослідження статичної та динамічної поведінки ФГМ пластин та пологих оболонок зі складною

геометричною формою плану та різними умовами закріплення. З моєї точки зору, найбільш суттєвими науковими результатами є наступні:

1. Запропоновано новий підхід, який базується на використанні теорії R-функцій та варіаційних методах, для дослідження лінійних коливань ФГМ пологих оболонок і пластин. Завдяки властивостям теорії R-функцій він суттєво підвищує ефективність існуючих методів, тому що може бути використаним для розрахунку пологих оболонок будь якої геометричної форми плану з різними умовами закріплення. При цьому в роботі представлено алгоритми та програми для дослідження як одношарових пологих оболонок, так і сендвіч структур з урахуванням пористості, пружної основи, схем розташування шарів, законів гомогенізації та законів зміни товщини оболонок.

2. Для дослідження коливань ФГМ пластин та оболонок в роботі запропоновано метод зведення вихідної нелінійної системи диференціальних рівнянь руху з частинними похідними до одного або до системи звичайних нелінійних рівнянь другого порядку. При цьому побудовані варіаційні постановки допоміжних задач, розв'язок яких сприяє такому зведенню. Важливо, що відповідний підхід розроблено для рівнянь руху, записаних в переміщеннях в рамках трьох оболонкових теорій (класичної, уточненої зсувної деформаційної теорії першого та третього порядку). За допомогою системи POLE-RL побудовані відповідні комп'ютерні моделі даного класу задач та розв'язано велику кількість нових задач, результати яких можуть бути використаними при проектуванні тонкостінних ФГМ елементів сучасних конструкцій.

3. У даній роботі вперше запропоновано метод дослідження статичної стійкості пологих ФГМ оболонок та пластин з використанням теорії R-функцій. Розроблений підхід передбачає розрахунок докритичного стану об'єкта у разі нерівномірного навантаження оболонки або при наявності отворів, вирізів та складної геометрії оболонки. Для реалізації

цього методу були побудовані варіаційні постановки задачі про визначення докритичного стану.

4. Вперше реалізовано застосування системи POLE-RL для комп'ютерного моделювання лінійних, нелінійних коливань і стійкості функціонально-градієнтних оболонок та пластин, що забезпечило автоматизацію розрахунків і проведення масштабних чисельних експериментів.

Практичне значення результатів, наведених в дисертаційній роботі.

Запропоновані чисельно-аналітичні методи дозволяють проводити оптимізацію конструктивних параметрів оболонок і пластин, зменшуючи матеріаломісткість, підвищуючи міцність і довговічність конструкцій. Використання розробленого підходу дає змогу розраховувати власні частоти й форми коливань елементів із вирізами, отворами та змінною товщиною, що є критично важливим для їхньої експлуатаційної надійності. Практична значущість роботи також полягає в автоматизації інженерних розрахунків завдяки реалізації методів у системі POLE-RL, яка дозволяє проводити високоточні числові експерименти.

Крім того, результати дослідження мають освітнє значення, оскільки можуть бути інтегровані у навчальні курси з математичного моделювання, механіки деформівного твердого тіла та методів розв'язання крайових задач. Використання розробленого програмного забезпечення у навчальному процесі сприяє набуттю студентами та аспірантами практичних навичок роботи з чисельно-аналітичними методами моделювання складних тонкостінних конструкцій.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Об'єкт дослідження має бути більш конкретно сформульований у відповідності до спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та чисельні методи. На мій погляд точніше було б: «процес математичного моделювання пластин та оболонок». З цього випливає і конкретизація предмету дослідження – математичні моделі пластин та пологих оболонок

складної геометричної форми, виготовлених із функціонально-градієнтних матеріалів, та чисельні методи дослідження їх лінійних та нелінійних вільних коливань.

2. Мені не зрозуміло з погляду геометрії поняття "лінійні та геометрично нелінійні задачі коливання". Геометрія як наука вивчає просторові форми та їх перетворення. В такому сенсі геометрична лінійність і нелінійність підлягають поясненню.
3. Висновки про доцільність застосування уточненої зсувної деформаційної теорії третього порядку для розрахунку ФГМ оболонок вимагають більш чіткого обґрунтування і зв'язку з предметом дослідження.
4. Бажано було б розвинути запропонований підхід для дослідження коливань пластин та оболонок з використанням декілька мод.
5. У роботі градієнтний індекс позначається різними літерами, що не зовсім зручно при читанні роботи.

Зазначені зауваження не впливають на високу позитивну оцінку даної дисертаційної роботи і не зменшують ступеня обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків, а лише окреслюють можливі напрями подальших досліджень.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертаційної роботи. Зміст реферату повністю узгоджується з дисертацією, відображаючи її наукову новизну, методологічну основу, основні результати та практичне значення. В ньому стисло подано математичні моделі, чисельно-аналітичні методи та їх застосування. Реферат містить основні результати виконаних досліджень і дає можливість оцінити наукову новизну і практичну цінність роботи. Стиль викладання матеріалу у дисертації та реферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача. Плагіат відсутній.

Повнота викладення результатів дисертаційних досліджень у опублікованих працях. Всі наукові результати дисертаційної роботи опубліковані, апробація результатів є достатньою, отже вимоги пунктів 8 Постанови КМУ від 17.01.2021 р. №1197 виконані.

Результати дисертаційного дослідження повною мірою відображені в опублікованих наукових працях, що підтверджує їхню апробацію та відповідність сучасним науковим вимогам. Опубліковано 74 наукові праці, з яких 51 стаття, включаючи 30 статей у базах Scopus і Web of Science Core Collection, а 16 статей – у журналах першого (Q1) та другого (Q2) квартилів, що засвідчує високий рівень досліджень. 6 статей опубліковано у фахових виданнях України, що відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Окрім цього, наукові результати представлено у 22 тезах доповідей, з яких 5 опубліковано в зарубіжних виданнях, що свідчить про міжнародне визнання дослідження.

Зміст наукових праць охоплює всі ключові аспекти дисертації: розробку математичних моделей, застосування теорії R-функцій, аналіз згину, стійкості та коливань функціонально-градієнтних конструкцій, а також впровадження отриманих результатів у програмні засоби інженерного аналізу.

Наукові результати опубліковані в достатньому обсязі, що підтверджує їхню повноту, відповідність вимогам та визнання науковою спільнотою.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам.

Дисертаційна робота **Шматко Тетяни Валентинівни** «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. Робота містить нові наукові результати, спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної з розробкою ефективних чисельно-аналітичних методів

дослідження статичної та динамічної поведінки тонкостінних конструкцій, виготовлених із функціонально-градієнтних матеріалів.

У дисертації розроблено математичні моделі, які враховують особливості деформування ФГМ оболонок і пластин, включаючи нелінійність, пористість, пружну основу, розподіл об'ємних часток складових матеріалу, складну геометрію та умови закріплення. Одержані результати відповідають поставленій меті та завданням дослідження.

Реферат коректно відображає основний зміст дисертації. Тема, методологія та результати дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

За актуальністю, науковою новизною, рівнем проведених досліджень і практичною значущістю дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» від 17.11.2021 №1197 а її авторка **Шматко Тетяна Валентинівна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
Заступник директора навчально-наукового
інституту комп'ютерних наук та штучного
інтелекту, професор кафедри математичного
моделювання та аналізу даних Харківського
Національного університету імені В.Н. Каразіна
член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних, професор



С.В. ЯКОВЛЕВ

Підпис Сергія Яковлева засвідчую
Начальник відділу кадрів
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна

Олена ГРОМИКО

Учений секретар
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна

Олена ФРІДМАН

