

Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Борисенка Максима Юрійовича «Чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертації. Останніми роками дослідження механічної поведінки пластин і оболонок із структурною неоднорідністю різної природи привертає все більшу увагу дослідників у галузі механіки деформівного твердого тіла. На сучасному етапі розвитку науки спостерігається зростання кількості конструкцій та їх елементів, виконаних у вигляді оболонок змінної товщини з некруговим поперечним перерізом. Використання таких конструкцій дозволяє забезпечити зниження ваги без втрати несучої здатності. Пластини та оболонки цього класу знаходять широке застосування в сучасному машинобудуванні, транспортних системах, суднобудуванні, будівельній техніці, приладобудуванні, авіаційній, ракетно-космічній та оборонній техніці, а також у хімічній і нафтогазовій промисловості. Отримання достовірної інформації щодо їхніх динамічних характеристик є важливою складовою процесів проектування та експлуатації численних елементів конструкцій і споруд.

Автор дисертації проводить чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю. На основі отриманих результатів встановлює ряд залежностей динамічні характеристики досліджуваних об'єктів від зміни різних конструктивних параметрів. Для дослідження нового класу пластин і оболонок необхідне застосування ефективних чисельних методів із високою точністю обчислення частот і форм вільних коливань, доповнене натурним експериментом для верифікації отриманих результатів. Саме такий підхід використовує автор, що надає дисертаційній роботі практичної значущості та підтверджує її наукову обґрунтованість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам наукових

досліджень відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. Дослідження проведено при виконанні таких науково-дослідних робіт:

- НДР № 1.3.1.401 «Чисельний аналіз впливу конструктивної та структурної неоднорідності анізотропних оболонкових структур на їх стаціонарне деформування», номер державної реєстрації 0115U005709, 2016-2020 рр.;

- НДР №1.3.1.410 «Динамічне деформування елементів конструкцій сучасного машинобудування та стійкість і досяжність множин траєкторії механічних систем», номер державної реєстрації 0117U000700, 2017-2021 рр.;

- НДР №1.3.1.433 «Аналіз напружено-деформованого стану, коливань та стійкості спряжених оболонок обертання, некругових циліндричних оболонок з різним поперечним перерізом та багатокутних пластин на основі чисельних та експериментальних підходів», номер державної реєстрації 0120U105681, 2021-2025 рр.;

- НДР №1.3.1.452-23 «Розрахунок параметрів напружено-деформованого стану конструктивних елементів ракетно-космічної техніки у вигляді циліндричних оболонок складної геометрії та неоднорідної структури за статичним і динамічним навантаженням. Розділ 1. Аналіз впливу складної геометрії та неоднорідної структури циліндричних оболонок, як конструктивних елементів ракетно-космічної техніки, на розподіл полів напружень і переміщень при різному характері деформування», номер державної реєстрації 0123U100910, 2023-2024 рр.,

- НДР IMex-2024/2 «Дослідження фізико-механічних характеристик радіопоглинаючих композитних матеріалів та покриттів конструктивних елементів сучасних засобів ураження», номер державної реєстрації 0124U002590, 2024 р.;

- НДР IMex-2025/1 «Вивчення структури та фізико-механічних характеристик матеріалів, що застосовуються у зразках крилатих, балістичних, гіперзвукових аеробалістичних, надзвукових протикорабельних ракет та авіаційних ракет повітря-повітря, безпілотних авіаційних комплексів, що застосовуються РФ у війні проти України», номер державної реєстрації 0125U000036д, 2025-2026 рр.;

- НДР №1.3.1.468-25 «Напружено-деформований стан пластин і оболонок складної форми як елементів конструкцій спеціального

призначення та ракетної техніки з неоднорідною структурою», номер державної реєстрації 0125U000957, 2025-2026 рр.

Наукова новизна та основні наукові результати дослідження полягають у розвиненні чисельного підходу на основі методу скінченних елементів для розрахунку частот та форм вільних коливань ізотропних багатокутних пластин з отвором і без та замкнутих і незамкнутих циліндричних оболонок різного поперечного перерізу, різної товщини, з різними варіантами граничних умов. В дисертації, також, розроблено комбінований підхід для розрахунку частот вільних коливань ізотропних багатокутних пластин різної товщини на основі модифікованої формули для розрахунку частот вільних коливань ізотропної прямокутної пластини та розраховано методом скінченних елементів коефіцієнти для кожної багатокутної пластини з різними граничними умовами, які залежать від співвідношення товщини до сторони пластини. Розвинено експериментальний підхід на основі резонансного методу та створено віброкомплекс для демонстрації коливань в реальному часі та визначення з достатнім ступенем достовірності частот і форм вільних коливань багатокутних пластин. Розвинено експериментальний підхід на основі стробогологафічної інтерферометрії та створено стробоккомплекс для визначення частот і форм вільних коливань багатокутних пластин та товстостінних циліндричних оболонок, який в реальному часі демонструє коливання поверхні пружного тіла у вигляді інтерференційних картин, дає можливість змінювати режим віброзбудження та амплітуду коливань, з високим ступенем достовірності досліджувати спектр частот і форм вільних коливань. Проведено аналіз вільних коливань широкого класу пластин і оболонок з різною конструктивною неоднорідністю та отримано нові результати у вигляді числових значень частот та ілюстрацій форм вільних коливань, проведено порівняння результатів отриманих за допомогою різних підходів. Проведено аналіз особливостей динамічних характеристик широкого класу пластин і оболонок, виявлено закономірності впливу геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик матеріалу та граничних умов на спектр частот і форм вільних коливань кожного з розглянутих пружних тіл.

Різними підходами побудовано нові розв'язки задач динаміки для таких пластин та оболонок: трикутні, чотирикутні, п'ятикутні та шестикутні пластини різної товщини з різними варіантами вільних та жорстко

закріплених країв; трикутні, чотирикутні, п'ятикутні, шестикутні та круглі пластини з отвором з різними варіантами вільних та жорстко закріплених країв та отвору, трикутні пластини з різним розміщенням круглого отвору та отвору різного радіуса; замкнуті та незамкнуті циліндричні оболонки еліптичного поперечного перерізу з різним значенням ексцентриситету, сталої та змінної товщини, з різним характером розкриття, з різними граничними умовами на торцях; замкнуті та незамкнуті циліндричні оболонки гофрованого поперечного перерізу з різною кількістю гофрів, з різним характером розкриття, з різними граничними умовами на торцях; товстостінні циліндричні оболонки з різними граничними умовами на торцях.

Практичне значення.

Отримані результати та розвинені підходи можуть бути використанні при розв'язанні широкого класу практичних задач визначення динамічних характеристик вільних коливань пластинчастих та оболонкових елементів з різною конструктивною неоднорідністю; розвинений чисельний підхід дає можливість отримувати достовірну інформацію про спектр частот і форм вільних коливань елементів конструкції в умовах максимально наближених до реальних умов експлуатації без значних затрат коштів та часу, змінюючи різні параметри, обирати оптимальні геометричні розміри, економічно вигідні матеріали та способи закріплення для забезпечення міцності, стійкості та надійності конструкції; розроблений комбінований підхід дає можливість швидко визначити частоти і форми вільних коливань багатокутних пластин різної товщини з різними граничними умовами; розвинені експериментальні підходи дають можливість в реальному часі демонструвати вільні коливання пружних тіл, а одержані результати застосовувати для оцінки результатів, отриманих різними теоретичними методами.

Результати отримані комбінованим підходом були передані для впровадження в розрахункову практику державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля». Результати дисертаційного дослідження використано в рамках виконання цільової програми з оборонної тематики за напрямом прикладні дослідження і розробки згідно з договорами IMex-2024/2 та IMex-2025/1.

Ступінь обґрунтованості нових положень, висновків та рекомендацій забезпечується застосуванням обґрунтованих чисельних

методів і критерію практичної збіжності отриманих результатів; коректністю проведення експериментів та вимірювань; фізично правдоподібною інтерпретацією отриманих результатів; порівняльним аналізом точності та узгодженням результатів отриманих різними методами; чисельними розв'язками тестових задач.

Оцінка змісту та завершеності роботи. Робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновку, списку використаних джерел (303 найменування) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 341 сторінку тексту, разом із 244 рисунками та 172 таблицями. Структура і об'єм роботи відповідають вимогам до докторських дисертацій (наказ МОН № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» із змінами згідно наказу МОН № 759 від 31.05.2019).

В цілому дисертаційна робота Борисенка М.Ю. є завершеним науковим дослідженням. Реферат дисертації повністю відповідає змісту роботи і її основним положенням. Тексти дисертації і реферату викладені на належному науковому рівні. Загальні висновки дисертаційної роботи повністю відповідають її меті. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Апробація результатів роботи та публікації. Дисертаційна робота пройшла достатньо повну апробацію. За результатами дисертації опубліковано 39 наукові праці, в тому числі: 18 публікацій у наукових фахових виданнях України та наукових періодичних виданнях інших держав, одна стаття у науковому журналі, який не належить до переліку фахових видань, три публікації є главами колективних монографій опублікованих англійською мовою, 17 публікацій в матеріалах міжнародних і національних конференцій. 12 статей опубліковані у виданнях, які включені до категорії «А» Переліку наукових видань України та у закордонних виданнях, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, з них сім статей – у виданнях з квантилем (Q3). Зазначені наукові роботи були опубліковані після захисту кандидатської дисертації автора, а їх матеріали не включалися до кандидатської дисертації.

Результати, викладені в дисертації, у повній мірі оприлюднені в наукових фахових виданнях, які відповідають наказу МОН України

№ 1220 від 23.09.2019 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Зауваження. За змістом роботи можна зробити такі зауваження.

1. Комбінований підхід для розрахунку частот вільних коливань ізотропних багатокутних пластин різної товщини представлений у вигляді таблиці перших десяти частот та відповідних форм вільних коливань. Дане узагальнення комбінованого підходу не враховує наявності частот і форм планарних коливань, інформація про які була б корисною інженерам при використанні даного методу.

2. Автором виконано розрахунки та порівняння частот і форм вільних коливань комбінованим методом і методом скінченних елементів для багатокутних пластин із заданими співвідношеннями товщини до довжини сторони та для конкретного матеріалу. Водночас, у роботі відсутні розрахунки для довільних геометричних параметрів і матеріалів, що обмежує повноту оцінки ефективності запропонованого методу й не дозволяє повністю продемонструвати його універсальність.

3. В цьому розділі розглянуті замкнуті кругові циліндричні оболонки з різним співвідношенням товщини оболонки до радіусу серединної поверхні і не розглянуті незамкнуті оболонки відповідних параметрів, що було б логічним продовженням досліджень незамкнутих циліндричних оболонок даного дисертаційного дослідження.

4. У пунктах роботи, які присвячені проведенню експерименту методом стробоголографічної інтерферометрії, відсутня інформація про тип фотопластин, які використовувались, тривалість експозиції, а також умови та склад фотохімічної обробки. Ці відомості є важливими для забезпечення відтворюваності експерименту та мають значення для оцінки достовірності отриманих результатів.

Вищезазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, мають в основному характер побажань і не зменшують ступінь обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків.

Висновок. Дисертаційна робота Борисенка М.Ю. «Чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю» є завершеним науковим дослідженням, у якому одержано нові науково обґрунтовані результати.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, практичною та теоретичною цінністю результатів, дисертаційна робота Борисенка М.Ю. відповідає п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затверджених постановою КМ № 1197 від 17.11.2021 р., а її автор, Борисенко Максим Юрійович, за проведені актуальні дослідження та розвинення ефективних чисельних та експериментальних методів визначення частот і форм вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент
завідувач кафедри теоретичної
та прикладної механіки
Національного транспортного університету
доктор фізико-математичних наук, професор

Ігор ЛОЗА

Підпис Лози І.А. засвідчую



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Учений секретар Національного
транспортного університету
 Олександр ІВАНУШКО
» _____ 20__ р.