

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора Інституту механіки

ім. С.П. Тимошенка НАН України

академік НАН України

 Володимир НАЗАРЕНКО

« 17 » 07 2025 р.



ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації Борисенка Максима Юрійовича на тему «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.

Тему дисертаційної роботи «Чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю» затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (протокол № 10 від 26.10.2021 року).

Науковим консультантом затверджено академіка НАН України, д.ф.-м.н., проф. Григоренка Олександра Ярославовича.

Структурний підрозділ для проведення попередньої експертизи дисертації та рецензентів затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (протокол № 9 від 26.06.2025 року).

Заслухавши та обговоривши доповідь Борисенка М.Ю., а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації ухвалили прийняти такий висновок:

1. Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що пластини і оболонки різних форм і способів закріплення знаходять широке застосування при проектуванні складних інженерних споруд, сучасних будівель, а також корпусів машин і спеціалізованих технічних систем. При проектуванні та експлуатації таких споруд необхідно мати дані про розподіл їх частот і форми вільних коливань для уникнення руйнувань в результаті резонансу. Із-за складної геометрії таких конструкцій багато теоретичних методів дослідження вільних коливань втрачають свою ефективність, що пов'язано зі значними труднощами реалізації математичної моделі та необхідністю розв'язання складної системи диференціальних рівнянь. В сучасній науці та інженерії для розв'язування даної задачі широко застосовують різноманітні комп'ютерні програмні комплекси автоматизованого проектування, в основі роботи яких лежить використання різних чисельних методів, наприклад, методу скінченних елементів (МСЕ). Проте результати кожного нового класу задач, розв'язаного МСЕ, необхідно підтверджувати експериментально, оскільки можна допуститись помилок при комп'ютерному моделюванні об'єкта. Саме тому, визначення частот і форм вільних коливань пластин і оболонок з різною конструктивною неоднорідністю на основі розвинених чисельних та експериментальних підходів є актуальною проблемою механіки деформівного твердого тіла.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації безпосередньо пов'язана з дослідженнями, що проводились у відділі обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. Дисертаційні дослідження проводились 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 ІМех-2024/2 «Дослідження фізико-механічних характеристик радіопоглинаючих композитних матеріалів та покриттів конструктивних елементів сучасних засобів ураження», номер державної реєстрації 0124U002590, 2024 р.; НДР ІМех-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.

3. Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступних положеннях, що виносяться на захист:

- розвинено чисельний підхід 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;

- 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 розраховані 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 стробогологографічної інтерферометрії та створено стробокомплекс 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 вібробудження 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;

- на основі результатів отриманих чисельним та експериментальними підходами проведено аналіз особливостей динамічних характеристик широкого класу пластин і оболонок, виявлені закономірності впливу геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик матеріалу та граничних умов на спектр частот і форм вільних коливань кожного з розглянутих пружних тіл.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків 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.

5. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження. 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.

Результати отримані комбінованим підходом для розрахунку частот вільних коливань ізотропних багатокутних пластин різної товщини були передані для впровадження в розрахункову практику державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля».

Розвинені експериментальні підходи дають можливість в реальному часі демонструвати вільні коливання пружних тіл, а одержані результати застосовувати для оцінки допущень побудованих різних теоретичних моделей та досліджень в науково-дослідних організаціях та конструкторських бюро, а також при аналізі поведінки конкретних конструктивних елементів.

Результати дисертаційного дослідження використано в рамках виконання цільової програми з оборонної тематики за напрямом прикладні дослідження і розробки відповідно договорів ІМех-2024/2 та ІМех-2025/1.

6. Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, що включені в дисертацію, були представлені в наступних анотаціях доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні. ІТМ – 2016» (Миколаїв, 2016); Міжнародна наукова конференція «Математичні проблеми технічної механіки» (Дніпропетровськ/Дніпро, Дніпродзержинськ/Кам'янське, 2016, 2019, 2021); Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток інноваційної діяльності в галузі технічних та фізико-математичних наук»

(Миколаїв, 2016, 2018); Всеукраїнська науково-практична конференція «Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів» (Миколаїв, 2016); IV, VI Міжнародні наукові конференції «Сучасні проблеми механіки» (Київ, 2017, 2021); Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми механіки та математики» (Львів, 2018, 2023); II Міжнародна науково-технічна конференція «Динаміка, міцність та моделювання в машинобудуванні» (Харків, 2020); XXVI Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми прикладної математики та комп'ютерних наук» (Львів, 2021); Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2022» (Львів, 2022); Міжнародна наукова конференція «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур» (Львів, 2024); Міжнародна наукова конференція «Механіка: сучасність і перспективи – 2024» (Київ, 2024); Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми механіки у конструкціях спеціального призначення» (Дніпро, 2025).

У повному обсязі дисертація доповідалась та обговорювалась на науковому семінарі відділу обчислювальних методів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – академік НАН України, д.ф.-м.н., професор О.Я. Григоренко, 2025 р.), на науковому семінарі за напрямом «Механіка оболонкових систем» Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – д.т.н., професор П.З. Луговий, 2025 р.), на загальноінститутському семінарі з механіки Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (керівник – академік НАН України, д.т.н., професор В.М. Назаренко, 2025 р.), на науковому семінарі кафедри теоретичної та прикладної механіки Національного транспортного університету (керівник – д.ф.-м.н., професор І.А. Лоза, 2025 р.), на науковому семінарі кафедри теоретичної та прикладної механіки Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (керівник – чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., професор Я.О. Жук, 2025 р.).

7. Оцінка змісту дисертації. За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Борисенка Максима Юрійовича повністю відповідає паспорту наукової спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла та

найважливішим проблемам фундаментальних досліджень у галузі природничих і технічних наук.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, що свідчить про особистий внесок здобувача у розвиток фундаментального напрямку науки, спрямованого на розв'язання актуальних проблем науково-технічного прогресу, підвищення конкурентоспроможності України на світовому рівні та забезпечення сталого розвитку суспільства і держави.

Отримані в роботі фундаментальні результати та розвинені методи можуть бути використані в організаціях, що досліджують пластини та оболонки з різною конструктивною неоднорідністю, а також застосовані та подальше розвинені в Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Київському, Львівському національних університетах, Київському та Харківському технічних університетах, КБ «Антонов» і «Конструкторському бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», а також в різних наукових, навчальних та інших закладах відповідного профілю.

8. Дотримання принципів академічної доброчесності. За результатами науково-технічної експертизи дисертація Борисенка М.Ю. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Результати наукових досліджень, за якими захищена кандидатська дисертація Борисенка М.Ю., не виносяться на захист у представленій здобувачем докторській дисертації. У кандидатській дисертації розглядалися лише задачі з визначення частот і форм вільних коливань некругових циліндричних оболонок еліптичного перерізу з різними геометричними та механічними параметрами за різних граничних умов, накладених на один із торців оболонки. У докторській дисертації, зокрема в підпункті 7.3.1, розв'язано нову задачу – проведено розрахунок методом скінченних елементів частот і форм вільних коливань замкнутих циліндричних оболонок еліптичного поперечного перерізу за різних граничних умов, накладених на обидва торці. У результаті розв'язання цієї задачі отримано нові наукові

результати.

Дана докторська дисертація виносить на захист вперше.

9. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 39 наукових праць, у тому числі:

- 8 статей у різних періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, сім з яких опубліковані у виданнях віднесених до третього квартиля (Q3) (здобувач приймав участь у постановці задач, йому також належить реалізація та розробка підходів до їх розв'язання);

- 3 розділи англійською мовою у трьох різних колективних монографіях у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus віднесених до четвертого квартиля (Q4) (здобувач приймав участь у постановці задач, йому також належить реалізація та розробка підходів до їх розв'язання);

- 1 стаття англійською мовою у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію, включені до міжнародних наукометричних баз Web of Science Core Collection (здобувач приймав участь у постановці задач, йому також належить реалізація та розробка підходів до їх розв'язання);

- 9 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (здобувач приймав участь у постановці задач, йому також належить реалізація та розробка підходів до їх розв'язання);

- 1 стаття у науковому журналі, який не включений до Переліку наукових фахових видань України (здобувач приймав участь у постановці задач, йому також належить реалізація та розробка підходів до їх розв'язання);

- 17 тез та доповідей на наукових конференціях.

Якість та кількість публікацій відповідають «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Борисенка Максима Юрійовича «Чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю», подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно. За своїм науковим рівнем, практичною та теоретичною цінністю, змістом та оформленням дисертація повністю відповідає вимогам п.7 та п.9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», встановленим для докторських дисертацій, а також вимогам паспорта наукової спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

РЕКОМЕНДУВАТИ дисертаційну роботу «Чисельний та експериментальний аналіз вільних коливань багатокутних пластин і циліндричних оболонок з конструктивною неоднорідністю», подану Борисенком Максимом Юрійовичем на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, до захисту у спеціалізованій вченій раді Д 26.166.02 за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Рецензент

чл.-кор. НАНУ, д.ф.-м.н., проф.



Євген СТОРОЖУК

Рецензент

д.т.н., проф.



Степан БАБИЧ

Рецензент

д.ф.-м.н., ст. наук. співроб.



Володимир МАКСИМЮК