

## ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу Каірова Володимира Олексійовича «Напружено-деформований стан підкріплених конструктивно неоднорідних оболонок з отворами та приєднаними твердими тілами при динамічному навантаженні», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

**1. Актуальність роботи.** Дисертаційна робота Каірова В.О. присвячена важливій проблемі механіки деформівного твердого тіла – дослідженню напружено-деформованого стану та коливань конструктивно неоднорідних пружних тонкостінних оболонок обертання. Конструкції, елементами яких є тонкостінні оболонки, у багатьох випадках експлуатування піддані дії динамічних навантажень. Відповідні методи розрахунку розвинуті досить повно, але є задачі, для яких недостатньо вирішені виникаючі складні питання розрахунку. До них слід віднести розробку методів розрахунку оболонок з конструктивними особливостями, такими як дискретне розміщення підкріплюючих ребер жорсткості, наявність отворів, жорстко чи пружно приєднаних твердих тіл та інше. Недостатня кількість експериментальних досліджень. В зв'язку з цим тему дисертаційної роботи Каірова В.О., в якій розвинута чисельно-аналітична методика вивчення впливу конструктивних неоднорідностей на динамічні характеристики, напружено-деформований стан та несучу здатність оболонок обертання, слід вважати актуальною.

**2. Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що розроблені нові методики, які дозволили провести дослідження динамічної поведінки оболонок, результати яких викладені в дисертації. Крім математичних моделей та чисельних результатів наукова цінність роботи складається з виконаних автором експериментальних досліджень. До найбільш важливих рекомендацій для проектувальників слід віднести дані про вплив форми отворів, жорсткості ребер, що їх підкріплюють, а також зміни граничних умов на власні частоти та форми коливань і напружено-деформований стан оболонок з дискретно розміщеними ребрами, які мають приєднані тверді тіла і піддані дії динамічного навантаження.

**3. Достовірність отриманих результатів** забезпечується використанням відомих положень механіки оболонок при динамічному навантаженні, виконаним аналізом точності обчислень, порівнянням з теоретичними результатами інших авторів та власними експериментами автора. Основні результати досліджень, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані і обговорені на наукових семінарах і на багаточисельних науково-технічних конференціях.

**4. Структура дисертації.** Дисертаційна робота об'ємом 182 сторінки складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 175 найменувань і 5 додатків. В останніх наведені дані про експериментальне

обладнання та впровадження результатів досліджень. Обсяг основного тексту дисертації становить 150 сторінок та включає 35 рисунків та 14 таблиць.

У *вступі* сформульована актуальність теми дослідження, відзначено мету, наукову новизну отриманих результатів, теоретичне і практичне значення роботи, а також особистий внесок здобувача. Сформульовані положення, що виносяться на захист.

У *першому розділі* надано достатньо повний огляд сучасного стану досліджень за темою дисертації, існуючих засобів моделювання динаміки конструктивно неоднорідних оболонок а також теоретичних та експериментальних методів дослідження напружено-деформованого стану, амплітуд і частот вимушених коливань.

У *другому розділі* викладені основні рівняння та співвідношення теорії дискретно підкріплених оболонок з локальними неоднорідностями для побудови математичних моделей коливань і визначення напружено-деформованого стану, виведені рівняння руху, граничні та початкові умови.

*Третій розділ* присвячено дослідженню власних коливань оболонок обертання. Чисельне розв'язання цієї задачі виконано у класичній постановці на основі варіаційного принципу Лагранжа з використанням методу скінченних елементів. Чисельний алгоритм розв'язання поставлених задач ґрунтується на використанні відомих методів. Для створення уточненої математичної моделі та побудови алгоритму розрахунку частот і форм коливань оболонкової системи розроблено спеціальний ізопараметричний двомірний криволінійного скінченний елемент, який має властивості оболонкового елемента. Використовуються рівняння руху класичної теорії, які побудовані з урахуванням дискретно розміщених ребер, приєднаних твердих тіл, наявності прямокутних отворів, приєднаних твердих тіл, наявності прямокутних отворів. Обговорюється чисельна збіжність здобутих результатів та надаються порівняння з існуючими розв'язками та результатами експерименту. У висновках до розділу надаються практичні рекомендації до вибору параметрів досліджених конструкцій.

У *четвертому розділі* викладено методику розрахунку вимушених гармонічних коливань та напружено-деформованого стану підкріплених ребрами неоднорідних циліндричних оболонок, що піддані дії динамічного навантаження. Обчислення амплітуд вібропереміщень виконується методом суперпозиції мод на основі розкладання переміщень за власними формами коливань. Розроблена уточнена математична модель динамічної поведінки оболонкової системи з урахуванням демпфування. Досліджено вплив дискретного розміщення ребер, отворів, приєднаних тіл та демпфування на амплітуди коливань та величини максимальних динамічних напружень в оболонці при гармонічному динамічному навантаженні. Отримані нові дані стосовно закономірностей амплітудно-частотних характеристик коливань і напружено-деформованого стану оболонок, а також виявлені залежності, що обумовлені неоднорідностями конструкцій. Виконано порівняльний аналіз отриманих рішень з результатами розрахунку з використанням пакета ANSYS.

У *п'ятому розділі* наведені результати виконаних автором експериментальних досліджень, які було одержано за допомогою методу голографічної інтерферометрії. Наведено технологію виготовлення тонкостінних оболонкових моделей, конструкцію спеціального затискного пристосування, електрооптичну схему вібростенда та методику проведення експерименту. Одержані експериментальні результати характеризують вплив конструктивних неоднорідностей, у тому числі отворів, підкріплюючих ребер і приєднаних твердих тіл, на частоти та форми резонансних коливань і напружено-деформованого стану оболонок, а також дозволяють виявити ряд нових явищ, пов'язаних з коливаннями оболонкової системи. Надаються результати порівняння експериментальних даних з теоретичними розрахунками автора.

В кінці роботи підсумовано основні висновки з проведених досліджень.

**5. Практична цінність роботи** полягає в розробці методик та прикладних програм для ПК, які дають змогу провести розрахунки динамічних характеристик оболонкових конструкцій, з використанням них вирішено конкретні прикладні задачі. У додатку наведено документи, які підтверджують впровадження результатів дисертації на підприємствах і в проектних організаціях машинобудування та суднобудування України. Одержані результати також застосовуються в Національному університеті кораблебудування при виконанні науково-дослідних держбюджетних тем і в навчальному процесі, що підтверджено відповідним актом впровадження.

**6. Публікації за темою дисертації.** Сформульовані у дисертації наукові положення, основні результати досліджень та висновки у достатньо повному обсязі викладені в 14 наукових опублікованих працях. Серед них 7 статей опубліковано в фахових наукових виданнях, перелік яких затверджений ДАК України, а також 7 публікацій у матеріалах науково-технічних конференцій.

#### **7. Зауваження.**

1. Переваги підходу над відомими, що задекларовані у роботі, зроблено не досить детально і чітко.

2. Недостатньою є математична обґрунтованість розроблених чисельних алгоритмів. Так, не обговорюється проблема раціонального вибору сітки скінчених елементів. У четвертому розділі бажано було б розглянути питання збіжності чисельного розв'язку задачі для випадку комбінованого підкріплення оболонок поздовжніми та поперечними ребрами.

3. Більшість досліджень, викладених у третьому розділі роботи, проведені при фіксованому числі скінчених елементів, що апроксимують компоненти переміщень. Слід було оговорити, що число вказаних членів повинно залежати від конструктивних особливостей оболонки.

4. Прийнята оригінальна методика урахування впливу отворів на власні частоти коливань може вважатись досить наближеною і потребує більш повного обґрунтування своєї вірогідності.

5. У третьому та четвертому розділах необхідно було приділити більше уваги зіставленню результатів, одержаних з використанням запропонованих розрахункових методик, з результатами інших авторів.

6. Недостатньо уваги приділено питанням впливу різноманітних профілей підкріплюючих елементів на характеристики коливань та напружено-деформований стан оболонок.

7. У роботі є окремі друкарські помилки, на які вказано автору. Обсяг дисертації декілька завищений, що дозволяє відмовитись від деяких рисунків і графіків.

Ці зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

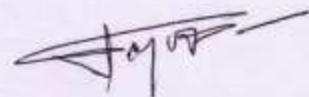
Оцінюючи в цілому дисертаційну роботу «Напружено-деформований стан підкріплених конструктивно неоднорідних оболонок з отворами та приєднаними твердими тілами при динамічному навантаженні», відмітимо, що вона виконана на достатньому науковому рівні, має нові наукові теоретичні та експериментальні результати в галузі технічних наук.

Дисертація є закінченим науковим дослідженням, зміст і спрямованість її відповідає паспорту спеціальності «механіка деформівного твердого тіла». Автореферат відповідає змісту дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає всім вимогам щодо кандидатських дисертацій. Автору її, Каірову Володимирі Олексійовичу, може бути присуджено науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент

Член-кореспондент НАН України,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач відділу міцності і надійності  
механічних систем Інституту технічної  
механіки НАН України та Державного  
космічного агентства України




17.11.2016

В. С. Гудрамович

Підпис професора Гудрамовича В. С. засвідчую.

Вчений секретар ІТМ НАНУ і ДКАУ,  
ст. наук. співробітник, к.т.н.



 О. М. Маркова

*Вх № 5 від 22.11.16р.*