

ВІДЗИВ

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Грищака В.З. на дисертаційну роботу Каірова В. О. «Напружено-деформований стан підкріплених конструктивно неоднорідних оболонок з отворами та приєднаними твердими тілами при динамічному навантаженні», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Тонкостінні оболонки обертання відносяться до відповідальних технічних систем та знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства України, зокрема у транспортному машинобудуванні, аерокосмічній техніці, промисловому та громадському будівництві, суднобудуванні. У більшості випадків оболонкові конструкції мають неоднорідну структуру, пов'язану, з наявністю технологічних отворів, підкріплюючих ребер, приєднаних до поверхні твердих тіл, тощо. Вказані конструктивні неоднорідності впливають на амплітудно-частотні характеристики і напружено-деформований стан (НДС) тонкостінних оболонок та є концентраторами напружень, які необхідно враховувати при розрахунку конструкцій на міцність. В умовах експлуатації більшість із оболонкових конструкцій піддаються інтенсивному динамічному зовнішньому навантаженню. Врахування зазначених факторів значно ускладнює математичні моделі динамічної поведінки і вимагає розробки нових підходів до розв'язання задач динамічної міцності тонкостінних оболонок із локалізованими особливостями та чисельних алгоритмів. Одним з найбільш ефективних методів для розв'язку задач даного класу є метод скінченних елементів (МСЕ), що використовується у даній дисертаційній роботі. Для одержання достовірного розподілу напружень і деформацій необхідно у чисельному алгоритмі враховувати реальні геометричні та жорсткісні параметри досліджуваних механічних систем та особливості зовнішнього навантаження. Це дозволяє надати надійні рекомендації на стадії проектування конструкцій нової техніки. Таким чином, нагальна потреба до вдосконалення методів дослідження **поведінки та напружено-деформованого стану тонких оболонок обертання з конструктивними особливостями є актуальною науково-технічною проблемою і має важливе наукове значення з точки зору механіки деформівного твердого тіла.**

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до координаційного плану Міністерства освіти і науки України, зокрема наукових планів Донецького національного університету за держбюджетними темами:

«Розробка моделей та методів дослідження міцності і стійкості тонкостінних конструкцій, які знаходяться під дією силових і температурних полів» (№ ДР 0113U001528);

«Розробка методів дослідження міцності і стійкості тонкостінних конструкцій при дії різного виду статичних і динамічних навантажень» (№ ДР 0116U002522), а також за науково-дослідними держбюджетними темами Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова:

«Розробка математичних моделей і методів дослідження коливань і напружено-деформованого стану лопаткових і оболонкових елементів газотурбінних двигунів з урахуванням конструктивних і технологічних факторів» (№ ДР 0114U002009);

«Розробка математичних моделей і методів дослідження коливань і напружено-деформованого стану тонкостінних оболонкових елементів з урахуванням конструктивних неоднорідностей» (№ ДР 0115U001959).

3. Наукова новизна одержаних результатів визначається наступним:

- вперше запропоновано математичну модель аналізу напружено-деформованого стану оболонок при динамічному навантаженні з урахуванням конструктивних особливостей геометричного та жорсткісного характерів;

- надано подальший розвиток чисельного підходу до розв'язування задач динаміки неоднорідних оболонкових конструкцій;

- вперше запропоновані розрахункова методика, алгоритм та програмне забезпечення щодо визначення напружено-деформованого стану, частот і форм власних коливань неоднорідних оболонкових конструкцій;

- отримані нові чисельні результати на підставі запропонованого підходу з встановленням розподілу амплітудно-частотних характеристик і полів динамічних напружень в складних неоднорідних оболонкових конструкціях, обумовлених спільною присутністю отворів, систем приєднаних тіл, підкріплюючих ребер і характером їх розташування;

- здобуті нові експериментальні дані за методами голографічної інтерферометрії про характер поведінки неоднорідних оболонок з отворами, з

наявністю ребер жорсткості та приєднаними тілами при динамічному зовнішньому навантаженні.

4. Достовірність одержаних результатів і обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації, забезпечується використанням класичної теорій та строгих наукових методів, порівнянням чисельних результатів роботи на базі запропонованого алгоритму розрахунку з результатами інших авторів та експериментальними даними дослідження.

5. Основний зміст роботи

Дисертаційна робота об'ємом 182 сторінки складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 35 рисунків, 14 таблиць, 5 додатків та 175 літературних посилань.

У вступі до дисертаційної роботи обговорено актуальність наукової проблеми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, мету і основні задачі дослідження, предмет та методи дослідження, наукову новизну отриманих результатів, формулюються положення про вірогідність одержаних результатів, персональний внесок автора дисертаційного дослідження, теоретичне та практичне значення роботи.

Перший розділ присвячено аналітичному аналізу сучасного стану проблеми, яка вирішується у дисертаційній роботі, формулюються основні задачі та мета роботи. Огляд теоретичних і експериментальних досліджень в напрямку динамічних процесів та напружено - деформованого стану тонких оболонок обертання як за об'єктами, так і за методами є досить повним і докладним, охоплює роботи, виконані в різних вітчизняних та закордонних наукових школах. На базі аналітичного огляду сучасного стану проблеми обговорюється актуальність дисертаційного дослідження.

У другому розділі надаються основні співвідношення теорії дискретно підкріплених оболонок обертання з локальними неоднорідностями. Формулюються основні положення теорії тонких пружних оболонок та підкріплюючих ребер. На основі фундаментального варіаційного принципу Лагранжа отримані узагальнені рівняння коливань і напружено-деформованого стану оболонкової системи відповідно до лінійної теорії оболонок з урахуванням конструктивних неоднорідностей. Формулюються граничні та

початкові умови. Надаються основні залежності класичної теорії оболонок з урахуванням впливу приєднаних твердих тіл.

Третій розділ присвячено розробці математичних моделей, які описують власні коливання оболонок обертання з локальними конструктивними неоднорідностями у вигляді отворів, приєднаних твердих тіл, підкріплюючих ребер, тощо. У класичній постановці на базі методу скінчених елементів запропоновані алгоритми розрахунку частот та форм коливань вказаних механічних систем. Обговорюється чисельна збіжність здобутих результатів та надаються порівняння з існуючими розв'язками та результатами експерименту.

Четвертий розділ пов'язаний з розв'язком проблеми вимушених гармонічних коливань та НДС неоднорідних циліндричних оболонок обертання, підкріплених ортогональною системою ребер при динамічному зовнішньому навантаженні з урахуванням отворів та приєднаних тіл на основі запропонованих автором роботи алгоритмів, які базуються на методі скінчених елементів. Обчислення амплітуд коливань виконується методом розкладання переміщень за власними формами. Важливо відзначити, що в розділі запропонована математична модель на основі методу суперпозиції мод з урахуванням демпфування оболонкової системи. Досліджено вплив поздовжньо-поперечного підкріплення на амплітуди коливань і динамічні напруги оболонок при гармонічному динамічному навантаженні. Визначено величини максимальних динамічних напружень в оболонці. Виконано порівняння отриманих рішень з результатами розрахунку з використанням пакета ANSYS. У висновках до розділу надаються практичні рекомендації до вибору параметрів досліджених систем.

У **п'ятому розділі** надано опис та обговорюються результати виконаного автором експериментального дослідження на основі запропонованого експериментального комплексу із застосуванням методу голографічної інтерферометрії та сучасних методик дослідження, які дали змогу виявити характерні особливості досліджуваних складних оболонкових конструкцій при динамічному зовнішньому навантаженні. Надаються результати порівняння експериментальних даних з теоретичними розрахунками автора для підтвердження ефективності запропонованих математичних моделей та алгоритмів чисельної реалізації.

6. Практична значимість і цінність виконаних в роботі досліджень полягає в тому, що одержані результати (у вигляді виявлених закономірностей і розроблених алгоритмів та програм чисельної реалізації) можуть бути використані в проектних та науково-дослідницьких організаціях машинобудівного та суднобудівного профілю. Зокрема результати дослідження знайшли використання в ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» при проектуванні та розрахунках нових та існуючих конструкцій ГТД, в ДП «Суднобудівний завод ім. 61 Комунара» та ВАТ «УкрНДІ ТСМ» – для прогнозування віброміцності спеціальних суднових конструкцій, а також в Донецькому національному університеті та в Національному університеті кораблебудування при виконанні науково-дослідних держбюджетних тем і в навчальному процесі, що підтверджено відповідними актами впровадження.

7. Достовірність результатів досліджень і обґрунтованість наукових положень обумовлені:

- 1) коректністю постановок задач;
- 2) відповідністю одержаних нових результатів існуючим уявленням про процес деформування та коливань оболонкових конструкцій;
- 3) використанням для описання поведінки оболонок, а також для розв'язання задач про їх деформування, загально визнаного методу скінченних елементів з подальшим розвитком запропонованого алгоритму чисельного аналізу;
- 4) достатньо широким тестуванням застосованих алгоритмів та складених на їх основі програм з метою одержання розрахунків на ЕОМ шляхом порівняння результатів аналізу з даними, отриманими іншими авторами з використовували відмінних підходів до розв'язку аналогічних задач, а також з результатами розрахунку, отриманими із застосуванням пакету прикладних програм ANSYS, і порівнянням результатів розрахунків досліджуваних оболонкових конструкцій з даними експериментального дослідження, отриманих автором та іншими дослідниками

8. Робота пройшла широку апробацію на відомих міжнародних і національних конференціях та семінарах у провідних установах, що підтверджується тезами 7 доповідей. За темою дисертації та за її змістом в фахових наукових виданнях автором опубліковано 14 наукових праць, які досить повно відображують основні положення та результати дисертаційної роботи. З них 3 публікації виконані автором самостійно.

9. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Дисертація і автореферат викладені в логічній послідовності, добре оформлені. Зміст автореферату, ідентичний до змісту основних положень дисертації, досить повно відображає сутність отриманих результатів.

10. В якості зауважень до дисертаційної роботи слід зазначити:

- В аналітичному огляді сучасного стану експериментальних досліджень оболонкових конструкцій доцільно було б послатися на монографію О.О. Ларіонової, В.Ф. Рожковського, Ю.В. Сохач «Голографічні технології в авіаційно-космічній техніці», Дніпропетровськ, 2003 р.
- Порівняння результатів дослідження з публікаціями Заруцкого В.А. Вынужденные колебания продольно подкрепленной цилиндрической оболочки, несущей локально присоединенную массу / В.А. Заруцкий // Прикл. механика. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 50-56, Малинина А.А. Исследование динамических характеристик тонкостенных конструкций с присоединенными грузами / А.А. Малинин // Прикл. механика. – 1983. – Т. 19, № 2. – С. 64-67 надало б більшої впевненості у результати першого розділу.
- Для надання практичних рекомендацій щодо проектування зокрема шпангоутних конструкцій доцільно було б провести аналіз з використанням теорії конструктивно - ортотропних оболонок у порівнянні з підходом, пов'язаним з дискретним характером розташування ребер жорсткості.
- З точки зору аналізу динамічних процесів підкріплених оболонок важливим елементом, на погляд опонента, було б дослідження явища, пов'язаного з інверсією розташування елементів жорсткості.
- З точки зору опонента не існує поняття «основних» та «неосновних» форм коливань (наприклад, стор. 129). Слід говорити про «першу», «другу» та «вищі» форми коливань досліджуваної системи.
- У загальних висновках до дисертаційної роботи доцільно було б вказати ті нові механічні ефекти, які виявлені в результаті дослідження.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Вважаю, що розглянута дисертація в цілому є закінченим науковим дослідженням напружено-деформованого стану конструктивно-неоднорідних оболонкових конструкцій при динамічному навантаженні, має наукову новизну, практичну значимість, логічно викладена та відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій та «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – **Каіров Володимир Олексійович** за розробку ефективного підходу до розв'язування задачі про напружено-деформований стан конструктивно неоднорідних оболонок при динамічному навантаженні заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю **01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.**

Офіційний опонент,
завідувач кафедри прикладної математики і механіки
Запорізького національного університету,
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

В.З. Гришак

Вчений секретар



В.П. Снежко

8x N 68 sig 22.11.2016p.