

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Калашнікова Олександра Борисовича

«Стійкість та власні коливання пружних неоднорідних оболонок при термомеханічних навантаженнях»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Актуальність обраної теми. Розвиток техніки привів до широкого застосування різноманітних оболонкових конструкцій, які зазнають не лише механічних навантажень, а й знаходяться під впливом температурного поля. Проблеми теплового впливу виникають, наприклад, у будівництві, машинобудуванні, реакторобудуванні, металургії, аерокосмічній промисловості та інших галузях, де дія температурного поля має значний, а інколи й вирішальний вплив на міцність і стійкість конструкції. Будучи важливими конструктивними елементами літальних апаратів і ракет, надводних кораблів і підводних човнів, всіляких приладів та апаратів, резервуарів, будівельних споруд, оболонки можуть бути: підкріплені ребрами і потовщеннями або послаблені каналами, стоншеннями, отворами, мати злами серединної поверхні. Зростаюче застосування мають багатошарові оболонки, матеріалами шарів яких є композиційні матеріали. Використання композитів, в тому числі волокнистих, дозволяє створювати більш тонкі конструкції, які витримують різке зростання експлуатаційних навантажень (зокрема, термомеханічних).

Дисертаційна робота присвячена актуальній темі – розробці ефективного методу комплексного дослідження процесів докритичного нелінійного деформування, втрати стійкості, закритичної поведінки та коливань широкого класу тонких пружних неоднорідних оболонок, які перебувають в умовах складних термомеханічних навантажень. Створений метод, що спирається на розробку нової модифікації багатошарового універсального скінченного елемента, дозволяє розглядати оболонки з геометричними і фізичними неоднорідностями по товщині, в тому числі враховувати наявність односпрямованого волокнистого композитного матеріалу в її шарах.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розробці скінченноелементного методу комплексного аналізу геометрично нелінійного деформування, стійкості, закритичної поведінки та власних коливань складних

оболонкових конструкцій неоднорідної структури при дії статичних термомеханічних навантажень, а також у розробці методології моделювання термопружних характеристик композитного односпрямованого волокнистого матеріалу та побудові на цій основі нової модифікації універсального тривимірного багатошарового скінченного елемента.

Предметом дослідження є чисельні методи та алгоритми розв'язування задач геометрично нелінійного деформування, втрати стійкості та власних коливань оболонок з геометричними і фізико-механічними неоднорідностями при дії термомеханічних навантажень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до загального плану наукових досліджень кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) та Науково-дослідного інституту будівельної механіки (НДІБМ) КНУБА. Дослідження проведені в межах науково-дослідних робіт, що виконувались за напрямком 05 – «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» за дорученням Міністерства освіти і науки України: «Теоретичні основи аналізу нелінійного деформування та стійкості пружних неоднорідних оболонок складної структури при дії навантажень різної природи» (№ ДР 0111U002219), «Нелінійне деформування, стійкість, закритична поведінка та коливання оболонкових конструкцій спеціальної техніки в екстремальних термосилових умовах експлуатації» (№ ДР 0121U001004).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і здобутих результатів забезпечується строгістю постановки задач; використанням обґрунтованих і раніше апробованих методів, що побудовані на основі положень моментної схеми скінчених елементів; збіжністю розв'язків у кожній задачі; хорошим узгодженням результатів для широкого класу неоднорідних оболонок з результатами інших авторів, а також з даними, одержаними за допомогою програмних комплексів ЛІРА-САПР, SCAD, NASTRAN.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні нового методу комплексного аналізу стійкості та власних коливань пружних оболонок зі змінною товщиною і складною геометричною та фізичною структурою під дією статичного термомеханічного навантаження. Для цього був розроблений новий двоетапний алгоритм розв'язування на кроці навантаження задач геометрично нелінійного деформування та власних коливань оболонок, враховуючи їх попередній напружений та деформований стан.

Вперше було створено нову модифікацію універсального тривимірного багатошарового скінченного елемента, матеріали шарів якого є односпрямованими волокнистими композитами. Отримав подальший розвиток алгоритм автоматизованого розв'язування задач нелінійного деформування та стійкості пружних оболонок за умов термомеханічного навантаження, який поширено на новий клас задач – модальний аналіз конструкції на кожному кроці навантаження з урахуванням переднапруженого та деформованого станів.

Розв'язано нові задачі дослідження особливостей впливу на деформування, втрату стійкості та власні коливання оболонок різних геометричних параметрів оболонкових конструкцій та параметрів складного термомеханічного навантаження.

Повнота викладення результатів досліджень у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, серед яких: 4 статті у виданнях, що включені до міжнародних науково-метричних баз, 7 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б, 9 публікацій у збірниках матеріалів та доповідей українських та міжнародних наукових конференцій.

Загальні висновки за дисертацією є достатньо чіткими, лаконічними і цілком відбивають викладені в роботі результати досліджень.

Автореферат дисертації за змістом і викладом відповідає дисертаційній роботі.

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 196 найменувань і додатку.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета та поставлені завдання для її досягнення, визначені наукова та практична цінність.

Перший розділ містить огляд та аналіз наукових праць і досліджень, що пов'язані з темою дисертації. Висвітлено сучасні проблеми розв'язування нелінійних задач стійкості та власних коливань тонких неоднорідних оболонок. Зазначено, що модальний аналіз слід виконувати із врахуванням переднапруженого стану від дії статичних навантажень, що є важливим як при проектуванні, так і дозволяє більш точно визначати момент втрати стійкості конструкції. Розглянуто питання розрахунку багатошарових оболонок, шарами яких є волокнисті композиційні матеріали. Сформульовано переваги застосування геометрично нелінійної теорії термопружності та методу скінченних елементів у формі моментної схеми при розв'язанні поставлених задач. На основі наведеного аналізу сучасного стану досліджень вибрано напрямок досліджень.

Другий розділ присвячено постановці задачі та викладенню вихідних теоретичних положень, на яких в рамках єдиної методології будується метод комплексного дослідження статичних задач нелінійного деформування, стійкості та власних коливань пружних неоднорідних оболонок при дії термомеханічних навантажень. Під неоднорідністю оболонки автор розуміє її особливості по товщині у вигляді неперервно- та ступінчасто-змінної товщини, зламів, отворів, багатошарової структури матеріалу.

Скінченноелементна модель неоднорідної оболонки базується на геометрично нелінійних співвідношеннях термопружності в приростах з врахуванням неklasичних гіпотез: деформівної прямої та сталості напружень обтиснення волокон у шарах оболонки. Розрахункова схема спирається на підхід, за яким моделювання неоднорідної оболонки за товщиною реалізується універсальним тривимірним скінченним елементом, що має розширені можливості: може одночасно моделювати оболонки гладкі та ступінчато-змінної товщини, зі зламами, багатошарові тощо. Використовується модель багатошарової оболонки, в якій шари об'єднані між собою в суцільний монолітний пакет. Дія на оболонку механічних і температурних полів розглядається як спільний процес навантаження, який задається у вигляді функції через загальний параметр навантаження. Температурне поле в об'ємі оболонки вважається відомою і незалежною від напружено-деформованого стану функцією координат. Для побудови розв'язувальних рівнянь використовується моментна схема скінченних елементів.

Для аналізу нелінійного термопружного деформування, втрати стійкості, докритичної і закритичної поведінки та власних коливань конструкції застосовано комплексний підхід. Алгоритм побудовано як двоетапну процедуру, яка реалізується на кожному кроці приросту навантаження. Модальний аналіз оболонки виконується з урахуванням попередньо напруженого та деформованого станів. Розв'язування задач нелінійного деформування та стійкості оболонки виконується комбінованим кроковим алгоритмом, який поєднує метод продовження розв'язку за параметром та ітераційний метод Ньютона-Канторовича. Розроблений комплексний підхід дозволяє визначати момент втрати стійкості оболонки як за статичним, так і за динамічним критеріями.

У **третьому розділі** описано побудову нової модифікації універсального ізопараметричного восьмивузлового багатошарового 3D скінченного елемента з полінійними функціями форми, матеріалами шарів якого є волокнисті композити. Визначення ефективних характеристик композиційного матеріалу

здійснюється за структурними мікромеханічними параметрами його компонентів на основі відомих методів прогнозування термопружних сталей для заданої моделі композиту. Протестована можливість застосування розробленої методики моделювання властивостей односпрямованого волокнистого композиційного матеріалу в скінченноелементній моделі багатошарової оболонки. Показана ефективність та перспективність розробленого підходу.

Четвертий розділ присвячено обґрунтуванню надійності та ефективності розробленого методу. Дисертант виконав великий обсяг розрахунків при дослідженні впливу різноманітних параметрів неоднорідних оболонкових конструкцій на їх напружено-деформований стан, втрату стійкості та власні коливання при різних термомеханічних впливах. Проведено чисельні дослідження збіжності та точності розв'язків, виконано порівняння з результатами, отриманими із використанням програмних комплексів ЛІРА-САПР і SCAD. Продемонстровано можливості методу по виявленню точок розгалуження розв'язків, перетворення їх на критичні через введення відповідних недосконалостей початкової форми оболонки та виходу на нові гілки розрахунку. Показано можливості методу при аналізі власних коливань композитної оболонки складеної форми (біконічна та сферична), яка є моделлю обтічника літального апарату.

У висновках чітко сформульовані новизна, теоретична і практична цінність результатів дисертаційної роботи.

Практичне значення результатів роботи і використання результатів досліджень. Розроблена методика реалізована у вигляді програмного комплексу, який може застосовуватись для дослідження процесів нелінійного деформування, втрати стійкості та власних коливань тонких пружних неоднорідних оболонок. Результати роботи впроваджені в Науково-дослідному інституті будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури при виконанні держбюджетних тем та використані у навчальному процесі при підготовці інженерів-будівельників.

До дисертаційної роботи є такі зауваження та рекомендації:

1. Недостатньо повно розглянуті питання збіжності розв'язків для класу непологих панелей: розрахунки обмежені прикладами непологих гладких і ребристих панелей. Не досліджено, як впливає наявність послаблень (каналів і отворів) на процес збіжності для класу непологих панелей.

2. Алгоритм розрахунку в обчислювальному комплексі обмежений реалізацією регулярної скінченноелементної моделі оболонки, що не дозволяє

розглядати замкнену оболонкову конструкцію, при цьому теоретичні розробки не мають цих обмежень.

3. У теоретичному плані в дисертації закладено можливість розвитку алгоритму на розподіл температури за товщиною оболонки як ламаної. Можна рекомендувати реалізувати у подальшому цю можливість.

4. У задачах, де досліджується вплив різних законів нагріву обшивки і каналів на стійкість квадратних у плані сферичних панелей (підрозділ 4.5), немає пояснень, як враховано різницю в температурах обшивки і каналів у місцях їхнього стикування.

Вказані зауваження не зменшують позитивної оцінки виконаних досліджень і дисертації в цілому.

Висновки опонента. Дисертаційна робота Калашнікова Олександра Борисовича є завершеним науковим дослідженням. Сформульовані в роботі наукові положення є достатньо обґрунтованими, а їхня достовірність і новизна не викликають сумніву.

За напрямом обраних і вирішених питань дисертаційна робота «Стійкість та власні коливання пружних неоднорідних оболонок при термомеханічних навантаженнях» відповідає паспорту спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка і профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04. Робота відповідає діючим вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри математики та інформатики
Державного закладу «Луганський національний
університет імені Тараса Шевченка»

 Юрій КОЗУБ

Особистий підпис д.т.н. проф. Ю.Г. Козуба засвідчую
Учений секретар Державного закладу
«Луганський національний
університет імені Тараса Шевченка»
кандидат історичних наук, доцент





Ольга ДРОБИШЕВА