

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 теми дисертації. Оболонки за своїм функціональним призначенням та умовами експлуатації можуть мати різні конструктивні особливості як в плані, так і по товщині, бути багатошаровими та знаходитись в полі дії комбінованого термомеханічного навантаження. Намагання використати переваги нових штучних сполук приводить до інтенсивного впровадження в шарах оболонок волокнистих композитів матеріалів. Наявність усіх цих факторів значно ускладнює оцінку несучої спроможності оболонок, в якій важливе місце займає аналіз стійкості та власних коливань.

Дисертація Калашнікова О.Б. присвячена актуальній задачі будівельної механіки, а саме розробці методу дослідження стійкості та власних коливань оболонкових конструкцій неоднорідної структури при дії статичних термомеханічних навантажень, а також у розробці нової модифікації універсального тривимірного багатошарового скінченного елемента, матеріалами шарів якого є односпрямовані волокнисті композити.

Розроблені та представлені в дисертації метод і алгоритм комплексного аналізу нелінійного деформування, втрати стійкості та власних коливань оболонкових систем, що знаходяться під впливом термомеханічного навантаження, дають можливість виявити параметри оболонки, за яких забезпечується її стійкість, оцінити межі безпечної дії термомеханічних навантажень, при яких оболонка не втрачає міцності, визначити вплив навантаження на її власні частоти та форми коливань. Усе це визначає актуальність теми та практичну значущість роботи.

Аналіз змісту дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

Наведена в додатку дисертації довідка свідчить про впровадження дисертаційної роботи Калашнікова О.Б. у наукових дослідженнях кафедри будівельної механіки та Науково-дослідного інституту будівельної механіки

Київського національного університету будівництва і архітектури, які виконувалися за дорученням Міністерства освіти і науки України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання і методи дослідження, наведено загальну характеристику роботи.

У першому розділі на підставі огляду літературних джерел надано оцінку стану досліджень за темою дисертації та вибрано напрямок досліджень. Зазначено, що розв'язання задач втрати стійкості гнучких оболонок доцільно виконувати з позицій геометрично нелінійної теорії термопружності з використанням моментної схеми скінченних елементів. Відмічено важливість проведення модального аналізу оболонок із урахуванням переднапруженого стану для визначення моменту втрати стійкості конструкції. Висвітлено проблеми моделювання багатошарових оболонок, шари яких виготовлені з волокнистих композитних матеріалів. Проаналізовано особливості та певні обмеження сучасних програмних комплексів при проведенні наукових досліджень щодо поведінки пружних неоднорідних оболонок.

У другому розділі викладено постановку задачі та приведено вихідні теоретичні положення, на яких побудований метод дослідження задач нелінійного деформування, стійкості, закритичної поведінки та власних коливань тонких пружних оболонок неоднорідної структури при статичній дії термомеханічних навантажень. Оболонки можуть мати складну форму серединної поверхні, гладко- і ступінчасто-змінну товщину, отвори та багатошарову структуру матеріалу.

Тонкі неоднорідні оболонки розглядаються як тривимірні тіла на основі тривимірної теорії термопружності. За товщиною оболонки моделюються одним тривимірним ізопараметричним скінченним елементом з полілінійними функціями форми, який є універсальним, звичайно, у своїх межах. Побудова розв'язувальних рівнянь виконується з використанням моментної схеми скінченних елементів.

Дослідження процесів нелінійного деформування оболонок відбувається на основі загальної лагранжевої постановки варіаційної задачі у приростах. Прийнято неklasичну кінематичну гіпотезу деформівної прямої, розподіл переміщень вздовж якої заданий лінійним. Шари оболонки жорстко поєднані між собою в монолітний пакет. Температурне поле прийнято як відома і незалежна від напружено-деформованого стану функція координат. Розглядаються великі переміщення і малі деформації, компоненти яких є лінійними функціями напружень.

Властивості матеріалів шарів розглядаються як лінійно-пружні, що описуються узагальненим законом Дюамеля-Неймана. Представлено розроблений метод і алгоритм комплексного аналізу стійкості та власних коливань пружних оболонок при термомеханічних навантаженнях, який побудовано як двохетапний алгоритм на кроці термомеханічного навантаження. Модальні характеристики оболонки визначаються з урахуванням попередньо напруженого та деформованого станів. Момент втрати стійкості конструкції може бути визначений одночасно за статичним і динамічним критеріями.

У третьому розділі наведено розроблену в рамках скінченноелементної моделі багатошарової оболонки методику моделювання властивостей односпрямованого волокнистого композитного матеріалу та розроблену на цій основі нову модифікацію універсального тривимірного багатошарового скінченного елемента, матеріалами шарів якого є як традиційні матеріали, так і композити, армовані паралельними безперервними волокнами. Нова розширена версія скінченного елемента призначена для розв'язання задач стійкості та модального аналізу багатошарових композитних оболонок ступінчасто-змінної товщини при дії статичних термомеханічних навантажень.

На прикладі фізико-механічних даних вуглепластика та склопластика виконано оцінку ефективності застосування при розрахунках мікромеханічних методик прогнозування термопружних сталей односпрямованих композитів. Приведено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану багатошарових композитних оболонок, який підтвердив перспективність застосування розробленого елемента.

У четвертому розділі розглянуто малодосліджені та нові задачі стійкості і власних коливань оболонок при термомеханічних навантаженнях. Велику увагу приділено порівняльному аналізу розв'язків, отриманих для низки спеціально підібраних задач. Виконано порівняння з розв'язками, що отримані із залучанням вітчизняних сертифікованих програмних комплексів ЛІРА-САПР і SCAD, які були для цього адаптовані.

Наведено нові результати щодо досліджень впливу параметрів конструктивних елементів оболонок, температурних і механічних навантажень, граничних умов на стійкість і коливання конструкцій. Надано діаграми, що визначають залежності прогинів та частот власних коливань оболонок від величини прикладеного термомеханічного навантаження. Втрата стійкості оболонок визначалася одночасно за статичним і динамічним критеріями. При наявності точок розгалуження на кривих «навантаження-прогин» внесення початкового збурення форми серединної поверхні оболонки дало змогу вийти

на нову гілку розв'язку.

Аналіз власних коливань складеної оболонки обтічника ракети-носія, виготовленого з односпрямованого волокнистого композиту, підтвердив ефективність і дієвість розробленого методу.

Наукова новизна роботи полягає у такому:

- розроблено новий метод комплексного дослідження стійкості та власних коливань пружних оболонок неоднорідної за товщиною геометричною та фізичною структурою при статичній дії складного термомеханічного навантаження;

- побудовано новий двохетапний алгоритм розв'язування на кроці навантаження задач геометрично нелінійного деформування та власних коливань оболонок з урахуванням попередньо напруженого та деформованого станів;

- розроблено нову модифікацію універсального тривимірного багатощарового скінченного елемента, матеріалами шарів якого є односпрямовані волокнисті композити;

- набув подальшого розвитку алгоритм автоматизованого розв'язування задач нелінійного деформування та стійкості пружних оболонок при дії термомеханічних навантажень, який розвинений на виконання модального аналізу конструкції на кроці навантаження з урахуванням переднапруженого та деформованого станів;

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

Достовірність результатів базується на коректній постановці задачі, використанні обґрунтованих та перевірених методів, побудованих на основі положень моментної схеми скінчених елементів, збіжності розв'язків, порівнянні отриманих результатів з результатами інших авторів та розрахунками, одержаними за допомогою сертифікованих програмних комплексів ЛІРА-САПР, SCAD, NASTRAN.

Практичне значення роботи полягає в розробці нового скінченноелементного методу комплексного дослідження напружено-деформованого стану, стійкості, закритичної поведінки та власних коливань різних класів неоднорідних оболонок при дії комбінованих термомеханічних навантажень, а також у розробці нової модифікації універсального

тривимірного багат шарового скінченного елемента, матеріалами шарів якого є односпрямовані волокнисті композити. Метод і програмне забезпечення впроваджені в Науково-дослідному інституті будівельної механіки та на кафедрі будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури при виконанні держбюджетних тем та в навчальному процесі.

Публікації за темою дисертації. Результати роботи опубліковані в 20 наукових працях, 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 міжнародних і вітчизняних наукових конференцій.

Дотримання академічної доброчесності. У дисертаційній роботі не виявлено порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Зміст автореферату повно відображає основні положення дисертації, його оформлення відповідає вимогам.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Методологія моделювання термопружних характеристик композитного матеріалу звужена розглядом в шарах оболонки лише односпрямованого волокнистого композиту. Вважаю, що доцільним було б розширити метод на інші види композитних матеріалів.

2. При моделюванні односпрямованого композитного волокнистого матеріалу враховується обмежене коло методик прогнозування ефективних термопружних характеристик.

3. У роботі застосовується гіпотеза щодо лінійного в шарі розподілу температури за товщиною оболонки. Не пояснено, як реалізується розподіл температур на ділянках ступінчасто-змінної товщини, наприклад в задачі про нерівномірний нагрів у плані оболонок з каналами (стор. 160 дисертації).

4. На мій погляд не зовсім вдалим є використання термінології щодо скінченного елемента: «розташовувати ексцентрично відносно серединної поверхні». Серединна поверхня є головною характеристикою як самої оболонки, так і скінченного елемента. Вважаю, що більш вдалим є термін «зміщення», що також використовується в дисертації.

Наведені зауваження не зменшують позитивну оцінку виконаних досліджень та дисертації в цілому.

Загальний висновок по дисертаційній роботі. Розроблений метод є відображенням сучасних тенденцій в теорії розрахунку пружних оболонок. Дисертаційна робота «Стійкість та власні коливання пружних неоднорідних оболонок при термомеханічних навантаженнях» містить нові наукові результати в галузі будівельної механіки, виконана на високому науковому рівні та відповідає діючим вимогам, встановленим для кандидатських дисертацій. Вважаю, що автор дисертації Калашніков Олександр Борисович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

виконуюча обов'язки завідувача

кафедри вищої математики

Національного транспортного університету

МОН України

кандидат технічних наук, доцент

Н.В. Шлюнь

Особистий підпис к.т.н., доц. Н.В. Шлюнь засвідчую

Вчений секретар Національного

транспортного університету

к.т.н., професор



О.І. Мельниченко