

Сіренко В. М.

Конструкторське бюро «Південне ім. М.К. Янгеля» (м. Дніпро), Україна

ФУНКЦІОНАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ КОМБІНОВАНОГО ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Анотація. Метою доповіді є обговорення деяких сучасних проблем моделювання, методів і алгоритмів функціональної здатності оболонкових конструкцій в умовах температурного і комбінованого силового навантаження з урахуванням технологічних та експлуатаційних особливостей. Основна увага приділяється розробці і створенню ефективних моделей і методів розрахунку несучої здатності складних оболонкових систем на базі фізичного експериментального дослідження та віртуального експерименту із застосуванням сучасних аналітичних і скінчено-елементних комп'ютерних технологій.

Вступ. Ускладнення конструктивних форм сучасного машинобудування, зокрема конструкцій і систем літальних апаратів, інших галузей промисловості при наявності технологічних та експлуатаційних особливостей призводить до необхідності подальшого розвитку механіки з вирішенням проблем побудови уточнених моделей із створенням на базі сучасних комп'ютерних технологій нових експериментально-теоретичних методів дослідження і ефективних розрахункових схем.

Проектування реальних конструкцій і систем на базі математичних моделей дозволяє застосовувати переваги як експериментального, так і теоретичного досліджень з виявленням у відносно короткі терміни та без істотних затрат основні властивості досліджуваної конструкції та характер функціонування її в експлуатаційних умовах. В значній мірі вирішення цієї проблеми сприяє впровадження в промисловість прогресивних аналітичних і чисельних підходів із застосуванням віртуальних експериментів з метою досягнення необхідної конкурентної здатності виробів нового покоління.

Необхідно зауважити, що для використання багатьох програмних обчислювальних комплексів аналізу несучої здатності оболонкових конструкцій при температурному і силовому комбінованому навантаженні однією з найбільш актуальних і складних є проблема побудови адекватних комп'ютерних моделей геометрії реальних об'єктів з



конструктивними особливостями: таких, як наявність підкріплюючого силового набору, отворів довільних розмірів і форм, ділянок змінної геометрії і жорсткості, вплив характеру анізотропії, багатошаровості та пластичних властивостей матеріалу, локалізованих пристроїв, та інші. При цьому суттєва увага приділяється визначенню реальних механічних характеристик застосованих матеріалів.

Теоретичні аналітико-чисельні дослідження задач математичної фізики для областей складної конфігурації, до яких відносяться проблеми аеродинаміки, тепло-масо-переносу, міцності, статичної та динамічної стійкості конструкцій нової техніки залишаються на часі у зв'язку із необхідністю створення ефективних математичних моделей фізичних полів, зокрема силових, поєднання водночас аналітичної і геометричної інформації, застосування новітніх теорій оболонки обертання, ефективного комп'ютерного забезпечення на базі методу скінченних елементів із застосуванням тривимірних і оболонкових елементів, нових технологій формоутворення геометричних об'єктів, наприклад таких, як впровадження теорії R-функцій (RFM) в математичному моделюванні геометрії досліджуваної конструкції та аналізу фізичних полів, Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Manufacturing (CAM), Computer Aided Geometric Modelling (CAGM), та інших сучасних технологій геометричного моделювання, які розроблені, зокрема, вітчизняними дослідниками.

Слід відзначити, що забезпечення якості розрахунково-експериментальних досліджень на етапі проектування силових елементів конструкцій у значній мірі залежить від методичного та технічного забезпечення фізичних випробувань. Особливу увагу заслуговує розробка методології нормативних основ обґрунтування ресурсу конструкцій, а також проблеми, що визначаються внутрішніми тенденціями розвитку механіки і практичними викликами конструкцій спеціального призначення.

– *Алгоритм геометричного моделювання оболонкових конструкцій з конструктивними та технологічними особливостями, на базі методу скінченних елементів (МСЕ) на основі критеріїв вичерпання несучої здатності конструкцій.*

Автоматизація побудови геометричної моделі складної оболонкової конструкції із застосуванням запропонованих САПР вирішується на базі двох стадій: 1) автоматизації побудови комп'ютерного представлення геометричної моделі; 2) автоматизації побудови дискретної скінчено-елементної моделі. Показано, що від способу вирішення першого завдання залежать зручність, практичність, швидкість побудови і модернізації геометричних моделей у процесі проектування. Другий модуль, як правило, виступає в ролі препроцесора для обчислювальних методів САПР і, як



наслідок, на результати його роботи накладаються жорсткі вимоги щодо форми скінченних елементів і геометричної структури сітки, порушення яких може призводити до значних обчислювальних погрішностей результатів. На основі опису методів і підходів до подання топології геометричних об'єктів, методів отримання та оптимізації дискретних геометричних моделей, запропоновано їх класифікацію з урахуванням використання теорії R-функцій, в якій використовуються безперервні в функції для опису теоретико-множинних операцій. Таким чином, значна увага приділяється функціональному підходу до геометричного моделювання, який є найбільш загальним і універсальним в рішенні задач геометричного моделювання. Що стосується визначення напружено-деформованого стану оболонкових систем, сумісно із фізичним експериментом застосовується скінчено-елементний підхід, в якому розв'язок задачі в переміщеннях зводяться до вирішення систем алгебраїчних лінійних рівнянь.

В якості однієї із актуальних задач розглянуто математичну модель оболонкової системи під внутрішнім тиском при наявності реальної діаграми пружно-пластичних характеристик матеріалу із застосуванням методу скінченних елементів у програмному комплексі «МІРЕЛА+». Зроблені висновки про розташування найбільш «загрозливих» зон руйнування і впливу нелінійних властивостей матеріалу, що приводить до збільшення інтенсивності руйнівного навантаження.

– *Методика віртуальних випробувань напружено-деформованого стану силових вафельних оболонкових конструкцій із застосуванням фізичного експерименту та запропонованому алгоритму оптимізації.*

Обговорюються віртуальні дослідження розрахунку оболонкової системи з урахуванням впливу стовпа рідини і реальної діаграми « σ – ε » матеріалу з урахуванням експериментальних даних. Математична модель заснована на оболонкових скінченних елементах. Загальний алгоритм моделювання поведінки конструкції складалась з трьох кроків: 1) побудова дискретної моделі і ітераційне визначення кількості вузлів і елементів, при якому максимальна інтенсивність напружень при лінійному розрахунку буде змінюватися менш ніж на 1% щодо попереднього ітерації; 2) побудова адаптивної дискретної моделі використовується як базова дискретна модель, побудована на першому етапі, зі згущенням елементів в областях найбільшого градієнта інтенсивності напружень при лінійному розрахунку; 3) виконання розрахунку з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів за допомогою методу змінної жорсткості на базі отриманої на другому етапі дискретної моделі.



– *Дослідження динаміки підкріпленої циліндричної оболонки, що перебуває під дією локальних навантажень.*

Вважається, що оболонка перебуває під дією локальних навантажень, які розподілені на малих площадках і змінюються на заданому короткому відтинку часу за лінійним законом. Дано висновки про вплив форми імпульсе, часу дії зовнішніх сил та підкріплення оболонки на її деформований стан при локальному навантаженні. Визначено деформований стан замкнутої циліндричної оболонки, підкріпленої перехресною системою ребер, що перебуває під дією розподілених по її поверхні локальних короткочасних навантажень.

– *Нестаціонарні зворотні задачі теплопровідності для багат шарових тіл.*

Запропоновано розв'язок нестаціонарних зворотних задач теплопровідності для багат шарових тіл для забезпечення адекватності математичних моделей за наявності експериментальної інформації про досліджуваній тепловий процес. З метою створення ефективних методів діагностики і ідентифікації таких процесів проведені експериментальні дослідження і відповідна обробка результатів. У основу методу аналізу теплопровідності для багат шарових тіл, покладено рішення зворотних задач теплопровідності, зокрема для композитних середовищ. Слід зазначити, що в деяких практичних випадках методи розв'язку зворотних задач є основним засобом отримання необхідної інформації про досліджуваній об'єкт. Запропонована методика дозволяє на основі даних про термометризацію ідентифікувати зміну у часі теплового потоку, що проходить через багат шарову конструкцію.

До переваг застосованого підходу слід віднести слабку чутливість до похибок вимірювань; можливість використання експериментальної інформації як від одного, так і від декількох датчиків; можливість одночасного відновлення теплового потоку на різних частинах поверхні конструктивного елемента; можливість розпаралелювання обчислювального процесу, що відповідає сучасним вимогам, які пред'являються до методів та алгоритмів рішення прямих і зворотних задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Akimov D. V., Gristchak V. Z., Gomenjuk S. I., Larionov I. F., Klimenko D. V., Sirenko V. N. Finite-element analysis and experimental investigation on the strength of a three-layered honeycomb sandwich structure of spacecraft adapter module. ISSN 0556-171X. Strength of Materials. 2016. № 3. P. 52–57.



2. *Мацевитый Ю.М, Сиренко В.Н., Костиков А.О., Сафонов М.А., Ганчин В.В.* Решение нестационарных обратных задач теплопроводности для многослойных тел на основе эффективного поиска регуляризирующего параметра ISSN 0131–2928. Journal of Mechanical Engineering, 2019, vol. 22, no. 3.
3. Дегтярев М.А., Шаповал А.В., Гусев В.В., Аврамов К.В., Сиренко В.Н. К оптимизации конструкции вафельных оболочечных отсеков ракетоносителей Проблемы прочности, 2019, N2. - С.62-71.
4. Луговой П.З., Сиренко В.Н., Скосаренко Ю.В., Батутина Т.Я. Динамика дискретно подкрепленной цилиндрической оболочки при действии локального импульсного нагружения. Прикладная механика. — 2017. — Т. 53, № 2. — С. 71-80. — Библиогр.: 10 назв. — рос.
5. Марчук Михайло, Сиренко Володимир, Харченко Володимир, Клименко Дмитро Математичні моделі та сучасні програмні засоби оцінки міцності елементів ракетно-космічної техніки з композиційних матеріалів. Сучасні проблеми механіки і математики, Збірник наукових праць за загальною редакцією академіків НАН України А.М. Самойленка та Р.М. Кушніра, 2018, С 37-38.

