

ВАГОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ЗМІННОЇ ТОЛЩИНИ СТІНКИ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ ЯК ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ

Анатолій Дзюба^{1,4}, Раміз Азіз Іскандеров², Лариса Левітіна³, Володимир Сіренко⁴

^{1,3}Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, dzub@ua.fm,

²Азербайджанський університет архітектури та будівництва, м. Баку, r.iskanderov@gmail.com,

⁴Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля, м. Дніпро, v.n.sirenko@i.ua

Оболонкові та пластинчасті елементи широко та досить ефективно використовуються у різних галузях машинобудування, хімічної, нафтогазової промисловості, будівництві, тощо. Виходячи із прагнення економії матеріалу та (або) більш рівномірного розподілу напружень, такі конструктивні елементи часто можуть мати змінну в одному або двох напрямках товщину стінки та інші неоднорідності. Очевидними є також високі вимоги до виконання умов міцності, жорсткості, стійкості та, загалом, співвідношення міцнісної надійності та легкості (матеріаломісткості) таких конструктивних елементів. Це призводить до необхідності врахування досить значної кількості обмежуючих умов різної природи. Вирішення зазначеної проблеми зниження матеріаломісткості є особливо важливим в галузі розробки конструкцій ракетно-космічної техніки.

Застосування методів скінченно-вимірної оптимізації спільно з методом скінченних елементів часто обумовлене наявністю досить великою розмірності виникаючої оптимізаційної задачі та складностями перебудови скінченно-елементної сітки на кожному кроці пошукового алгоритму у зв'язку з поточними змінами варійованих геометричних розмірів елементів конструкцій.

Зазначені аспекти проблеми зумовлюють необхідність розробки нових більш досконалих математичних моделей та маловитратних методів їх прямого розрахунку, а також алгоритмів оптимального проектування, які надавали б якомога більше можливостей для визначення, часто досить значної кількості, варійованих змінних та врахування різноманітних обмежень на параметри стану і особливостей поведінки конструкції за мінімальних обчислювальних витрат на пошук оптимального проекту.

Розглядається задача оптимізації змінної як у меридіональному, так і в окружному напрямку товщини стінки оболонки обертання з довільною у меридіональному напрямку формою при несиметричному навантаженні.

Поданий у роботі підхід ґрунтується на спільному використанні методу прямих та необхідних умов оптимальності у формі принципу максимуму Понтрягіна та спрямований на вирішення проблеми зниження матеріаломісткості неоднорідних оболонок обертання змінної жорсткості складних конструкцій нової техніки.

Для побудови алгоритму розв'язування задачі прямого розрахунку та формулювання задачі оптимізації в термінах теорії оптимального керування пропонується звести систему рівнянь стану оболонки обертання при несиметричному навантаженні у частинних похідних до системи звичайних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами з використанням диференційно-різницевого методу прямих.

Таким чином, оболонка в окружному напрямку умовно поділяється на M смуг шляхом заміни частинних похідних за окружною координатою на їх наближені центральні кінцево-різницеві значення четвертого ступеня точності. Для кожної з таких смуг утворюється система 8 -ми звичайних диференціальних рівнянь.

Прямий розрахунок оболонки здійснюється шляхом послідовного (в окружному напрямку) розв'язування таких окремих для кожної смуги систем диференціальних рівнянь методом ортогональної прогонки з урахуванням коефіцієнтів скінченно-різницевого розкладення, що не належать до поточної смуги, які уточнюються ітераційним шляхом за результатами певної кількості повних обходів. Для прискорення ітераційного оптимізаційного алгоритму та зменшення обчислювальних витрат застосовується метод імітаційного прогнозування.

Використання необхідних умов оптимальності у формі принципу максимуму Понтрягіна для системи утворених таким чином $8 \times M$ звичайних диференціальних рівнянь дозволяє побудувати коректну математичну модель оптимізації, а також врахувати різноманітні умови деформування конструкції, довільні обмеження на зміну її стану, що включають умови міцності, жорсткості, стійкості, конструктивні умови та побудувати ефективний алгоритм реалізації підходу загалом.

Результати вагової оптимізації товщини стінки несиметрично навантаженої циліндричної оболонки подані у вигляді отриманих конфігурацій оптимальної зміни жорсткості оболонки, графіків та відповідного порівняльного аналізу, що демонструють переваги запропонованого підходу.

WEIGHT OPTIMIZATION OF VARIABLE WALL THICKNESS OF SHELLS OF ROTATION AS AN OPTIMAL CONTROL PROBLEM

The methodology of applying elements of the theory of optimal processes in the presence of arbitrary restrictions on varying functions and phase variables, as well as its application for reducing the material intensity of elements of shell structures of modern mechanical engineering, is described.