УДК 539.3

В. С. ГУДРАМОВИЧ, А. П. ДЗЮБА, Ю. М. СЕЛИВАНОВ

К МЕТОДОЛОГИИ ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы – анализ авторских разработок, созданных за последние годы в области методологии поиска рационального распределения материала тонкостенных элементов конструкций. Рассматриваются: **а**) метод на основе решения задачи оптимизации с использованием принципа максимума Понтрягина при ограничениях общего вида, который позволяет путем математического моделирования создавать конструкции среднего класса сложности с высокой удельной прочностью при достаточно хороших деформационных свойствах, **б**) голографическая методика, позволяющая получать наглядные и приемлемые по точности результаты при определении параметров жесткостных и прочностных характеристик оптимизируемых оболочечно-пластинчатых конструкций на их модельных и натурных образцах, **в**) экспериментально-расчетный подход, дающий возможность улучшить параметры более сложных по форме, распределению материала и нагрузки конструкций, определение напряженно-деформированного состояния которых путем расчета является недостаточно надежным. Их эффективность демонстрируется на примерах анализа перераспределения материала цилиндрической оболочки и ребристой пластины в зоне действия нормальной к поверхности силы картера коробки передач и сцепления автомобиля. Изложена идея перспективного подхода к рациональному распределению материала особо сложных корпусных конструкций. Представленные разработки расширяют класс тонкостенных элементов конструкций современной техники и сооружений, для которых можно эффективно реализовать высокий уровень конструкторских решений по обеспечению рациональных параметров.

Мета роботи – аналіз авторських розробок, створених за останні роки у галузі методології раціонального розподілу матеріалу тонкостінних елементів конструкцій. Розглядаються: **а**) метод на основі розв'язування задачі оптимізації з використанням принципу максимуму Понтрягіна при обмеженнях загального вигляду, який дозволяє шляхом математичного моделювання створювати конструкції середнього класу складності з високою питомою міцністю при досить хороших деформаційних властивостях, **б**) голографічна методика, що дозволяє отримувати наочні і прийнятні за точністю результати при визначенні параметрів жорсткісних і міцнісних властивостей оболонково-пластинчатих конструкції, що оптимізуються, на їх модельних і натурних зразках, **в**) експериментально-розрахунковий підхід, що дає можливість поліпшити параметри більш складних за формою, розподілом матеріалу і навантаження конструкцій, визначення напружено-деформованого стану яких шляхом розрахунку є недостатньо надійним. Їх ефективність демонструється на прикладах аналізу перерозподілу матеріалу циліндричної оболонки і ребристої пластини в зоні дії нормальної до поверхні сили картера коробки передач і зчеплення автомобіля. Викладена ідея перспективного підходу до раціонального розподілу матеріалу особливо складних корпусних конструкцій. Представлені розробки розширюють клас тонкостінних елементів конструкцій сучасної техніки і споруд, для яких можна ефективно реалізувати високий рівень конструкторських рішень по забезпеченню раціональних параметрів.

The work goal is to analyze the recent developments in the field of the methodology for selecting a rational distribution of the material for structural thin-walled members. Based on the solution of the optimization problem, the method is examined using the Pontryagin maximum principle with general limitations. Using mathematical modeling, this method allows the creation of the middle-complexity structures with high specific strength and the reasonably good straining properties. A gology technique is also used to measure the parameters of the rigidity and strength characteristics of shell- plate structures under optimization with their modelled and full-scale samples. The results are descriptive with reasonable accuracy. An experimental and calculating approach used improves the parameters of the structures with more complex configurations, material and load distributions because the measurement of their stressed-strained state is not sufficiently reliable using computations. Their effectiveness is illustrated by examples of the analysis of a redistribution of the material of a cylindrical shell and ribbed plate exposed to a normal surface force, a gear case and a clutch. A concept of an advanced approach to a rational distribution of the material for specifically complex-shaped body structures is proposed. The developments presented enhance the class of the structural thin-walled members for modern engineering and structures using a high- level design of the rational parameters.

Ключевые слова: *тонкостенные элементы конструкций, рациональное распределение материала, принцип максимума Понтрягина, голографическая интерферометрия.*

1. *Васильев Ф. П.* Методы оптимизации. В 2-х кн. / *Ф. П. Васильев.* – М. : МЦИМО, 2011 : кн.1. – 620 с., кн.2. – 433 с.

2. *Григоренко Я. М.* Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей / *Я. М. Григоренко, Г. Г. Влайков, А. Я. Григоренко*. – К. : Академпериодика, 2006.– 472 с.
3. *Гудрамович В. С.* Интерференционно-оптические исследования свойств оптимизируемых локально нагружаемых конструкций / *В. С. Гудрамович, А. П. Дзюба, Ю. М. Селиванов* // Актуальні проблеми суцільного середовища і міцності конструкцій : Міжн. науково-техн. конф. пам'яті акад. НАН України В. І. Моссаковського : тез. допов. – Д. : ДНУ, 2007. − С. 182.
4. *Дзюба А. П.* Метод послідовних наближень розв′язування задач оптимального керування з обмеженими фазовими координатами для оптимізації силових елементів конструкцій / *А. П. Дзюба* // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : сб. научн. тр. – Д. : Навчальна книга, 1999. – Вип. 5. – С. 61 – 85.
5. *Дзюба А. П.* Модели оптимального проектирования оболочечных конструкций на основе принципа максимума Понтрягина с ограничениями общего вида / *А. П. Дзюба* // Техн. механика. – 2005. – № 1 – С. 118 – 125.
6. *Малков В. П.* Оптимизация упругих систем / *В. П. Малков, А. Я. Угодчиков*. – М. : Наука, 1981. – 288 с.
7. Экспериментально-теоретический метод рационального перераспределения материала сложных тонкостенных конструкций / *В. И. Моссаковский, А. П. Дзюба, Ю. М. Селиванов, Д. Г. Галочкин* // Матем. методы и компьют. моделирование в исслед. и проектир. систем: сб. науч. тр. Ин-та кибернетики НАН Украины. – К. : РИО ИК НАНУ. – 1995. – С. 86 – 93.
8. *Островский Ю. И.* Голографические интерференционные методы измерения деформаций / *Ю. И. Островский, В. П. Щепинов, В. В. Яковлев.* – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 248 с.
9. *Селиванов Ю. М.* Голографические методики исследования неоднородностей напряженно-деформированного состояния сложных тонкостенных структур / *Ю. М. Селиванов* // Вісник ДДУ. Сер. механіка. – 2010. – Вип. 14, Т. 2. – С. 133 – 140.
10. *Селиванов Ю. М.* Метод муара голографических интерферограмм в задачах оптимизации конструкций / *Ю. М. Селиванов* // Вісник ДДУ. Сер. механіка. – 1999. – Вип. 2, Т. 2. – С. 145 – 152.
11. *Селиванов Ю. М.* О рациональном распределении материала конструкций из нерегулярных оболочек с помощью голографической интерферометрии / *Ю. М. Селиванов* // Методы решения прикладных задач механики деформируемого твердого тела : сб. научн. трудов. – Д. : ДДУ. – 1999. – С. 118 – 125.
12. *Bulakajev P. I.* An algorithm for the prediction of search trajectory in nonlinear programming problems optimum design / *P. I. Bulakajev, A. P. Dzjuba* // Structural Optimization: Research Journ. of Int. Soc. for Struct. and Multisimpl. Optimiz. – 1997. – V. 13, № 2/3. – P. 199 – 202.
13. *Hudramovich V. S.* Contact interaction and optimization of locally loaded shell structures / *V. S. Hudramovich, A. P. Dzjuba* // Journ. of Math. Sci. – 2009. – V. 162, № 2. – P. 231 – 245.
14. *Hudramovich V. S.* Contact mechanics of shell structures under local loading / *V. S. Hudramovich.* – Int. Appl. Mech. – 2009. – V. 45, № 7. – P. 708 – 729.

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и
Государственного космического агентства Украины,
Днепр

Днепропетровский национальный
университет им. Олеся Гончара

Получено 27.07.2016,
в окончательном варианте 14.09.2016