

УДК 629.7

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИЛОВЫХ СХЕМ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ

Зинина О. В., Болдырев А. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Проблема проектирования силовых конструкций описывается условием достаточных прочности, жесткости и устойчивости при минимальной массе упругой системы. Задача оптимизации силовой конструкции, моделируемой по методу конечных элементов (МКЭ), формулируется как задача условной оптимизации с нелинейными ограничениями-неравенствами [1]. Переменными состояниями конструкции при этом являются напряжения в различных точках конструкции, обобщенные перемещения, критические усилия потери устойчивости, частоты собственных колебаний. Использование МКЭ в качестве математического средства анализа авиационных конструкций позволяет использовать элементы различного типа, исследовать конструкции, имеющие нерегулярности, повысить точность решения путем уменьшения конечно-элементной сетки или увеличения числа степеней свободы отдельных элементов. В данной работе анализируются существующие методики проектирования силовых схем аэрокосмических конструкций с учетом ограничений на собственные частоты колебаний.

Силовая схема конструкции определяется количеством и типом силовых элементов, их расположением в пространстве и способами соединения между собой. В результате решения задачи структурной [2] оптимизации определяются параметры силовой схемы конструкции. Это плохо формализуемая задача, в которой проектные переменные имеют разнообразие видов. Для целей структурной оптимизации авиационных конструкций применяется изотропный материал с переменной плотностью [3]. Допустимое геометрическое пространство разбивается сеткой трехмерных конечных элементов, моделирующих объемное напряженное состояние, и плотности материала в элементах принимаются за переменные проектирования.

Известен метод применения ортотропного материала конструкции, предложенный М.Р. Bendsoe и О.Sigmund. Этот подход описывает топологию оптимизации конструкции путем распределения материала в модели относительно степени пористости материала.

Структура алгоритма представляет собой следующую последовательность [4]:

- создание первоначальной конструкции, например, однородное распределение материала;
- для данного распределения плотности  $\rho$  вычисление МКЭ результирующие напряжения;
- если обнаружены лишь незначительные улучшения над последней конструкцией, то остановка итерации;
- вычисление обновленной переменной плотности. Этот шаг также состоит из внутреннего цикла итераций для нахождения значения множителя Лагранжа  $\lambda$  для ограничения объема.

Цикл итераций повторяется в случае, если возникают части структуры, которые являются фиксированными, при этом обновление проектных переменных применяется только для областей перестраиваемых структур.

Для решения задачи собственных частот также применяется метод математического программирования. Его использование требует модификации описания критериев оптимальности в алгоритме.

При проектировании конструкций топологическая оптимизация по методу распределение пористого материала приводит к получению преимущественно стержневых конструкций, что не полностью отражает многообразие силовых схем при проектировании.

Наряду с этим, использование изотропного материала с переменной плотностью позволяет сохранить значительное однообразие удельных характеристик материалов при большом разнообразии упругих и прочностных свойств, и получить материалы, модуль упругости и прочностные характеристики которых пропорциональны плотности. Кроме того, использование данной модели выявляет нюансы силовой работы элементов конструкции фюзеляжа около грузового выреза, а также в зонах стыков с крылом и оперением.

Библиографический список:

1. Болдырев, А. В. Топологическая оптимизация силовых конструкций на основе модели переменной плотности [Текст] / А. В. Болдырев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2011. - том 13. - №1(3). -С. 670-673.
2. Brandmaier, H. E. Optimum filament orientation criteria [Текст] / H. E. Brandmaier // J. Composit Materials. - 1970. - VII. Vol. 4. - P. 422-425.
3. Болдырев, А.В. Проектирование крыльев летательных аппаратов с использованием 3D-моделей переменной плотности [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А.В. Болдырев, В.А. Комаров; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т. С.П. Королёва (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (6,3 Мбайт). - Самара, 2011.
4. Bendsoe, MartinP. : Topology optimization : theory, methods and applications / M. P. Bendsoe ; O. Sigmund. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hong Kong ; London ; Milan ; Paris ; Tokyo : Springer, 2003.