

УДК 629.7

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ШПАНГОУТОВ

Одинцова С. А., Комаров В. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Силовой шпангоут, предназначенный для передачи усилий и их распределения по обшивке, представляет собой сложную пространственную конструкцию. Задача конструктора заключается в том, чтобы спроектировать такую конструкцию, которая обладала бы минимальной массой, была технологичной и, по возможности, близка к теоретически оптимальной по определенному критерию. В данной работе рассматривается поиск оптимальной силовой схемы шпангоутов и их оценка через критерий весовой эффективности.

Существует ряд методов для решения задач оптимизации. Широкое распространение получил метод конечных элементов (МКЭ) – инструмент, который помогает решать две задачи: во-первых, оценить конструктивно-силовую схему (КСС) конструкции по силовому фактору, а, во-вторых, найти лучшую схему. Методика решения задачи состоит в том, что в заданные геометрические ограничения вписывается непрерывная упругая среда, разбиваемая сеткой конечных элементов. Исходная модель нагружается. После проведения оптимизации получаем распределение толщин, картину потоков главных усилий (ПГУ) и значение силового фактора, по которым можно судить об эффективности рассматриваемой конструкции.

Ещё один метод оптимизации конструкции – SIMP-метод (Solid Isotropic Material with Penalization). В данном методе используется трёхмерный изотропный материал, на который накладываются ограничения. Отличительной особенностью SIMP-метода является нелинейная зависимость жёсткости от проектной переменной – плотности. Плотность может принимать значения от 0 до 1. Штрафной коэффициент  $P$  принимается больше 1, что приводит к отсечению промежуточных плотностей и бинарному результату (0 или 1).

По результатам сравнения моделей, оптимизированных МКЭ и SIMP-методом, можно сделать вывод, что оптимизацию по МКЭ выгоднее проводить при наличии определённой силовой схемы, для которой необходимо подобрать толщины или размеры сечений конструктивных элементов. В то же время SIMP-метод наиболее применим в случае, если необходимо определить саму силовую схему, форму и тип конструктивных элементов.

Для весового анализа авиационных конструкций используют безразмерную величину – коэффициент весовой эффективности. Такой коэффициент был выведен для конструкций крыла. Для конструкций шпангоута также существует потребность в безразмерном коэффициенте, который бы позволял сравнивать различные КСС. Профессором В. А. Комаровым была предложена формула для определения коэффициента весовой эффективности шпангоута, нагруженного изгибающим моментом.

На примере шпангоута, нагруженного изгибающим моментом, приходящим с крыла (по схеме низкоплан) были рассчитаны значения коэффициента весовой эффективности для различных КСС. В дальнейшем эти значения сравнивались с эталонным значением 1.

Исследования по данной тематике продолжаются. В дальнейшем будут рассматриваться другие варианты нагружения силовых шпангоутов, для которых будут рассчитываться коэффициенты весовой эффективности.