

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД**

Темис Ю.М., Якушев Д.А.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

**GTE PARTS OPTIMAL DESIGN**

*Temis J.M., Yakushev D.A. Modern concepts of using optimization technologies for structural design are considered. Several approaches of optimization problems for fan and compressor stages elements are considered. The problem of blade stresses minimization and the problem of total weight minimization under certain stress and stiffness constraints are investigated. All results were obtained using developed FE analysis program connected with SQP optimization procedure.*

Конструкции современных ГТД создаются с помощью систем и средств автоматизированного проектирования. Процесс создания новой конструкции является итерационным и многостадийным, поэтому использование оптимального проектирования как одного из путей автоматизации может сократить трудоемкость проектирования. Применение методики оптимального проектирования позволяет найти наилучшую конструкцию, удовлетворяющую технологическим и прочностным ограничениям и обеспечивающую минимум заданной целевой функции [1,2].

Рассмотрены общие принципы применения методов оптимизации формы детали при автоматизированном проектировании деталей и узлов ГТД. Выбор функции цели, критериев и ограничений является определяющим в постановке задачи оптимизации. В зависимости от назначения детали или конструкции рассматриваются различные функции цели: минимум массы, максимум момента инерции, максимум жесткости и т.д. Функция цели определяет набор ограничений, накладываемых на параметры проектирования и на параметры состояния конструкции: размеры, напряжения, перемещения и др.

Ограничения задаются на основе критериев обеспечения технологичности, размещаемости деталей, несущей способности и т.д. Многорежимность работы деталей и противоречивые требования, предъявляемые к конструкции, обуславливают необходимость решать задачи многокритериальной оптимизации, используя принцип Парето или

преобразуя многокритериальную задачу проектирования к однокритериальной задаче.

На ряде примеров конструктивной оптимизации пера лопатки и диска компрессора показана эффективность применения средств оптимального проектирования и зависимость результатов решения от выбранных критериев и ограничений. Задача снижения массы конструкции, получения напряженно-деформированного состояния в лопатке и диске, удовлетворяющего требованиям и ограничениям по технологичности и прочности, относится к задачам проектирования формы детали.

Основными целями рационального проектирования ступени вентилятора с широкохордной лопаткой являются стремление увеличить надежность и ресурс и уменьшить массу конструкции с учетом влияющих на надежность вентиляторной ступени вибраций лопаток, уровней максимальных напряжений в пере и ножке лопатки и в замковом соединении лопатки с диском.

В процессе оптимального проектирования определяется форма лопатки, обеспечивающая выполнение ограничений на напряжения и деформации, минимум массы и минимум отклонения поверхностей лопатки в рабочем (деформированном) состоянии относительно расчетных аэродинамических поверхностей. Решение этих задач достигается путем управления выносами сечений лопатки. Аэродинамические поверхности спинки и корыта пера лопатки определяются в результате аэродинамического профилирования и задаются в виде набора сече-

ний. Смещения этих сечений вдоль и вокруг оси вращения в определенных пределах при сохранении углов входа и выхода потока оказывают незначительное влияние на газодинамические характеристики потока в решетке, но существенно сказываются на напряженно-деформированном состоянии пера лопатки, а также на силах и моментах, приходящих на хвостовик замкового соединения.

Представлен результат оптимального проектирования ступени вентилятора с круговым замковым соединением диска с лопаткой. В замковом соединении большой протяженности замок может работать неэффективно, так как конструкция широкохордной лопатки приводит к неравномерности распределения контактных напряжений и, соответственно, неполному контакту между поверхностями хвостовика и замковых выступов диска. Изменение размеров ступицы и цапфы диска позволяет снизить эту неравномерность.

Задача оптимизации конструкции ротора КВД заключается в нахождении формы дисков минимальной массы, удовлетворяющей ограничениям по прочности и жесткости. При этом учитываются технологические ограничения на сборку и изготовление ротора, задающие область возможного изменения размеров дисков.

Исследование вариантов конструкций роторов КВД показало, что за счет изменения формы дисков методами математической оптимизации можно снизить массу ротора. Это достигается путем перераспределения массы ротора со слабонагруженных ступеней, имеющих большие коэффициенты запаса по прочности и несущей способности, на высоконагруженные ступени, не удовлетворяющие на начальном этапе проектирования прочностным ограничени-

ям. В процессе оптимизации за счет выбора ограничений по перемещениям обода диска имеется возможность управления углами разворота обода и величинами зазоров.

Результаты получены с помощью программного комплекса, состоящего из модуля анализа конструкции на основе метода конечных элементов и модуля оптимизации на основе алгоритма последовательной квадратичной аппроксимации. Универсальность комплекса заключается в том, что он позволяет в качестве модуля анализа использовать различные программы МКЭ. Это обеспечивается выбранной системой параметризации для проектируемой детали или узла и разработанным внутренним командным языком.

Применение этой методики в комплексе с системой многодисциплинарного моделирования, представляющей термомеханическую модель узла ГТД, позволило создать конструкции ступени вентилятора и КВД перспективного ГТД для БСМС, удовлетворяющие заданным требованиям к массе и ресурсу.

### **Библиографический список**

1. Темис, Ю.М., Якушев Д.А. Оптимальное проектирование конструктивных элементов ГТД / Ю.М. Темис, Д.А. Якушев // Техника воздушного флота, №1(694). - М.: ЦАГИ, 2009. - С.54–64.
2. Темис, Ю.М. Оптимальное проектирование конструктивных элементов ГТД. Машиностроение. Энциклопедия. Самолеты и вертолеты. Т. IV-21. Авиационные двигатели. Кн. 3 / В.А. Скибин, В.И. Солонин, Ю.М. Темис и др.; под ред. В.А. Скибина, Ю.М. Темиса, В.А. Сосунова. – М.: Машиностроение, 2010. – С. 570-579.