

ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИИ ПЕРА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА

Архипов А.Н., Равикович Ю.А., Шевяков А.О.

Московский авиационный институт, МАИ, г. Москва, shevyakovart@yandex.ru

Ключевые слова: турбовентиляторный двигатель, компрессор низкого давления, ступень вентилятора, перо лопатки, робастная оптимизация, геометрические отклонения.

Как известно одним из способов сокращения временных затрат на проектирование и доводку вентиляторных ступеней является применение оптимизационных методов, позволяющих автоматизировать поиск оптимального сочетания варьируемых проектных параметров для достижения необходимого уровня аэродинамической эффективности и надежности рабочей лопатки (РЛ) вентилятора.

В данной работе в качестве проектных параметров был использован набор фактических геометрических отклонений пера лопатки, характеризующий геометрическое соответствие формы профиля чертежу. Для РЛ вентилятора это толщины профиля на различном расстоянии от входной кромки (e_1 , e_2), максимальная толщина профиля (E), угол установки сечения (R_2), смещение профиля в плоскости сечения (T_x , T_y) [1-2].

Для решения многодисциплинарной задачи оптимизации геометрии пера РЛ вентилятора использовались следующие программные комплексы: численное моделирование рабочего процесса, а также оценка аэродинамических характеристик – *NUMECA Fine/Turbo*; оценка прочностных характеристик – *ANSYS Workbench*; поиск множества оптимальных решений – алгоритм оптимизации *IOSO* [3].

Объектом исследования является перо РЛ вентилятора существующего компрессора низкого давления современного турбовентиляторного двигателя (рис. 1).



Рисунок 1 – Объект исследования – перо РЛ вентилятора

Геометрическая модель для оптимизационных расчетов являлась упрощенным вариантом реального пера РЛ вентилятора. Так, например, для аэродинамических расчетов модель состояла из обводов проточной части (втулка и корпус) и лопаточных венцов, а для прочностных расчетов модель представляла собой симметричный относительно замка лопатки сектор диска вентилятора, фиксирующего кольца, платформы и части барабана бустера.

В качестве целевых функций были выбраны повышение КПД, запаса ГДУ и тяги вентилятора на частоте вращения 95%.

В качестве ограничений были выбраны следующие параметры: степень повышения давления (π_k^*) и расход воздуха (G_B), на частоте вращения 95% и 80%, а также дисбаланс ротора.

Технология робастной оптимизации геометрии пера РЛ вентилятора представляла собой автоматизированный программный комплекс. На первом этапе происходило формирование и оценка исходных вероятностных параметров, управляющих геометрией пера лопатки. На втором этапе, на основании набора этих данных строились параметрические модели пера лопатки. На третьем этапе происходило создание расчетных моделей для аэродинамических и прочностных расчетов. На четвертом этапе выполнялся численный

расчет рабочих параметров пера РЛ вентилятора в ПК *NUMECA Fine/Turbo* и *ANSYS Workbench* для нескольких рабочих режимов. На пятом этапе рассчитанные аэродинамические и прочностные характеристики возвращались в *IOSO*, где выполнялся анализ результатов и производился выбор лучших вариантов геометрии пера. Цикл повторялся до достижения необходимого результата [4].

Решение задачи робастной оптимизации геометрии пера РЛ вентилятора и комплектация лопаток с учётом фактических геометрических параметров позволяет сделать вентилятор более устойчивым к различным факторам, таким как геометрические отклонения, а также изменению режима работы относительно номинального. Прирост вероятностных критериев с учетом ограничений составил:

- для аэродинамической эффективности – КПД стал выше на 1,4%;
- для прочностных характеристик – эквивалентные напряжения по Мизесу стали ниже на 19%.

Список литературы

1. Семенов А.В., Кожемяко П.Г. Исследование влияния разброса размеров компрессорных лопаток на газодинамические и прочностные характеристики. // Изв. вузов. Авиационная техника. 2021. № 3. С. 17.
2. Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Arkhipov A.S., Shakhov A.S. Influence of geometric deviations of the fan blade airfoil on aerodynamic and mechanical integrity // Journal of Physics: Conference Series, Moscow, 18–21 мая 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 012042. – DOI 10.1088/1742-6596/1891/1/012042. – EDN EXBВJA.
3. Егоров И.Н., Кретинин Г.В., Лещенко И.А., Федечкин К.С., Нескоромный Е.В. Многоуровневая робастная оптимизация осевого компрессора // Насосы. Турбины. Системы. №2(11)/2014. С. 47-55.
4. Матвеев В.Н., Батулин О.В., Попов Г.М., Горячкин Е.С., Егоров И.Н. Опыт оптимизации осевых компрессоров на кафедре теории двигателей летательных аппаратов самарского университета // Сборник тезисов научно-технического конгресса по двигателестроению (НТКД-2018). 2018. Том. 1. С. 71-74.

Сведения об авторах

Архипов А.Н., кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела.

Равикович Ю.А., доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по научной работе, заведующий кафедрой «Конструкция и проектирование двигателей».

Шевяков А.О., аспирант, инженер 2 категории научно-исследовательского отдела.

EXPERIENCE IN OPTIMIZING AIRFOIL GEOMETRY OF THE FAN BLADES

Arkhipov A.N., Ravikovich Yu.A., Shevyakov A.O.

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, shevyakovart@yandex.ru

Keywords: turbofan engine, low pressure compressor, fan stage, blade airfoil, robust optimization, production deviations.

This paper presents the results a solution of the problem optimizing airfoil geometry of the fan blade of an aircraft engine, performed during the joint implementation of a complex project by the Moscow Aviation Institute and PJSC «UEC-Saturn». One of the main goals of the project was to carry out multidisciplinary robust optimization of complex-profile fan blades and their configuration taking into account the actual geometric deviations of the airfoil from the theoretical profile (nominal).