

МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2018 В.Н. Матвеев, Г.М. Попов, Е.С. Горячкин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

METHOD OF MULTI-CRITERIAL OPTIMIZATION OF THE BLADE SHAPES OF AXIAL COMPRESSORS OF GAS TURBINE ENGINES

Matveev V.N., Popov G.M., Goriachkin E.S. (Samara National Research University,
Samara, Russian Federation)

The paper presents a technique for optimization of an axial compressor using modern software. Optimization is performed using the proprietary software for parametric change of blades and commercial CFD solver NUMECA Fine/Turbo.

В настоящее время одним из наиболее перспективных способов совершенствования методов проектирования осевых компрессоров газотурбинных двигателей является использование программ математической оптимизации в связке с программными комплексами вычислительной газовой динамики (CFD программными комплексами). Применение подобного подхода позволяет за короткий период в полностью автоматизированном режиме выполнить анализ множества вариантов проектируемого узла и получить оптимальную конструкцию.

В работе представлена разработанная методика оптимизации многоступенчатого осевого компрессора, основанная на совместном использовании программы оптимизатора IOSO, CFD программного комплекса NUMECA Fine/Turbo, а также программы собственной разработки для параметрического изменения 3D моделей лопаток Profiler.

Алгоритм разработанной методики заключается в следующем. Сначала программой оптимизации IOSO формируется вектор варьируемых параметров, который представляет собой набор переменных, описывающих 3D геометрию лопатки в параметрическом виде. На основе данного вектора в программе Profiler формируются 3D модели лопаток компрессора, которые затем передаются в программу-сеткогенератор NUMECA Fine/Turbo, где автоматически выполняется генерация сетки конечных элементов и выполняется расчёт параметров работы компрессора. На основе рассчитанных параметров работы формируется вектор выходных

параметров, который возвращается обратно в IOSO для анализа результатов и генерирования нового вектора варьируемых параметров. Данный цикл повторяется до достижения требуемого результата.

Параметрические модели лопаток создавались с использованием программы Profiler, основные возможности которой:

- создание файла с геометрией лопатки в формате, совместимом с современными САД и САЕ программными комплексами;
- создание параметрической модели лопатки на основе табличного представления её геометрии;
- параметрическое изменение формы средней линии лопатки, углов входа и выхода потока, а также выносов сечений в трёх контрольных сечениях лопатки.

В исследовании было решено несколько задач оптимизации.

Первая задача оптимизации решена для трёхступенчатого КНД газотурбинного двигателя. Критериями оптимизации являлись увеличение КПД и уменьшение расхода на основном режиме работы. В процессе оптимизации задавались ограничения на величину степени повышения давления и расхода. Параметризация лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата выполнялась в трёх сечениях. В каждом сечении менялась форма средней линии лопатки и углы установки каждого сечения.

Для решения поставленной задачи программой оптимизации IOSO потребовалось 1884 обращения к расчётной модели. В результате оптимизации была найдена форма лопаток КНД, которая обеспечивает увели-

чение его КПД на 1,3% (абс.) при увеличении степени повышения давления на 4%, частоты вращения на 2% и снижении расхода рабочего тела на 8% относительно компрессора базового двигателя.

Аналогично, но с другими постановками, были решены задача оптимизации перспективного КНД и КВД газотурбинного двигателя.

УДК 621.452.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТУПЕНИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

© 2018 О.В. Батури́н, Е.С. Горячки́н, А.А. Волков, Ли Wenyu

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DESIGNING THE STAGE OF THE AXIAL COMPRESSOR USING MODERN SOFTWARE COMPLEXES

Baturin O.V., Goriachkin E.S., Volkov A.A., Li Wenyu (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The paper presents a technique for profiling the stage of an axial compressor using modern software. Profiling was performed on the basis of the 1D calculation. After the profiling has been carried out, 3D calculation of the working process of the designed stage.

В настоящее время стандартный цикл проектирования лопаток турбомашин включает следующие этапы: предварительный 1D расчёт основных параметров проектируемой турбомашин, 2D расчёт параметров плоских сечений лопатки, поверочный 3D расчёт рабочего процесса спроектированной ступени в CFD программном комплексе. В случае, если в результате поверочного расчёта параметры спроектированной турбомашин не достигли заданного уровня, форма профилей лопаток корректируется и расчёт повторяется. Последние два шага повторяются до получения требуемого результата, то есть процесс проектирования турбомашин является итеративным. Количество итераций может быть достаточно большим. По этой причине, для получения готовой конструкции за меньшее время, используются различные системы автоматизации. В частности, одной из таких систем является программный комплекс NUMECA AutoBlade, предназначенный для получения 3D геометрических моделей лопаток турбомашин различных типов на основе данных 1D и 2D расчёта.

В представленной работе описана методика проектирования ступени осевого компрессора с использованием программного комплекса NUMECA AutoBlade. Методи-

ка включала этапы построения профилей сечений лопаток, поверочное 3D моделирование и анализ результатов.

1D расчёт проектируемой ступени был проведен исходя из следующих параметров:

- расхода рабочего тела $G = 14,9$ кг/с;
- степень повышения давления в ступени $\pi_K^* = 1,15$;
- КПД $\eta_K^* = 0,906$.

3D модели лопатки рабочего колеса и направляющего аппарата создавались отдельно. Создание модели каждой лопатки выполнялось в следующем порядке. Сначала было определено, что референтные профили лопаток будут строиться в трёх плоских равномерно расположенных по высоте проточной части сечениях (втулочном, среднем и периферийном). Затем были заданы радиусы расположения референтных сечений и определены обводы проточной части проектируемой ступени. На основе известных значений углов входа и выхода потока создавалась средняя линия каждого сечения лопатки. Форма профилей сечений задавалась распределением толщины профиля вдоль средней линии. Полученные в результате профили были проверены на плавность изменения ширины межлопаточного канала. Данные действия выполнялись для каждого сечения лопатки.