

МЕТОД ПРОФИЛИРОВАНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТУРБИННЫХ РЕШЁТОК НА БАЗЕ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВЫХ БЕЗЬЕ

Нгуен Т.Б.¹, Мельников С.А.¹, Гатауллина Е.Д.¹

¹Самарский университет, Самара, atskyfall81027010@gmail.com

Ключевые слова: профилирование лопаток, решётка турбины, средняя линия профиля, распределение толщины, кривизна, параметрическая оптимизация.

Современные методы профилирования лопаток газовых турбин охватывают широкий диапазон – от полностью ручных до параметризованных. Все они имеют как преимущества, так и известные ограничения. Ручные способы, например, на базе гиперболических спиралей [1], требуют от проектировщика очень высокой квалификации. Распространённые параметрические подходы – метод доминирующей кривизны [2], метод Притчарда [3], метод с полиномами различного порядка [4], метод с распределением толщины вдоль средней линии [5] – сталкиваются с иными трудностями. Одни из них оперируют слишком большим числом управляющих переменных, другие не позволяют напрямую задавать ключевые геометрические параметры, такие как радиусы входной и выходной кромок, углы заострения и ширина горла. Всё это усложняет и ручное проектирование, и оптимизацию, а при большом количестве участков профиля дополнительные усилия требуются ещё и для обеспечения непрерывности контура.

В работе предлагается усовершенствованный метод профилирования, основанный на использовании кривых Безье четвёртой и пятой степени. Контур профиля разделяется на пять характерных участков: входная кромка, выходная кромка (каждая может быть выполнена дугой окружности или симметричной кривой Безье четвёртой степени; для охлаждаемых лопаток предусмотрена подрезка выходной кромки), корытце и часть спинки от входной кромки до горла (кривые Безье пятой степени), а также часть спинки от горла до выходной кромки (кривая Безье четвёртой степени). Такой выбор степеней обеспечивает достаточную гибкость описания участков со значительным изменением градиента давления без излишнего усложнения.

Построение контура начинается с того, что на основе заданных основных геометрических параметров определяются координаты характерных опорных точек профиля – центров кромок и точек, разграничивающих участки спинки, корытца и кромок. Эти точки задают треугольные области, в пределах которых формируются соответствующие кривые. Далее для каждого участка вводится свой набор безразмерных коэффициентов, определяющих положение контрольных точек кривых Безье. Чтобы избежать недопустимых форм профиля (таких как самопересечения или выход кривой за отведённую область), предусмотрен топологический контроль – многоугольники, образованные контрольными точками каждого участка, должны оставаться выпуклыми.

В рамках метода реализована автоматизированная оценка качества спроектированного профиля и решётки. С помощью метода полей расстояний и алгоритма Marching Squares [6] строится средняя линия профиля, после чего определяются распределения толщины профиля вдоль средней линии и ширины межлопаточного канала вдоль его средней линии. Дополнительно рассчитывается распределение кривизны спинки и корытца, а также ряд геометрических параметров – конструктивная степень конфузорности, относительное положение максимальной толщины, густота решётки. Эти распределения дают проектировщику наглядную основу для предварительного суждения о прочностных и аэродинамических качествах профиля.

Таким образом, метод объединяет построение профиля, контроль ключевых геометрических параметров и инструмент начальной оценки его качеств в едином алгоритме. Это делает его удобным как для ручного проектирования в соответствии с техническим заданием, так и для последующей параметрической оптимизации с целью

снижения гидравлических потерь на различных режимах работы. Метод также позволяет параметризовать существующие профили, заданные набором точек, включая профили, полученные ранее другими способами, что обеспечивает их включение в сквозной процесс анализа и оптимизации.

Список литературы

1. Аронов Б.М. Проектирование пера лопаток авиационных газовых турбин. – Куйбышев: Куйбышев. авиац. ин-т им. С.П. Королева, 1970. – 168 с.
2. Мамаев Б.И., Рябов Е.К. Построение турбинных решеток профилей на ЭВМ: межвуз. сб. – Куйбышев: КуАИ, 1977. – С. 49-57.
3. Pritchard L.J. An eleven parameter axial turbine airfoil geometry model. The American society of mechanical engineers. 1985. – 12 p.
4. Ronald H.A. Turbine Aerodynamics: Axial-flow and radial-inflow turbine design and analysis.// ASME Press. – 2006. – 394 p.
5. Jens S., Kay H., Matthias V., Konrad V., Marcus M. Probabilistic CFD analysis of high pressure turbine blades considering real geometric effects. // Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition. – 2013. – 9 p.
6. Marching squares. – URL: https://nils-olovsson.se/articles/marching_squares/.

Сведения об авторах

Нгуен Тхань Бинь – аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева Самарского университета. Область научных интересов: численное моделирование рабочего процесса ГТД.

Мельников Сергей Александрович – аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева Самарского университета. Область научных интересов: численное моделирование рабочего процесса ГТД.

Гатауллина Елена Дмитриевна – аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева Самарского университета. Область научных интересов: численное моделирование рабочего процесса ГТД.

METHOD OF PROFILING AND GEOMETRIC EVALUATION OF TURBINE CASCADES BASED ON APPLICATION OF BEZIER CURVES

Nguyen T.B.¹, Melnikov S.A.¹, Gataullina E.D.¹

¹Samara University, Samara, atskyfall81027010@gmail.com

Keywords: blade profiling, turbine cascade, mean line, thickness distribution, curvature, parametric optimization.

The paper presents an improved method for profiling turbine cascades based on fourth- and fifth-degree Bezier curves, with the profile contour divided into five characteristic sections. A key feature of the method is an integrated geometric evaluation tool that provides distributions of thickness along the mean line, inter-blade channel width, and curvature of the profile surfaces, giving the designer a visual basis for preliminary aerodynamic and structural assessment. This unified algorithm is suitable for both manual designs according to technical specifications and parametric optimization.