

## К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТУПЕНЕЙ ТУРБИН СОВРЕМЕННЫХ ГТД

Вятков В.В.<sup>1</sup>, Ремизов А.Е.<sup>1</sup>, Харченко Р.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьёва», ad@rsatu.ru

<sup>2</sup>ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск

*Ключевые слова: газовая турбина, вторичные течения, межпрофильные торцевые поверхности, оптимизация, потери кинетической энергии.*

Увеличение параметров рабочего процесса ГТД различного назначения привело к уменьшению размерности проточной части турбин. Потому актуальной является разработка конструктивных мероприятий, обеспечивающих повышение КПД турбины. Необходимо снизить интенсивность так называемых вторичных течений. Современный процесс проектирования турбин содержит большой объем численного моделирования (CFD). Применение CFD расширяет возможности проектировщика с точки зрения поиска наиболее оптимальной (в конкретных условиях) конструкции турбины. Одним из способов борьбы с вторичными течениями является специальное профилирование торцевых поверхностей [1,2]. Профилированные торцевые поверхности можно строить на основе оптимизационного поиска как для изолированного лопаточного венца, так и для полной ступени [3,4]. При этом нужно стремиться к сокращению объема расчетных работ. Методы и способы поиска оптимальных торцевых поверхностей представлены в работах [2-4]. Оптимизация рабочего процесса в ступени турбины, основанная на сопряженном нестационарном моделировании ступени турбины, на сегодняшний день невозможна из-за необходимости иметь достаточно большие вычислительные ресурсы. Поэтому в реальном проектировании необходимо использовать программные средства и настройки, которые апробированы в реальном процессе проектирования турбин. Наиболее используемым программным пакетом является ANSYS SFX. Для несимметричного профилирования торцевых поверхностей допустимо использование условия периодичности и стандартных граничных условий при моделировании рабочего процесса турбины [2]. При оптимизации торцевых поверхностей достаточным является использование стационарного (RANS) подхода к моделированию. В качестве модели турбулентности на основании опыта проектирования можно рекомендовать к использованию SST модель, которая позволяет получать результаты, наиболее адекватно согласующиеся с экспериментальными данными. В ступени турбины имеются три торцевые поверхности, которые можно оптимизировать: втулка и периферия соплового аппарата и втулка рабочего колеса. Их можно оптимизировать индивидуально (каждый лопаточный венец отдельно) или совместно в рамках рассмотрения рабочего процесса в ступени.

Способы профилирования [2-4] состоят в коррекции торцевой поверхности по набору (матрице) точек, расположенных на базовой (цилиндрической) торцевой межпрофильной поверхности. Количество точек в матрице вдоль и поперек торцевой поверхности выбирается пользователем. На основании опыта профилирования достаточным является 4 пояса точек поперек потока и 6 точек вдоль потока для одной торцевой поверхности. Увеличение количества варьируемых точек приводит к значительному увеличению объема расчетных работ без изменения результата профилирования. К настоящему времени созданы оптимизационные комплексы, которые позволяют реализовать процесс оптимизационного поиска как для венца [2], так и для всей ступени [3].

Выбор способа профилирования определяется размерностью ступени турбины. Под размерностью здесь понимается тип лопаточных венцов с точки зрения локализации вторичных течений в межлопаточном канале. Характер взаимодействия вторичных течений в лопаточном венце турбины определяется величиной критерия  $h/h_s$  (отношение высоты

проточной части  $h$  к высоте, при которой в лопаточном венце начинается взаимодействие вторичных течений –  $h_s$ ). Причем, для ступени характерным параметром будет значение  $h/h_s$  для соплового аппарата. Методы расчета величины  $h_s$  к настоящему времени разработаны и опубликованы [1]. Параметр  $h/h_s$  является в данном случае критериальным.

Критерий геометрической оптимизации межпрофильных торцевых поверхностей выбирается из условия взаимодействия канальных вихрей в межлопаточном канале соплового аппарата, который качественно характеризуется отношением  $h/h_s$ . В диапазоне  $0,6 < h/h_s < 2,5$  оптимизация возможна с использованием RANS методов моделирования рабочего процесса.

При  $1,5 < h/h_s < 2,5$  оптимизацию можно проводить по потерям кинетической энергии в лопаточном венце, верификацию выполнять по результатам продувок плоских решеток.

При  $1 < h/h_s < 1,5$  оптимизацию следует проводить по адиабатическому КПД ступени, а верификацию выполнять по результатам продувки кольцевых решеток.

При  $0,6 < h/h_s < 1$  оптимизацию следует проводить по адиабатическому КПД ступени, а верификацию выполнять по результатам испытаний ступени или по результатам продувок кольцевых решеток при условии моделирования поля входных параметров.

### Список литературы

1. Богомолов Е.Н., Вятков В.В., Ремизов А.Е. Газодинамика лопаточных венцов и переходных каналов турбин современных ГТД. М.: РАН, 2012. 168 с.: ил.
2. Ковалев С.А., Вятков В.В., Седов М.П. Метод проектирования торцевых поверхностей сопловых аппаратов газовых турбин // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П.А. Соловьева, 2012. № 1 (22). С. 50-53.
3. Вятков В.В., Харченко Р.В. К вопросу применения несимметричных торцевых поверхностей охлаждаемой ступени газовой турбины // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П.А. Соловьева. 2019. №2 (49). С. 3-7.
4. Ремизов А.Е., Вятков В.В., Осокина Е.С., Харченко Р.В. К вопросу решения задачи оптимизации проточной части турбины газогенератора малой размерности // Изв. вузов Авиационная техника. 2019. №1. С. 149-152.

### Сведения об авторах

Вятков Владимир Вячеславович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: рабочий процесс газовых турбин.

Ремизов Александр Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: авиационные двигатели и энергетические установки.

Харченко Роман Витальевич, инженер. Область научных интересов: рабочий процесс газовых турбин.

## ON THE QUESTION OF DESIGNING THE ENDWALLS OF MODERN GTE TURBINE STEPS

Vyatkov V.V.<sup>1</sup>, Remizov A.E.<sup>1</sup>, Kharchenko R.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education  
«P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University»

<sup>2</sup>PAO «ODK-Saturn», Rybinsk

*Keywords: gas turbine, secondary flows, endwalls, optimization, kinetic energy losses.*

The report describes the choice of a method for profiling unsymmetrical endwalls of turbine stages, depending on the dimension of the stage. In the absence of interaction of secondary flows in the nozzle blades, profiling of the end surfaces is possible separately. In the event of interaction of secondary flows, the profiling of the endwalls must be performed as part of a step.