

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОК КОЛЬЦЕВОЙ РЕШЕТКИ ТУРБИНЫ

Попов Г.М., Зубанов В.М., Волков А.А., Корнеева А.И.  
Самарский университет, г. Самара, korneeva.ai@ssau.ru

*Ключевые слова: сопловой аппарат, численное моделирование, рабочий процесс, неохлаждаемая турбина.*

При проектировании и газодинамической доводке авиационных турбин для обеспечения требуемой мощности и высокой эффективности работы возникает необходимость в частом определении газодинамических характеристик турбины. Экспериментальное определение характеристик слишком трудозатратно, долго и неэкономично. В настоящее время большую роль на этапе проектирования приобрели методы численного моделирования, в частности методы вычислительной газовой динамики (CFD), позволяющие без проведения экспериментов получать характеристики рассматриваемого объекта.

К численным моделям рабочего процесса турбин, используемым при проектировании и оптимизации, выдвигаются два основных требования. С одной стороны, они должны с высокой точностью описывать рабочие процессы, происходящие в турбине. С другой стороны, затрачивать как можно меньше времени на получение решения. В работе [1] описан способ выбора параметров численных моделей рабочего процесса осевых неохлаждаемых турбин с аэродинамически длинными лопатками. Особенностью данных лопаток является несмыкание вторичных вихрей, вследствие чего вторичные потери действуют только в области вторичных течений. В то же время современное развитие ТРДД по параметрам рабочего процесса приводит к уменьшению длины лопаток турбины высокого давления. В таких лопатках возникает смыкание вторичных потерь (лопаточные венцы со смыканием вторичных потерь) или становится невозможным выделить ядро потока и вторичные потери (аэродинамически короткие лопатки). Рекомендации по выбору параметров численных моделей рабочего процесса таких лопаток отсутствуют.

В связи с этим сформулирована цель работы: разработка рекомендаций по выбору значений параметров численных моделей рабочего процесса осевых неохлаждаемых турбин с аэродинамически короткими лопатками, предназначенных для выполнения поверочных, оптимизационных расчетов и исследований.

Для достижения цели была поставлена задача: исследовать влияние выбора параметров численных моделей рабочего процесса неохлаждаемых турбин с аэродинамически короткими лопаточными венцами, в которых происходит смыкание вторичных течений [2].

Объектом исследования является рабочий процесс в аэродинамически коротких лопатках. В качестве предмета исследования выбран неохлаждаемый сопловой аппарат из отчета NASA [3], для которого известны экспериментальные значения интегральных характеристик и распределения потерь по высоте лопатки. На основе приведенных в отчете данных была сформирована геометрия лопатки. Согласно рекомендациям [1] в программном пакете NUMECA Auto Grid 5 были созданы три сеточные модели. Первая сеточная модель – «быстрая», с оптимальным временем расчета 2-2,5 часа и сравнительно небольшим количеством элементов. Вторая численная модель является поверочной, количество элементов – 2 545 235. Третья модель является наиболее «тяжелой» и подробной, количество элементов превышает 10 млн. Параметры моделей приведены в табл. 1.

Расчеты выполнялись с использованием программы NUMECA FINE/Turbo. В качестве граничных условий при расчете на входе использовались значения полного давления и температуры при стандартных атмосферных условиях, на выходе – значения статического давления, которые соответствуют экспериментальным данным [3]. В качестве рабочего тела

использовался Air (Real) (воздух, реальный). Выполнено CFD моделирование для каждой сеточной модели с использованием моделей турбулентности Spalart-Allmaras (SA) и SST.

Таблица 1 – Параметры сеточных моделей

Обозначение	B2B	Параметры распределения элементов по высоте проточной части		y <sup>+</sup>	Количество элементов сетки, млн
		ER	MR		
«Быстрая»	B2B-2	1,4	1000	1	0,637
«Поверочная»	B2B1	1,2	1000	1	2,545
«Тяжелая»	B2B3	1,1	235	1	10,41

В результате расчетов были получены графики зависимости КПД от приведенной скорости (рис. 1) и распределение потерь по высоте проточной части (рис. 2) при  $\lambda=0,785$ .

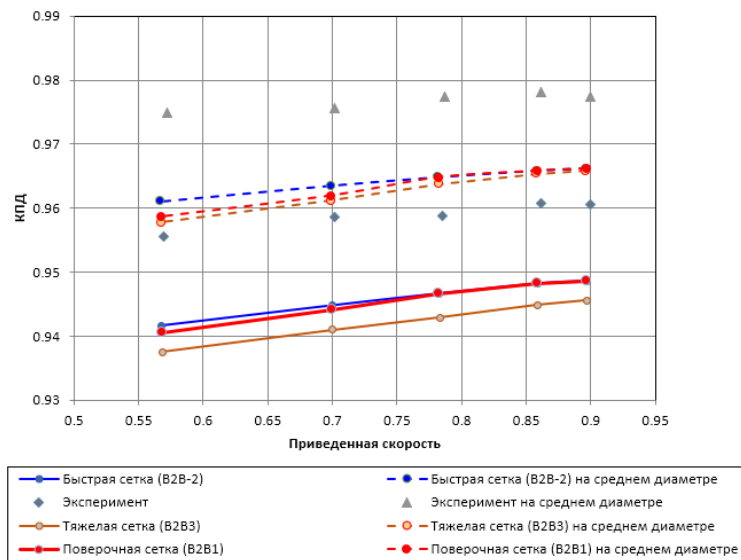


Рис. 1 – Зависимость КПД от приведенной скорости

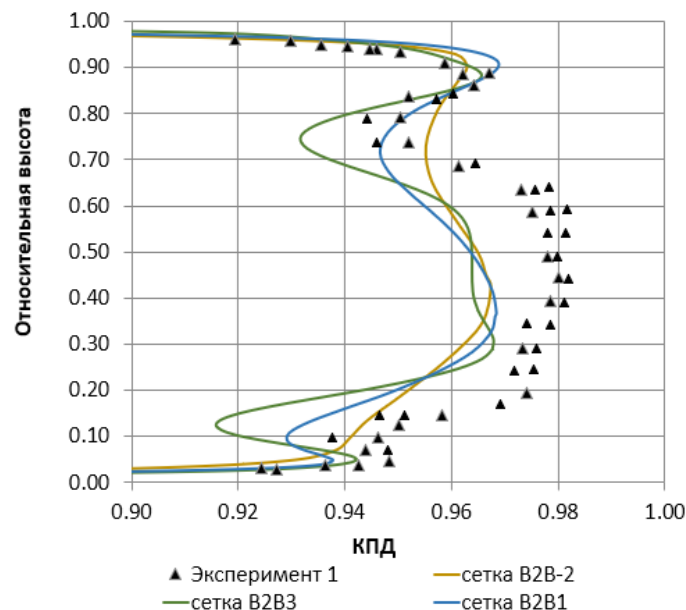


Рис. 2 – Распределение КПД по высоте проточной части

На основе анализа полученных результатов расчета сделаны следующие выводы:

1. Все расчетные модели завышают потери и занижают КПД, как на среднем диаметре, так и интегральное значение. Расчётные значения КПД примерно на 1,5% эквидистантно ниже экспериментальных.

2. «Быстрая» сеточная модель (0,637 млн) некорректно предсказывает характеристики в области вторичных потерь, а также немного завышает значения КПД относительно остальных расчётных моделей: на среднем диаметре на 0,3%, интегральное значение – на 0,8%.

3. Увеличение количества элементов с 2,545 млн до 10,41 млн не привело к изменению КПД на среднем диаметре. В тоже время на рис. 2 видно, что в области вторичных течений КПД при увеличении количества элементов снизился, что привело к снижению интегрального значения КПД на 0,9%.

В ходе дальнейшей работы планируется провести исследования на новых сеточных моделях и моделях турбулентности, а также детально изучить влияние каждого из параметров сетки.

### Список литературы

1. Оптимальные настройки численных моделей газового потока в осевых неохлаждаемых турбинах / Г.М. Попов [и др.] // International Conference on Aviation Motors – ICAM 2020 Москва, Россия, 18–21 мая. 2021. Т.1. С. 426–430.

2. Вятков В.В., Курдюков А.В., Ремизов А.Е. Выбор способа борьбы с вторичными течениями в лопаточных венцах газовых турбин // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. 2016. №1 (36). С. 3–7.

3. Goldman L.J., McLallin K.L. Cold-air annular-cascade investigation of aerodynamic performance of core-engine-cooled turbine vanes. NASATMX-3224. 1975.

### Сведения об авторах

Попов Григорий Михайлович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Зубанов Василий Михайлович, младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Волков Андрей Александрович, младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Корнеева Анастасия Ивановна, младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

## NUMERICAL STUDY OF THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE TURBINE ANNULAR GRATING VANES

Popov G.M., Zubanov V.M., Volkov A.A., Korneeva A.I.  
Samara National Research University, Samara, Russia, [korneeva.ai@ssau.ru](mailto:korneeva.ai@ssau.ru)

*Keywords: stator turbine vane, numerical simulation, workflow, uncooled turbine.*

The paper presents the results of the study of the influence of the choice of parameters of numerical models of the working process of uncooled turbines with aerodynamically short blade rings, in which secondary flows are closed.