

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ НА РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЬЦЕВОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА

© Корнеева А.И., Зубанов В.М., Попов Г.М.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: korneeva.ai@ssau.ru

При проектировании современных авиационных турбин и их доводке широкое применение приобрели методы вычислительной газовой динамики (CFD), основанные на решениях осредненных по времени уравнений Навье – Стокса. Использование данных моделей позволяет сократить трудозатраты и время доводки в сравнении с экспериментальным определением характеристик турбин. При этом численные модели рабочего процесса турбин должны с высокой точностью описывать рабочие процессы, происходящие в турбине, а также 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, в которых вторичные течения (ВТ) не смыкаются, из-за чего вторичные потери возникают только в области вторичных течений у втулки и на периферии лопаточных венцов (ЛВ).

Современное развитие ТРДД по параметрам рабочего процесса приводит к уменьшению длины ЛВ турбин высокого давления (ТВД). В этом случае ВТ смыкаются, начинают взаимодействовать в межлопаточных каналах и практически невозможно выделить ядро потока. Лопатки таких турбин называются аэродинамически короткими. Также существует целый класс приводных турбин, например, турбины воздушных турбостартеров с аэродинамически короткими лопатками [2].

Рекомендации по выбору параметров численных моделей рабочего процесса таких ЛВ отсутствуют.

В связи с этим была поставлена задача разработки рекомендаций по выбору значений параметров численных моделей рабочего процесса ЛВ осевых турбин с аэродинамическими короткими лопатками.

Объектом исследования являлся рабочий процесс в ЛВ с аэродинамически короткими лопатками. В качестве предмета исследования выбран неохлаждаемый сопловой аппарат (СА) из отчета NASA [3], для которого известны экспериментальные значения интегральных характеристик и распределения потерь по высоте лопатки. Согласно рекомендациям [1], в программе NUMECA AutoGrid5 были созданы три сеточные модели (таблица).

Таблица 1. Параметры сеточных моделей

Обозначение	В2В	Параметры распределения элементов по высоте проточной части		y+	Количество элементов сетки, млн
		ER	MR		
«Быстрая»	В2В-2	1,4	1000	1	0,637
«Поверочная»	В2В1	1,2	1000	1	2,545
«Тяжелая»	В2В3	1,1	235	1	10,41

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, соответствующие экспериментальным данным [3]. В качестве рабочего тела использовался Air (Real) (воздух, реальный).

С помощью указанных в таблице сеток были составлены численные модели рабочего процесса ЛВ СА с использованием моделей турбулентности Spalart-Allmaras (SA) и SST.

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

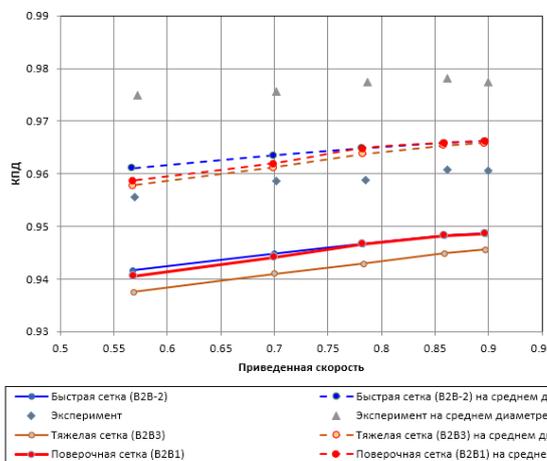


Рис. 1. Зависимость КПД от приведенной скорости

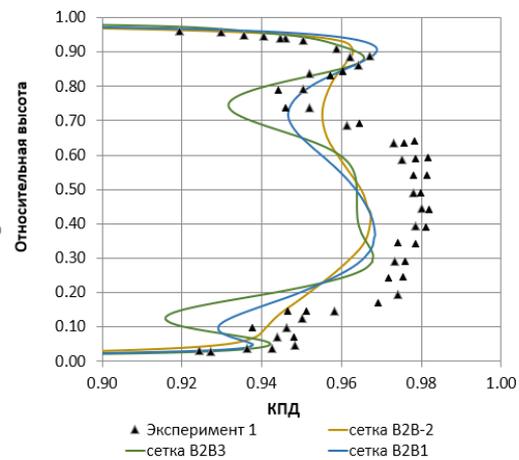


Рис. 2. Распределение КПД по высоте проточной части

На основе анализа полученных результатов расчета сделаны следующие выводы:

1. Все расчетные модели несколько завышают потери и занижают значение КПД ЛВ СА как на среднем диаметре, так и его интегральное значение. Расчетные 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 завышают значения КПД относительно остальных расчетных моделей: на среднем диаметре на 0,3 %, интегральное значение – на 0,8 %.

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

Библиографический список

1. Попов Г.М., Матвеев В.Н., Колмакова Д.А., Волков А.А., Горячкин Е.С. Оптимальные настройки численных моделей газового потока в осевых неохлаждаемых турбинах // International Conference on Aviation Motors – ICAM 2020 Moscow, Russia, May 18–21, 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. 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. // NASA TM X-3224. 1975.