

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕКЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ ТУРБИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЁТА СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ

Якимов А.Е., Калинина К., Ильин И.М.
Самарский университет, г. Самара, yakimov.ae@ssau.ru

Ключевые слова: газотурбинный двигатель; турбина; численное моделирование; совместная расчётная модель; коррекция характеристик; КПД; пропускная способность.

Полное газодинамическое численное моделирование турбины, совместно со всеми каскадами является трудоемким и вычислительно затратным процессом, поэтому для определения характеристик турбин они моделируются отдельно. Такой подход позволит сократить время, однако не всегда обеспечивает соответствии результатам совместной модели. Вследствие этого возникает необходимость определения коррекции характеристик отдельных каскадов по результатам совместной модели.

Объектом исследования является турбина газотурбинного двигателя, включающая турбину высокого давления (ТВД), турбину низкого давления (ТНД) и свободную турбину (СТ).

Сеточные модели строились в NUMECA AutoGrid5 [1] с использованием структурированной гексаэдральной сетки. В первую очередь было выполнено построение сеточной модели всей турбины, после чего из данной модели были выделены отдельные модели. Далее полученные сеточные модели экспортировались в Ansys CFX [2]. Основные параметры сеточных моделей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные параметры сеточных моделей

Модель	Число элементов, млн	Параметр y^+
Совместная модель	47,5	~1,0
ТВД	12,8	
ТНД	9,7	
СТ	21,5	

На первом этапе был выполнен расчёт совместной модели. Расчёты проводились в стационарной постановке. В качестве рабочего тела использовались продукты сгорания с учётом зависимости теплоёмкости, теплопроводности и динамической вязкости от температуры. Для каждого каскада задавалась соответствующая частота вращения. На входе в расчётную область задавались полное давление и радиальное распределение полной температуры, на выходе – статическое давление, соответствующее атмосферному. Модель турбулентности Shear Stress Transport (SST) [3].

На следующем этапе были выполнены расчёты отдельных моделей ТВД, ТНД и СТ. Расчёты выполнялись в аналогичной постановке совместной модели. Входные граничные условия для отдельных моделей задавались на основе радиальных распределений, полученных из расчёта совместной модели. Для выполнения коррекции расчёты отдельных моделей выполнялись при степени понижения полного давления, аналогичным полученным при расчёте совместной модели. По результатам расчетов определяются интегральные параметры и рассчитываются коррекции для КПД и пропускной способности:

$$\delta\eta_m^* = (\eta_{m,совм}^* - \eta_{m,отд}^*) \cdot 100; \delta A = \frac{A_{совм} - A_{отд}}{A_{отд}} \cdot 100 \quad (1, 2)$$

Рассчитанные значения коэффициентов коррекции приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Коэффициенты коррекции интегральных параметров турбин

Параметр	$\delta\eta^*$, %	δA , %
ТВД	1,123	-0,566
ТНД	-1,692	-3,285
СТ	0,607	-0,556

Из представленных данных следует, что при расчете каскадов турбин отдельно возникают отличия интегральных параметров относительно совместной модели. Наиболее заметные изменения наблюдаются для КПД и пропускной способности в ТВД и ТНД, что связано с изменением структуры потока при выделении отдельных расчётных областей и отсутствием полного учёта взаимодействия между каскадами.

В работе выполнено сопоставление характеристик при расчете отдельных моделей каскадов турбины с результатами расчёта совместной модели. Показано, что при расчете отдельных каскадов возникают отличия по КПД и пропускной способности, что связано с отсутствием полного учёта совместного влияния смежных элементов. По результатам сопоставления определены относительные значения коррекции параметров, которые могут быть использованы для уточнения результатов расчётов отдельных каскадов турбин.

Список литературы

1. NUMECA Theoretical manual FINETM/Turbo v9.0. – Brussels: NUMECA International, 2013. – P. 151.
2. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Release 2021 R2. – Canonsburg: ANSYS, Inc., 2021. – P. 387.
3. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications // AIAA Journal. – №32(8), 1994. – Pp. 1598 – 1605.

Сведения об авторах

Якимов Алексей Евгеньевич – аспирант каф. ТДЛА им. В.П. Лукачёва. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Калинина Ксения, студент – Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин, рабочие процессы ракетных двигателей.

Ильин Илья Михайлович – инженер-конструктор лаборатории лопаточных машин. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин, рабочие процессы ракетных двигателей.

DETERMINING THE CORRECTION OF THE CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL TURBINE CASCADES BASED ON THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE JOINT MODEL

Yakimov A.E., Kalinina X., Ilyin I.M.

Samara University, Samara, Russia, yakimov.ae@ssau.ru

Keywords: gas turbine engine; turbine; numerical simulation; joint calculation model; correction of characteristics; efficiency; throughput.

This paper compares joint and separate computational models of gas turbine engine turbine cascades. Efficiency and throughput correction necessary to refine the results of independent calculations are determined.