

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНЕЧНО-ОБЪЁМНОЙ СЕТКИ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ОСЕВЫХ ТУРБИНАХ

©2018 Г.М. Попов, В.Н. Матвеев, О.В. Батулин, Ю.Д. Новикова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

ESTIMATION OF THE EFFECT OF FINITE-VOLUME MESH PARAMETERS ON THE SIMULATION OF THE WORKING PROCESS OF AXIAL TURBINES

Popov G.M., Matveev V.N., Baturin O.V., Novikova Yu.D. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The paper gives recommendations on the creation of numerical models of the working process in axial turbines. The recommendations are based on the comparison between the flow structure and the model parameters: the 3D-mesh parameters and turbulence models. The recommendations make it possible to improve the efficiency of gas-dynamic design and development of aviation uncooled turbines.

CFD-модели рабочего процесса турбин широко используются многими исследователями при проектировании, доводке и оптимизации турбин. К CFD-моделям турбин предъявляются определённые требования. С одной стороны, они должны точно описывать физические процессы, происходящие в турбинах и позволять предсказывать интегральные характеристики турбин. С другой стороны, численные модели должны иметь минимальное расчётное время [1, 2]. Особенно, если эти модели используются в процессе проектирования и оптимизации турбин, где может потребоваться большое количество вычислений и обращений к математической модели [3].

Для решения задачи выбора параметров численной модели был разработан метод, основанный на сопоставлении структуры потока в турбинах (рис. 1) и параметров численной модели: параметров сетки и модели турбулентности.

В частности, на моделирование течения в межлопаточном канале, а также вычисление профильных потерь на среднем диаметре турбин преобладающее влияние оказывают параметры двумерной сетки межлопаточного канала. В то время как на моделирование течения в области торцевых стенок (в области вторичных течений) и на расчёт вторичных потерь влияние оказывают параметры распределения элементов по высоте проточной части). Указанная декомпозиция параметров численной модели, элементов струк-

туры потока и потерь позволяет выполнять исследования по подбору параметров численной модели на основе физического представления о течении в межлопаточном канале турbine, а не простого изменения параметров сетки по всем направлениям.

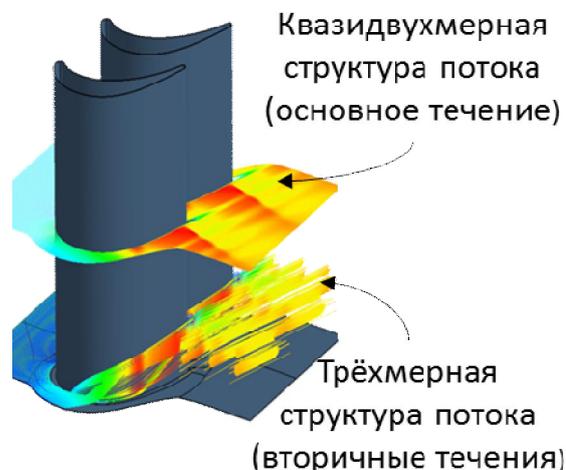


Рис. 1. Структура потока в характерных областях течения

В рамках работы с помощью указанного метода было выполнено исследование по влиянию параметров CFD-модели на моделирование течения в трёх турбинных решётках. Особенностью исследования было то, что для каскадов были известны данные их экспериментального исследования: зависимость коэффициента профильных потерь $\zeta_{\text{пр}}$ от изоэнтропической приведённой скорости λ_{2S} ($\zeta_{\text{пр}} = f(\lambda_{2S})$) (рис. 2), а также распределение потерь по высоте проточной части, что

позволяло провести детальную валидацию расчётных моделей [4]. В ходе исследований по валидации для каждой из решёток было создано 25 сеточных моделей, каждая из которых была рассчитана с использованием шести моделей турбулентности.

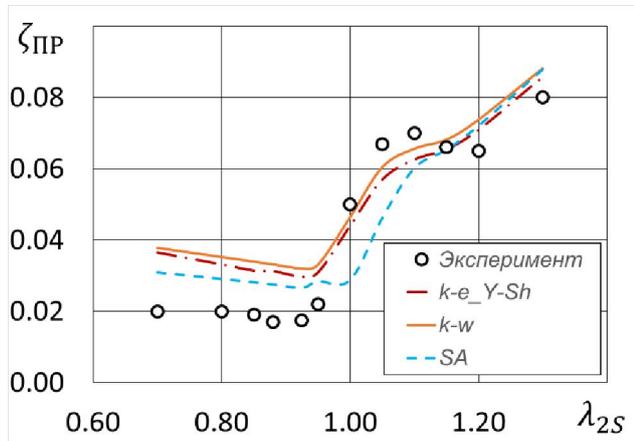


Рис. 2. Сопоставление экспериментальных и расчётных характеристик $\zeta_{пр} = f(\lambda_{25S})$, полученных с использованием базовых сеток и различных моделей турбулентности

Затем подобные исследования по валидации численных моделей были проведены для 9-ти неохлаждаемых турбин. Исследования проводились с учётом результатов, полученных при исследовании каскадов. В ходе исследования анализировалось влияние параметров сетки и моделей турбулентности на расчётные интегральные характеристики турбин, такие как пропускная способность и КПД. Для каждой из турбины было создано не менее 7 расчётных сеток, каждая из которых была посчитана с использованием 3-х моделей турбулентности

В ходе расчётов анализировалось не только точность моделирования параметров турбин и решёток, но также время расчёта и эффективность распараллеливания численных моделей.

Все результаты, полученные в ходе исследования, были обработаны и обобщены с

помощью методов математической статистики [5], что позволило выработать рекомендации по созданию как «лёгких», но быстрых численных моделей рабочего процесса турбин, которые могут быть использованы на этапе доводки и оптимизации, так и более «тяжёлых», но точных моделей турбин, которые могут быть использованы для детального изучения особенностей рабочего процесса в турбинах ГТД.

Библиографический список

1. Kuzmenko, M. L. Multistage axial flow compressor optimization using 3D CFD code / M. L. Kuzmenko, I. N. Egorov, Yu. N. Shmotin, P. V. Chupin, K. S. Fedechkin // Proceedings of the 6th ASMO UK/ISSMO conference on Engineering Design Optimization. – 2016.
2. Kuzmenko, M.L. Optimization Studies of the Aircraft High-Bypass ratio Turbo Engine Fan / M. L. Kuzmenko, I. N. Egorov, Yu. N. Shmotin, G. V. Kretinin, K. S.Fedechkin// Proceedings of the ASME Turbo Expo. – 2010.
3. Marchukov, E.Yu. Multidisciplinary optimization of the working process of uncooled axial turbine according to efficiency and strength criteria / E.Yu. Marchukov, I.N. Egorov, G.M. Popov, A.V. Salnikov, E.S. Goriachkin, D.A. Kolmakova// Proceedings of the ASME Turbo Expo. – 2017. – Paper No. GT2017-64843. – p. 1-13.
4. Венедиктов, В.Д. Исследование газодинамики и разработка способов повышения КПД охлаждаемых турбин авиационных высокотемпературных двигателей [Текст]: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Венедиктов Владимир Дмитриевич. – Москва, 1983. – 32 с.
5. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. - М.: АСТ: Астрель, 2006. - 991 с.