

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ
В ОСЕВЫХ ТУРБИНАХ СВЕРХМАЛОЙ МОЩНОСТИ
ПРИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

© 2018 Д.С. Калабухов, В.М. Радько

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

**JUSTIFICATION OF CFD-MODELING OF THE AXIAL ULTRALOW
POWER TURBINE WORKFLOW DURING THEIR DESIGN**

Kalabukhov D.S., Rad'ko V.M. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The problems of creating and calculating the numerical models of an axial ultra-low power turbine stage are considered. The technique of contracting the flow area and finite element mesh in an axial turbine is given. The efficiency coefficient and specific power characteristics which depend on the degree of pressure reduction $\pi_r = 2 \dots 6$ and on the loading parameter $Y_t = 0.1 \dots 0.5$ are obtained. The verification of the numerical experiment results by comparison with field experiment data is made.

Среди малоразмерных турбин сверхмалой мощности наиболее широко распространены турбины осевого типа, характеризующиеся лучшими, чем у турбин других типов, значениями энергетических показателей [1]. Особенности течения потока в малых каналах таких турбин накладывают ограничения на их газодинамические исследования. Экспериментальное измерение параметров течения в малых межлопаточных каналах затруднено с точки зрения получения качественных результатов натуральных физических экспериментов и имеет высокую стоимость. Поэтому интерес представляют численные методы исследования газодинамических процессов в турбинах сверхмалой мощности, лишённые недостатков физического эксперимента. В данной работе обосновано использование методов газодинамического численного моделирования для получения адекватных результатов при проектировании малоразмерных осевых турбин различного назначения. Моделирование расчётной области ограничено геометрией турбины, входная и выходная граница которой устанавливаются на некотором удалении от лопаточных венцов, что связано с необходимостью охвата турбулентных вихрей, особенно за рабочим колесом [2].

На рис. 1 показан упрощённый вариант расчётной области осевой турбины в меридиональном сечении, которая, однако, по-

зволяет учитывать утечки, расширение ядра потока в осевом зазоре и потери с выходной скоростью.

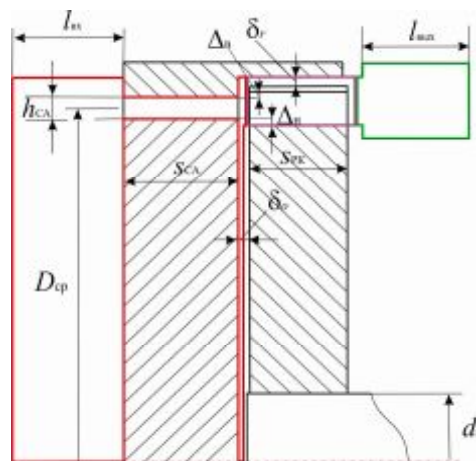


Рис. 1. Расчётная область
проточной части ОТСММ

Для решения задачи была выбрана тетраэдральная неструктурированная сетка с числом ячеек от 2 до 10 млн. в зависимости от количества моделируемых межлопаточных каналов и сложности геометрии расчётной области. Возле стенок применялась густая гексаэдральная сетка, обеспечивающая корректное моделирование пограничного слоя при значениях $y^+ = 1 \dots 2$.

Модель течения в проточной части условно имитировала реальное протекание газодинамических процессов: поток рабочего тела (воздух) на входе в расчётную область осесимметричный; отсутствовала окружная

неравномерность потока в СА и РК; учитывалось течение в осевом и радиальном зазорах, но не учитывались утечки газа в зазоре между диском РК и корпусом СА; моделировалась шероховатость в соответствии с её реальным значением (15-16 мкм).

Верификация численных моделей осуществлялась путём сравнения результатов натуральных и вычислительных экспериментов на модельных турбинах, которые проводились по идентичным планам эксперимента. Достоверность результатов вычислительных экспериментов зависит от множества различных факторов, в том числе от выбора модели турбулентности. В данной работе рассматривались модели турбулентности Ф. Ментера SST и модифицированная модель $k-\varepsilon$ RNG.

Верификация вычислительного эксперимента проводилась на основе анализа влияния моделей турбулентности на величины мощностного КПД η_T и удельной мощности турбины $N_{T\text{ уд}} = N_T / G_B$ и сравнения результатов моделирования и натурального эксперимента на автоматизированной тормозной установке. Полученные в результате характеристики приводились к стандартным атмосферным условиям, которым соответствовали граничные условия численного моделирования. Качественную верификацию оказалось удобным проводить графическим путем с помощью характеристик, представленных в виде $\eta_T = f(\pi_T)$ и $N_{T\text{ уд}} = f(\pi_T)$, и показанных на рис. 2.

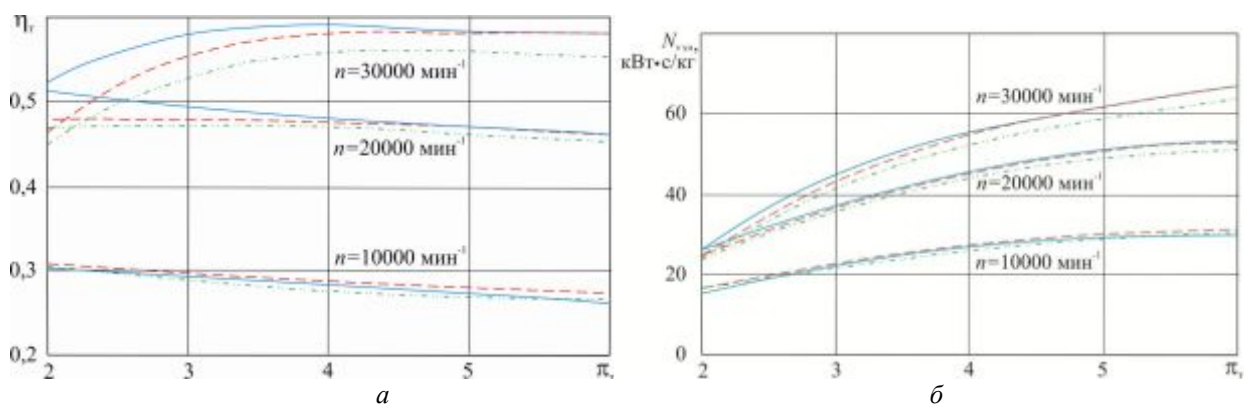


Рис. 2. Сравнение расчётных характеристик осевой турбины сверхмалой мощности с данными натурального эксперимента: а – $\eta_m = f(\pi_m)$; б – $N_{m\text{ уд}} = f(\pi_m)$

— натурный эксперимент;
 - - - модель SST;
 - . . - модель $k-\varepsilon$ RNG

Анализ характеристик турбины показал, что они наиболее адекватно рассчитываются с применением модели турбулентности SST. Различие результатов вычислительного эксперимента (модель SST) относительно натурального по КПД и удельной мощности составило 0,22% на расчётном безотрывном режиме с $n_{T\text{ р}} = 20000 \text{ мин}^{-1}$, $\pi_{T\text{ р}} = 6$ и $Y_{T\text{ р}} = 0,23$, тогда как соответствующие погрешности натурального эксперимента $\delta\eta_{T\text{ э}} = 0,92\%$ и $\delta N_{T\text{ уд э}} = 1,47\%$.

На основе полученных данных обоснована допустимость численного моделирования потока в диапазонах режимов работы турбины $\pi_T = 3 \dots 6$ и $Y_T = 0,1 \dots 0,27$ при частоте вращения ротора $n \leq 30000 \text{ мин}^{-1}$ для проектных исследований влияния геометри-

ческих параметров турбины на её эффективность в указанных диапазонах режимных параметров.

Библиографический список

1. Григорьев В.А., Калабухов Д.С., Радько В.М., Мусаткин Н.Ф. Анализ состояния проблемы повышения эффективности турбоприводов сверхмалой мощности и пути её решения / Авиационно-космическая техника и технологии. НАУ ХАИ. X. 2010. №7. С. 168-172.
2. Батурин О.В. и др. Исследование рабочего процесса в ступени осевой турбины с помощью универсального программного комплекса Ansys CFX: метод. указания. Самара: СГАУ. 2011. 100 с.