

## УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СОПЛОВОГО АППАРАТА ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ МИКРОТУРБИНЫ

Щербань А.И., Калинина К.

Самарский университет, г. Самара, korneeva.ai@ssau.ru

*Ключевые слова:* микротурбина, CFD-моделирование, рабочий процесс

В отличие от полноразмерных турбин, микротурбины характеризуются малой высотой лопаток сопловых аппаратов (1–3 мм) и пониженными числами Рейнольдса. В таких условиях поток газа становится преимущественно ламинарным, что сопровождается большими гидравлическими потерями в проточной части, тогда как в полноразмерных турбинах поток турбулентный. Дополнительно влияют следующие факторы: существенно большие, чем в полноразмерных турбинах, величины относительной толщины кромок лопаток, шероховатости и зазоров и низкое отношение высоты лопатки к хорде, что вносит непрогнозируемый вклад в потери энергии [1]. Отмеченные выше особенности микротурбин, и в первую очередь относительно малые высоты лопаток, необходимо учитывать при их проектировании, причем как при проведении одномерных проектных газодинамических, так и поверочных расчетов с помощью численного моделирования. Это позволяет существенно сократить экономические затраты и время на экспериментальную доводку.

Современные программные комплексы CFD ускоряют процесс проектирования, однако не могут полностью заменить экспериментальные исследования. Результаты численного моделирования необходимо обязательно проверять на адекватность путем сравнения с экспериментом, поскольку без такой проверки невозможно гарантировать корректное описание физики потока в микротурбинах. Использование невалидированных расчетных моделей при проектировании новых микротурбин ведет к высокому риску несоответствия итоговых характеристик изделия (мощности, КПД, расхода газа) заявленным проектным параметрам.

Целью данного исследования являлось уточнение математической модели микротурбины посредством получения коэффициента идентификации. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ экспериментальных характеристик сопловых аппаратов с различной высотой лопаток;
- численное моделирование потока в лопаточных венцах сопловых аппаратов осевых микротурбин в программном комплексе Numeca FineTurbo и проведение оценки точности полученных расчетных характеристик;
- уточнение численных моделей потока в лопаточных венцах сопловых аппаратов микротурбин при помощи введения коэффициента идентификации;
- апробация модели с коэффициентом идентификации при расчёте характеристики соплового аппарата микротурбины.

В качестве объекта исследования выбран сопловой аппарат центростремительной микротурбины (СА ЦСМТ) с высотой сопловых лопаток в диапазоне от 0,35 до 3,00 мм [2].

На основании полученных экспериментальных характеристик было выполнено численное моделирование рабочего процесса СА ЦСМТ в программном комплексе Numeca FineTurbo и проведена верификация расчетных характеристик. Оценка точности полученных рассчитанных характеристик соплового аппарата осуществлялась с использованием критерия Фишера. По результатам численного моделирования не удалось достичь погрешностей, требуемых для признания адекватности моделей (менее 5%).

Уточнение численных моделей потока проводилось с помощью введения в математические модели коэффициентов идентификации.

По результатам работы были получены зависимости коэффициента идентификации от изоэнтропического числа Маха в сечении на выходе из соплового аппарата, позволяющие адекватно воспроизводить результаты эксперимента с помощью численного моделирования. Это позволило уточнить существующую методику моделирования рабочих процессов центростремительных микротурбин и сократить трудозатраты и время при разработке эффективных численных моделей рабочего процесса СА ЦСМТ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания (номер проекта FSSS-2024-0015, «Изучение закономерностей рабочих процессов нагнетательных машин на базе сопряженных математических моделей»).*

### **Список литературы**

1. Зеленов, С.Н. Расчетно-экспериментальные исследования потерь в лопаточной решетке малоразмерных турбин (МРТ) / С.Н. Зеленов, П.В. Семашко // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 12. – С. 14-21.
2. Экспериментальное исследование влияния высоты лопаток на газодинамические характеристики направляющих лопаток сопла центростремительной микротурбины / А.И. Щербань, В.М. Зубанов, В.Н. Матвеев [и др.] // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2025. – Т. 29, № 3(109). – С. 85-95. – DOI 10.54708/19926502\_2025\_29310985.

### **Сведения об авторах**

Щербань Анастасия Ивановна – старший преподаватель кафедры 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.

### **REFINEMENT OF THE COMPUTATIONAL MODEL OF THE WORKING PROCESS OF THE NOZZLE APPARATUS OF A CENTRIPETAL MICROTURBINE**

Shcherban A.I., Kalinina K.

Samara University, Samara, Russia, korneeva.ai@ssau.ru

*Keywords: microturbine, CFD modeling, workflow*

The paper describes the features of numerical modeling of microturbines. The performed study made it possible to refine the existing numerical models of the working process of nozzle devices of centripetal microturbines by introducing identification coefficients.