

УДК 629.7.036.3

СОЗДАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТУРБИНЫ МГТД

© Демахин Р.А., Мельников С.А., Зубанов В.М.

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

e-mail: waskes91@gmail.com

В настоящее время вычислительная гидрогазодинамика (Computational Fluid Dynamics – CFD) становится все более популярным инженерным инструментом. Применение компьютерных технологий при создании малоразмерного газотурбинного двигателя и его элементов позволяет не только автоматизировать процесс разработки, но и проводить валидацию и анализ рабочих процессов уже созданных МГТД и их элементов. В данной работе приведены результаты моделирования рабочего процесса турбины существующего МГТД P220-RXi фирмы JetCat [3] с использованием программного обеспечения NUMECA FINETURBO [4].

Детали турбины МГТД JetCat P220-RXi, образующие проточную часть, лопатки и корпус были образмерены с помощью координатно-измерительной машины ZEISS MMZ G 20/30/20 [5]. На основе измеренных данных в программе NX 8.5 были созданы геометрические модели лопатки и корпуса. При оцифровке геометрии могли быть допущены неточности. На основе полученной таким образом геометрии турбины была создана сеточная модель в программе AutoGrid 5.1. Сеточная модель состояла из 2,0 млн элементов. С целью получения стабильности решений в программе NUMECA FineTurbo геометрия лопаток и меридиональных сечений была незначительно упрощена: убраны галтели, не учитывалось расширение деталей проточной части вследствие нагрева. Расчет проводился с использованием рабочего тела воздух – Air (Real gas) из стандартной библиотеки Numeca FineTurbo. Уравнения газовой динамики решались с использованием математической модели Turbulent Navier-Stokes, модель турбулентности была задана SpalartAllmaras (SA).

Для моделирования рабочего процесса турбины были использованы следующие граничные условия:

- в качестве рабочего тела используется воздух из стандартной библиотеки Numeca FineTurbo;
- скорость вращения ротора 117000 об/мин [3];
- полное давление на входе в турбину 373907 Па, полная температура 1220 К [3];
- моделирование проводилось в стационарной постановке;
- для расчета характеристики на выходе турбины задавалось статическое давление в диапазоне 312 – 110 кПа.

В ходе решения с использованием созданной расчетной модели турбины были получены данные о параметрах работы турбины в зависимости от изменения степени понижения давления π_m . На рис. 1 показана зависимость расхода через турбину от степени понижения давления. На основе полученных характеристик сделаны выводы о правильности полученного решения. Поведение характеристики соответствует теории лопаточных машин.

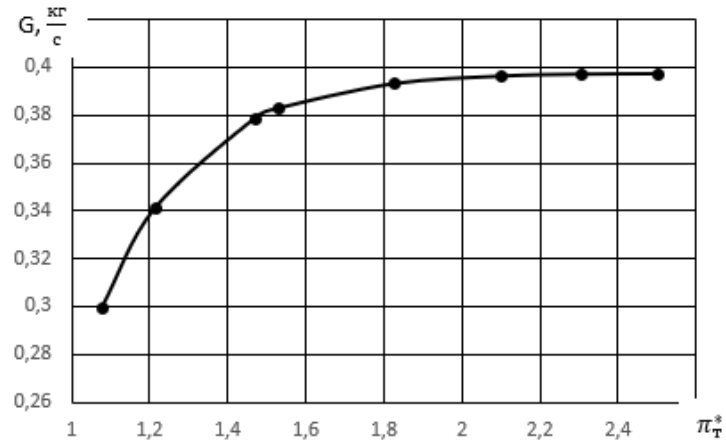


Рис. 1. Характеристика турбины

Из рис. 1 видно, что при $\pi_m > 2,1$ происходит заклинивание горла в турбине и расход далее не изменяется. По результатам расчетных данных получили значение расхода $G_T = 0,40 \text{ кг/с}$. Массовый расход, по справочным данным [3], составляет $G_T = 0,45 \text{ кг/с}$. Погрешность в 11 % может быть связана с допущениями, принятыми в начале работы: отсутствие галтелей, использование воздуха как рабочего тела, холодная геометрия – не учитывается расширение металла при нагревании рабочим телом.

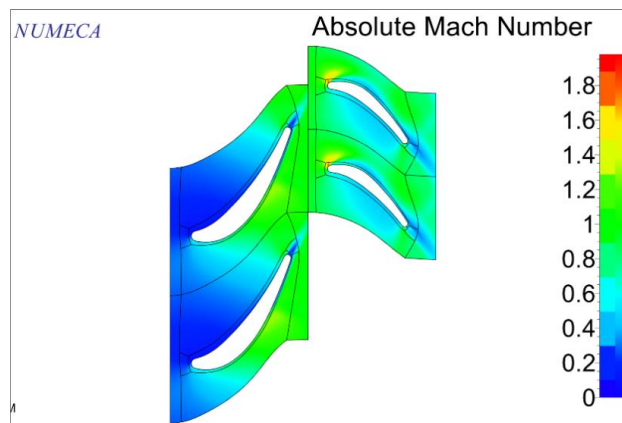


Рис. 2. Распределение изменения числа Маха по межлопаточному сечению

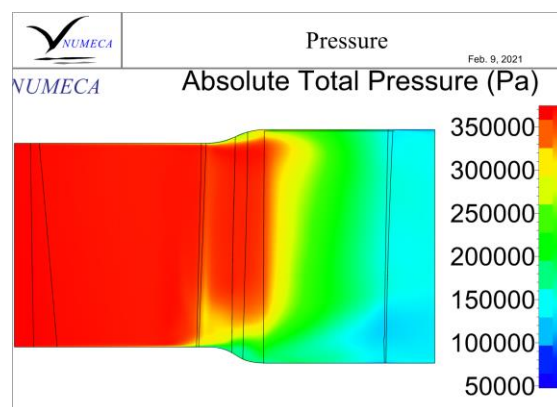


Рис. 3. Распределение изменения полного давления по меридиональному сечению

На рис. 2 приведено распределение числа Маха в межлопаточном сечении на высоте 50 %. На рис. 3 приведено распределение изменения полного давления в меридиональном сечении турбины для точки расчетного значения расхода.

Полученные результаты подтверждают верность течения рабочего тела с физической точки зрения. Число Маха плавно возрастает от входного сечения соплового аппарата к выходному сечению рабочего колеса. Также наблюдается небольшое завихрение потока на входе в лопатку рабочего колеса ($M = 1.8$). Полное давление понижается к выходу из ступени турбины.

В результате работы была получена характеристика ступени турбины. В ходе дальнейшей работы планируется валидация характеристики турбины с экспериментальными данными и исследование влияния параметров численной модели на результаты расчета [2; 4].

Библиографический список

1. Численное моделирование рабочего процесса свободной турбины совместно с турбинами низкого давления, переходным каналом и выходным устройством: электрон. учеб. пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т) ; [авт.-сост. О. В. Батулин, Е.С. Горячкин, Д. А. Колмакова, Г.М. Попов, А. И. Леденев]. Самара, 2013.
2. NUMECA Theoretical manual FINETM/Turbo v9.0. Brussels: NUMECA International, 2013. 151 p.
3. Параметры двигателя P220-RXi / Jet Cat. URL: <https://www.jetcat.de/en/productdetails/produkte/jetcat/produkte/hobby/Engines/p220-rxi> (дата обращения: 9.12.2021).
4. NUMECA FINETURBO / NumecaRussia: <http://numeca.ru/fine-turbo> (дата обращения: 9.12.2021).
5. Development of compensation procedure for systematic errors of coordinate measuring machines with standard tooling / Ruzanov N.V., Bolotov M.A., Pechenin V.A. Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9. № 12. P. 1082–1086.