

УДК 533.6.011

## ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ 1D РАСЧЕТА ОХЛАЖДАЕМОЙ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

© Кривоногова Т.О, Горячкин Е.С.

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

e-mail: Krivonogova\_1999@mail.ru

Численное моделирование рабочего процесса охлаждаемой осевой турбины, активно развивающееся в настоящее время, позволяет снизить стоимость конечного продукта и сократить время его проектирования и доводки. В данной работе проведена валидация упрощенной методики одномерного проектирования на примере современной охлаждаемой двухступенчатой турбины высокого давления (ТВД), а также выполнено численное моделирование по результатам этой методики.

На первом этапе были сняты необходимые исходные данные: втулочные и периферийные размеры ТВД  $D_{em}$  и  $D_k$ ; полное давление и температура на входе в ТВД  $p_0$  и  $T_0$ ; частота вращения ротора ВД  $n$ ; удельная работа ТВД  $L$ ; осевая скорость и расход воздуха в каждом сечении:  $c_{ai}$  и  $G_i$  с базового проекта реальной трехмерной модели исследуемой турбины. Далее выполнялся 1D проектировочный расчет.

На втором этапе было выполнено 3D-моделирование турбины по результатам 1D проектирования. Моделирование лопаток осуществлялось в программном обеспечении NUMECA AutoBlade, которые после импортировались в сеткопостроитель AutoGrid. Полученная сеточная модель имела следующие характеристики:  $y^+ = 1$ ; expansionRatio – 1,4; aspectRatio – 2000; количество элементов – 2 671 396.

Постановка и решение задачи осуществлялись в программном обеспечении NUMECA FINE™/TURBO в соответствии с рекомендациями [1]. Система охлаждения идентична системе охлаждения базового проекта ТВД. В качестве граничных условий на входе были заданы полная температура и полное давление, на выходе – значение статического давления. Модель рабочего тела – идеальный газ со свойствами продуктов сгорания. Модель турбулентности – Spalart-Allmaras. Результаты численного моделирования в FINE™/TURBO были сопоставлены с результатами одномерного проектирования и с результатами численного моделирования базового проекта.

На рис. 1 и 2 приведены графики изменения полного давления и полной температуры, соответствующие базовому проекту (сплошная линия) и результатам одномерного проектирования (пунктирная линия). Максимальная разница по полному давлению, полученному в результате одномерного проектирования, не превышает 12 % по сравнению с параметрами базой трехмерной модели, максимальное отличие полной температуры не превышает 2 %.

3D-модель ТВД, смоделированная по результатам одномерного проектирования, отличалась от базовой модели на не более 13 % по полному давлению и на не более 1 % по полной температуре. С результатами 1D проектировочного расчета 3D-модель имела разницу не более 5 % по полному давлению и не более 2,2 % по полной температуре.

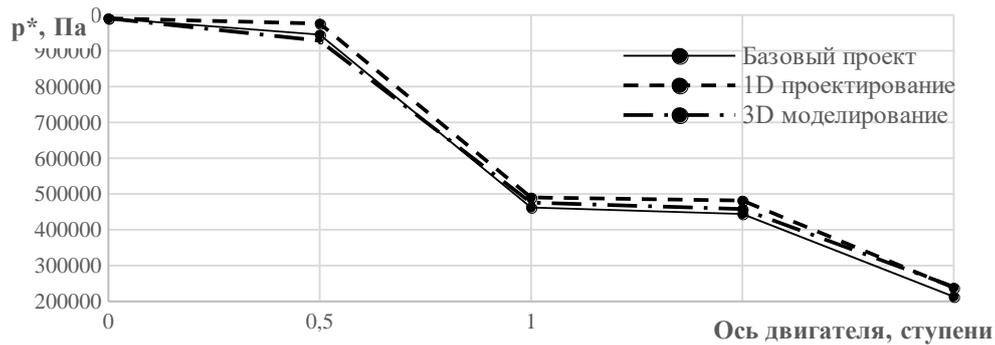


Рис. 1. Сравнение полного давления по сечениям ТВД

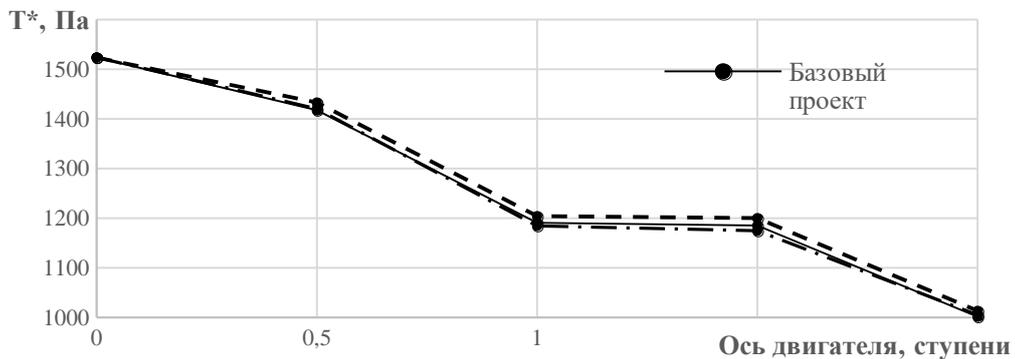


Рис. 2. Сравнение полной температуры по сечениям ТВД

В результате работы был получен проект современной двухступенчатой турбины высокого давления, исходными данными для которого являлись результаты одномерного проектирования. После сравнения параметров полученной и базовой моделей было установлено, что методика одномерного проектирования дает приемлемые результаты, которые можно использовать для трехмерного моделирования и получить похожую на базовую, но не идентичную, турбину. Чтобы получить меньшую разницу между моделируемой и базовой турбиной, в методике одномерного проектирования стоит уточнить такие основные параметры, как хорда профиля, угол установки профиля, горло решетки, площадь сечений.

### Библиографический список

1. Попов Г.М., Горячкин Е.С., Смирнова Ю.Д., Батурин О.В. Численное моделирование рабочего процесса и расчета характеристик вентилятора ГТД с помощью методов вычислительной газовой динамики: электрон. учеб. пособие. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). Электрон. текстовые и граф. дан (11,4 Мбайт). Самара, 2014.