**ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ ТУРБИНЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА НА ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ**

П.В. Шибалова, Д.В. Ворошнин

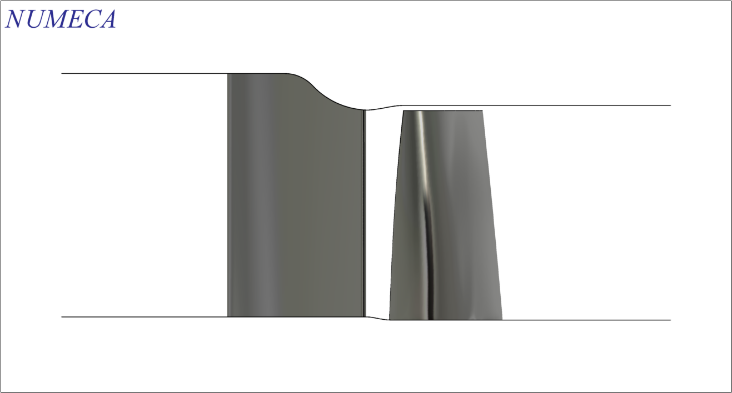
ООО «НУМЕКА», Санкт-Петербург

## 1 Введение

Целью работы является создание расчётной модели ступени турбины, изучение влияния величины радиального зазора рабочей лопатки на интегральные параметры и характер течения. В работе исследуется сеточная сходимость, анализируется влияние модели турбулентности, результаты расчетных исследований сравниваются с экспериментальными.

## 2 Результаты

В рамках задачи построена расчётная модель газовой турбины (рис.1) в ПК Numeca Fine/Turbo.



**Рис. 1** Геометрия турбины

Расчетная сетка - блочно-структурированная гексагональная, полученная с помощью специализированного сеточного генератора AutoGrid5. Сеточная сходимость исследовалась на трёх сетках различной подробности. Параметры сеток представлены в таблице 1.

Решалась система уравнений RANS. Рабочее тело - термически совершенный газ. Решение выполняется для одного межлопаточного канала с условиями периодичности на границах. На ротор-статор интерфейсах применяется граничное условие Mixing Plane. Рассматривались следующие модели турбулентности: k-ε, Спаларта − Аллмараса, EARSM, SST c расширенным пристеночным моделированием на каждой из трёх сеток.

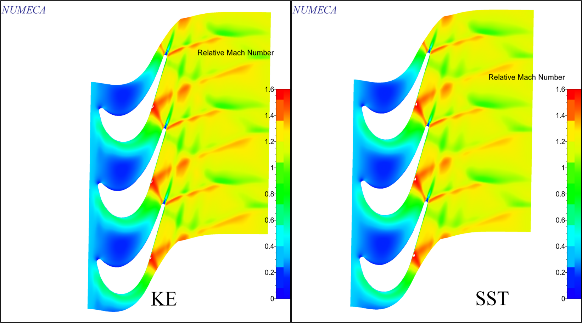
Рассмотрены различные величины радиального зазора рабочей лопатки: относительный зазор величиной 0.01, 0.015, 0.024.

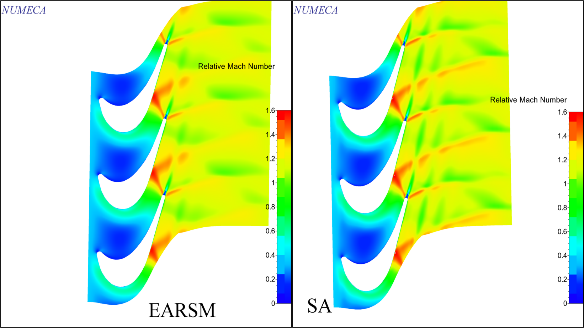
Для зазора 0.024 сеточная сходимость исследовалась для каждой модели турбулентности по распределениям адиабатического КПД и угла выхода потока по высоте канала в сечении экспериментальных замеров. Сеточная сходимость достигается на сетке в 2 млн. ячеек.

**Таблица 1.** Параметры сеток

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Грубая | Средняя | Подробная |
| Количество ячеек, млн | | 1.1 | 2.3 | 6.7 |
| Кол-во ячеек по высоте, шт | Статор | 53 | 73 | 81 |
| Ротор | 73 | 93 | 101 |
| Кол-во ячеек в зазоре, шт | | 17 | 33 | 33 |
| Размер пристеночной ячейки, м | | 10-6 | 10-6 | 10-6 |
| Значение y+ | | <1 | <1 | <1 |

Сравнение распределений параметров с экспериментальными данными показывает, что все модели хорошо согласуются по углу потока до 60% высоты канала (рис.3). В районе зазора максимальная разница составляет 20˚. Течение в привтулочном сечении РЛ для всех моделей представлено на рис.2. Для дальнейших исследований выбрана модель SST.





**Рис. 2** Распределение числа Маха в относительном движении в привтулочном сечении РЛ

**Рис. 3** Распределение угла потока по высоте канала в сечении за рабочей лопаткой

**Рис. 4** Распределение КПД по высоте канала в сечении за рабочей лопаткой

Исследовалась сеточная сходимость в радиальном зазоре (=0.024), при этом общее количество ячеек по высоте канала оставалось постоянным. Сходимость достигнута при 25 ячейках по высоте.

Зависимость КПД от величины зазора представлена на рис. 5.

**Рис. 5** Влияние радиального зазора на КПД турбины

**3 Заключение**

Разработана расчетная модель ступени турбины. В процессе проанализировано влияние модели турбулентности, расчетной сетки и величины зазора на газодинамические параметры.

Сравнение с экспериментом даёт качественно похожую картину.

В дальнейшем расчетная модель может быть доработана путем включения горячей геометрии и учета нестационарных эффектов.

## Список использованных источников

1. Кампсти, Н. Аэродинамика компрессоров Текст. / Н. Кампсти.- М.: Мир, перевод под ред. Ф. Ш. Гельмедова, 2000.
2. Japikse D. Nicholas C. Baines "Introduction to Turbomachinery", Concepts ETI, Inc., 1997
3. C. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows: the Fundamentals of Computa-tional Fluid Dynamics, 2nd ed. Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2007.