

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЖЕКТОРА

Шакин Н.А.<sup>1</sup>, Старостин Д.А.<sup>1</sup>, Миронов Н.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, shakinwrk@mail.ru

*Ключевые слова:* CFD моделирование, эжектор, коэффициент эжекции, модель турбулентности.

Рационализация конвективного охлаждения элементов ГТУ в общем случае подчиняется правилу: обеспечить максимальную теплоотдачу при минимальной температуре хладагента в условиях режимных (доля отбираемого воздуха) и конструктивных (масса и габариты) ограничений. Распространённое решение, позволяющее соблюсти упомянутый принцип – эжекция относительно холодного воздуха окружающей среды (пассивного воздуха) сверхзвуковым потоком воздуха высокого давления (активного воздуха).

В данной работе была создана 2D осесимметричная модель воздушного домена, включающая в себя проточную часть трубки активного воздуха, трубки эжектора и присоединенный объем. Рабочим телом в системе эжектора является воздух, отбираемый из ресивера за компрессором высокого давления, и воздух, эжектируемый из окружающей среды. Критерием эффективности эжектора является коэффициент эжекции – отношение массовых расходов пассивного и активного воздуха.

Расчётная модель верифицирована по расчётным данным из [1] (рис. 1) с использованием вариантов с различным сеточным разрешением и моделями турбулентности (рис. 2). Показано, что модель турбулентности *RSM-BSL* позволяет получить наиболее адекватные результаты с точки зрения наблюдаемой картины течения: ярко-выраженный прямой скачок уплотнения в ядре потока и «косые» волны, отражающиеся от скачка, элементов конструкции и друг от друга. Приемлемый результат позволили получить модели турбулентности группы *k- $\omega$* , однако данные модели склонны к дестабилизации процесса расчёта и генерации случайных околосвуковых структур ниже скачка по потоку. Модели группы *k- $\epsilon$* , несмотря на достоверный прогноз гидравлических характеристик системы эжекции на рассматриваемом режиме, не позволили получить модельную картину сверхзвукового потока, в связи с чем не приняты к рассмотрению в рамках оптимизации в связи с риском получить ошибки случайного характера.

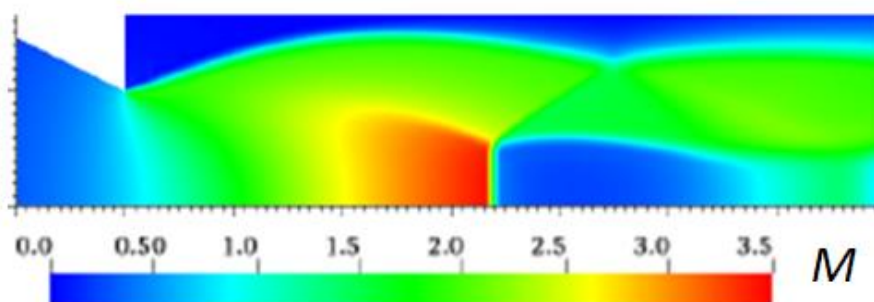


Рисунок 1 – Распределение числа Маха при истечении из модельного сопла на перепаде  $\pi_p \approx 7$  [1]

Для разработанных моделей выполнено валидационное исследование на базе испытаний в составе ГТУ, показавшее удовлетворительное качественное совпадение расчётных результатов с экспериментальными (рис. 3).

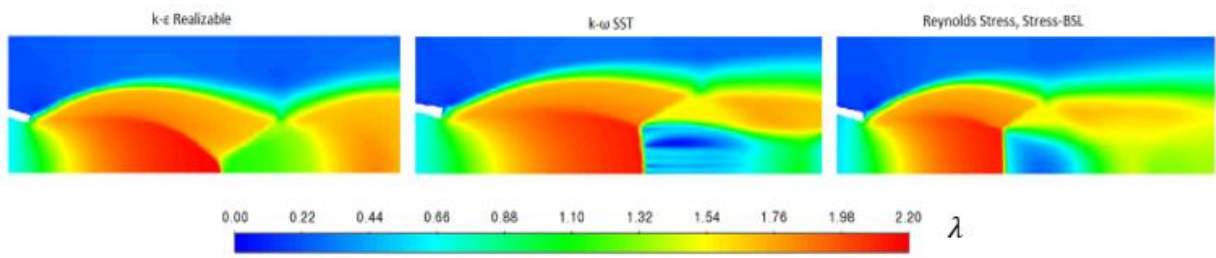


Рисунок 2 – Поле приведенной скорости для нескольких моделей турбулентности (наиболее адекватная картина течения потока с выраженным прямым скачком уплотнения наблюдается при использовании модели турбулентности RSM Stress-BSL)

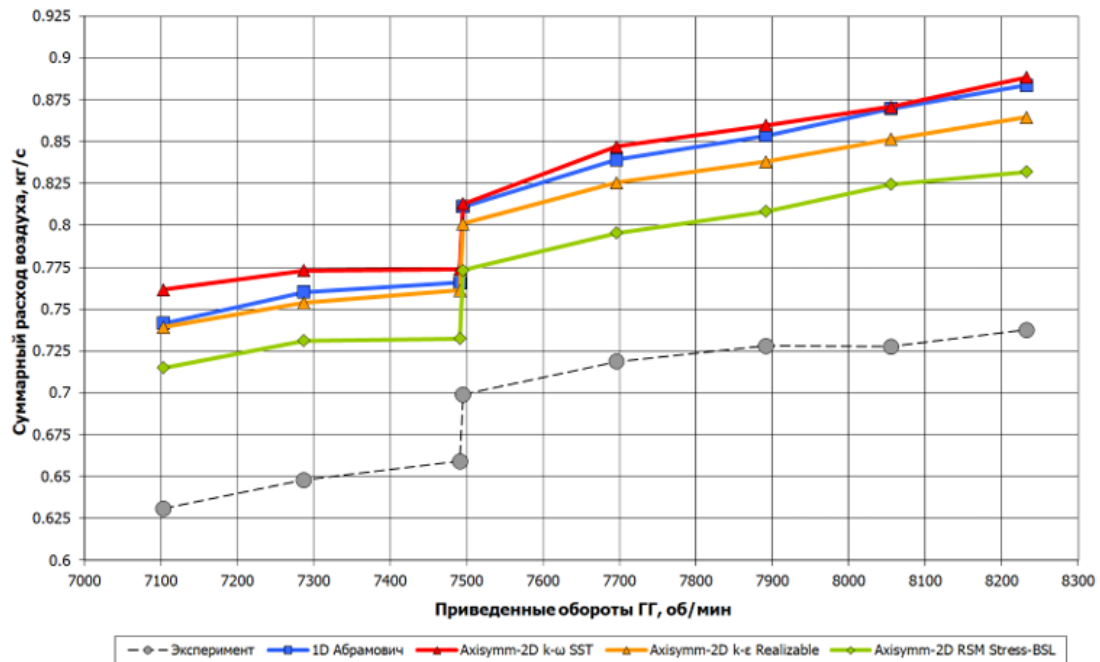


Рисунок 3 – Сравнение расчётных и экспериментальных данных для системы эжекции по режимам дроссельной характеристики ГТУ

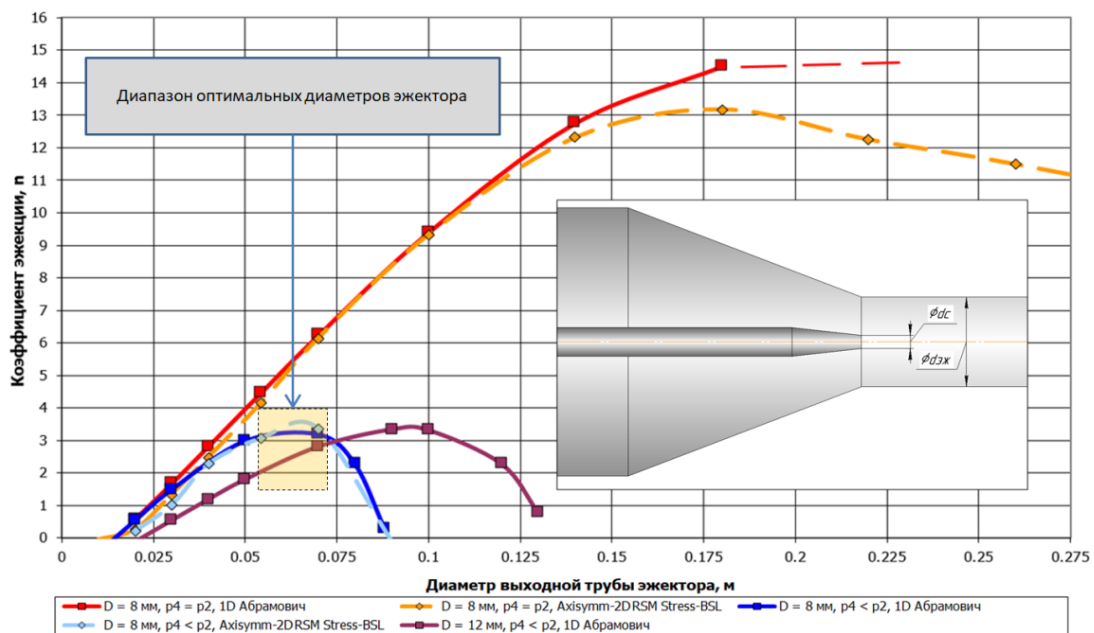


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента эжекции от наружного диаметра эжектора с учетом противодавления

Проанализирована точность низкоуровневой модели в сравнении с результатами CFD исследования. Показано, что методика расчёта, приведённая в [2], позволяет адекватно

моделировать зависимость коэффициента эжекции от диаметра эжектора, которая в общем случае имеет максимум (рис. 4).

Показано смещение кривой данной зависимости влево при уменьшении диаметра сопла активного воздуха на 30%: в рамках рассматриваемой конструкции это позволило обеспечить коэффициент эжекции в окрестностях максимума при выполнении жёстких требований к габаритам.

В рамках настоящей работы проведена оптимизация геометрии эжектора с учётом ограничений по его габаритам и расходу активного воздуха. Оптимальная геометрия позволила снизить отбор воздуха ВД на 56% при неизменном теплосъёме с элементов статора турбины ГТУ.

### **Список литературы**

1. *Nathan Spotts, Stephen Guzik yand Xinfeng Gao «A CFD analysis of compressible flow through convergent-conical nozzles» // AIAA Journal.*

2. *Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика, издание третье, переработанное // Изд. «Наука», Москва, 1969.*

### **Сведения об авторах**

Шакин Никита Александрович, инженер-конструктор. Область научных интересов: моделирование сверхзвуковых течений, расчётная газодинамическая доводка ГТД.

Старостин Дмитрий Андреевич, инженер-конструктор третьей категории. Область научных интересов: численное моделирование рабочих процессов в КС ГТУ, тепловое состояние конструктивных элементов КС, эмиссионные характеристики ГТУ.

Миронов Николай Сергеевич, начальник бригады. Область научных интересов: эмиссия вредных веществ при горении углеводородных топлив, термическое состояние элементов конструкции при воздействии пламени, методы расчётной доводки ГТД.

## **NUMERICAL SIMULATION OF EJECTOR CHARACTERISTICS**

Shakin N.A.<sup>1</sup>, Starostin D.A.<sup>1</sup>, Mironov N.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC Kuznetsov, Samara, Russia, shakinwrk@mail.ru

*Keywords: CFD-modeling, ejector, ejection coefficient, turbulence model.*

A common solution that makes it possible to comply with the mentioned principle – ejection of relatively cold ambient air (passive air) by high-pressure supersonic air flow (active air). As part of this work, the geometry of the ejector was optimized taking into account the restrictions in its dimensions and consumption. The optimal geometry made it possible to reduce the high-pressure air by 56% with a constant heat removal from the turbine stator elements of gas turbine plant.