

УДК 628

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ СОПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Наплеков И. С.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Развитие современных средств численного моделирования различных процессов (гидро- и аэродинамики, тепло- и массообмен) позволяет существенно упростить проектирование, оптимизацию и испытание теплоэнергетического оборудования. Так, например, с помощью программного продукта ANSYS Fluent возможно проведение цифровых экспериментов, заменяющих дорогостоящее опытное оборудование. Цель данной работы – оценка возможностей CFD моделирования для получения результатов, достаточных для разработки и наглядных испытаний новых инженерных решений задач истечения, с использованием различных моделей турбулентности в рамках ограничений версии ANSYS for Students. Исследование выполнено в программном продукте ANSYS с использованием решателя Fluent.

Поставленная задача решается в двухмерной плоскости. Численное исследование проводилось как в рабочей зоне сопла, так и в области, прилегающей к ней, с целью получения характеристик поведения газового потока при истечении из конического сопла. Расчетная область состоит из сужающегося-расширяющегося конического сопла – сопла Лаваля, в котором происходит разгон проходящего по нему газового потока до сверхзвуковых скоростей, а также из свободной области его работы, где газ может беспрепятственно перемещаться. Для построения расчетной геометрии использовался встроенный в ANSYS модуль – DesignModeler. Для повышения точности решения задачи была проведена адаптация сетки во встроенном модуле Meshing.

Для замыкания уравнения Навье-Стокса было выбрано 6 моделей турбулентности: k-ε Standard, k-ε RNG (без дифференциальной модели вязкости), k-ε Realizable, k-ω Standard, k-ω SST. Рабочее тело – идеальный газ. Вычисление модели проводится в среде атмосферного давления (101325 Па) и окружающей температуры 300 К. Входные условия: давление – 1000000 Па и температура газа – 500 К, без избыточного давления на выходе. Для потока и кинетической энергии выбраны уравнения второго порядка. [1], [2]

CFD-моделирование было проведено с каждой из выбранных моделей турбулентности для дальнейшего анализа результатов с целью выбрать модель (или несколько), использование которой позволяет получить универсальную картину истечения газа из сопла, верифицируемую корректно с экспериментальными и теоретическими данными. Главным критерием для оценки моделей турбулентности является их корректная верификация и валидация.

В итоге почти все результаты каждой из моделей турбулентности получились схожими на столько, что можно заключить: для решения данной задачи истечения газа из сопла Лаваля можно выбрать одну из них. На Рис.1 показана валидация модели с экспериментом (с изменением палитры цветов в модуле CFD-Post) и наложенные графики зависимостей скорости от давления внутри сопла. Красный получен экспортом массива данных из ANSYS Fluent. Синий – посчитан по формуле (1) (для изотермического потока) Более широкая валидация (3 экспериментальных образца) для подтверждения универсальности полученной модели истечения приведена на Рис.2

$$u_e = \sqrt{\frac{T \cdot R}{M} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (1)$$

где T – температура газа, К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); k – показатель адиабаты; M – молярная масса воздуха, г/моль.

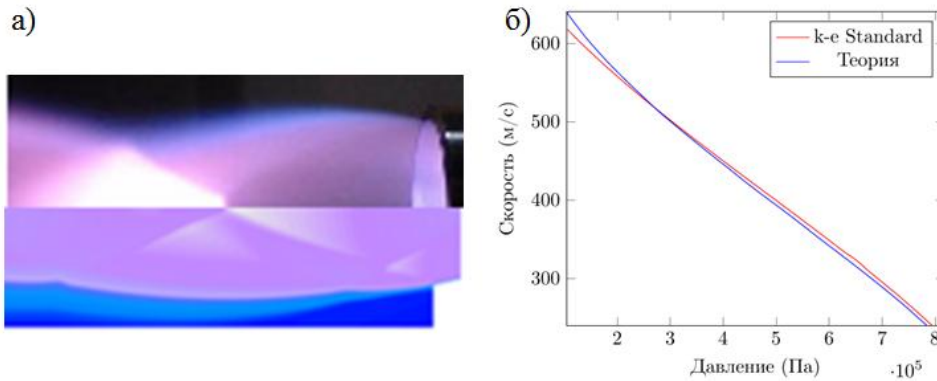


Рис. 1. Валидация модели (снизу) и эксперимента (сверху) (а); зависимость скорости от давления внутри сопла, полученная в программном продукте ANSYS и теоретически (б).



Рис.2 Изображено наложение эксперимента и контуров ANSYS, с разными типами заливок, настроенными в модуле CFD-Post. Наверху эксперимент, внизу модель.

Библиографический список

1. Столяров Е. П. Об истечении недорасширенных газовых струй навстречу сверхзвуковому потоку // Ученые записки ЦАГИ. – 1977. – Т. 8. – №. 2.
2. C.J. Clarke and B. Carswell Principles of Astrophysical Fluid Dynamics (1st ed.). 2014.