

МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

Предложена алгебраическая модель для напряжений Рейнольдса (ARSM) и турбулентных потоков энергии и массы. Учет сжимаемости основан на специальном моделировании «быстрой» части корреляции пульсаций давления и скоростей деформации в зависимости от градиентного числа Маха. Модель учитывает переменность турбулентных чисел Прандтля и Шмидта, для определения которых решаются специальные уравнения.

Известно, что сжимаемость оказывает стабилизирующее воздействие на турбулентность, уменьшая с ростом скорости интенсивность турбулентного смешения. Предполагается, что влияние пульсаций давления на развитие турбулентности связано с «быстрой» частью корреляции пульсаций давления и скоростей деформации, которая в сжимаемых потоках ведет себя совершенно иначе, чем в несжимаемых. Для этой корреляции используются результаты прямого численного моделирования (DNS), полученные в работе [1].

Для получения алгебраических формул для напряжений Рейнольдса и турбулентных потоков применяется следующая гипотеза: конвекция и диффузия в уравнениях переноса диагональных элементов тензора напряжений Рейнольдса ведут себя подобно соответствующим членам в уравнении переноса турбулентной кинетической энергии K . Для недиагональных элементов и для турбулентных потоков массы и энергии считаем, что конвекция и диффузия находятся в балансе.

В результате получается следующее соотношение для турбулентной вязкости:

$$\mu_T = \frac{(1 - C_{\Pi1}C_2 - C_{\Pi2})}{C_1} \rho \frac{K}{\varepsilon} X,$$

где X определяется через квадратное уравнение

$$\begin{aligned} (1 - C_{\Pi2})\alpha X^2 + \left[(C_1 - 1)\rho\varepsilon - \frac{2}{3}C_{\Pi1}C_2\alpha K \right] X - \\ - \frac{2}{3}K(C_1 - 1)\rho\varepsilon = 0; \\ \alpha = \rho \frac{(1 - C_{\Pi1}C_2 - C_{\Pi2})}{C_1} \frac{K}{\varepsilon} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), \\ C_1 = 1,8, \quad C_2 = 0,6, \end{aligned}$$

где $C_{\Pi1}, C_{\Pi2}$ – специальные функции градиентного числа Маха, полученные на основе DNS [1].

Для учета переменности турбулентных чисел Прандтля и Шмидта к основной системе уравнений добавлены 4 дополнительных уравнения: для среднеквадратичной пульсации термодинамической энтальпии и суммы среднеквадратичных пульсаций концентраций компонентов, а также для их скоростей диссипаций [2].

На рис. 1, 2 представлены некоторые результаты расчетов с использованием предложенной модели и их сопоставление с экспериментальными данными.

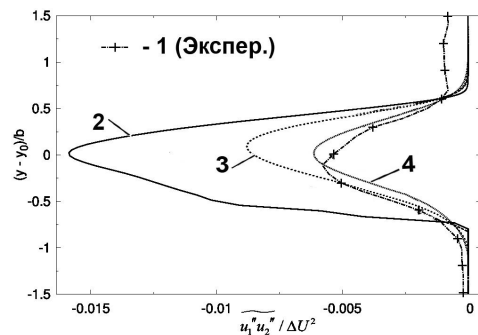


Рис. 1. Поперечный профиль сдвигового напряжения в слое смешения сверхзвуковых потоков: 1 – эксперимент [3]; 2 – расчет с использованием стандартной $k\varepsilon$ -модели турбулентности; 3 – расчет с использованием $k\varepsilon$ -модели турбулентности с поправкой на сжимаемость [4]; 4 – расчет с использованием модели данной работы

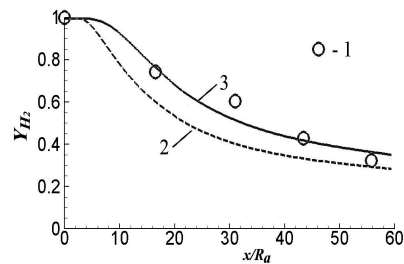


Рис. 2. Изменение концентрации водорода вдоль оси горячей струи в известном эксперименте Эванса [5]: 1 – эксперимент; 2 – расчет с постоянными значениями турбулентных чисел Прандтля и Шмидта; 3 – расчет с переменными значениями турбулентных чисел Прандтля и Шмидта

Библиографические ссылки

1. Gomez C. A., Girimaji S. S. Algebraic Reynolds Stress Model (ARSM) for Compressible Shear Flows // AIAA Paper 2011-3572. 2011.
2. Molchanov A. M. Numerical Simulation of Supersonic Chemically Reacting Turbulent Jets // AIAA Paper 2011-3211. 2011.
3. Goebel S. G. and Dutton J. C. Experimental study of compressible turbulent mixing layers // AIAA Journal. 1991. Vol. 29. № 4. P. 538–546.

4. Молчанов А. М. Расчет сверхзвуковых неизобарических струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности // Вестник Моск. авиац. ин-та. 2009. Т. 16. № 1. С. 38–48.

5. Evans J. S., Schexnayder C. J., Beach H. J. Application of a Two-Dimensional Parabolic Computer Program to Prediction of Turbulent Reacting Flows // NASA Technical Report NASA TP 1169. 1978.

A. M. Molchanov

Moscow Aviation Institute, Russia, Moscow

TURBULENCE MODEL FOR HIGH-SPEED VARIABLE COMPOSITION FLOWS

An algebraic Reynolds stress model (ARSM) for high-speed compressible flows is developed. The incorporation of compressibility effects is based on special modeling of a rapid pressure-strain correlation. A model for variable turbulent Prandtl and Schmidt numbers is presented based on the special equations approach.

© Молчанов А. М., 2011

УДК 621.313.322

Д. И. Морозов, Е. В. Карпенко, К. С. Федий

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ МАГНИТНОГО ТЯЖЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТОРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА

Проведено исследование сил тяжения между ротором и статором на экспериментальном стенде. Показаны возможности и необходимость применения программного комплекса ANSYS при разработке торцевых машин переменного тока, проведено исследование магнитных полей в различных режимах их работы. Представлены некоторые из полученных результатов моделирования.

При работе торцевой электрической машины как в режиме нагружения, так и при холостом ходе, между статором и ротором возникают электромагнитные силы, которые оказывают существенное влияние на работу всей машины в целом [1].

Магнитная индукция в воздушном зазоре между статором и ротором линейно зависит от величины зазора, который задается во входном потоке модели электромагнитного взаимодействия торцевой машины. Фактически воздушный зазор в реальной машине непостоянный, вследствие неизбежных погрешностей изготовления деталей и сборочных единиц. Он представляет собой функцию координаты, отсчитываемой вдоль окружности средней линии магнитов.

Вследствие этого, сила электромагнитного тяжения, связанная с зазором обратной зависимостью, также непостоянна. Неравномерность распределения силы приводит к увеличению перекоса диска ротора, усилению вибрации, что в свою очередь уменьшает ресурс подшипников и КПД всей машины, приводит к увеличению уровня шума при ее работе.

В межфакультетской лаборатории ПИ СФУ создана электромагнитная модель низкоскоростного торцевого синхронного генератора (НТСГ). В физическом эксперименте ставилась задача проверки достоверности силовых параметров, рассчитанных с использованием этой электромагнитной модели, в режимах нагружения и холостого хода. Испытывался трехфазный синхронный генератор мощностью 1 кВт.

Эксперимент проводился при величине воздушного зазора 1,0 м. Для повышения достоверности результатов измерения эксперимент повторялся несколько раз при одинаковом зазоре, но разных режимах подачи усилия на ротор: в режиме ступенчатого увеличения силы, плавного ее возрастания и резкого отрыва ротора

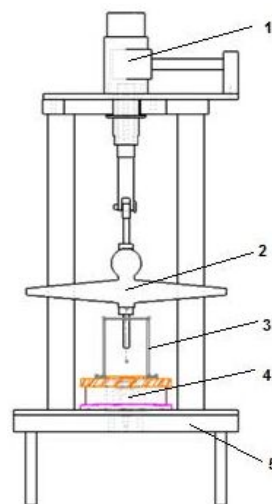


Рис. 1. Экспериментальный стенд

Для решения задачи электромагнитного преобразования энергии в двигателе была разработана чис-