

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ НК-38СТ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Тихонов О.А., Сабирзянов А.Н., Бакланов А.В., Шайдуллин Р.А.
КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, OLATikhonov@kai.ru

Ключевые слова: камера сгорания, эмиссионные характеристики, моделирование.

Развитие моделирования газотурбинных двигателей (ГТД) является неотъемлемой частью проектирования различных узлов энергоустановок. В настоящее время достигнута некоторая универсализация математических моделей, алгоритмов и программ, которые в совокупности являются средствами повышения эффективности математического моделирования. Однако, наибольшее количество вопросов и неопределенностей возникает при моделировании процесса горения в камерах сгорания (КС) ГТД, так как захватывают широкий спектр физических явлений и взаимосвязей.

Трехмерное моделирование процесса горения в полной химической постановке позволяют проводить детальные исследования рабочих процессов в КС, но отличаются большими затратами машинного времени. Проектные работы подразумевают проведения большого числа расчетов, что определяет необходимость упрощения расчетных моделей с сохранением качественных и количественных зависимостей изменения характерных параметров.

В данной работе представлены аспекты оптимизации расчетных моделей, сравнения результатов расчетов и испытаний НК-38СТ, рекомендации по работе с программными пакетами ANSYS Energico и Chemkin-Pro в целях создания упрощенной модели описания процессов горения в КС НК-38СТ с сохранением зависимости распределения СО при разных температурах окружающей среды.

Исследование проводилось средствами ANSYS Fluent в трехмерной адиабатной постановке. Геометрическая модель включала в себя сегмент 1/23 кольцевой КС. В качестве модели турбулентности использовалась $k-\omega$ SST модель со стандартным набором констант [1]. Для описания процессов горения использовались модели Finite-Rate (FR), Flamelet-Generated Manifolds (FGM), использующая более совершенный подход к описанию низкотемпературных областей [2], и Eddy Dissipation (ED). Расчеты проводились для КС НК-38СТ при температуре окружающей среды t_n от $-28,5^\circ\text{C}$ до $+15^\circ\text{C}$. Для описания реакций горения топливной пары метан /воздух использовался кинетический механизм GRI-Mech 3.0. Оптимизация количества реакторов, алгоритм построения реакторов и схема реакторов определялись на основе результатов расчета КС при $t_n = -20^\circ\text{C}$ посредством модели FR. Результаты расчетов интерполировались в более легкую сеточную модель для экспорта данных в ANSYS Energico.

Сравнение результатов моделирования зависимостей СО при использовании разных моделей горения отражены на рис. 1.

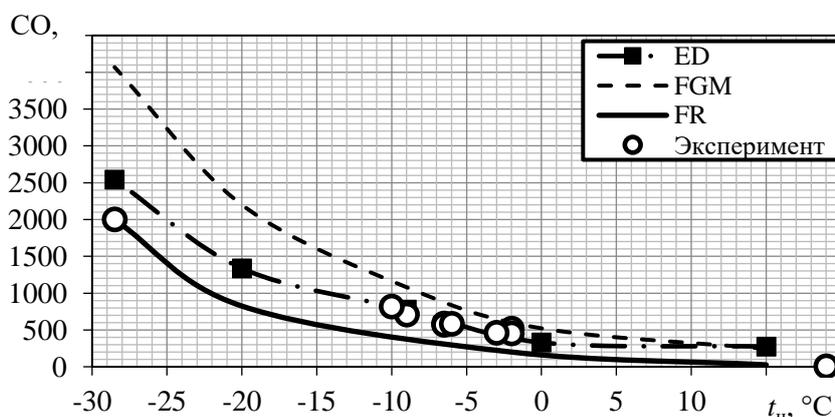


Рисунок 1 – Изменение концентрации СО в зависимости от температуры окружающей среды

Проведенные исследования показали, что работа малоэмиссионной КС НК-38СТ удовлетворительно описывается совокупностью применяемых методов: моделирование газодинамики с моделью горения ED; создание PFR реакторов в Ansys Energico на основе газодинамического расчета; моделирование химических реакций в Ansys Chemkin посредством созданных реакторов проточного течения (PFR).

Разработан и освоен подход к описанию горения топливной пары метан / воздух для КС НК-38СТ, который заключается в моделировании газодинамических процессов с упрощенным представлением процесса горения в КС, построении проточных реакторов на основе результатов газодинамики и расчете реакторов в химическом модуле Ansys Chemkin. Такой подход уменьшает машинное время в 4 – 5 раз без существенных потерь качества в определяемых характеристиках. Отличие между предложенными моделями FR и ED по полноте сгорания может составлять не более 5 – 7%.

Результаты, полученные с помощью модели FGM со стандартными значениями коэффициентов, неудовлетворительно отражают эксплуатационные характеристики КС НК-38СТ. Применение FGM в качестве первого приближения для дальнейшего моделирования процесса горения посредством реакторной схемы не рекомендовано в связи с большим отклонением в концентрации CO на выходе из камеры сгорания.

Список литературы

1. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA Journal. Vol. 32, No. 8. 1994. pp. 1598–1605.
2. Van Oijen J.A., H. de Goey L.P. Modelling of premixed laminar flames using Flamelet-Generated Manifolds. Combustion Science and Technology, 161, 2000. pp. 113–137.

Сведения об авторах

Тихонов Олег Александрович, ст. преподаватель кафедры РДиЭУ, КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях, вычислительная гидродинамика.

Сабирзянов Андрей Наилевич, к.т.н., доцент кафедры РДиЭУ, КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях, вычислительная гидродинамика.

Бакланов Андрей Владимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедры РДиЭУ, КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов: конструкция и рабочие процессы в газотурбинных двигателях.

Шайдуллин Руслан Айратович, аспирант, кафедра РДиЭУ, КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях, вычислительная гидродинамика.

SIMULATION OF THE COMBUSTION PROCESS IN THE NK-38ST COMBUSTION CHAMBER BASED ON THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

Tikhonov O.A., Sabirzyanov A.N., Baklanov A.V., Shaydullin R.A.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia,
OLATikhonov@kai.ru

Keywords: combustion chamber, emission characteristics, modelling.

The validity of using the Ansys Fluent, Energico and Chemkin packages for predicting the emission characteristics of the NK38-ST gas turbine engine at different ambient temperatures is shown, which provides a satisfactory agreement with the experimental data and a significant reduction in computational time.