

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЧЕТА СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ РЕАГИРУЮЩИМ ПОТОКОМ И ЧАСТЯМИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА

Митрофанова Ю.А.

АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, yuamitrofanova@yandex.ru

Ключевые слова: камера сгорания, сопряженный теплообмен, RANS, EDM/FRC, эмиссия оксидов азота.

Численное моделирование физико-химических процессов активно используется для уменьшения времени проектирования и доводки различных частей газотурбинных двигателей (ГТД). Тем не менее уровень развития современных ЭВМ не позволяет работать с прямыми моделями и охватывать все процессы, протекающие в ГТД. Наиболее сложным для компьютерного моделирования узлом двигателя является камера сгорания, ввиду сложной геометрии моделируемой области и существенной нелинейности уравнений, использующихся для описания многофакторных процессов течения реагирующей смеси. Для уменьшения временных затрат геометрию адаптируют под возможности вычислительных систем, а в концептуальной постановке принимается ряд упрощающих гипотез. Однако эти действия могут привести к потере точности расчетов, поэтому перед принятием гипотез необходимо удостовериться в их применимости в рассматриваемой задаче.

Задачей данной работы являлась оценка влияния учета сопряжённого теплообмена (СНТ) на результаты моделирования эмиссии оксидов азота.

Для описания рабочего процесса в камере сгорания была принята, хорошо зарекомендовавшая себя в инженерных расчетах, система осредненных по Фавру балансовых уравнений Навье-Стокса, замкнутая SST-моделью турбулентности [1]. Химическая кинетика моделировалась с помощью WGS модели окисления метана кислородом. Образование оксидов азота описывалось двумя механизмами: расширенным высокотемпературным Зельдовича и «быстрым» Promt NO Фенимора.

Идентификация геометрической модели и настройка математической модели были проведены в работе [2].

Для выполнения расчетов была использована модель сектора 30° полноразмерной камеры сгорания, включающая в себя одну жаровую трубу. Тепловое состояние рассчитывалось на стенках жаровой трубы и газосборника. Расчёты проводились на двух режимах работы газотурбинной установки: номинальном и 0,7 от номинального.

Так как в данном исследовании использовалась гибридная SST модель турбулентности, была проведена работа по обоснованию её применимости путём изменения количества призматических слоёв при постоянном коэффициенте роста размеров ячеек сетки. Целевое значение параметра u^+ должно быть примерно равным единице.

Отклонение расчетных значений эмиссии оксидов азота, полученных с учетом и без учета сопряженного теплообмена не превысило 9%.

Отклонение максимальной температуры, полученной с учетом и без учета сопряженного теплообмена не превысило 2,7%.

Суммарный тепловой поток через стенки жаровой трубы и газосборника составил 0,46 % (номинальный режим) и 0,49 % (0,7 от номинального) от общего количества теплоты, высвобождаемого при горении топлива.

Время расчета без учета сопряженного теплообмена снизилось в два раза, что объясняется уменьшением количества узлов в расчетной сетке на 11% и существенной разностью временных масштабов задач распространения тепла в твёрдой поверхности и течения реагирующего потока.

Таким образом можно принять гипотезу об отсутствии теплообмена между реагирующим потоком и твердыми стенками при моделировании эмиссии оксидов азота, образующихся при работе камеры сгорания ГТУ.

Список литературы

1. Молчанов А.М. Математическое моделирование гиперзвуковых гомогенных и гетерогенных неравновесных течений при наличии сложного радиационно-конвективного теплообмена. – М.: Изд-во МАИ, 2017. – 160 с
2. Митрофанова Ю.А, Загитов Р.А., Трусов П.В. Настройка математической модели для описания горения газообразного топлива с учётом уточнения геометрии расчётной области. – Текст // Вычислительная механика сплошных сред. – 2020. – Т.13, №1. – С. 60-72.

Сведения об авторах

Митрофанова Ю.А., инженер-конструктор-расчетчик, отдел расчетных работ по камерам сгорания. Область научных интересов: моделирование рабочего процесса в камере сгорания газотурбинных двигателей.

THE INFLUENCE EVALUATION OF TAKING INTO ACCOUNT THE CONJUGATE HEAT TRANSFER BETWEEN THE REACTING FLOW AND COMBUSTION CHAMBER PARTS ON THE RESULTS OF MODELING NITROGEN OXIDES

Mitrofanova Yu.A.

JSC «UEC-Aviadvigatel», Perm, Russia, yuamitrofanova@yandex.ru

Keywords: combustion chamber, conjugate heat transfer, RANS, EDM/FRC, NO_x emission

The paper presents the applicability test of the hypothesis of the absence of heat exchange between the reacting flow and heat pipe and gas collector on calculating the emission of nitrogen oxides formed during the working of a gas turbine engine.