

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НК-38СТ ДЛЯ СТЕНДОВЫХ И НОМИНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Тихонов О. А.¹, Сабирзянов А. Н.¹, Бакланов А. В.^{1,2}

¹ КНИТУ – КАИ, г. Казань, OLATikhonov@kai.ru

² КМПО, г. Казань

Ключевые слова: камера сгорания ГТД, эмиссионные характеристики, вычислительная гидродинамика, моделирование.

Современные средства вычислительной гидродинамики имеют в своем составе расчётные модели высокотемпературных процессов, которые позволяют корректно прогнозировать основные параметры камер сгорания газотурбинных двигателей и эмиссионные характеристики. Основная трудность в применении данных моделей состоит в том, что они нуждаются в тщательной настройке, которая осуществляется, как правило, на основе экспериментальных данных путем подбора коэффициентов математических моделей физических процессов с учетом особенностей геометрических конструкций камер сгорания и применяемых граничных условий.

Целью представленной работы является получение адекватных результатов моделирования основных параметров и эмиссионных характеристик камеры сгорания НК-38СТ и её модификаций на стендовых и номинальных режимах работы. Корректное решение данной задачи требует исследования моделей турбулентности и горения в широком диапазоне изменения граничных условий, верификации с экспериментальными данными. Критерием качественного прогнозирования внутрикамерных параметров НК-38СТ и эмиссионных характеристик является корреляция расчетных и экспериментальных данных.

Геометрическая модель исследуемой камеры сгорания НК-38СТ и ее модификаций представляет сектор 1/23 части объёма камеры сгорания с установкой условий периодичности на гранях камеры сгорания. Конечно-элементная сетка включала в себя ~15,15 млн. тетраэдральных и гексаэдрических ячеек. С целью повышения сеточного качества и устойчивости счёта полученная тетраэдральная сетка была преобразована в полиэдральную с числом элементов ~3,7 млн. ячеек и минимальным ортогональным качеством равным ~0,1.

Для исследования газодинамических характеристик камер сгорания применялись двухпараметрические RANS модели турбулентности: RNG k - ϵ со стандартными и расширенными пристеновыми функциями; Realizable k - ϵ со стандартными пристеновыми функциями; модель Ментора с переносом касательных напряжений k - ω SST.

Важнейшим элементом моделирования камер сгорания является выбор моделей горения. Для камер сгорания газотурбинных двигателей, где подача горючего и окислителя осуществляется отдельно, работают модели горения предварительно не перемешанной смеси, где процесс определяется значениями чисел Дамкёллера Da . Если $Da \gg 1$ – процесс горения определяется диффузионным смешением (скорость химических реакций бесконечна, устанавливается химическое равновесие), $Da \sim 0$ – процесс полностью определяется только кинетическим механизмом реакций для реагирующей смеси, $Da \sim 1$ – самый сложный случай, когда необходимо учитывать и диффузионное смешение и кинетический механизм. Горение в газотурбинных двигателях является турбулентным, оно носит сложный неравновесный характер с точки зрения используемых химических механизмов и учета взаимовлияния турбулентных пульсаций скорости и температуры.

Моделирование проводилось в пакете Ansys Fluent и включало в себя следующие модели горения: Finite Rate (модель конечной скорости с двумя обобщёнными реакциями) и модель FlameLet (модель ламинарных микропламен). Настройка модели FlameLet осуществлялась коррекцией величины начальной скорости диссипации и диапазона её изменения, что позволяло корректно определять характер внутрикамерных процессов, температурную неравновесность и эмиссионные характеристики. Обе модели рассчитывались с учетом и без учета влияния

лучистого теплообмена. Окисление метана моделировалось химическим механизмом Kee58 (18 индивидуальных веществ и 58 химических реакций)

Прогноз эмиссии NO в процессе горения осуществлялся с учетом 2-х основных механизмов его образования: термического (механизма Зельдовича) и сверхравновесного (механизма Фенимора).

Были проведены численные исследования в стационарной постановке для условий камерного стенда с целью выбора моделей турбулентности и горения. Получены численные данные по газодинамическим и эмиссионным характеристикам, неравномерности температурных полей на выходе камеры сгорания. По результатам верификации с имеющимися экспериментальными данными по исследованиям на камерном стенде показано, что модель турбулентности $k-\omega$ SST и модель ламинарных микропламён FlameLet в совокупности обеспечивают наиболее близкие к экспериментальным значениям параметры радиального профиля температуры на выходе камеры сгорания и расчетную эмиссию CO.

Выполнены расчёты в стационарной постановке для серийной и модифицированной камер сгорания газотурбинной установки НК-38СТ на номинальном режиме для двух вариантов граничных условий, соответствующих «горячему» (температура окружающего воздуха +16°C) и «холодному» (температура окружающего воздуха -16°C) режимам работ. На основании анализа изменения параметров камеры сгорания в зависимости от температурного режима работы обоснован выбор модели расчета.

Результаты численных исследований позволили сделать вывод, что модернизированная камера сгорания является более универсальной, чем серийная, и обеспечивает более эффективное сжигание метана при низких температурах окружающей среды. Полученные результаты были подтверждены экспериментально при испытаниях нескольких двигателей НК-38СТ.

Сведения об авторах

Тихонов Олег Александрович, старший преподаватель. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях.

Сабирзянов Андрей Наилевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях.

Бакланов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: рабочие процессы в газотурбинных двигателях.

MODELING OF EMISSION CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF THE NK-38ST COMBUSTION CHAMBER FOR STAND AND NOMINAL OPERATING MODES

Tikhonov O.A.¹, Sabirzyanov A.N.¹, Baklanov A.V.^{1,2}

¹KNRTU-KAI, Kazan, Russia, OLATikhonov@kai.ru

²КМРО, Kazan, Russia

A physical and mathematical model of the working processes in the engine has been created for the analysis and optimization of combustion processes, which can be used to modify the combustion chamber. The model allows us to estimate the emission characteristics with sufficient accuracy.