

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

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

¹ КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, OLATikhonov@kai.ru

² АО «КМПО», г. Казань

Ключевые слова: камера сгорания, эмиссионные характеристики, моделирование.

В процессе применения в двигателе НК-38СТ малоэмиссионной камеры сгорания (КС), выполненной в рамках концепции "LPP", был обнаружен недостаток, заключающийся в снижении КПД при отрицательных температурах воздуха [1].

Для решения обозначенной выше проблемы проведены работы по модернизации конструкции горелочного устройств и выполнена доработка жаровой трубы (ЖТ) КС.

Модернизация горелочного устройства заключалась в изменении его конструкции путем установки обтекателя во входную часть завихрителя, что уменьшило площадь его проходного сечения.

Для обеспечения пропускной способности КС и сохранения потерь давления на исходном уровне жаровая труба была доработана путем нанесения дополнительного пояса отверстий на наружном и внутреннем кожухах, соответственно: 70 отверстий диаметром 3 мм и 70 отверстий диаметром 7 мм.

Сопоставление структуры внутрикамерного потока в серийной и модернизированной КС при различных температурах окружающей среды показало, что в структуре потока присутствуют характерные особенности [2].

При сопоставлении температурных полей в серийной КС показано следующее:

- при низких температурах окружающей среды угол раскрытия диффузионного пламени за горелочным устройством увеличивается, что определяется более высоким расходом воздуха, увеличенной скоростью подаваемого воздуха и соответственно закруткой потока;
- область высокотемпературного газа по объему ЖТ с уменьшением температуры окружающей среды существенно уменьшается;
- при низких температурах окружающей среды наблюдается меньшая протяженность высокотемпературной зоны за горелочным устройством.

Для модернизированной КС наблюдаются те же особенности в структуре потока, что и для серийной. Однако влияние температуры окружающей среды на структуру потока в модернизированной КС существенно меньше, что согласуется с данными по осредненной температуре на выходе КС.

Следует отметить, что с уменьшением температуры окружающей среды существенно увеличивается коэффициент избытка воздуха за горелочным устройством.

Известно, что максимальная температура и минимальная эмиссия СО соответствуют равновесной температуре горения. Отклонение от равновесных значений параметров горения увеличивается с уменьшением времени пребывания реагирующих компонентов в объеме ЖТ, уменьшением давления и температуры рабочих процессов.

С уменьшением температуры окружающей среды увеличивается скорость подачи воздуха в горелочное устройство, уменьшается время пребывания компонентов смеси в рабочем объеме ЖТ и соответственно растет отклонение от равновесного состояния. Кроме этого, низким температурам окружающей среды соответствует более низкая температура процессов горения. Таким образом, для прогнозирования процессов в КС, работающей при низких температурах окружающей среды, необходимо учитывать отклонение параметров от равновесных значений.

Расчет параметров потока в КС с помощью модели горения FiniteRate с обобщенным двухшаговым механизмом окисления метана обеспечивает прогнозирование структуры потока, но не отражает реальных эмиссионных характеристик. Более реалистично структуру

потока и эмиссионные характеристики можно получить с помощью модели ламинарных микропламён для перемешанной смеси, применение которой требует её «настройки» по сопоставимым экспериментальным данным [3, 4].

Согласно выполненным расчетам наблюдаются характерные отличия в распределениях температуры, скорости и мольной доли СО по пространству ЖТ между серийной и модернизированной КС. Эмиссия СО в серийной КС при температуре окружающего воздуха -16°C составляет 641 мг/м^3 , т.е. в 27 раз выше, чем при температуре окружающего воздуха $+16^{\circ}\text{C}$. Модернизированная КС за счет перераспределения подаваемого воздуха позволяет в три раза снизить эмиссию СО на рассматриваемых режимах работы и обеспечивает приблизительно одинаковую ее величину. Эмиссия NO исследуемых КС имеет значения близкие между собой и принципиальных изменений в эмиссии NO между серийной и модернизированной КС нет. Полнота сгорания в модернизированной КС при положительных и отрицательных температурах окружающего воздуха сохраняется на высоком уровне 0,995. Таким образом, результаты моделирования показали, что модернизированная КС за счет перераспределения подаваемого воздуха позволяет существенно снизить эмиссию СО.

Список литературы

1. Бакланов А.В. Обеспечение эффективности сжигания топлива в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинной установки при различных климатических условиях. Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. №1. С. 144-155.
2. Бакланов А.В. Применение многоуровневого моделирования в процессе проектирования малоэмиссионных камер сгорания газотурбинных двигателей. Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. №4. С. 159-172.
3. Мингазов Б.Г., Явкин В.Б., Сабирзянов А.Н., Бакланов А.В. Анализ применимости моделей горения для расчета многофорсуночной камеры сгорания. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. №5(29). С. 208-214.
4. Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б., Александров Ю.Б., Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Моделирование эмиссионных характеристик камер сгорания ГТД. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. №2. С. 62-70.

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: рабочие процессы в тепловых двигателях, вычислительная гидродинамика.

MODERNIZATION OF THE DESIGN OF THE GAS TURBINE WITH LOW EMISSION COMBUSTION CHAMBER USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

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

¹ Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia, OLATikhonov@kai.ru

² Kazan Motor Production Association, Kazan

Keywords: combustion chamber, emission characteristics, modeling.

The operations about modernization of the NK38-ST low emission combustion chamber were conducted. Simulation results represent correctness of adapted design solutions.