

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДОВОДКИ LPP КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 А.Н. Маркушин, А.В. Бакланов

Казанское моторостроительное производственное объединение

FEATURES OF DESIGN AND POST-DESIGN LPP COMBUSTION CHAMBER

Markushin A.N., Baklanov A.V. (Joint-Stock Company «Kazan motor production association»,
Kazan, Russian Federation)

*Has been presented the calculation of LPP combustion chamber and described combustion chamber design.
Has been presented stages of experimental post-design and research results.*

В настоящее время широкое распространение в газотурбинных установках (ГТУ) получили LPP камеры сгорания. Работа данных камер сгорания основана на низкотемпературном сжигании предварительно подготовленной топливоздушной смеси [1].

Однако существует дефицит информации по проектированию данных камер сгорания, поэтому в данной работе представлена методика инженерного расчёта камеры и этапы исследования.

Жаровая труба многосекционная (рис.1) – 34-х горелочная, кольцевого типа, изготавливается из жаростойких сплавов. Каждая секция имеет особый профиль с «зиггом» в котором выполнены отверстия для подвода охлаждающего воздуха. Секции соединены друг с другом точечной электросваркой, образуя наружный и внутренний кожухи жаровой трубы.

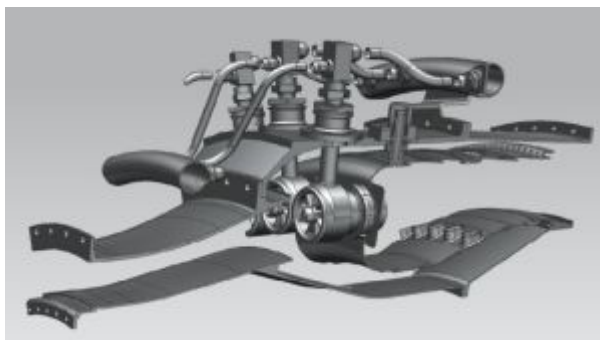


Рис.1. LLP камера сгорания ГТД НК-16СТ

Для реализации устойчивой работы камеры во всём диапазоне рабочих режимов горелочное устройство выполнено двухзонным. Топливный газ через отверстия в лопатках завихрителя (основной контур) поступает в поток воздуха, идущий по межло-

паточным каналам, и образует на выходе из горелочного устройства подготовленную топливно-воздушную смесь.

Для устойчивой работы камеры на низких режимах, а также при розжиге в горелочном устройстве за центральным телом находится «дежурная зона», воздух и топливо в которую подаются отдельно через специальные отверстия в задней стенке развитой втулки завихрителя, при этом выполняя функцию диффузионного факела [2].

Для обеспечения состава смеси на выходе из горелочного устройства $\alpha \approx 2$, спроектированы горелки и, в соответствии с газодинамическим расчётом, выбрано оптимальное их количество, что привело к увеличению диаметра фронтальной части камеры сгорания, выше оси компрессора. Данная разность высот, вызвала необходимость проектирования нового типа диффузора.

Профилирование диффузора выполнено в соответствии с условием $\frac{dP}{dx} = -const$ по зависимости:

$$F_i = \frac{F_d}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{F_d}{F_k} \right)^2 - 1 \right] \frac{L_d - L_i}{L_d}}}$$

где L_i и F_i текущие длина и площадь диффузора; F_d - площадь выходного сечения диффузора, F_k - площадь сечения на входе в камеру сгорания; L_d - длина диффузора.

В результате спроектирован отрывной изогradientный диффузор, позволивший обеспечить необходимое распределение поля скоростей и давлений на входе в горелку.

Так как общий коэффициент избытка воздуха в камере сгорания $\alpha \Sigma = 5$, то сформи-

рован закон оптимального распределения воздуха через фронт и по длине жаровой трубы (рис.2).

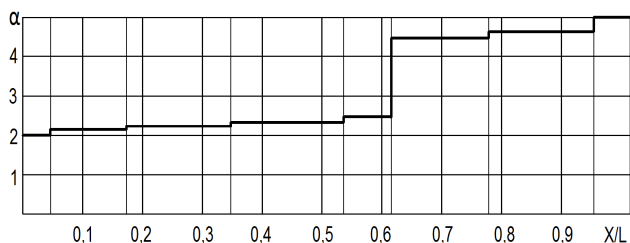


Рис.2. Распределение коэффициента избытка воздуха по длине жаровой трубы

В результате 25% воздуха было направлено на охлаждение жаровой трубы, 41,5% через горелочное устройство, а оставшиеся 33,5% воздуха были перенаправлены во вторичную зону (зону разбавления) при помощи ввариваемых в стенки жаровой трубы втулок.

Для стыковки камеры сгорания с сопловым аппаратом турбины на выходе из жаровой трубы предусмотрены уплотнительные телескопические кольца.

Доводочный процесс камеры включил в себя три этапа. На первом этапе определялось качество смешения топлива и воздуха в закрученной струе. Для этого спроектирован и внедрён стенд. Вместо метана в качестве газа, подаваемого в топливные каналы, используется CO₂. Распределение концентраций по сечениям за горелкой представляет картину, позволяющую увидеть динамику изменения уровня концентрации CO₂ во всей области измерения и в каждой конкретной точке закрученной струи, что даёт возможность оценить качество подготовки топливовоздушной смеси. Пропускная способность горелки оценивалась на различных перепадах давления [3]. Также в закрученной струе оценивалось поле скоростей и давлений. Горелочное устройство также подверглось огневым исследованиям, где определялась температура пламени и концентрации продуктов сгорания. Следующий этап заключается в определении параметров в полноразмерной камере сгорания. Он включил в себя два исследования: первый - это опреде-

ление гидравлических потерь в камере сгорания, а второй - определение неравномерности температурного поля на выходе из неё [4].

Спроектированная камера сгорания и новая топливная система были апробированы на двигателе НК-16СТД: отработывался запуск, выход на режимы частичной и полной мощности, а так же согласно стандарта ОАО «ГАЗПРОМ» «Инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях» непосредственно в шахте выхлопа было произведено измерение концентрации выбросов токсичных веществ.

В результате на максимальном режиме работы установки Ne=16 МВт эмиссия оксидов азота, приведенная к стандартным атмосферным условиям составила: $C(NOx)_{ном}^{15\%O_2} = 40 \text{ мг/м}^3$, что удовлетворяет заявленным требованиям.

Библиографический список

1. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. 2002. – 286 с.
2. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Разработка опытной малоэмиссионной камеры сгорания для ГТД НК-16СТ. // Климовские чтения-2015: перспективные направления авиадвигателестроения. Сборник докладов НТК. – СПб.: Скифия-принт, 2015. С.100-105.
3. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Исследование смешения в комбинированном горелочном устройстве малоэмиссионной камеры сгорания ГТД – Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, №1, 2013. С. 8-14.
4. Бакланов А.В. Малоэмиссионная камера сгорания диффузионного типа с микропламенным горением для конвертированного авиационного ГТД. / Сборник аннотаций 7-го межотраслевого конкурса научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики», 2015. с.71–73.