

ТЕХНОЛОГИЯ МАЛОЭМИССИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА И КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ

Цыбизов Ю.И., Тюлькин Д.Д.

Самарский университет, г. Самара, tyulkin.dmitriy@gmail.com

Ключевые слова: газотурбинная установка, малоэмиссионная камера сгорания, «ультрабедная» топливо воздушная смесь, малоэмиссионная система горения,

В настоящее время основное направление совершенствования камер сгорания (КС) наземных ГТУ связано с уменьшением концентрации вредных веществ в отработанных газах при обеспечении топливной экономичности и эксплуатационной эффективности. В качестве новой прорывной технологии рассматривается **концепция создания малоэмиссионной камеры сгорания (МКС), выполняющей требования экологической безопасности**. Проблему создания МКС в основном обуславливают отсутствие завершенной теории горения и расчета рабочего процесса, подобно методу расчета лопаточных машин, в результате чего большинство ведущих ОКБ развивают свои концепции создания МКС и вынуждены развивать собственную методологию и экспериментальную базу отработки горения. Негативным фактором также является отсутствие централизованной кооперации по вопросам отработки малоэмиссионной системы горения ГТУ и целевого финансирования. При этом следует отметить, что представления о конструктивном облике МКС в виде руководства для конструкторов весьма далеки от идеала, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования и обобщения результатов эксплуатации.

Из детального анализа современных требований следует, что проектируемая вновь МКС для перспективных ГТД и ГТУ должна сопровождаться увеличением температуры газов на 200...300 К, увеличением долговечности жаровой трубы в 3...4 раза при 2-х кратном снижении доли воздуха на охлаждение стенок, 2-х кратным и более снижением эмиссии вредных веществ по сравнению с достигнутыми уровнями сегодняшнего дня.

Принятая сегодня методология организации рабочего процесса малоэмиссионного горения - **концепция LPP (Lean-premixed and prevaporized)** «ультрабедная, перемешанная, испаренная смесь».

Основные задачи создания современной МКС с горением «ультрабедной» заранее перемешанной топливовоздушной смеси:

1. Создание эффективного смесителя – гомогенизатора с уровнем пульсаций концентраций горючего $\leq 5\%$.
2. Расширение границ «бедного» срыва горения до $\alpha_{фр} \geq 2.5 - 3$ без подпитки пилотным топливом зоны рециркуляции.
3. Интенсификация турбулентного горения для сжигания «ультрабедной» топливовоздушной смеси на приемлемой длине.
4. Снижение уровня термоакустической неустойчивости горения и величины пульсаций давления $\leq 0.5 - 1\%$.
5. Организация эффективного конвективного охлаждения стенок жаровой трубы (без подачи охлаждающего воздуха в зону горения).
6. Решение проблем «проскока» пламени в смеситель в условиях повышенных давлений и температур газа.

На выбор облика конструкции КС ГТУ влияют следующие факторы, к основным из которых относятся:

- назначение, размерность и параметры термодинамического цикла ГТУ (степень сжатия – π_k , температура за компрессором – T^*_k , температура газа перед турбиной – $T^*_г$, эффективный КПД – $\eta_{эф}$);

- тип ГТУ (стационарные, как правило, - одновальные и авиапроизводные – двух и трехвальные);

- приобретенный опыт создания и эксплуатации (научно-технический задел), производственная и экспериментальная база, квалификация конструкторского и технологического кадрового состава фирмы-разработчика;

- необходимое финансирование и умелое руководство процессом проектирования и отработки рабочего процесса.

Определились направления конструирования МКС стационарных и авиапроизводных ГТУ, имеющие как общие сходства, так и кардинальные различия. Наибольшее распространение получили следующие виды конструкций КС:

- **трубчатые**, состоящие из набора жаровых труб малого диаметра, расположенных в пространстве между компрессором и турбиной;

- **трубчато-кольцевые, включая выносные жаровые трубы (ВЖТ)**, расположенных на корпусе турбины под углом к оси ГТУ и заканчивающихся индивидуальным либо общим кольцевым газосборником в пространстве между компрессором и турбиной, соединяемые обычно друг с другом патрубками газопереброса;

- **кольцевые**, имеющие одну жаровую трубу;

- **нетрадиционные** (башенные, керамические и т.д.)

В докладе рассматриваются преимущества и недостатки указанных видов МКС по результатам отработки рабочего процесса и эксплуатации ГТУ.

Представленные результаты используются при проектировании МКС вновь разрабатываемых или модернизируемых ГТУ.

УДК 621.45.022.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВАНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ КАПЕЛЬ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКАХ

Третьяков В.В.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва, tretjak@ciam.ru

Из баланса массовых потоков топливного пара через поверхность капли радиуса r_k и равенства тепловых потоков через поверхность капли и сферическую поверхность радиуса r получаются следующие уравнения для определения скорости испарения капли и изменения её температуры по времени:

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{4\pi \cdot r_k \lambda}{C_p} \ln \left[1 + \frac{C_p(T - T_d)}{L_{\Pi} + \frac{Q_H}{dm/dt}} \right]; \quad (1)$$

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{1}{C_{km}} \left[4\pi \cdot r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{dm}{dt} L_{\Pi} \right]. \quad (2)$$

Здесь m – масса капли, T_d – её температура, T – температура газа в окружающем пространстве, C_p – коэффициент удельной теплоемкости газа при постоянном давлении, λ – коэффициент теплопроводности газа, L_{Π} – скрытая теплота испарения, Q_H – тепловой поток, идущий на нагрев капли, C_k – удельная теплоемкость жидкости капли.

Для получения рабочих формул расчета температуры и массы капель из соотношений (1) и (2) обычно делается ряд упрощающих предположений. Так, при преобразовании уравнения (2) его интегрирование по радиусу r от r_k до ∞ и по температуре - от T_d до T проводится в предположении о постоянстве параметров, описывающих процесс испарения капель, т.е. пренебрегается зависимостями соответствующих величин от температуры. В результате получается следующая приближенная формула:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{1}{C_{km}} \left[4\pi \cdot r_k \lambda (T - T_d) - \frac{dm}{dt} L_{\Pi} \right]. \quad (3)$$

Используются и другие упрощающие предположения, которые связаны, как правило, со следующими основными аспектами: в уравнении теплового баланса во время нагрева капли пренебрегается теплом, идущим на ее испарение, и предполагается равенство коэффициентов тепло- и массообмена, что соответствует равенству единице числа Льюиса: $\rho D_{\Pi} = \lambda / C_p$. Это число