

Проанализированы и обобщены ранее полученные результаты по экспериментально – теоретическому исследованию разработанной модели перспективной камеры сгорания в виде плоского отсека с многомодульным фронтальным устройством [1]. В качестве основы фронтального устройства используется простой модуль типа сопла Вентури, в который установлен завихритель и центробежная форсунка. Произведены сравнительные 3D расчеты перспективной камеры сгорания в виде плоского отсека в схеме 3-х и 4-х горелочного отсека. Показано, что картина течения в плоских отсеках существенно неоднородна и несимметрична.

### **Список литературы**

1. *Строкин В.Н., Шилова Т.В., Беликов Ю.В., Токталиев П.Д.* Кольцевая малоэмиссионная камера сгорания газотурбинного двигателя, патент на изобретение №2515909, патентообладатель ФГУП ЦИАМ им.П.И. Баранова, заявка 2012127819/06 04.07.2012

УДК 621.438:536.38

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕРАХ СГОРАНИЯ**

Кущенко Ю.Г., ООО «Лаборатория Кинтех», Москва, [info@kintech.ru](mailto:info@kintech.ru)

Проектирование и доводка камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД) – сложный процесс, который включает в себя большой объем конструкторской и экспериментальной работы. Применение методов вычислительной газовой динамики позволяет снизить объем экспериментальных работ по доводке камер сгорания и внести изменения в конструкцию камер сгорания на ранних стадиях проектирования. Несмотря на наличие коммерческих (доступных на рынке) пакетов программ вычислительной газовой динамики, успешное применение их в практике проектирования камер сгорания требует решения целого ряда проблем, обусловленных существенной нелинейностью и связанностью газодинамических и химических процессов (горения), то есть разработки специальной технологии моделирования.

Основной проблемой проектирования малоэмиссионных камер сгорания типа DLN (Dry Low NOx) является определение диапазона устойчивой работы, т.е. режимных параметров при которых отсутствуют термоакустические пульсации, бедный срыв, маловероятен проскок пламени в зону смешения, обеспечивается высокая полнота сгорания топлива.

Для проведения моделирования данных процессов необходимо использовать нестационарные модели турбулентности совместно с моделями фронта пламени, позволяющими корректно описать форму пламени, процессы воспламенения и погасания. Также модели должны учитывать детальную химическую кинетику для учета влияния состава топлива на операционные характеристики.

Разработка специальной модели турбулентного горения позволила корректно описать процесс бедного срыва как для модельных (характеристики которых известны из литературы), так и для реальных камер сгорания газотурбинных двигателей. Основные уравнения модели турбулентного горения представлены ниже:

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{Z})}{\partial t} + \nabla(\bar{\rho}v\tilde{Z}) - \nabla(\bar{\rho}D\nabla\tilde{Z}) = 0$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}Z''^2)}{\partial t} + \nabla(\bar{\rho}vZ''^2) - \nabla(\bar{\rho}D\nabla Z''^2) = C_{\chi} \frac{\mu_t}{Sc} (\nabla\tilde{Z})^2 - \bar{\rho}\tilde{\chi}$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{C})}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_j\tilde{C})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_c} \frac{\partial\tilde{C}}{\partial x_j} \right) + \dot{S}_{\text{гом. фр.}} + \dot{S}_{\text{диф. фр.}} + \dot{S}_{\text{об.}}$$

Основным отличием в формулировке данной модели является наличие в уравнении для степени завершенности реакции трех источников членов, соответствующих объемному (зона распределенных реакций) и двум поверхностным (гомогенный и диффузионный) режимам горения.

Важной проблемой, возникающей при работе малоэмиссионных камер сгорания, работающих при низких соотношениях топливо/воздух заранее перемешанной смеси являются термоакустические пульсации. Предлагаемый метод расчета основан на определении границ возникновения термоакустических пульсаций путем расчета интеграла Релея – произведения пульсаций давления и тепловыделения. При достижении некоторого критического значения интеграла Релея считается, что в камере сгорания возникают термоакустические пульсации

Другой проблемой проектирования камер сгорания DLN является обеспечение запаса скорости потока по проскоку пламени в зону смешения. Скорость потока в смесительном устройстве должна быть достаточно высока, чтобы не допустить стабилизацию пламени. Реальный и вычислительный эксперименты в данном случае проводятся следующим образом: топливовоздушная смесь поджигается в смесительном устройстве, затем скорость потока на входе в смесительное устройство постепенно увеличивается до достижения значения скорости при котором пламя срывает.

Предложенная статистическая модель обработки данных расчетов позволила определить значение скорости потока, при котором происходит срыв пламени в зоне смешения.

УДК 621.438:536.38

## **МЕТОДЫ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСПЫЛА ЖИДКОГО ТОПЛИВА**

Куценко Ю.Г., ООО «Лаборатория Кинтех», г. Москва, [info@kintech.ru](mailto:info@kintech.ru)

Распыл жидкого топлива применяется для дробления жидкости на мелкие капли с целью интенсификации испарения капель с последующим сжиганием. Как следствие, качество распыла топлива влияет на протекание процесса горения. Распыл может быть осуществлен с использованием нескольких методов: прямым впрыском струи топлива в поток воздуха (струя распадается под действием набегающего потока), использованием специальных устройств, например, центробежных форсунок в которых распыл топлива обусловлен закруткой потока.

Модели распыла жидкости подразделяются на первичные (распад струи на капли) и вторичные (дробление капель). Коммерческие газодинамические пакеты предоставляют возможность моделирования вторичного распыла, однако эмпирические модели первичного распыла, позволяющие получить достоверные результаты, еще не разработаны. Трудности математического моделирования связаны с важностью описания мелко-масштабных процессов в камерах сгорания. Моделирование процесса первичного распыла подразумевает моделирование процесса, при котором масса и энергия переходят от крупномасштабных к мелкомасштабным структурам жидкости. Многие фундаментальные аспекты процесса первичного распыла до сих пор плохо изучены.

Наиболее точным методом определения характеристик распыла (распределение диаметров капель, Заутеровский средний диаметр - SMD, скорость капель) является прямое численное моделирование с использованием VOF (Volume of Fluids) модели.

Для обеспечения проведения расчетов с VOF моделью были разработаны методы проведения расчетов с использованием CFD пакета Fluent и обработки результатов расчетов.

Метод проведения расчетов включает в себя рекомендации по настройкам CFD моделей: тип вязкостной модели (DES, LES, ламинарная); начальное разрешение сетки в расчетной области (50 и 100 мкм); чис-