

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-

ло уровней адаптации сетки (от 0 до 4); допустимый шаг по времени (предельное число Куранта для вычисления шага по времени) ; тип VOF модели и расчетной схемы (совместная level set и VOF модель; VOF, явная схема; VOF, неявная схема).

Метод обработки результатов расчетов был разработан для анализа результатов и их перенос в полную модель камеры сгорания как начальные условия для лагранжевой модели переноса капель.

Разработанные методы были применены для расчета и анализа распада струи в поперечном потоке для различных составов топлива (авиационный керосин, дизельное топливо, водно-топливная эмульсия), а также распыла центробежной форсунки.

Для валидации результатов расчетов использовалась статья ASME GT2014-26162. В данной статье дано описание и результаты эксперимента процесса распада струи авиационного топлива в сносящем потоке. Две экспериментальные точки были выбраны для тестирования разрабатываемых методик расчета и постпроцессирования. Экспериментальные точки различались значениями числа Вебера 1000 и 750, а также числа Рейнольдса для жидкой фазы 10446 и 7386 соответственно.

Область, выбранная для моделирования процесса распада струи представляет собой часть объема экспериментальной установки. Длина расчетной области была выбрана равной 50 диаметрам отверстия, что соответствует расположению области замеров доплеровского анализатора частиц. Высота расчетной области соответствовала высоте области замеров.

Результаты расчетов показывают хорошее соответствие между расчетом и экспериментом по заутеровскому среднему диаметру капель авиационного топлива: 35,7 (эксперимент) и 31,0 мкм (расчет) для первой, а также 41,8 и 39,0 для второй точки эксперимента. Анализ результатов расчетов показал, что процесс первичного распада жидкой фазы в сносящем потоке происходит посредством двух различных механизмов распыла. В случае первого механизма, искривления поверхности струи начинают преобразовываться в лигаменты уже недалеко от отверстия врыска. Растянутые лигаменты подвержены процессу дробления и формируют капли. В основном эти капли формируют диапазон капель наименьших размеров. Второй, доминирующий, механизм распада состоит в образовании волн на наветренной стороне струи и росте их амплитуды до тех пор, пока не происходит отрыв части жидкости от основной струи.