

ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА РАСПЫЛА, СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ОТСЕКЕ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Чикишев Л.М., Дулин В.М., Маркович Д.М.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, chlm@itp.nsc.ru

Ключевые слова: камера сгорания, распыл топлива, горение, оптические методы

При проектировании современных энергетических и транспортных газотурбинных установок (ГТУ) наибольшую сложность представляет разработка их “горячей части”. Даже при наличии современных вычислительных инструментов довольно трудно достоверно предсказывать хотя бы общий тренд – снижение или рост выбросов NOx после внесения изменений в конструкцию камеры сгорания газотурбинной установки и фронтального устройства. В связи с этим очень важно иметь возможность получить достоверные экспериментальные данные, позволяющие валидировать используемые численные коды, а также выявлять особенности механизмов стабилизации пламени в камере сгорания ГТУ. Поэтому представляется целесообразным детально исследовать процессы в модельных камерах сгорания с оптическим доступом в условиях, близких к натурным по температуре и давлению. Панорамные оптические методы диагностики потоков позволяют за довольно малое время получать массив экспериментальных данных о структуре течения, положении фронта пламени и характеристиках массопереноса, требуемых для верификации моделей численного расчета, а также выявлять особенности механизма стабилизации пламени.

Актуальность данного направления исследований обусловлена острой необходимостью создания и развития отечественной современной энергоэффективной газотурбинной техники, удовлетворяющей высоким экологическим требованиям. В настоящее время наиболее перспективной технологией, позволяющей снизить выбросы вредных веществ, является сжигание бедной топливовоздушной смеси (с избытком воздуха). Однако применение данной технологии сталкивается с рядом существенных проблем, без решения которых создание эффективного и надежного оборудования не представляется возможным. Пламя бедной смеси довольно сложно стабилизировать в широком диапазоне расходов, что необходимо для эффективной работы в режимах, отличающихся от номинального. В камере сгорания могут возникать термоакустические явления, которые приводят к вибрационному горению, погасанию пламени или его проскоку внутрь горелочного устройства и разрушению конструктивных элементов камеры сгорания.

При разработке современных камер сгорания применяются методы численного моделирования процессов смесеобразования и горения как жидкого, так и газообразного топлива. При этом имеющихся вычислительных мощностей явно недостаточно для проведения достоверных расчетов с использованием современных вихреразрешающих методов. Поэтому на практике разработчики газотурбинного оборудования используют подходы, основанные на решении уравнений Навье – Стокса, осредненных по Рейнольдсу, в стационарной и нестационарной постановке. Для таких подходов требуется замыкание уравнений переноса массы и импульса, поэтому крайне важно обосновать возможность применения градиентных моделей замыкания с использованием достоверных экспериментальных данных. Кроме того, довольно сложно прогнозировать возникновение нестационарных явлений, связанных с наличием крупномасштабных когерентных вихревых структур в потоке. Так, при организации закрученного течения в камере сгорания сложной конструкции ГТУ критически важны наличие и протяженность областей возвратного течения, а также структура течения вблизи стенок жаровой трубы.

Очевидно, что при существенных затратах времени на проведение детальных расчетов большую роль начинают играть экспериментальные исследования на упрощенных моделях камеры сгорания, отражающих важные особенности режимов подачи в нее топлива и воздуха,

а также структуры течения. При использовании современных методов оптической панорамной диагностики потоков в единицу времени поступает большой массив экспериментальных данных о мгновенной структуре течения. Проведение таких экспериментов, безусловно, требует высокой квалификации специалистов и является довольно сложной задачей, но позволяет получить уникальную достоверную информацию, востребованную при проектировании реальных устройств.



Рис.1 – Фотография отсека для испытаний фронтных устройств при повышенном давлении

В данной работе представлен опыт по исследованию процессов распыла и горения топлива в камерах сгорания модельной и реалистичной геометрии с применением методов оптической диагностики многофазных и реагирующих течений. Приведены примеры передовых экспериментальных стендов, моделирующих течение и горение в камерах сгорания газотурбинного типа, указаны необходимые режимные параметры и используемые технические решения, позволяющие эффективно проводить измерения современными методами оптической диагностики. На рис.1, представлена фотография отсека с оптическим доступом для проведения испытаний фронтных устройств при повышенном давлении, разработанного и созданного в ИТ СО РАН. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-79-30075, <https://rscf.ru/project/19-79-30075/>.

Чикишев Леонид Михайлович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник;
Дулин Владимир Михайлович – д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник;
Маркович Дмитрий Маркович – д.ф.-м.н., академик РАН, директор.

OPTICAL DIAGNOSTICS OF FUEL ATOMIZATION, MIXING AND COMBUSTION IN SINGLE SECTOR GAS TURBINE COMBUSTOR

L.M. Chikishev, V.M. Dulin, D.M. Markovich

Kutateladze Institute of Thermophysics Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, chlm@itp.nsc.ru

This paper presents the experience of the processes of fuel atomization and combustion in gas-turbine single sector combustors of model and realistic geometry using optical diagnostics methods for multiphase and reactive flows. Examples of advanced experimental setups simulating flow and combustion in gas turbine-type combustion chambers are given, the necessary operating parameters and the technical solutions used are indicated, which make it possible to effectively carry out measurements using modern optical diagnostic methods.