

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА СРЫВ И ПРОСКОК ПЛАМЕНИ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СМЕШЕНИЕМ И ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

Идрисов Д.В., Паницков А.А., Козеев М.А., Желтов К.В., Добрыднев М.В.

Самарский университет, г. Самара

apanitskov@inbox.ru

Ключевые слова: камера сгорания, газотурбинный двигатель, газотурбинная установка, водород, метано-водородная смесь, бедный срыв пламени, проскок пламени, закрутка потока, малоэмиссионное горение.

Одной из ключевых проблем современной энергетики и авиации является изменение климата, обусловленное ростом концентрации парниковых газов в атмосфере. Это стимулирует исследования, направленные на снижение выбросов CO_2 от газотурбинных двигателей (ГТД) и наземных газотурбинных установок (ГТУ). Одновременно важной задачей остается снижение вредных выбросов, регламентируемых международными экологическими стандартами, включая нормы ИКАО для авиационных двигателей.

Основными загрязняющими компонентами выбросов ГТД являются оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO), несгоревшие углеводороды (C_xH_y) и сажа. Для снижения эмиссии вредных веществ применяются малоэмиссионные камеры сгорания, использующие технологию бедного предварительно подготовленного горения. Однако использование бедных смесей приводит к сужению диапазона устойчивого горения и увеличивает вероятность бедного срыва пламени.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является добавление водорода в топливную смесь. Водород обладает высокой реакционной способностью, расширяет границы устойчивого горения и способствует стабилизации пламени при работе на бедных смесях. Вместе с тем использование водорода повышает риск возникновения проскока пламени в зону подготовки топливовоздушной смеси, что представляет серьезную опасность для конструкции камеры сгорания.

Особенно актуальна данная проблема для камер сгорания с закруткой потока, где интенсивное вихревое движение оказывает существенное влияние на структуру течения и характеристики горения. Закрутка потока стабилизирует фронт пламени за счет формирования зоны рециркуляции и действия центробежных сил, однако одновременно усиливает турбулентную диффузию, что может способствовать изменению границ устойчивого горения.

Целью работы является исследование влияния добавок водорода в метановое топливо на границы бедного срыва и проскока пламени в камере сгорания с предварительным смешением и закруткой потока.

Для достижения поставленной цели была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для исследования характеристик устойчивого горения в вихревой горелке с предварительной подготовкой топливовоздушной смеси. Горелочное устройство включает осевой завихритель с изменяемым углом установки лопаток от 30° до 60° , что позволило исследовать влияние интенсивности закрутки на границы устойчивости пламени.

Экспериментальные исследования проводились на смесях $\text{CH}_4\text{--H}_2\text{--воздух}$ с различным содержанием водорода. В ходе испытаний определялись условия возникновения бедного срыва пламени и проскока пламени в зависимости от коэффициента избытка воздуха, состава топливной смеси и геометрических параметров горелочного устройства.

Для численного моделирования процессов горения использовался программный комплекс ANSYS Fluent, позволяющий проводить расчет структуры потока, распределения температур и прогнозирования границ устойчивого горения.

Результаты исследования показали, что добавление водорода приводит к существенному расширению области устойчивого горения и смещению границ бедного срыва в область более бедных смесей. При этом увеличение содержания водорода повышает вероятность проскока пламени, особенно при высоких значениях интенсивности закрутки потока.

Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации малоэмиссионных камер сгорания газотурбинных двигателей и газотурбинных установок, работающих на водородосодержащих топливах, с учетом требований по снижению выбросов вредных веществ и обеспечению безопасной эксплуатации.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 398 с.
2. Чайнов Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 2008. – 496 с.
3. Lefebvre A.H., Ballal D.R. Gas Turbine Combustion. – CRC Press, 2010.

Сведения об авторах

Идрисов Дмитрий Владимирович – к.т.н., доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского университета. Область научных интересов – исследование влияния добавок водорода в топлива на процессы в камерах сгорания газотурбинных двигателей.

Добрыднев Михаил Витальевич – студент Самарского университета. Область научных интересов – исследование процессов горения в газотурбинных двигателях.

Желтов Кирилл Владимирович – студент Самарского университета. Область научных интересов – исследование рабочего процесса газотурбинных двигателей, рабочего процесса лопаточных машин и процессов горения в газотурбинных двигателях.

Козеев Михаил Александрович – студент Самарского университета. Область научных интересов – исследование вопросов теплопередачи в рабочем процессе газотурбинных двигателей.

Паницков Андрей Александрович – студент Самарского университета. Область научных интересов – исследование процессов горения и вибрационной прочности газотурбинных двигателей.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROGEN ADDITIVES ON LEAN BLOWOFF AND FLASHBACK IN A PREMIX SWIRL COMBUSTOR

Idrisov D.V., Panitskov A.A., Kozeev M.A., Zheltov K.V., Dobrydnev M.V.
Samara University, Samara, Russia

Keywords: combustion chamber, gas turbine engine, gas turbine unit, hydrogen, methane-hydrogen mixture, lean blowoff, flashback, flow swirl, low-emission combustion.

This paper presents an experimental and numerical investigation of the effect of hydrogen addition to methane fuel on lean blowoff and flashback limits in a premixed swirl combustor. Hydrogen improves flame stability and extends lean combustion limits, but also increases flashback risk due to higher flame speed. Experimental studies were carried out using a model combustor with an axial swirler and variable vane angle from 30° to 60°. Numerical simulations were performed using ANSYS Fluent. The obtained results can be used for optimization of low-emission gas turbine combustion chambers operating on hydrogen-containing fuels.