

Рис. 2. МЭ: 1 – экран, 2 – кривошип, 3 – корпус, 4 – шатун, 5 – поводковое кольцо

При проектировании МГР и МЭ решены следующие важнейшие задачи:

- обеспечена максимальная герметичность МГР за счёт плотного прилегания створок к корпусам на режимах «Передний ход» и «Задний ход»;
- обеспечены минимальные гидравлические потери за счёт профилирования проточной части канала в области МГР;
- обеспечены габариты ГТД за счёт рас-

положения МГР на коническом участке переходного канала между турбиной высокого давления и силовой турбиной;

- обеспечена работоспособность конструкции за счёт расположения элементов механизации МГР за пределами проточной части двигателя;

- обеспечено оптимальное тепловое состояние и повышена ремонтпригодность приводов управления МРГ и МЭ за счёт их расположения за пределами подкапотного пространства ГТД;

- обеспечена мощность турбины переднего хода за счёт уменьшения вентиляционных потерь в турбине заднего хода путём установки экрана над лопаткой;

- разработана конструкция и отработана технология заделки канатов механизации во втулки, обеспечивающая необходимую прочность и работоспособность МГР и МЭ.

Работоспособность и соответствие требованиям ТЗ конструкций МГР и МЭ подтверждены циклическими, предъявительскими, приёмосдаточными, межведомственными и специальными испытаниями изделий.

УДК 535.371,536.461

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛАЗЕРНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ДИАГНОСТИКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОТОКОВ И ПЛАМЕНИ

©2018 С.А. Большев, А.А. Диденко

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

DIAGNOSTIC OF HIGH TEMPERATURE FLOWS AND FLAME BY LASER MOLECULAR SPECTROSCOPY TECHNIQUE

Bolychev S.A., Didenko A.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Laminar premixed flame of methane and air at atmospheric pressure is studied by laser-induced fluorescence technique. The experimental setup is Flame Master by LaVision. Excitation spectrum of hydroxyl radical OH is obtained. Data on hydroxyl radical OH concentration in flame is obtained.

Среди экспериментальных методов исследования процессов горения особое место занимают лазерно-оптические методы, позволяющие проводить измерения различных параметров высокотемпературных потоков и пламени с высоким пространственным и временным разрешением, без оказания прямого влияния на исследуемый объект [1]. Результаты измерений, полученные этими ме-

тодами — распределение температуры пламени, распределения концентрации продуктов реакции горения (ОН, NO, CO) — имеют фундаментальное и прикладное значение.

Метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) радикалов ОН применяется для определения распределения концентрации ОН в пламени, температуры пламени, а также положения фронта пламени.

Поскольку сигнал флуоресценции зависит от давления, температуры и локального химического состава исследуемого пламени, то наряду с экспериментальными исследованиями необходимо проводить численное моделирование спектров возбуждения молекул, используемых для флуоресценции. В рамках теоретических исследований разработана программа расчёта спектра ОН, позволяющая рассчитывать положение линий в спектре с погрешностью $0,4 \text{ см}^{-1}$ (0,03 %), и интенсивность линий - 10%.

Экспериментальные исследования проводились на установке Flame Master (LaVision, Германия), включающей в себя: твёрдотельный импульсный Nd:YAG лазер Quanta Ray Pro, лазер на красителях Sirah Cobra Stretch, оптический затвор лазера накачки, коллимирующую оптику «лазерного ножа», ПЗС камеру Imager Pro с усилителем изображения IRO и УФ-объективом, модуль временной синхронизации и персональный компьютер, управляющий всей системой.

Общий вид экспериментальной установки приведён на рис. 1.

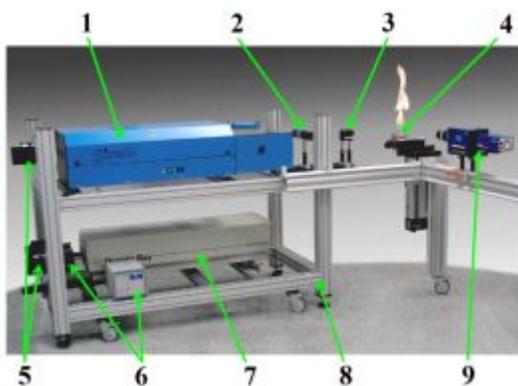


Рис. 1. Экспериментальная установка ЛИФ: 1 – лазер на красителях, 2 – измеритель энергии лазерного излучения, 3 – оптика «лазерного ножа», 4 – объект исследования, 5 – оптика разворота луча, 6 – затвор и блок синхронизации, 7 – лазер накачки, 8 – оптический стол, 9 – ПЗС-камера с усилителем

Объектом исследования являлось ламинарное пламя горелки МакКенна предварительно перемешанной смеси метан-воздух с параметрами: расход воздуха 20 л/мин, расход метана 2 л/мин, что соответствует коэффициенту избытка воздуха 1. Расход газов контролировался с помощью прецизионных расходомеров с погрешностью в пределах 1%.

Для накачки перестраиваемого лазера на красителях используется третья гармоника (355 нм, 10 Гц, 375 мДж) лазерного излучения твёрдотельного лазера. В качестве органического красителя используется Кумарин-153, дающий излучение после преобразователя частоты в диапазоне 260–287 нм. Выходящее из лазера на красителях излучение через систему призм направляется в коллимирующую оптическую систему, преобразующую лазерный луч в «лазерный нож» высотой 50 мм и толщиной около 1 мм, который проходит через ось симметрии исследуемого пламени и возбуждает присутствующие в нем радикалы ОН. Регистрация флуоресценции ОН осуществляется с помощью ПЗС-камеры с усилителем изображения.

Поскольку точность настройки лазера на красителях на определенную длину волны составляет около 30 пм, а ширина перехода двухатомных молекул порядка нескольких пикометров, то необходимо провести сканирование спектра возбуждения исследуемого компонента в определенном диапазоне длин волн с шагом 1–5 пм для выявления отдельных переходов. Было проведено сканирование спектра возбуждения ОН в диапазоне 283,4–283,7 нм с шагом 1 пм; экспериментально полученный спектр представлен на рис. 2.

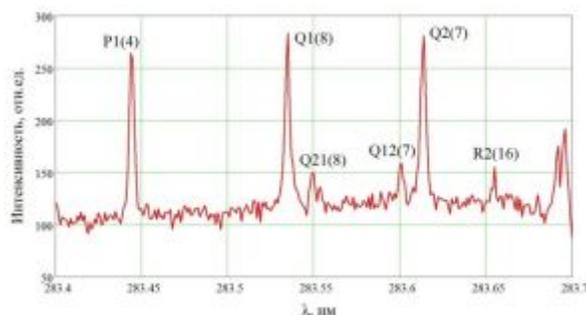


Рис. 2. Спектр возбуждения радикала ОН

Поскольку интенсивность сигнала флуоресценции исследуемого вещества зависит от концентрации и температуры, то при определении концентрации методом ЛИФ необходимо выбрать переход между энергетическими молекулярными уровнями, слабо зависящий от температуры. Был выбран переход $Q_1(8)$ полосы $A^2\Sigma^+ - X^2\Pi(1,0)$ ОН [2], удовлетворяющий этому требованию.

Далее лазер на красителях настраивался на длину волны 283,553 нм перехода $Q_1(8)$

и проводилось возбуждение радикалов в пламени на постоянной длине волны. Сигнал интенсивности флуоресценции в относительных единицах фиксируется с помощью камеры и передаётся на ПК. Пересчёт интенсивности флуоресценции в концентрацию ОН осуществляется с помощью калибровки по данным [3]. Поле концентраций радикалов ОН в пламени горелки с коэффициентом избытка воздуха 1 приведено на рис. 3.

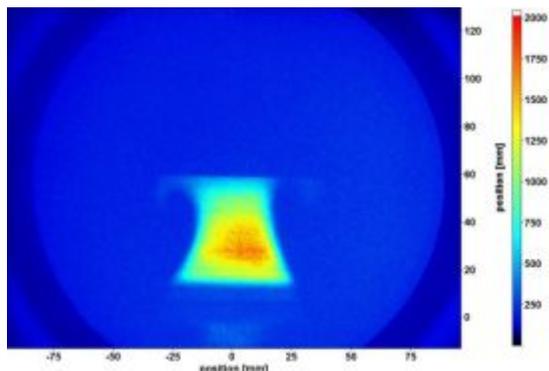


Рис. 3. Поле концентраций радикалов ОН в пламени горелки в плоскости «лазерного ножа»

В работе проведено экспериментальное исследование ламинарного пламени горелки МакКенна предварительно перемешанной смеси метан-воздух с коэффициентом избытка воздуха 1 методом ЛИФ. Измерен спектр возбуждения радикалов ОН в диапазоне 283,4–283,7 нм с шагом 1 пм. Определено поле концентраций радикала ОН в пламени. Спектр возбуждения ОН, рассчитанный с использованием разработанной физико-математической модели, сопоставлен с измеренным.

Библиографический список

1. Eckbreth A.C. Laser diagnostic for combustion temperature and species. 1996.
2. Luque J., Crosley D.R. LIFBase. Database and spectral simulation (version 1.5). 1999.
3. Arnold A., Bombach R., Kappeli B., Schlegel A. Quantitative measurements of OH concentration fields by two-dimensional laser-induced fluorescence. Applied Physics B, 64, 1997. p.579-583.

УДК 621.43.056:535.36

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ, РАЗМЕРОВ И ПОТОКА МАССЫ КАПЕЛЬ В ФАКЕЛЕ РАСПЫЛА ЖИДКОГО ТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ФАЗО-ДОПЛЕРОВСКОГО АНЕМОМЕТРА: АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

©2018 А.А. Диденко, С.Ю. Мишенков, А.В. Ахтерьяков, А.Б. Соколов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

MEASUREMENT OF VELOCITY, DIAMETERS AND FLOW OF DROPLET MASS IN THE SPRAYING FLARE OF LIQUID FUELS USING A LASER PHASE-DOPPLER ANEMOMETER: AN ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF THE RESULTS

Didenko A.A., Mishenkov S.Y., Ahteryakov A.V., Sokolov A.B. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The characteristics of two-phase fuel-air flares for spraying liquid fuel by fuel injection nozzles using laser methods LDA, PDA, IMMS (Mi) are measured. The distortions of the reliefs of the parameter fields are analyzed because of the unequal effect of the optical density of the flame on obtaining a useful optical signal from its different sections.

В Самарском университете на экспериментальной установке УПФ-372 испытываются форсунки камер сгорания ГТД и измеряется комплекс характеристик распыла топлива. Так, скорости, диаметры и число капель в точках факела распыла форсунок из-

меряются лазерным фазо-доплеровским анемометром (3D-LDA-PDA Dantec) (рис. 1).

В рабочей камере УПФ-372 форсунка 2 устанавливается осью своего сопла вертикально, топливо распыливается сверху вниз; давление в рабочей камере установки равно давлению атмосферного воздуха, перепад