

УДК 535.36

А.Ю Васильев., А.Г Голубев., А.А Свириденков., О.Г Челебян., В.И.Ягодкин  
Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, (ЦИАМ),  
Россия  
111116, Москва, Авиамоторная ул., 2, E-mail: yagodkin@ciam.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЕЙ**

*В работе изучались пространственные распределения концентраций аэрозолей, создаваемых центробежной форсункой. Использовался метод флуоресцентного рассеяния света на каплях при импульсном освещении потока лазерной плоскостью. Из обработки цветных изображений получены распределения средних по времени заутеровских диаметров капель, их концентрации и окружная неравномерность концентрации капель в поперечном сечении факела.*

**ЛАЗЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ, РАЗМЕРЫ КАПЕЛЬ,  
КОНЦЕНТРАЦИЯ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В течение многих десятилетий окружная неоднородность факела распыла определялась механическим образом с помощью секторных отборников распыленного топлива [1]. В последние годы широкое распространение получили оптические методы определения характеристик дисперсности факела распыла [2]. Если асимметрия факела незначительна, она не может быть обнаружена визуальным наблюдением. Следовательно, необходима разработка количественного определения неоднородностей факела распыленного топлива.

Для решения этих задач в ЦИАМ разработан импульсный экспресс-метод количественной визуализации потоков топливовоздушной смеси, основанный на явлении флуоресценции, возникающей при воздействии на факел лазерным излучением.

Флуоресцирующая присадка, добавляемая в жидкость, возбуждалась в области оранжевого света. Для анализа использовалась лишь его зеленая компонента, чтобы исключить остаточные потоки красного и инфракрасного света лазера. Таким образом, интенсивность флуоресценции пропорциональна объемной концентрации жидкости, а величина отношения интенсивности флуоресценции к интенсивности рассеяния голубого света пропорциональна SMD. Аналогичный метод использовался авторами в [3] для исследования распыла топливной струи в сносящем потоке воздуха в плоском канале. Здесь, в основном, он применен для определения окружной неравномерности топливовоздушной смеси за центробежной форсункой и определения размеров и концентрации жидкости в факеле распыливания. Для исследования использовалась центробежная форсунка с высокой степенью однородности распределения жидкости в факеле распыливания.

## АНАЛИЗ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЕЙ

### Измерения окружной неравномерности распределения топлива в факеле распыла

Освещение диаметральных сечений факела производилось плоским лучом от импульсного лазера, создаваемым цилиндрической и сферической линзами. Равномерное освещение в пределах 10% получалось в области 100x100мм за форсункой. Длина волны источника голубого света составляла 447нм, частота импульсов - 10Гц. Локальная неравномерность объемной концентрации топлива  $C_V$  определялась по флуоресценции малой присадки к жидкости при использовании импульсного лазера, так как интенсивность свечения присадки пропорциональна локальной величине объемной концентрации  $C_V$ . Для повышения точности измерений концентраций необходимо добиваться однородного распределения интенсивности падающего на факел света. Чтобы скомпенсировать неоднородность падающего света, проводилось фотографирование света, проходящего через однородную рассеивающую среду, и вычислялись поправочные коэффициенты неоднородности в направлении, перпендикулярном лазерному излучению, связанные с неоднородностью лазерного излучения.

Фотографирование освещенного сечения факела производилось под углом 30° к лазерной плоскости. Для получения реального распределения интенсивностей рассеянного и флуоресцентного излучений проводилось аффинное преобразование полученного изображения, так как фотографирование проводилось под углом, затем интенсивность излучения корректировалось в соответствии с полученными ранее поправочными коэффициентами. На рис.1 представлено полученное таким образом изображение факела распыла.

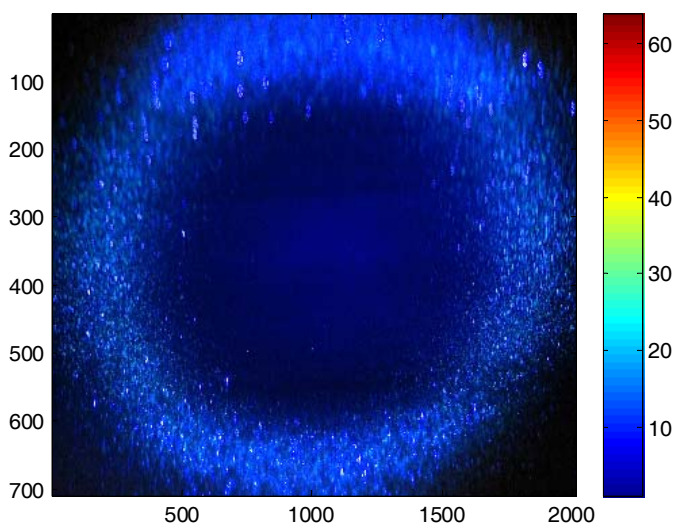


Рис. 1. Скорректированное изображение факела распыла

Изображение факела разделялось на 12 радиальных секторов и проводилось интегрирование интенсивности флуоресцентного рассеянного света по каждому из секторов. Полученная интегральная интенсивность нормировалась на величину средней для данного факела интенсивности света.

На рис.2 приведены результаты такой обработки. По радиальной координате на рисунках приведено значение относительной концентрации жидкости  $\eta = I_f * N / \sum I_f$ , здесь  $I_f$  – сумма интенсивностей флуоресценции в одном секторе, N-число секторов. Это значение на рисунке помещено в центр каждого сектора с углом 30°.

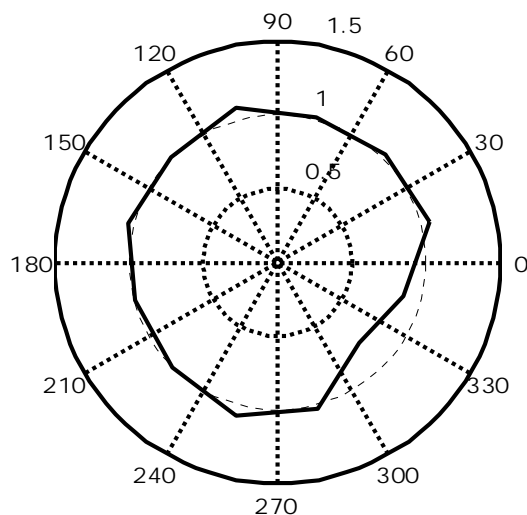


Рис. 2. Окружная неравномерность распределения топлива за центробежной форсункой

### Определение локальных размеров и концентрации капель в факеле распыливания

Как уже указывалось выше, в каждой точке изображения сечения факела лазерной плоскостью регистрируются интенсивности флуоресценции  $I_F$  и интенсивность компоненты Ми-рассеянного на каплях света  $I_S$  по отношению к плоскости рассеяния (измерения) [1]. Информация с видеокамеры подается на ЭВМ. Величины  $D_{32}$  при  $D_{32} > 10$  мкм вычисляются из уравнений для интенсивностей рассеянного света

$$I_S(x,y) = \alpha \langle D^2 \rangle N I_0 = \alpha C_S I_0, \\ I_F(x,y) = \beta \langle D^3 \rangle N I_0 = \beta C_V I_0,$$

где  $N$  - концентрация капель;  $\alpha$  и  $\beta$  - константы, определяемые экспериментально;  $I_0$  - интенсивность падающего света;  $C_S$  и  $C_V$  - поверхностная и объемная концентрации аэрозоля;  $x, y$  - координаты каждой исследуемой точки соответственно вдоль и по ширине лазерной плоскости. Отсюда выражения для среднего заутеровского диаметра  $D_{32}$  капель и  $C_V$  имеют вид:  $D_{32} \sim I_F/I_S$ ,  $C_V \sim I_F$ .

Калибровка измерительной системы производилась с применением малоуглового метода: с помощью системы ЛИД, ранее созданной в ЦИАМ, по измерению среднего заутеровского диаметра капель и их объемной концентрации, осредненных по сечению факела распыла. На рис.3 приведено распределение по радиусу относительной концентрации капель жидкости. Как видно из приведенного графика распределение концентрации в факеле распыла симметрично, за исключением области вблизи внешних границ факела. Следует отметить, что распределению концентрации, приведенному на рис.3 соответствует распространение света справа на лево. Таким образом, меньшее значение концентрации в правой части графика не связано с поглощением света при его прохождении факела распыливания. Распределение размеров капель приведено на рис.4

Отметим, что значения вычисленных размеров капель менее чувствительны к неоднородностям интенсивности падающего света, поскольку для их вычисления используется отношение интенсивностей флуоресценции и рассеиваемого света. Несимметричное распределение размеров капель слева и справа на рис.4 связано с неточностью изготовления исследуемой форсунки.

Таким образом, метод использующий явление флуоресценции можно рекомендовать для оценки качества изготовления форсунок при их серийном производстве.

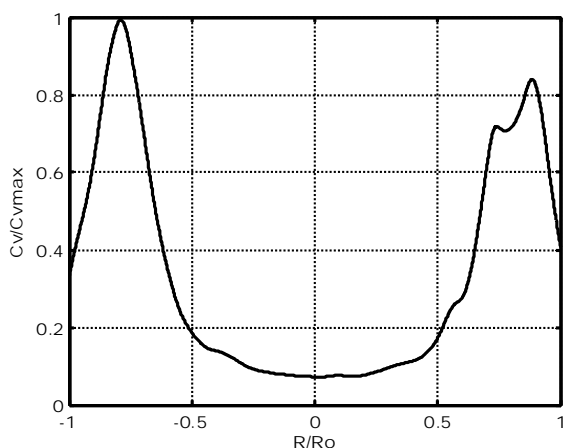


Рис. 3. Распределение относительной концентрации жидкости по радиусу факела

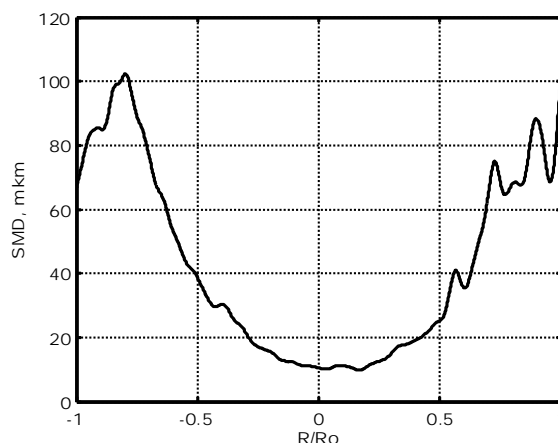


Рис. 4. Распределение размеров капель жидкости по радиусу факела

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования характеристик топливного факела за центробежной форсункой показали эффективность метода основанного на явлении флуоресценции, вызываемой лазерным излучением, для определения распределений концентраций и размеров капель жидкости за центробежной форсункой. Следует ожидать, что использованный метод с успехом можно применять для определения характеристик топливного факела пневматических форсунок, так как в условиях дробления капель воздушным потоком затруднено использование механических устройств для определения окружной неравномерности распыливаемой жидкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tate RW. Spray patteration, a significant variable in fuel combustion and chemical processes utilizing atomizing nozzles. *Equipment and design*, **50**(10):49A-55A, 1960.
2. Sankar SV; Maher KE; Bachalo WD. Time-resolved measurement of liquid mass distribution in a fuel injector spray using an optical patternator. Paper presented at *ILASS 97*, May 18-21, 1997
3. А.Ю Васильев, А.Г Голубев, А.А Свириденков, В.И.Ягодкин  
Исследование двухфазных потоков методом регистрации флуоресценции капель жидкости  
Оптические методы исследования потоков: Труды . 9-й Межд. конф. М.: МЭИ, 2007. С. 60-63.

A.Yu. Vasiliev, A.G. Golubev, A.A. Sviridenkov, O.G. Chelebian, V.I. Yagodkin  
CIAM, Moscow, Russia  
111116, Moscow, Aviamotornaya St., 2, E-mail: yagodkini@ciam.ru

## DETERMINATION OF FUEL SPRAYS CHARACTERISTICS BY LASER FLUORESCENCE METHOD

*In the work was investigated the space distributions of concentration and diameters of liquid fuels droplets in the sprays of pressure-swirl atomizers. It was used pulse planar induced laser fluorescence scattering method. Color images of the sprays were got mean Sauter drops diameters and annular distribution of concentration in the spray cross section.*

LASER VIZUALIZATION, FLUORESCENCE, DROP SIZE, CONCENTRATION