

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРЫ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА

А.Л. Астахов, С.А. Басалаев

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томск, Россия*

Одной из основных характеристик форсунки является структура факела распыла – пространственное распределение концентрации капель по радиусу и по длине факела (плотность орошения). Эта характеристика определяет равномерность распределения капель в факеле распыла и «дальнобойность» факела, играющих важную роль, в частности, при расчете топливных форсунок воздушно-реактивных и жидкостных ракетных двигателей [1]. Для определения структуры факела распыла – используются методы визуализации при помощи спекл-томографии [2-3], искровой фотографии [1] и теневых приборов [4], а также их модификации с использованием лазерного «ножа» [5]. Эти методы позволяют определять только качественную структуру факела распыла и его конфигурацию.

В настоящей работе рассмотрен метод определения количественных характеристик факела распыла при диспергировании жидкостями форсунок. Метод основан на измерении спектрального коэффициента пропускания при лазерном сканировании по хордам факела распыла в разных его сечениях с последующим решением соответствующей обратной задачи.

Для диагностики структуры осесимметричного двухфазного потока использовалась система оптической диагностики (рис. 1), в которой зондирующий луч лазера формируется механической и оптической системами установки и подается через факел распыла форсунки на фотоприемник. Механическая система включает электродвигатель и вращающийся отражатель (зеркало). Оптическая система состоит из двух соосно установленных линз. Результаты сканирования (сигнал с фотоприемника) поступают на осциллограф с цифровым выходом и обрабатываются на ПК [6].

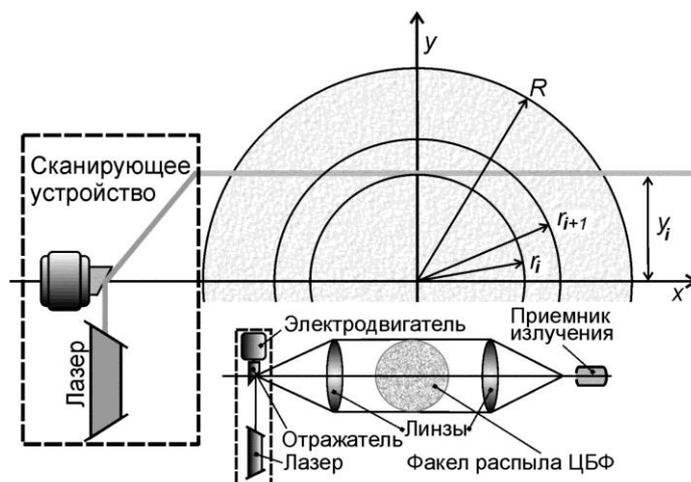


Рис. 1. Схема лазерной сканирующей установки.

Схема сканирования поперечного сечения осесимметричного двухфазного потока для заданного расстояния z этого сечения от среза сопла форсунки приведена на рис. 1. На рис. 1: x – координата вдоль зондирующего луча; y – расстояние между линией зондирующего луча и центром факела; r – радиальная координата; R – радиус границы факела распыла в исследуемом сечении.

Обработка результатов проводилась в автоматическом режиме отдельно для каждого сечения факела распыла и сводилась к расчету распределения по хордам оптической плотности факела

$$\tau(y) = \ln \left(\frac{1}{T(y)} \right), \quad (1)$$

где $T(y) = \frac{J(y)}{J_0(y)}$ – коэффициент пропускания факела распыла.

Экспериментальная зависимость (1) является исходной информацией для определения радиального распределения массовой концентрации капель $C(r)$ в данном сечении факела распыла. Зависимость оптической плотности τ от координаты y применительно к осесимметричному неоднородному факелу распыла имеет вид [7]

$$\tau(y) = \frac{3}{\rho} \int_0^{\sqrt{R^2 - y^2}} \frac{C(x)Q(x)}{D_{32}(x)} dx, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости; Q – усредненный фактор эффективности ослабления; D_{32} – средний объемно-поверхностный диаметр капель.

Идентификация радиального распределения концентрации капель проводилась при допущении, что величина D_{32} значительно превышает длину волны зондирующего излучения ($\lambda=0.6328$ мкм). При этом величина усредненного фактора эффективности ослабления постоянна и равна асимптотическому значению $Q=2$ [7]. Кроме того, предполагалось, что в исследуемом сечении факела средний диаметр капель D_{32} одинаков. Это допущение не является принципиальным и при наличии информации (расчетной или экспериментальной) по радиальному распределению $D_{32}(r)$ в рамках данного метода может быть исключено.

Уравнение (2) в радиальной системе координат можно представить в виде [8]:

$$\tau(y) = \frac{6R}{\rho D_{32}} \cdot \int_y^1 \frac{r C(r)}{\sqrt{r^2 - y^2}} dr. \quad (3)$$

Алгоритм расчета распределения концентрации $C(r)$ сводится к обращению интегрального уравнения Абеля (3):

$$\bar{C}(\bar{r}) = -\frac{1}{\pi} \int_{\bar{r}}^1 \frac{\tau'(\bar{y})}{\sqrt{\bar{y}^2 - \bar{r}^2}} d\bar{y}, \quad \bar{r} \in [0, 1]. \quad (4)$$

Метод спектральной прозрачности при лазерной диагностике структуры осесимметричного двухфазного потока факела распыла позволяет получить пространственное распределение концентрации капель. Результаты распределения концентрации капель

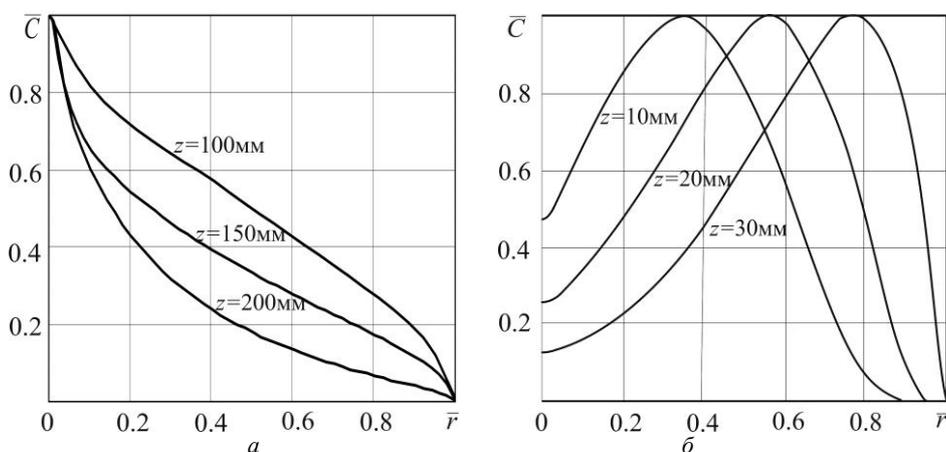


Рис. 2. Радиальные распределения концентрации капель в разных сечениях факела распыла для эжекционной (а) и центробежной (б) форсунок.

для эжекционной форсунки показывают (рис. 2а), что радиальное распределение носит монотонный характер с максимумом на оси симметрии факела распыла. Для центробежной форсунки концентрация капель в факеле распыла существенно неравномерна как по радиальной координате, так и по длине факела (рис. 2б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалов И.В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. – М: Машиностроение, 1964. – 526 с.
2. Vitkin, D., Merzkirch, W. and Fomin, N. Quantitative Visualization of the Change of Turbulence Structure Caused by a Normal Shock Wave // Journal of Visualization, Vol. 1, No. 1 (1998) 29-35.
3. N. Fomin, E. Lavinskaya, D. Vikin. Spekle tomography of turbulent flows with density fluctuations // Experiments in Fluids 33 (2002) 160-169.
4. Васильев А.А. Теневые методы. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
5. Шорин В.П., Журавлев О.А., Мединская Л.Н., Токарев В.В. Визуализация гидродинамической структуры течения в факеле центробежной форсунки // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1988, №2. – С. 108-109.
6. Архипов В. А., Трофимов В. Ф., Басалаев С. А., Антонникова А. А. Заявка на патент РФ №2016119287 с приоритетом от 18.05.2016. Устройство для определения пространственного распределения концентрации капель в факеле распыла форсунки.
7. Архипов В.А., Бондарчук С.С. Оптические методы диагностики гетерогенной плазмы продуктов сгорания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012.–265с.
8. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В. и др. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1977. 206 с.