

УДК 535.8

А. П. Белоусов

*Институт теплофизики СО РАН, Россия,
630090, Новосибирск, академика Лаврентьева пр., 1, E-mail: abelousov@ngs.ru*

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ В ГАЗОКАПЕЛЬНЫХ ПОТОКАХ

Оптическими методами исследован газокапельный поток, создаваемый пневматической форсункой внутреннего смешения. Измерен дисперсный состав, пространственное распределение капель жидкости для различных фракций и поле их средней скорости.

ФОРСУНКИ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ, ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ.

ВВЕДЕНИЕ

Распыливание – тонкое измельчение жидкостей, приводящее к образованию дисперсного газокапельного потока – широко применяется в современной технике. Важность параметров процесса приводит к необходимости детального изучения динамики газокапельных течений [1, 2].

При экспериментальном исследовании процесса распыливания жидкости основными определяемыми величинами являются: коэффициент расхода форсунки, распределение диспергированной жидкости по сечению струи, угол конусности струи, распределение капель по размеру, их средний диаметр и скорость. Существует ряд способов определения числа и размеров капель в газокапельном потоке. Наиболее распространены контактные методы улавливания капель и отпечатков (следов, оставляемых каплями на специально подготовленной поверхности). Часто проводится анализ отвердевших в полете капель (используется вещество с низкой температурой плавления). В настоящее время широко применяются бесконтактные полевые и точечные оптические методы, использующие отражение, преломление, рассеяние, дифракцию и интерференцию (отраженного от внешней и внутренней поверхности капли излучения) взаимодействующего с каплями излучения [2 – 6]. Каждый из приведенных методов обладает рядом недостатков. Контактные методы искажают поток, инерционны (между отбором и обработкой проходит некоторое время) и нелокальны (большая область выборки). Оптические методы ограничены небольшой концентрацией дисперсной фазы, требуют использования сложного диагностического оборудования и неоднозначных алгоритмов обработки. На этом фоне перспективным выглядит метод [7], позволяющий сравнительно просто с высокой точностью определять размер и пространственное положение дисперсной фракции в газокапельных и пузырьковых течениях.

Данная работа посвящена изучению влияния процессов испарения, конденсации, слияния и дробления капель, на дисперсный состав потока формируемого пневматическими форсунками. Пространственное положение и размер дисперсной фазы определялись на основе [7]. Поле средних скоростей измерялось методом трассерной визуализации PIV (Particle Image Velocimetry) [8].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

На рис. 1 представлена схема эксперимента. Излучение Nd:YAG-лазера (532 нм) анаморфотной оптической системой преобразовывалось в световой нож толщиной $h = 1$ мм, который с помощью поворотного зеркала направлялся в исследуемую область потока (срез сопла). Регистрация изображения осуществлялась CCD камерой с разрешением 2048×2048 пикселей ($18,6 \times 18,6$ мм²). При измерении поля скорости физический размер области составлял величину ($11,34 \times 11,34$ см²). Газокапельный поток формировался пневматической форсункой внутреннего смешения Raasche. Давление воздуха на входе – 1 атм., диспергируемая жидкость – дистиллированная вода ($t = 25$ °С), средняя скорость капель жидкости на выходе из сопла – 50 м/с.

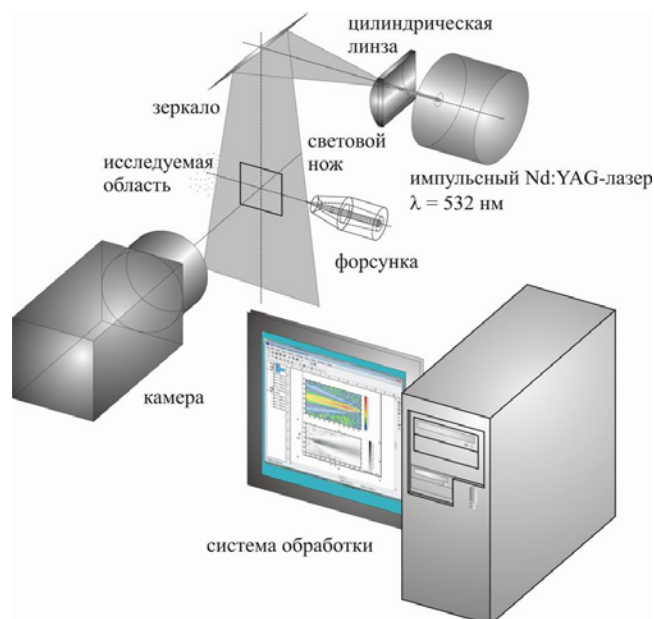


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

За счет высокой численной концентрации мелкодисперсной фракции (рассеивающей лазерное излучение изотропно) внешние границы капель в изучаемом потоке визуализируются полностью [7]. Параметры дисперсной фракции могут быть определены следующим образом: после предварительной обработки (бинаризация изображения, заполнение области внутри границы), определяется положение центра капли и число пикселей, входящих в ее состав. Приведение информации к реальным физическим масштабам осуществляется введением нормировочного коэффициента. По известной площади рассчитывается диаметр капли.

Локальное содержание жидкой фазы определяется отношением площадей

$$\varphi_S = \frac{S_d}{S_A}, \quad (1)$$

где S_A – площадь исследуемой области, а S_d – площадь находящихся в ней капель.

Переход к объемной концентрации осуществляется при помощи нормировочных коэффициентов, которые вычисляются следующим образом. Обозначим толщину лазерного ножа как h . Предположим, что капли представляют собой сферы радиуса R_j , тогда отношение концентраций φ_V и φ_S запишется как

$$\frac{\varphi_V}{\varphi_S} = \frac{\left(\frac{4}{3} \pi \sum_{j=1}^n R_j^3 \right) S_A}{\left(\pi \sum_{j=1}^n R_j^2 \right) S_A h} = \frac{4}{3h} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n R_j^3}{\sum_{j=1}^n R_j^2},$$

где n – число капель, принадлежащих исследуемой области. Как видно из формулы, нормировочный коэффициент определяется толщиной лазерного ножа и дисперсным составом жидкой фазы [9].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 приведен дисперсный состав потока. Размер выборки ≈ 500 тыс. капель. Средний размер – 24 мкм, что совпадает с данными, полученными интерферометрическим методом независимо в [10]. На рис. 3 (а, б) представлено пространственное распределение капель жидкости для различных фракций. Использовались следующие интервалы: (0 – 20 мкм), и свыше (80 мкм). $S_A = 32 \times 32$ пикселя. Строилось поле средней концентрации размером 128×128 пикселей при выборке – 2000 изображений.

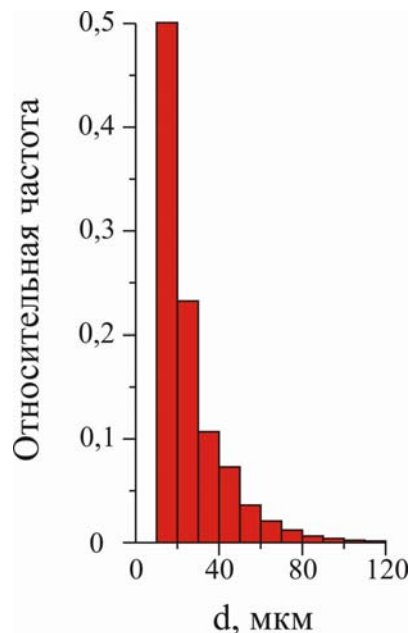


Рис. 2. Дисперсный состав газокapельного потока

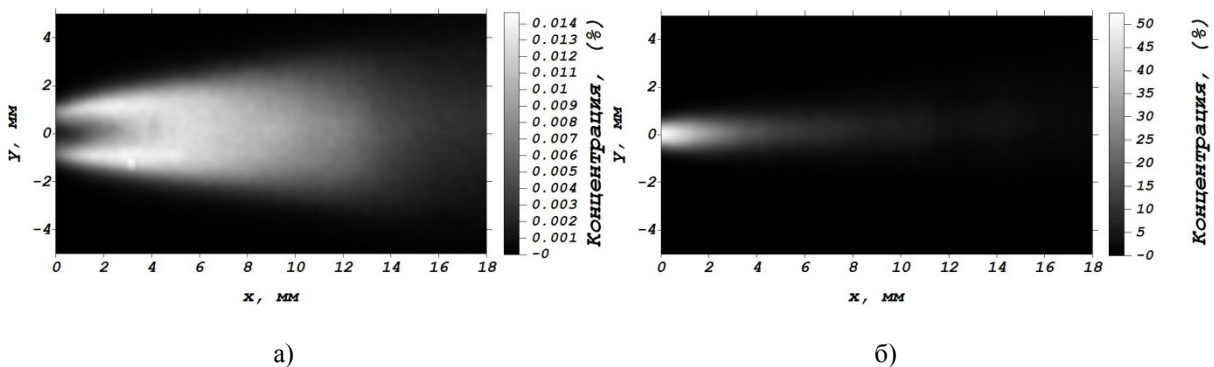


Рис. 3. Пространственное распределение капель жидкости разных фракций: а) – диаметр капли меньше 20 мкм, б) – диаметр капли больше 80 мкм

Из рисунка видно, что основной вклад в объемную концентрацию вносят крупные капли диаметром больше 80 мкм. Мелкие капли (диаметр меньше 20 мкм) быстро испаряются (концентрация на расстоянии 20 мм от среза сопла существенно снижена). Качественно пространственное распределение дисперсной фазы совпадает с характерными распределениями для пневматических форсунок, приведенными в работе [11].

На рис. 4 показано поле средних скоростей полученных методом PIV. Проводилась съемка двух последовательных кадров с задержкой 20 мкс. При помощи корреляционных алгоритмов [8] реализованных в системе ПОЛИС Actual Flow v.2.1 изображения обрабатывались (размер области 64×64 пикселя, перекрытие 50%), и рассчитывались мгновенные поля скорости. Полученные данные усреднялись. Размер выборки составлял 200 полей скорости. Из рисунка видно, что газок капельная струя симметрична относительно оси y . Область с максимальными абсолютными значениями скорости локализована в пределах: $10 \text{ мм} < x < 55 \text{ мм}$, $-4 \text{ мм} < y < 4 \text{ мм}$.

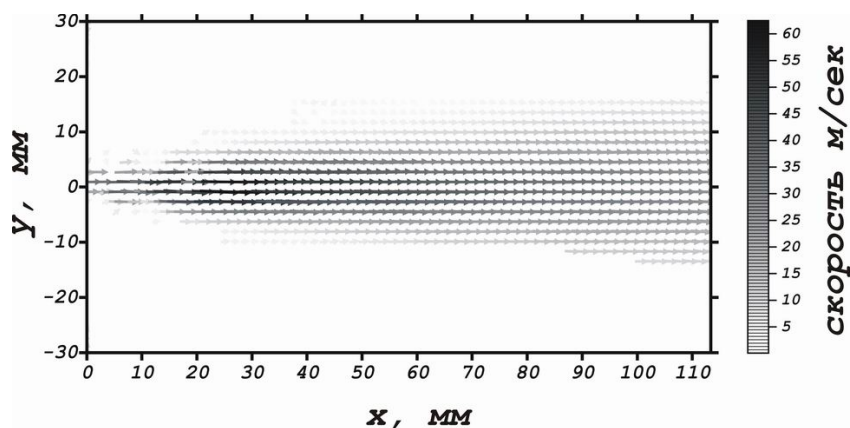


Рис. 4. Поле средней скорости в факеле форсунки

На рис. 5 представлена зависимость продольной компоненты скорости от расстояния до форсунки. Скорость достигает максимума на расстоянии 33 мм от среза сопла, и далее плавно уменьшается, что качественно согласуется с данными, приведенными в [11].

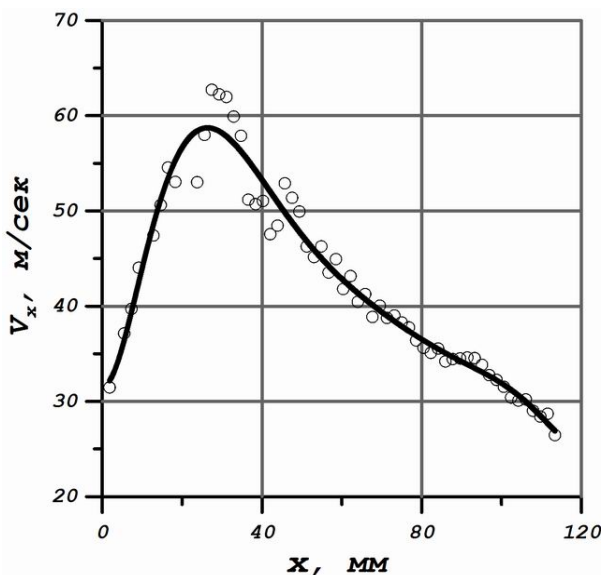


Рис. 5. Зависимость продольной компоненты скорости на оси струи от расстояния до форсунки

На основании пространственного распределения капель с диаметром меньшим 20 мкм (рис. 3а) и профиля скорости (рис. 5) можно заключить, что время жизни малых капель τ составляет величину $\tau < (0,02 \text{ м}) / (40 \text{ м/с}) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$. В то же время, для неподвижных капель того же диаметра, согласно [12], время жизни $\tau \approx 10^{-1} \text{ сек}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать несколько выводов. Метод определения размера дисперсной фазы [7] является эффективным при диагностике газочапельных потоков, позволяя получать данные о распределении по размерам и пространственном положении мелкодисперсной фазы ($d < 20$ мкм) в высокоскоростном (> 50 м/с) потоке, что чрезвычайно важно при использовании и разработке распыливающих устройств. В сочетании с методом PIV (тот же набор технических средств) может быть получена полная информация о характеристиках газочапельного потока.

Исследование динамики дисперсной фазы в факеле пневматической форсунки показало важную роль процессов испарения. В частности, существенное уменьшение времени жизни ($\tau < 5 \cdot 10^{-4}$ с) мелких капель в высокоскоростном потоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Физическая энциклопедия** / Гл. Ред. А. М. Прохоров. – М.: Сов. Энциклопедия. Т. I., 1998, 704 стр.
2. **Витман Л. А., Кацнельсон Б. Д., Палеев И. И.** Распыливание жидкостей форсунками. Государственное энергетическое издательство, Ленинград, 1962.
3. **Оптико-электронные методы изучения аэрозолей.** / Беляев С.П. и другие. М.: Энергоатомиздат, 1981.
4. **Шифрин К. С.** Рассеяние света в мутной среде. М., Л: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951.
5. **Vauckhage K.** Gleichzeitige Erfassung von Partikelmerkmalen und Eigenschaften mehrphasiger Stromungen mit Hilfe der Phasen-Doppler-Anemometrie // Chemie-Ingenieur-Technik, 68, 1996. P. 253-266.
6. **Konig G., Anders K., Frohn A.** A new light-scattering technique to measure the diameter of periodically generated moving droplets // J. of Aerosol Science, 17 (1986). P. 157-167.
7. **Белоусов А. П., Белоусов П. Я.** Метод измерения дисперсного состава и локального газосодержания газожидкостных потоков // Автометрия, 2008, т.44, №2, с. 50-55.
8. **Raffel M., Willert C., Kompenhans J.** Particle image Velocimetry. A practical guide, Springer, Berlin 1998.
9. **Белоусов А. П.** Пространственное распределение газовой фазы в осесимметричной затопленной импактной струе // Прикладная механика и техническая физика, 2009, т. 50, № 4, стр. 33-38.
10. **Бильский А.В., Ложкин Ю.А., Маркович Д.М.** PИ: Интерференционный метод измерения диаметров частиц // Труды X Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков. М.: Изд-во МЭИ. 2009. С. 260-263.
11. **Пажи Д.Г., Галустов В.С.** Основы техники распыливания жидкости. – М.: Химия, 1984.
12. **Лазерное доплеровское измерение скорости потоков жидкости и газов** / Под ред. Г. Л. Гродзовского. – М., 1976, 420 с. – (ОНТИ ЦАГИ; № 481).

A.P. Belousov

*Kutateladze Institute of Thermophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia,
630090, Novosibirsk, Akademika Lavrent'eva pr., 1, E-mail: abelousov@ngs.ru*

MEASUREMENT OF FINE-DISPERSED DROPLETS LIFETIME IN GAS-LIQUID FLOWS

A gas-droplet flow generated by a pneumatic injector with internal mixing is studied by optical methods. The fractional composition and the spatial distribution of liquid droplets for different fraction are measured, as well as the mean velocity field.

**INJECTORS, DROPLETS DISPERSIVENESS, SPATIAL DISTRIBUTION OF DROPLETS,
VELOCITY FIELD**