

## АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 544.772.3

# Генерация двухфазных газок капельных потоков с заданными характеристиками

А.Н. Ишматов<sup>1</sup>, В.В. Елесин<sup>2</sup>, А.А. Трубников<sup>1</sup>, С.П. Огородников<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН  
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»  
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1

Поступила в редакцию 5.02.2013 г.

Решается проблема создания высокодисперсных газок капельных потоков и аэрозолей с заданными характеристиками (дисперсность, концентрация, скорость потока) для широкого круга научных задач. Показана возможность эффективного получения мелкодисперсной фракции капель заданной дисперсности.

**Ключевые слова:** газок капельный поток, аэрозоль, модельная аэрозольная среда, распыление жидкостей, аэродинамическое распыление, сепарирование капель; gas-drop flow, aerosol, simulated aerosol media, atomization of liquids, aerodynamic atomization, separation of droplets.

Аэрозольные технологии нашли широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве и задачах жизнеобеспечения. Для создания систем эффективной нейтрализации токсичных аэрозолей и газов, систем подавления дыма в помещениях, аэрозольных систем в сельскохозяйственном сегменте важным является изучение взаимодействия газок капельных потоков различной природы с окружающей средой. Особое внимание уделяется получению аэрозолей и газок капельных потоков с высокой поверхностной активностью (высокой удельной поверхностью) целевого компонента с минимальными размерами частиц.

В настоящей статье решается проблема создания «высокодисперсных» газок капельных потоков и аэрозолей с заданными характеристиками (дисперсность, концентрация, скорость потока) для широкого круга научных задач (под высокодисперсными понимаются аэрозоли и газок капельные потоки с частицами до 6 мкм).

Одним из распространенных способов генерации модельных газок капельных потоков является аэродинамический метод распыления. С помощью изменения параметров сопла, скорости истечения газа и жидкости можно регулировать дисперсность и плотность получаемого газок капельного потока в некоторых пределах [1, 2].

Для получения «высокодисперсного» газок капельного потока в настоящей работе, с учетом теоретических соображений [1–3], расход газа в аэро-

динамическом распылителе устанавливался на максимальное значение для выбранной конструкции (5 л/с), давление газа составляло 0,7 МПа. В ходе экспериментов изменяли величину зазора выходного отверстия подачи распыляемой жидкости, тем самым регулировали расход жидкости в пределах от  $3,3 \cdot 10^{-3}$  до  $8,3 \cdot 10^{-5}$  кг/с для одного распылителя.

Для изучения характеристик распыла применялся лазерный анализатор размеров частиц «Malvern Spraytec». Для распыления использовался 20%-й водный раствор глицерина с целью стабилизации испарения капель в потоке.

Результаты экспериментальной апробации метода приведены на рис. 1.

Видно, что уменьшение расхода жидкости позволило повысить содержание капель мелкодисперсной фракции в газок капельном потоке, но при этом существенно уменьшалась концентрация потока  $C$ :  $C = 0,660$  кг/м<sup>3</sup>, средний зауреровский диаметр ( $D_{32}$ ) – 9,8 мкм (рис. 1, а);  $C = 0,083$  кг/м<sup>3</sup>,  $D_{32} = 6,8$  мкм (рис. 1, б);  $C = 0,040$  кг/м<sup>3</sup>,  $D_{32} = 2,9$  мкм (рис. 1, в);  $C = 0,016$  кг/м<sup>3</sup>,  $D_{32} = 0,68$  мкм (рис. 1, г). Рис. 1, а иллюстрирует возможность генерации субмикронных капель с помощью тонкой настройки распылительной системы. Двух- и трехмодовое распределение капель в потоке объясняется наличием небольшого количества крупных капель, присутствие которых существенно сказывается на функции массового распределения. Образование крупных капель обусловлено нестационарными процессами истечения из сопла и конструктивными особенностями распылителя.

Для дальнейшей работы с целью оценки возможности повышения эффективности и качества получаемого распыла разработан прототип устройства с регулируемыми характеристиками по размеру

\* Александр Николаевич Ишматов (ishmatoff@rambler.ru); Василий Вячеславович Елесин (elesinvv@yandex.ru); Андрей Александрович Трубников (ipcet@admin.ru); Сергей Петрович Огородников (sergn3a7@mail.ru).

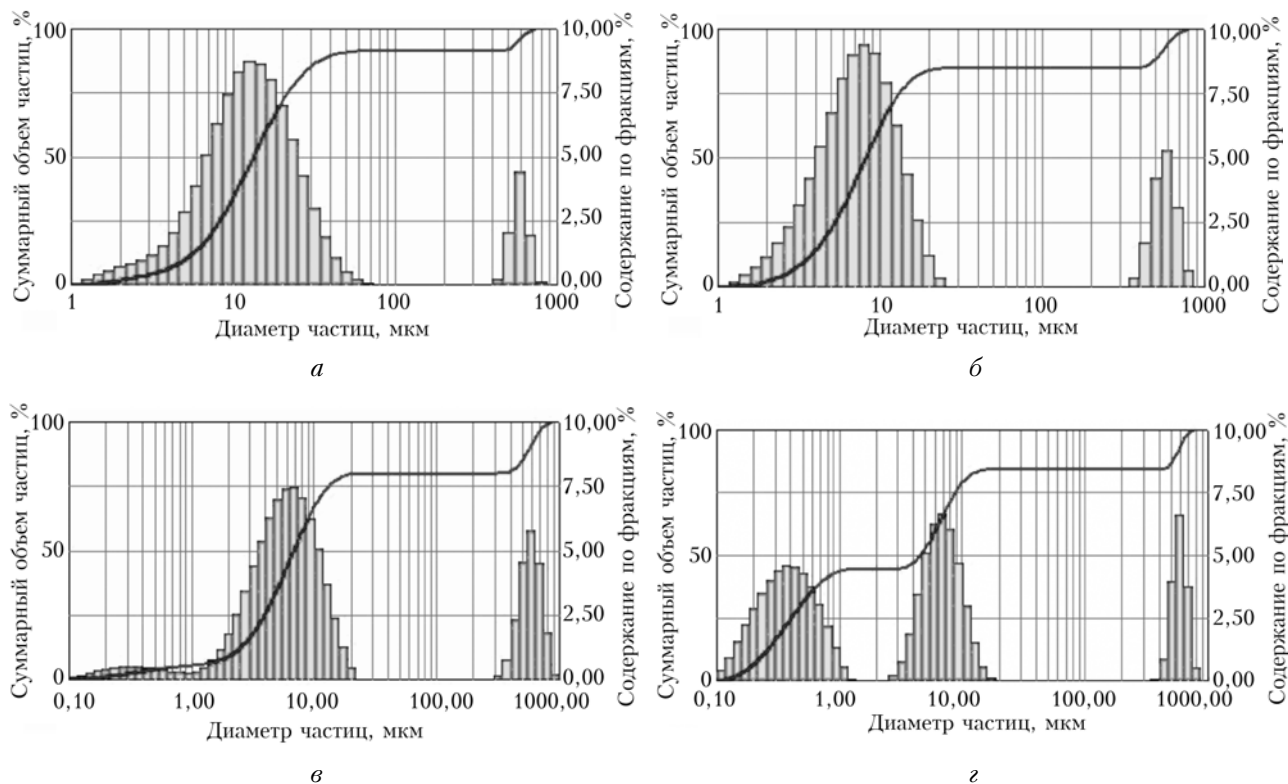


Рис. 1. Массовая функция распределения капель в потоке при различном расходе жидкости:  $a - 3,3 \cdot 10^{-3}$ ;  $б - 0,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $в - 0,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $г - 8,3 \cdot 10^{-5}$  кг/с

капель и массовому потоку. Суть устройства заключается в следующем. Газокапельный поток, содержащий капли различных размеров, с определенной скоростью подается в сепаратор — канал в виде трубы («отсекатель»), закрученной по спирали вверх. При движении потока капель в канале за счет центробежных сил происходит сепарация с осаждением крупных капель на стенках канала и последующим «стеканием» образовавшейся жидкости в приемник, расположенный в нижнем входном конце канала. Изменением параметров первоначального распыления, скорости потока, числа витков канала и угла закрутки регулируется степень сепарации капель. Забор жидкости для распыления осуществляется из приемника, расположенного в нижнем конце канала, тем самым проводится повторное распыление жидкости, образовавшейся при осаждении на стенках канала крупных капель. Для эффективного «стекания» жидкости стенки канала покрыты водоотталкивающим материалом.

Для имеющихся условий в результате экспериментального подбора выбраны оптимальные геометрические параметры «отсекателя»: диаметр трубы — 0,1 м; диаметр спирали, по которой закручена труба, — 0,3 м, число витков — 1; высота — 0,5 м.

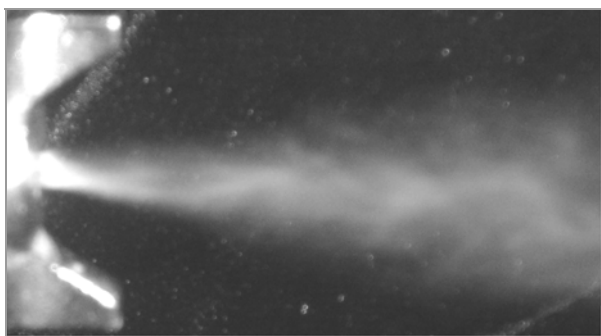
Генерация «высокодисперсных» газокапельных потоков предполагает диспергирование жидкости в нестационарных условиях скоростного течения (при критических значениях чисел Рейнольдса) [1, 2]. В закрученном канале высокие скорости вызывают нежелательные эффекты, появляются раз-

личного рода биения потока, микровихрения, что приводит к снижению эффективности работы системы сепарации капель. Чтобы ограничить и стабилизировать скорость газокапельного потока на входе сепаратора, в потоке инициализировались скачки уплотнения, приводящие к потере полного давления, а следовательно, и к снижению скорости. Для этого в поток вносился клин с изменяемым углом наклона, что способствовало резкому расширению потока (рис. 2) и уменьшению скорости течения на входе в систему.

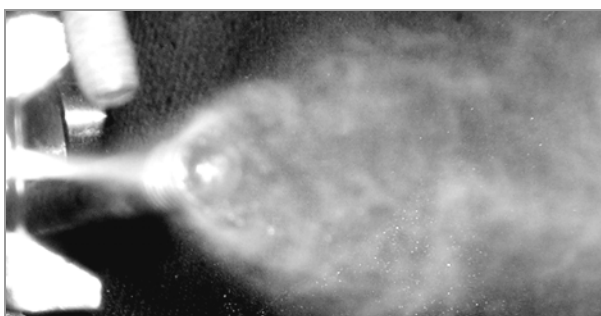
Предложенная система позволяет получать на выходе сепаратора высокодисперсный газокапельный поток:  $D_{32} = 2,8$  мкм,  $C \sim 0,100$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 3). Коэффициент оптического пропускания среды для первоначального распыла равен 46%, для получаемого на выходе сепаратора — 87%.

Таким образом, в отличие от «прямой» настройки аэродинамического распылителя (см. выше) использование метода сепарирования дисперсного потока с целью выделения требуемой фракции капель позволяет получать газокапельные потоки с функцией, близкой к гамма-распределению. К тому же удалось полностью «избавиться» от нежелательных мод в распределении, т.е. получать на выходе поток с одномодовой функцией распределения. Стоит отметить еще один положительный результат: предложенная система позволила существенно повысить концентрацию газокапельного потока на выходе для случая высокодисперсного распыления ( $D_{32} < 6$  мкм) с  $0,040$  кг/м<sup>3</sup> (см. рис. 1, в)

до  $C \sim 0,100 \text{ кг/м}^3$  (рассматривается массовая концентрация капель, приходящаяся на объем газа при атмосферном давлении).



а



б

Рис. 2. Структура газокapelьного потока на входе в сепаратор: а – свободный поток; б – поток с расширением

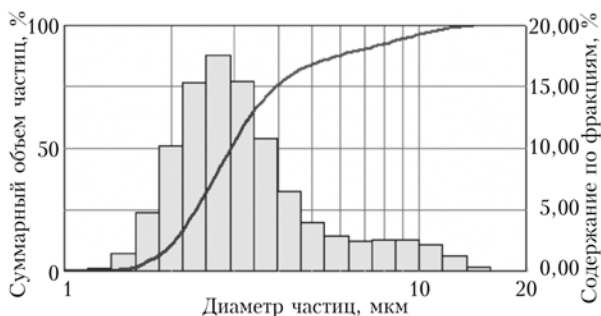


Рис. 3. Функция массового распределения капель на выходе системы с «отсекателем»

Далее была проведена серия экспериментов по изучению возможностей повышения производительности системы. Для этого через систему пропускался поток, создаваемый группой распылителей. Использование системы из двух распылителей позволяло получать капли диаметром до 10 мкм с производительностью до 0,0004 кг/с, четырех распылителей – до 0,0006 кг/с. При этом концентрация аэрозоля на выходе составляла примерно 0,100 кг/м<sup>3</sup>.

С помощью изменения параметров системы можно регулировать степень сепарирования. Дополнительная настройка позволила получать практически монодисперсный модельный газокapelьный поток с  $D_{32} = 1,8 \text{ мкм}$  (рис. 4).

Также существует возможность получения наноразмерных частиц в потоке. Для этого предлагается экспериментальная методика по распылению растворов с целевым компонентом [4–6] с применением разработанной системы. Путем изменения концентрации растворов можно получать аэрозоли с частицами заданных размеров, в том числе субмикронными и наноразмерными (размеры менее 100 нм). Использование таких технологий является актуальным в медицине, при легочном введении лекарственных препаратов с высокой проникающей способностью и эффективностью [7, 8].

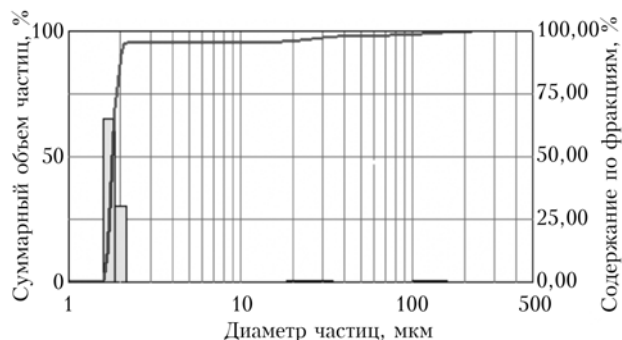


Рис. 4. Функция массового распределения модельного газокapelьного потока на выходе системы с «отсекателем»

Современные тенденции в экологизации и минимизации загрязнений, вызванных источниками аэрозольных и газовых выбросов, обуславливают актуальность предложенной методики генерации модельных аэрозольных сред для решения исследовательских задач, связанных с изучением взаимодействия аэрозолей различной природы с окружающей средой, в частности для ультразвуковой коагуляции аэрозолей и дымов [9].

Итак, на примере аэродинамического метода распыления жидкостей показана возможность создания модельных газокapelьных потоков и аэрозолей с заданными характеристиками.

Показано, что в отличие от «прямой» настройки аэродинамического распылителя использование метода сепарирования дисперсного потока позволяет получать газокapelьные потоки с функцией распределения капель, близкой к гамма-распределению. Предложенная система позволила существенно повысить концентрацию газокapelьного потока на выходе для случая высокодисперсного распыления ( $D_{32} < 6 \text{ мкм}$ ) с 0,040 до 0,100 кг/м<sup>3</sup>. Определены критерии настройки системы для генерации субмикронной фракции капель заданной дисперсности в потоке.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 12-08-31282 мол\_а).

1. Liu H. Science and Engineering of Droplets—Fundamentals and Applications. William Andrew Publishing: Noyes, 2000. 508 p.
2. Lefebvre A.H. Atomization and Sprays. N.Y.: Hemisphere, 1989. 417 p.

3. *Couto H.S., Bastos-Netto D.* Generalized Liquid Film Atomization Theory // *J. Thermal Sci.* 2000. V. 9, N 3. P. 265–270.
4. *Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И.* Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // *Оптика атмосфер. и океана.* 2012. Т. 25, № 7. С. 653–656.
5. *Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И., Архипов В.А.* Эволюция капель при импульсном формировании аэрозольных сред // *Изв. вузов. Физ.* 2012. Т. 55, № 9/3. С. 51–57.
6. *Ishmatov A.N., Vorozhtsov B.I.* Experimental study of the droplets evolution upon impulse spray formation // *ICLASS 2012, 12th Triennial Int. Conf. on Liquid Atomization and Spray Systems: Proc. Conference. Heidelberg, Germany, September 2–6, 2012.* – # 1112 [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.iclass2012.org/Downloads/ICLASS2012.zip>
7. *Clark A.R.* Medical Aerosol Inhalers: Past, Present, and Future // *Aerosol Science and Technol.* 1995. V. 22, iss. 4. P. 374–391.
8. *Salisbury C.L., Tuncel G., Ondov J.M.* Ultrafine Particle Generation at High Liquid Flow Rates with Commercial Two-Fluid Nozzles // *Aerosol Science and Technol.* 1991. V. 15, iss. 3. P. 156–169.
9. *Антонникова А.А., Коровина Н.В., Кудряшова О.Б., Ахмадеев И.Р.* Экспериментальное исследование процессов трансформации аэрозолей при ультразвуковом воздействии // *Оптика атмосфер. и океана.* 2012. Т. 25, № 7. С. 650–652.

*A.N. Ishmatov, V.V. Elesin, A.A. Trubnikov, S.P. Ogorodnikov.* **Generation of two-phase gas-droplet flows with preset characteristics.**

The problem of creating of finely dispersed gas-drop flow and aerosols with specified characteristics (dispersion, concentration, flow rate) for a wide range of scientific problems is solved. The possibility for efficiently producing of fine fraction of droplets with defined dispersiveness was demonstrated.