

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 532.529

В.Н. Ярыгин, В.Г. Приходько, И.В. Ярыгин

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 1, E-mail: yarygin@itp.nsc.ru*

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУБМИКРОННЫХ
ИСПАРЯЮЩИХСЯ КАПЕЛЬ**

АННОТАЦИЯ

Обсуждаются возможности и ограничения оптических методов диагностики малоразмерных, порядка 1 мкм капель в газокапельных потоках. Показана возможность восстановления функций распределения капель и их среднего размера из измерений параметров ультрадисперсных частиц, формирующихся из микрокапельных потоков после испарения капель.

ГАЗОКАПЕЛЬНЫЙ ПОТОК, СУБМИКРОННЫЕ КАПЛИ, МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует и продолжает расширяться множество различных научных и практических приложений газокапельных течений. При экспериментальном исследовании таких течений диагностике первичных капель и их дальнейшей эволюции уделяется большое внимание. Наиболее развитыми являются оптические методы при использовании лазеров в качестве источников света. Можно, по-видимому, утверждать, что нет особых проблем в измерении таких параметров как скорость, размер, функции распределения и др. достаточно крупных капель, порядка 1 мм и выше. В то же время актуальны измерения параметров мелких капель, порядка 1 мкм и меньше (микроспреи для охлаждения, получение наноразмерных форм лекарственных препаратов и др.). Однако оптическая диагностика таких капель, в частности по рассеянию Ми, представляет некоторые трудности, связанные с соизмеримостью размера микрокапель с длиной волны зондирующего излучения. Другая трудность диагностики микрокапель состоит в их быстром испарении.

Один из возможных способов решения проблемы – добавление в исходную жидкость небольшого (менее 1% по весу) количества неиспаряющегося вещества. В этом случае после испарения капель образуются сухие частицы субмикронного размера, диагностика которых возможна, например, с помощью диффузионного спектрометра аэрозольных частиц. В данной работе сделана попытка восстановления начальных функций распределения микрокапель воды и их среднего размера из измерений параметров ультрадисперсных частиц, образующихся после полного испарения микрокапель.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Для проведения исследований была разработана и создана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1.

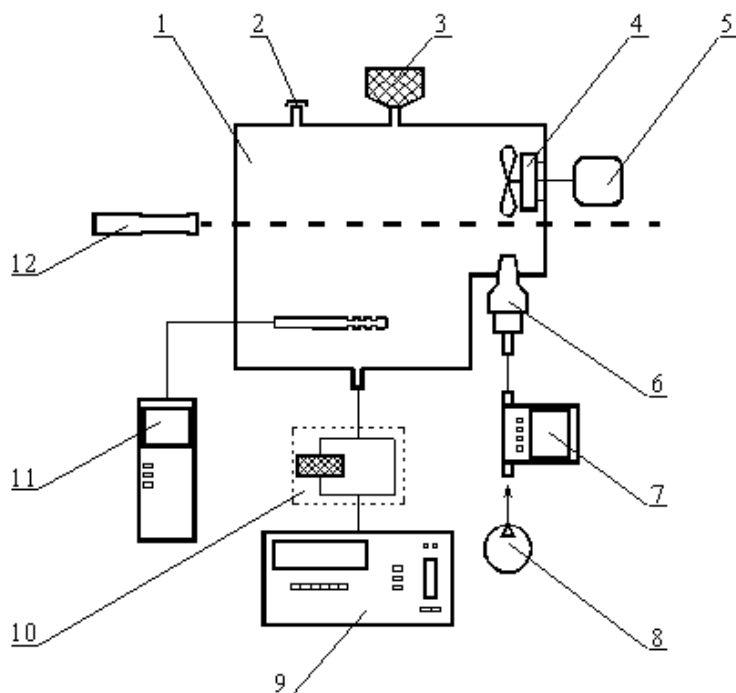


Рис. 1. Схема установки. 1 – бокс, 2 – дренажный патрубок, 3 – фильтр, 4 – вентилятор, 5 – электрический адаптер, 6 – распылитель, 7 – расходомер газа, 8 – воздушный компрессор, 9 – анализатор частиц, 10 – разбавитель, 11 – измеритель влажности и температуры, 12 – лазер

Установка представляет собой изготовленный из оргстекла бокс 1 объемом 22 л, в котором установлены источник газокapельного потока 6, измеритель влажности и температуры 11, а также вентилятор 4. Для диагностики образующихся капель и наночастиц используются лазер 12 и анализатор частиц 9, соответственно. В качестве последнего использовался диффузионный спектрометр аэрозольных частиц ДСА, позволяющий проводить измерения размеров частиц в диапазонах 3-200 и 300-1200 нм при их концентрации до $5 \cdot 10^5$ частиц/см³. При больших концентрациях частиц (близких к $5 \cdot 10^5$ частиц/см³) использовался разбавитель 10 для обеспечения работоспособности спектрометра.

Для определения начального размера капель использовался метод рассеяния света на каплях (рассеяние Ми [1]). Поскольку интенсивность рассеянного света сильно зависит от длины волны, то желательно использовать лазер с малой длиной волны, например, ультрафиолетовый. Однако мы использовали более безопасные в работе лазеры видимой области спектра (650 и 532 нм). Для регистрации излучения использовались высокочувствительные в требуемой области спектра фотоприемники с последующим усилением сигнала. Два фотоприемника располагались через 180° в одной плоскости с лазером и могли синхронно поворачиваться на углы от 0 до 180° относительно неподвижного источника газокapельного потока и луча лазера. С помощью объективов, установленных перед приемниками, обеспечивалась пространственная локализация измерений (примерно 1 мм в приосевой области газокapельной струи). Одна из основных проблем при таком способе диагностики – высокая концентрация капель в газокapельном потоке, и, соответственно, необходимость принимать во внимание множественные переизлучения от соседних капель. В результате методика позволила оценить средний размер капель в газокapельном потоке, который составил порядка 1 мкм. Восстановление функции распределения капель по размерам осуществлялось косвенным способом – по

измеренной спектрометром функции распределения по размерам сухих частиц в рабочей камере экспериментальной установки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты проводились следующим образом: после выбора расходов газа и жидкости включался источник газокапельного потока, и в течение определенного времени происходило истечение газокапельного потока в рабочую камеру. Режим работы источника был выбран таким, чтобы средний размер капель в газокапельном потоке составлял около 1 мкм. Эта величина измерялась в процессе истечения по методике рассеяния Ми. Далее после выключения источника и полного испарения капель осуществлялся отбор проб из камеры для измерения функции распределения сухих частиц по размерам. В экспериментах в качестве рабочего газа использовался воздух, в качестве рабочей жидкости – раствор NaCl и раствор лозартана (гипотензивный лекарственный препарат) в воде. Весовая концентрация вещества в воде изменялась от 1/200 до 1/8000. Начальные температуры воздуха и раствора были равны комнатной температуре. На рис. 2 приведена полученная в экспериментах зависимость среднего размера частиц, образующихся при испарении капель водного раствора лозартана, от начальной концентрации раствора. Сплошной линией на этом рисунке показаны результаты расчета среднего размера частиц по измеренным размерам капель и заданной начальной концентрации раствора.

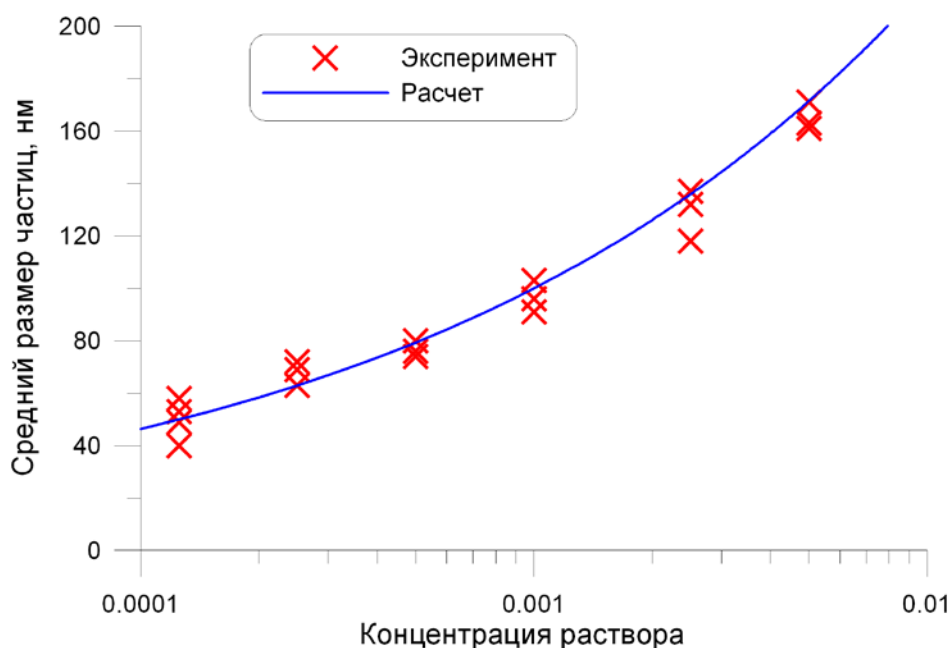


Рис. 2. Зависимость среднего размера частиц от концентрации раствора

Из рис. 2 видно, что уменьшение начальной концентрации нанообразующего вещества в растворе приводит к образованию более мелких частиц. Так, при изменении весовой концентрации водного раствора лозартана от 1/200 до 1/8000 средний размер образующихся сухих частиц изменяется от примерно 160 нм до 50 нм. Увеличение начальной концентрации смещает функцию распределения частиц по размерам в сторону более крупных частиц. Следует отметить, что данные, приведенные на рис. 2 получены для конкретных условий проведения эксперимента и не носят универсального характера. Для какого-либо другого источника газокапельного потока (другого начального размера капель) будет получена своя зависимость размера частиц от концентрации раствора. На рис. 3 приведена функция распределения частиц лозартана, полученных путем испарения капель раствора. Средний размер полученных частиц составил около 50 нм. Эти результаты согласуются с

полученными ранее по рассеянию Ми данными о среднем начальном размере капель распыляемого раствора порядка 1 мкм.

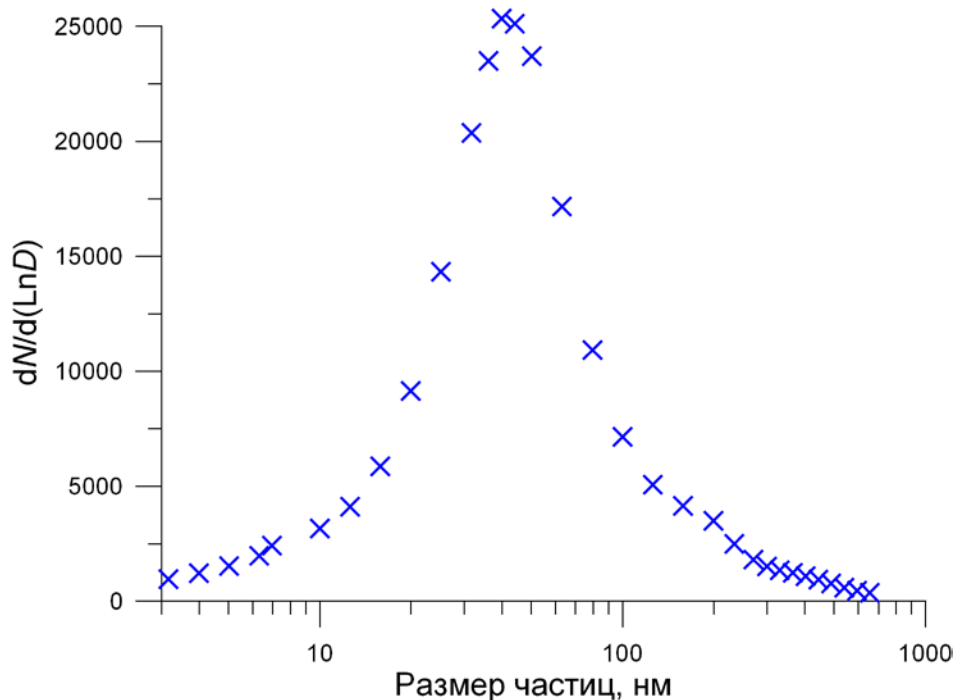


Рис. 3. Функция распределения частиц лозартана по размерам

Так как процесс испарения капель является быстрым (доли секунды для капель моножидкостей микронного размера [2] и от долей секунды до нескольких секунд для капель многокомпонентных жидкостей), а скорость гравитационного осаждения сухих ультрадисперсных частиц мала (порядка 10^{-4} см/с для частиц размером 100 нм [3]), то можно допустить, что за время измерения функции распределения частиц (около 1 мин) не претерпит сколь либо заметных изменений. Тогда по измеренной функции распределения сухих частиц по размерам и заданной концентрации раствора можно восстановить функцию распределения по размерам капель в газочапельном потоке. Пример восстановленной функции распределения приведен на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что размер капель в газочапельном потоке составляет 1-2 мкм. Эти данные хорошо согласуются с полученными по рассеянию Ми данными по среднему размеру капель в потоке. Таким образом, по результатам измерений среднего размера капель многокомпонентных жидкостей в газочапельном потоке можно определять средний размер образующихся в результате испарения капель сухих ультрадисперсных частиц, а по результатам измерения функции распределения сухих ультрадисперсных частиц можно восстанавливать функцию распределения капель в газочапельном потоке. Указанные методики являются независимыми, а их совместное использование повышает достоверность результатов исследований.

Проведенный анализ показал, что полученные в экспериментах функции распределения по размерам близки к логарифмически-нормальным, что соответствует имеющимся представлениям о структуре аэрозольных образований.

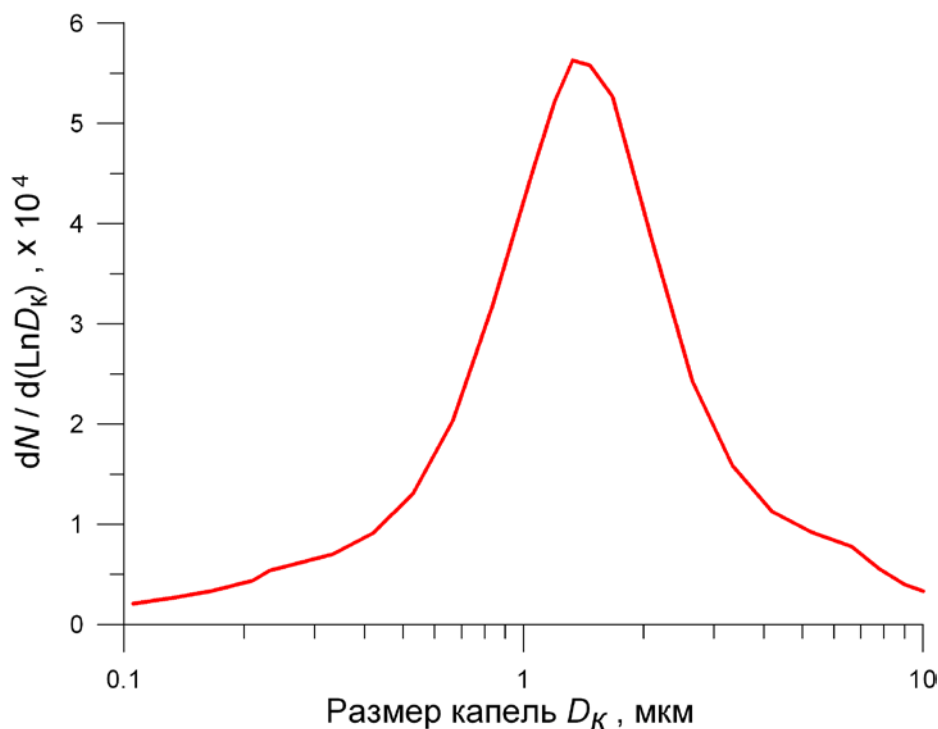


Рис. 4. Восстановленная функция распределения капель по размерам

В заключение подчеркнем, что предлагаемая методика восстановления начальных параметров субмикронных капель (среднего размера и функции распределения капель по размерам) годится только для мелких (порядка 1 мкм) капель вследствие их быстрого испарения и очень медленного оседания. Для крупных капель результаты измерения могут быть осложнены влиянием процессов коагуляция и осаждения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы экспериментальная установка и комплекс аппаратуры для получения и исследования микрокапельных потоков.

С помощью диффузионного спектрометра измерены функции распределения сухих ультрадисперсных частиц, образующихся при испарении микрокапель многокомпонентных жидкостей. На основании полученных данных восстановлена функция распределения капель в газокпельном потоке по размерам.

Проведено сравнение средних размеров капель, полученных из восстановленной функции распределения капель по размерам, с измеренными по методике лазерного светорассеяния на каплях (теория Ми) средними размерами капель в газокпельном потоке. Показано их удовлетворительное соответствие.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН (проект № 108).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. – М.: Мир, 1961. – 536 с.
2. Фукс Н.А. Испарение и рост капель в газообразной среде. – М.: Изд. Ак. Наук СССР, 1958. – 89 с.
3. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. – М.: Мир, 1987. – 278 с.

V.N. Yarygin, V.G. Prikhodko, I.V. Yarygin

*Kutateladze Institute of Thermophysics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia,
630090, Novosibirsk, Lavrentiev ave., 1, E-mail: yarygin@itp.nsc.ru*

**RESTORATION OF SUBMICRON EVAPORATING DROPLETS
INITIAL PARAMETERS**

Possibilities and restrictions of optical methods of small-sized, about 1 micron, droplets diagnostics in gas-droplet flows are discussed in the report. It is shown that distribution functions of droplets and their mean diameter can be restored with the help of measurements of ultra disperse particles, formed from micro-droplet flows after droplets evaporation.

GAS-DROPLET FLOW, SUBMICRON DROPLETS, MEASUREMENT TECHNIQUES