

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 532.529

**О диагностике субмикронных капель
в газокапельном потоке***

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

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: yarygin@itp.nsc.ru

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.

Ключевые слова: газокапельные потоки, субмикронные капли, диагностика.

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 скорости, размера, функции распределения и других параметров 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 пр.). 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 количества неиспаряющегося вещества.

В настоящей работе сделана попытка восстановления начальных функций распределения микрокапель воды и их среднего размера из измерений параметров ультрадисперсных частиц, образующихся после полного испарения микрокапель.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН (проект № 108) и Минобрнауки РФ (г/к № 14.518.11.7021).

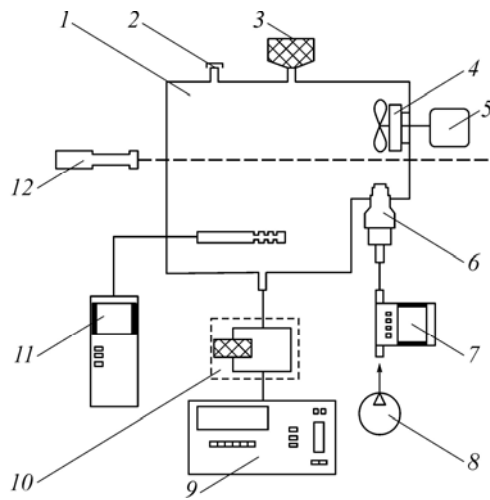


Рис. 1. Схема установки.

1 — бокс, 2 — дренажный патрубок, 3 — фильтр, 4 — вентилятор, 5 — электрический адаптер, 6 — источник газокapельного потока, 7 — расходомер газа, 8 — воздушный компрессор, 9 — анализатор частиц, 10 — разбавитель, 11 — измеритель влажности и температуры, 12 — лазер.

Для проведения исследований была разработана и создана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1. 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 применялся 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 в данном случае использовались более безопасные в работе лазеры видимой области спектра (650 и 532 нм). Для регистрации излучения применялись 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). Одной из основных проблем при таком способе диагностики является 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.

Эксперименты проводились следующим образом: после выбора расходов газа и жидкости включался источник газокapельного потока и в течение определенного времени происходило истечение газокapельного потока в рабочую камеру. Режим работы источника был выбран таким, чтобы средний размер капель в газокapельном 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

Рис. 2. Зависимость среднего размера частиц от начальной концентрации раствора.

1 — эксперимент, 2 — расчет.

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.

Из рис. 2 видно, что уменьшение начальной концентрации нанообразующих веществ 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 примерно от 160 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 газок капельного потока 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.

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) она 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 газок капельном потоке. Пример восстановленной функции распределения приведен на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что размер капель в газок капельном 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

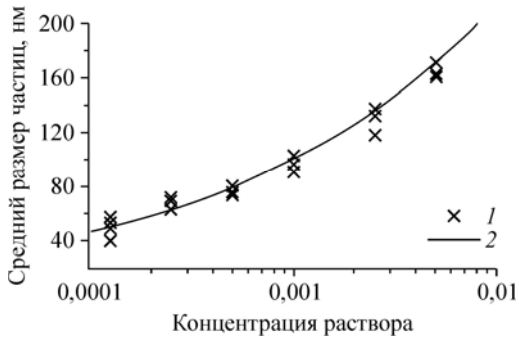
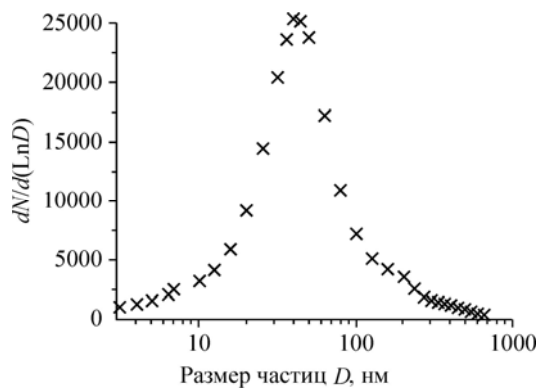


Рис. 3. Измеренная функция распределения частиц лозартана по размерам. Начальная концентрация раствора 1/4000.

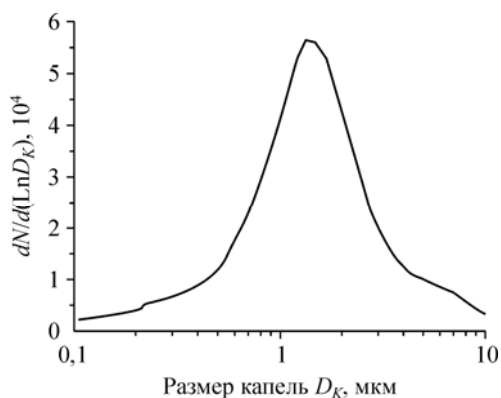


Рис. 4. Восстановленная функция распределения капель по размерам.

капель в газокпельном 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.

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 коагуляции и осаждения.

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. АН СССР, 1958. 89 с.
3. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. М.: Мир, 1987. 278 с.

Статья поступила в редакцию 27 октября 2012 г.