

Экспериментальное исследование процессов трансформации аэрозолей при ультразвуковом воздействии

А.А. Антонникова, Н.В. Коровина, О.Б. Кудряшова, И.Р. Ахмадеев*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1*

Поступила в редакцию 18.01.2012 г.

Представлены результаты исследования эволюции дисперсных характеристик и концентрации аэрозоля при его осаждении с помощью высокочастотного ультразвукового воздействия. Выявлена зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра частиц аэрозоля (вода, мука, дым) от времени. Показано, что воздействие на грубодисперсный аэрозоль ультразвуковых колебаний ускоряет его осаждение за счет коагуляции частиц и тем существеннее, чем крупнее частицы исходного аэрозоля.

Ключевые слова: аэрозоль, ультразвуковое воздействие, коагуляция, средний объемно-поверхностный диаметр, метод малоуглового рассеяния; aerosol, ultrasonic exposure, coagulation, surface-volume mean diameter, small-angle scattering method.

Введение

Актуальность проведения исследований процессов трансформации аэрозолей вызвана требованием обеспечения нормальных условий труда на потенциально опасных производствах, а также необходимостью уменьшения последствий техногенных и природных катастроф. К подобным катастрофам относятся аварии на производствах, а также массовые заболевания скота и птицы, аэрозоли в этих случаях служат целям вакцинации.

Перспективным направлением решения указанной проблемы является создание систем коагуляции дисперсных частиц ультразвуковыми (УЗ) колебаниями высокой интенсивности [1–3 и др.]. В работе [1] показано, что для осаждения вредных аэрозолей диаметром частиц до 10 мкм наиболее эффективным является воздействие с частотой колебаний от 20 кГц и выше.

Однако до сих пор эффективность коагуляции в экспериментах оценивалась качественно: по улучшению видимости контрастных графических объектов. Не проводились измерения дисперсных характеристик и концентрации частиц аэрозоля во времени, что явилось бы точным показателем эффективности коагуляции и осаждения аэрозоля. В настоящей статье представлены результаты измерений для разных аэрозольных сред: жидкостного аэрозоля и твердофазного (мука и дым).

1. Экспериментальная установка

Для проведения исследований, направленных на определение эффективности коагуляции на УЗ-частотах, была использована экспериментальная установка, основу которой составляет аэрозольная камера в форме куба вместимостью 1 м³. В верхней части камеры установлен УЗ-излучатель УЗКС-320. Особенностью конструкции данного излучателя является использование двухстороннего излучения диска: тыльной и фронтальной сторон [3]. Технические характеристики УЗ-аппарата: диаметр излучателя 320 мм, уровень звукового давления не менее 144 дБ, частота колебаний 32 кГц.

В качестве объекта экспериментов выступали жидкостный и твердофазный аэрозоли. Для создания жидкостного аэрозоля использовался ультразвуковой ингалятор «Муссон-2» (диаметр формируемых частиц 3–5 мкм). В опытах по осаждению твердофазного аэрозоля использовалась мука со средним размером частиц 10 мкм.

Для определения дисперсности и концентрации частиц аэрозоля применялся модифицированный метод малоуглового рассеяния, основанный на нахождении функции распределения частиц по размерам путем решения серии прямых задач оптики аэрозолей [4].

2. Обсуждение результатов

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1–3.

Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (a) и концентрации частиц (b)

* Александра Александровна Антонникова (antonnikova.a@mail.ru); Наталья Владимировна Коровина (korovina.nata@mail.ru); Ольга Борисовна Кудряшова (olgakudr@inbox.ru); Игорь Радикович Ахмадеев (raigor@mail.ru).

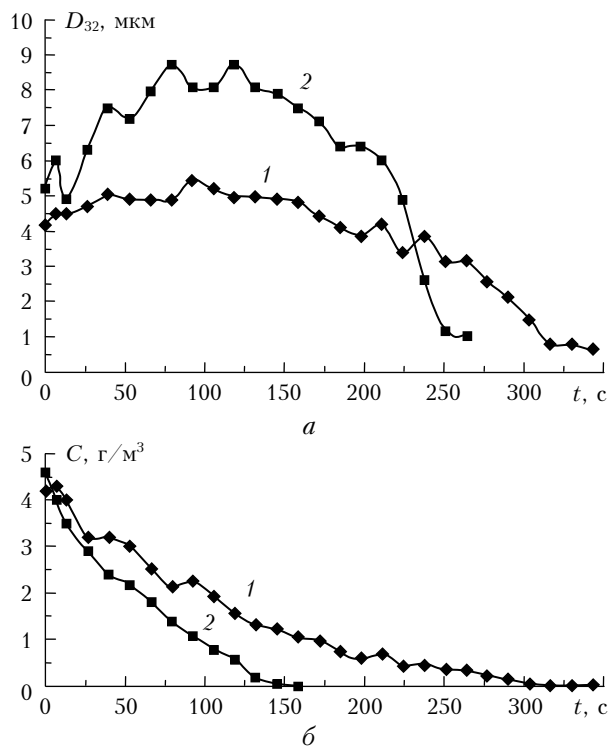


Рис. 1. Зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водного аэрозоля от времени без УЗ- (1) и с УЗ-воздействием (2)

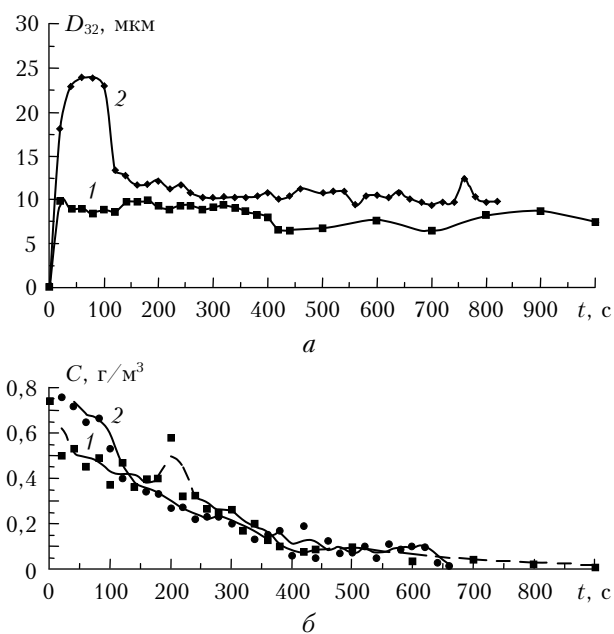


Рис. 2. Зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) распыленной муки от времени без УЗ- (1) и с УЗ-воздействием (2)

водного аэрозоля от времени без УЗ- и с УЗ-воздействием приведена на рис. 1. В результате акустического воздействия в течение 1–2 мин происходит увеличение диаметра частиц (как следствие коагуляции) почти в 2 раза по сравнению с диаметром

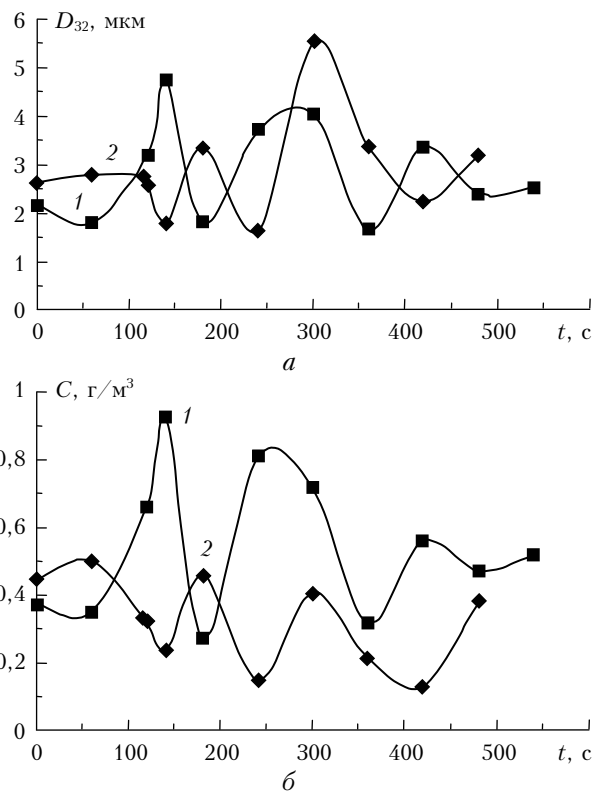


Рис. 3. Зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) дыма от времени без УЗ- (1) и с УЗ-воздействием (2)

при отсутствии УЗ-воздействия. Осаждение аэрозоля, что соответствует нулевой концентрации на рис. 1, б, происходит с УЗ-воздействием на 160-й с (2), в контрольном опыте – на 320-й с (1).

На рис. 2 приведены зависимости D_{32} и концентрации частиц распыленной муки от времени без УЗ- и с УЗ-воздействием. Видно, что УЗ-воздействие не так заметно на частицах муки, как это было для воды, – увеличение частиц вследствие УЗ-коагуляции составляет 10–30%. Осаждение аэрозоля при УЗ-воздействии происходит через 11 мин, в контрольном опыте – через 15 мин.

Меньшая концентрация распыляемых веществ по сравнению с исходной массой объясняется тем, что большое количество вещества осаждается на стенках и дне камеры в первые секунды распыления. Кроме того, водные капли диаметром менее 10 мкм быстро испаряются даже при влажности 60%. Но при исследовании эффективности осаждения начальная концентрация не имеет значения; важно, чтобы она была одинакова в опытах с УЗ-воздействием и в контрольных опытах.

На рис. 3 приведены зависимости D_{32} и концентрации частиц дыма от времени без УЗ- и с УЗ-воздействием. Колебания указанных величин обусловлены большой неоднородностью дыма, который распространяется по экспериментальной камере в виде струй и слоистых структур. УЗ-воздействие повышает эффективность осаждения аэрозоля, но очень незначительно (рис. 3, б), что согласуется с теоретическими и экспериментальными результатами [1–3].

Средний объемно-поверхностный диаметр под действием ультразвука имеет тенденцию к увеличению (рис. 3, *a*), но для дыма этот эффект выражен не так явно, как для грубодисперсных аэрозолей воды и муки с более крупными размерами частиц в опытах.

Заключение

С помощью измерений дисперсных характеристик аэрозолей во времени показано, что УЗ-воздействие повышает скорость коагуляции и осаждения частиц как жидкокапельных, так и твердофазных аэрозолей. Однако процессы коагуляции в твердофазных аэрозолях, вероятно, более сложны, зависят от физико-химических свойств материала частиц, которые влияют на эффективность их слипания при столкновении, изучение УЗ-коагуляции твердофазных аэрозолей находится на начальном этапе и послужит результатом дальнейших исследований. Для

дымов от ароматических палочек со средним диаметром частиц около 2–3 мкм влияние ультразвука гораздо менее заметно, чем для более грубодисперсных аэрозолей.

1. Шалунова К.В. Повышение эффективности процесса коагуляции газодисперсных систем наложением ультразвуковых полей: Дис. ... к.т.н. Бийск, 2011. 154 с.
2. Хмелев В.Н. Акустическая коагуляция аэрозолей: Монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 228 с.
3. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Шалунова К.В. Комплексное исследование акустической коагуляции мелкодисперсного аэрозоля // Ползуновский вестник. 2010. № 3. С. 303–309.
4. Kudryashova O.B., Akhmadeev I.R., Pavlenko A.A., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S. A method for measurement of disperse composition and concentration of aerosol particles // Proc. ISMTII-2009. 29 June – 2 July, 2009. V. 2. Saint-Peterburg, 2009. P. 178–183.

A.A. Antonnikova, N.V. Korovina, O.B. Kudryashova, I.R. Akhmadeev. Experimental investigation of aerosol transformation processes under ultrasonic impact.

Results of a study into the evolution of disperse characteristics and concentration of the aerosol when deposited using high-frequency ultrasonic exposure are reported herein. Graphs of the volume-surface mean diameter of aerosol particles (water, flour, smoke) versus time are shown. The exposure of the medium-size aerosol to ultrasonic vibrations is shown to accelerate its deposition due to the particle coagulation and the larger particles of the original aerosol the faster the deposition.