

исследования динамики изменения размеров частиц аэрозольного облака во времени.

Разработанный метод и устройство позволяют определять дисперсность природных аэрозолей, аэрозолей, применяемых в технологических процессах, и конденсированной фазы продуктов горения высокоэнергетических материалов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-02-90708.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов, В.А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков. Издательство Томского университета. – 1987. – 140 с.
2. Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света / под ред. Б.И. Степанова, А.П. Иванова. – Минск: Наука и техника, 1971. – 487 с.
3. Пат. SU 1435955 A1 G 01J 1/44. Фотометр дисперсных сред.
4. Пат. SU 1420474 A1 G 01N 15/02. Способ определения параметров частиц аэрозоля в газовом потоке.
5. Пат. SU 717628 G 01N 15/02. Способ измерения среднего радиуса металлических капель в двухфазных потоках.
6. Пат. SU 1467447 A1 G 01N 15/02. Способ оптического анализа вирусных суспензий.
7. Пат. SU 811108 G 01N 15/02. Прибор для определения дисперсности и концентрации аэрозоля.
8. Пат. RU 2335760 C2 G 01N 15/02. Оптический способ определения размеров частиц дисперсной системы.
9. Пат. RU 2235990 C1 G 01N 15/02. Способ определения дисперсности аэрозольных частиц.
10. Пат. RU 2098794 C1 G 01N 15/02. Оптический способ определения размера частиц в суспензии.
11. Пат. RU 2061223 C1 G 01N 15/14. Способ измерения размеров микрочастиц.
12. Ван де Хюлст, Г. Рассеяние света малыми частицами. – Москва, 1961. – 460 с.
13. Бондарчук С.С., Коротких А.Г., Лернер М.И. // Горный журнал – 2006. – № 4. – С. 58 – 64.
14. Титов, С.С. // Перспективы создания и применения конденсированных высокоэнергетических материалов: докл. Всероссийской конф., Бийск, Россия, 25 сент. – 26 сент. 2008. – Бийск, 2008. – С. 173–179.
15. Титов, С.С. // Информационные технологии в науке, экономике и образовании: докл. Всероссийской конф., Бийск, Россия, 16 апр. – 17 апр. 2009. – Бийск, 2009. – С. 103 – 106.
16. Домбровский, Л.А. // ТВТ. – 1982. – №3. – С. 549 – 557.
17. Ослабление лазерного излучения в гидрометеорах / под ред. М.А. Колосова – М.: Наука, 1977. – 176 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.А. Антонникова, Н.В. Коровина, О.Б. Кудряшова, И.Р. Ахмадеев,
К.В. Шалунова, В.Н. Хмелев

В работе представлены результаты исследования эволюции дисперсных характеристик и концентрации аэрозоля при его осаждении с помощью высокочастотного ультразвукового воздействия. Приведены графики зависимостей среднего объемно-поверхностного диаметра частиц аэрозоля (вода, мука) от времени. Показано, что воздействие на среднедисперсный аэрозоль ультразвуковых колебаний существенно ускоряет его осаждение за счет коагуляции частиц.

Ключевые слова: аэрозоль, ультразвуковое воздействие, средний объемно-поверхностный диаметр, метод малоуглового рассеяния, метод спектральной прозрачности.

Важной экологической проблемой является осаждение образующихся в современном промышленном производстве аэрозолей, как жидко-капельных, так и твердофазных. Перспективным направлением решения указанной проблемы является создание систем коагуляции дисперсных частиц ультразвуко-

выми (УЗ) колебаниями высокой интенсивности [1-3] (и др. этих авторов). В работе [1] показано, что для целей осаждения вредных субмикронных аэрозолей наиболее эффективным является диапазон длин волн от 20 кГц и выше.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Однако, до сих пор эффективность коагуляции в экспериментах оценивалась качественно: по улучшению видимости контрастных графических объектов. Не проводилось измерений дисперсных характеристик и концентрации частиц аэрозоля во времени, что явилось бы точным показателем эффективности коагуляции и осаждения аэрозоля. Цель данной работы – провести такие измерения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проведения исследований была использована специальная экспериментальная установка (рисунок 1), основу которой составляет аэрозольная камера объемом 1 м^3 , представляющая собой деревянный каркас. В верхней части камеры имеется отверстие для присоединения ультразвукового излучателя.

Для создания акустического поля, воздействующего на аэрозоль, использовался ультразвуковой дисковый излучатель УЗКС 320. Особенностью конструкции данного ультразвукового излучателя является использование двухстороннего излучения диска: тыльной и фронтальной сторон [3]. Технические характеристики ультразвукового аппарата: диаметр излучателя – 320 мм, уровень звукового давления – не менее 144 дБ, частота колебаний – 32 кГц.



Рисунок 1. Фотография экспериментальной установки.

Для создания аэрозоля с жидкой дисперсной фазой использовались два ультразвуковых ингалятора серии «Муссон-2» (производительность ингалятора 1,2 мл/мин, средний размер частиц не более 1-5 мкм), а для предотвращения испарения мелких аэрозольных капель использовался ультразвуковой увлажнитель «Вонесо 7136» (производительность 400 г/ч). С помощью устройства

«Вонесо 7136» поддерживалась влажность воздуха 60%. Для создания аэрозоля с твердой дисперсной фазой использовался эжекционный метод (выходное сопло установки подключается в отверстие камеры). Схема эжекционной установки показана на рисунке 2.

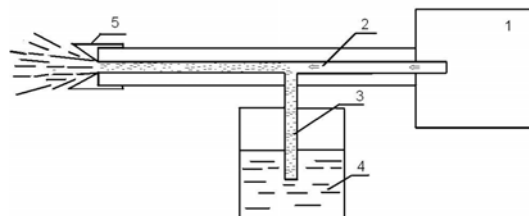


Рисунок 2. Схема эжекционной установки: 1 – компрессор, 2 – канал подвода сжатого воздуха, 3 – канал ввода порошка, 4 – резервуар с порошком, 5 – сопло.

Распыляемое вещество для создания жидко-капельного аэрозоля – дистиллированная вода. В ходе проведения экспериментов камера заполнялась аэрозолем в течение 20 минут (масса распыленной жидкости, таким образом, составила 48 г), после чего на него воздействовали ультразвуковым излучением в течение 16 минут. Для сравнения проводился аналогичный опыт без воздействия ультразвука.

В опытах по осаждению твердофазного аэрозоля в качестве распыляемого материала брали 30 г. муки дисперсностью 20-75 мкм (полученную ситовым методом). После распыления в камере воздействовали ультразвуковым излучением в течение 5 минут, затем на 5 минут включали два ингалятора (орошение твердофазного аэрозоля для повышения эффективности осаждения, масса распыленной жидкости 12 г) и еще 10 минут воздействовали ультразвуком. Аналогичные опыты проводились и без ультразвука.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения спектра размеров частиц в двухфазных средах широко применяются бесконтактные оптические методы, основанные на решении прямых и обратных задач оптики аэрозолей. Одним из таких методов является метод малоуглового рассеяния, основанный на регистрации рассеяния света частицами под малыми углами к первоначальному направлению распространения зондирующего излучения (рисунок 3). Достоинством метода является то, что он не вносит аэродинамических искажений, а измерения

могут производиться непрерывно с вполне удовлетворительной точностью. Данный метод предполагает, что частицы сферические, а многократным рассеянием вследствие малой концентрации частиц пренебрегается.

В данной работе применялся модифицированный метод малоуглового рассеяния, основанный на нахождении функции распределения частиц по размерам путем решения серии прямых задач оптики аэрозолей [4]. Сущность метода заключается в определении спектра размеров аэрозольных частиц по измеренной малоугловой индикатрисе рассеяния путем перебора соответствующих параметров функции распределения. В качестве базовой функции распределения принято гамма-распределение: $f(D) = aD^\alpha \exp(-bD)$ с нормирующим множителем: $a = \frac{b^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+1)}$, где α ,

b – параметры распределения, Γ – гамма функция. Концентрация частиц определялась методом спектральной прозрачности, исходя из измеренной оптической толщины аэрозоля и рассчитанной величины среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} .

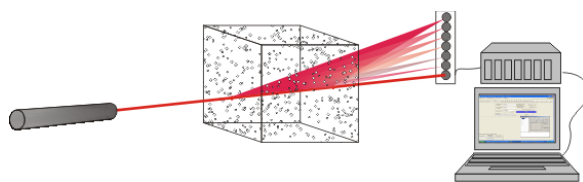
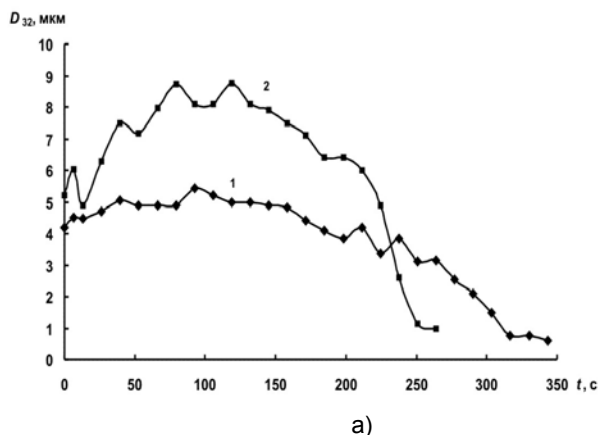


Рисунок 3. Схема взаимодействия излучения с аэрозолем.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рисунке 4 приведена зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водяного аэрозоля от времени без ультразвукового



вого воздействия (1) и с УЗ воздействием (2). В результате акустического воздействия в течение 1-2 минут происходит увеличение диаметра частиц, как следствие коагуляции, почти в два раза по сравнению с отсутствием УЗ воздействия. Осаждение аэрозоля, что соответствует нулевой концентрации на рисунке 4 б, происходит с УЗ воздействием воздействия на 160 секунде (2), в контрольном опыте – на 320 секунде (3).

На рисунке 5 приведены зависимости D_{32} (а) и концентрации частиц (б) для распыленной муки от времени без ультразвукового воздействия (1) и с УЗ воздействием (2). Из рисунка видно, что УЗ воздействие не так заметно на частицах муки, как это было для воды – увеличение частиц вследствие УЗ коагуляции составляет только 10-30 %. Осаждение аэрозоля при воздействии ультразвуком происходит через 10,5 минут, в контрольном опыте – через 15 минут.

Меньшая концентрация распыляемых веществ при измерении по сравнению с исходной массой объясняется тем, что большое количество вещества в процессе распыления сразу же осаждается на стенках и дне камеры. Кроме того, микронные и субмикронные водяные капли быстро испаряются даже при влажности в 60 %. Но для целей исследования эффективности осаждения начальная концентрация не имеет значения, важно, чтобы она была одинакова в опытах с УЗ воздействием и в контрольных опытах.

На рисунке 6 представлена фотография аэрозольной камеры после воздействия ультразвуковым излучением на распыленную муку. Видно, что мука осаждается на стенках камеры в виде полос в местах пучности стоячей волны. Именно в этих местах наблюдается максимальная плотность осажденной муки.

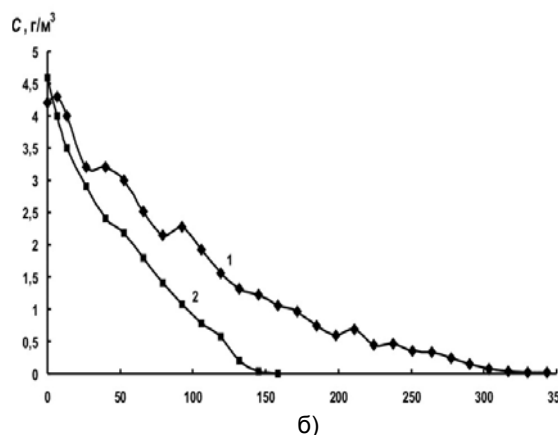


Рисунок 4. График зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водяного аэрозоля от времени без ультразвукового воздействия (1) и с УЗ воздействием (2).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

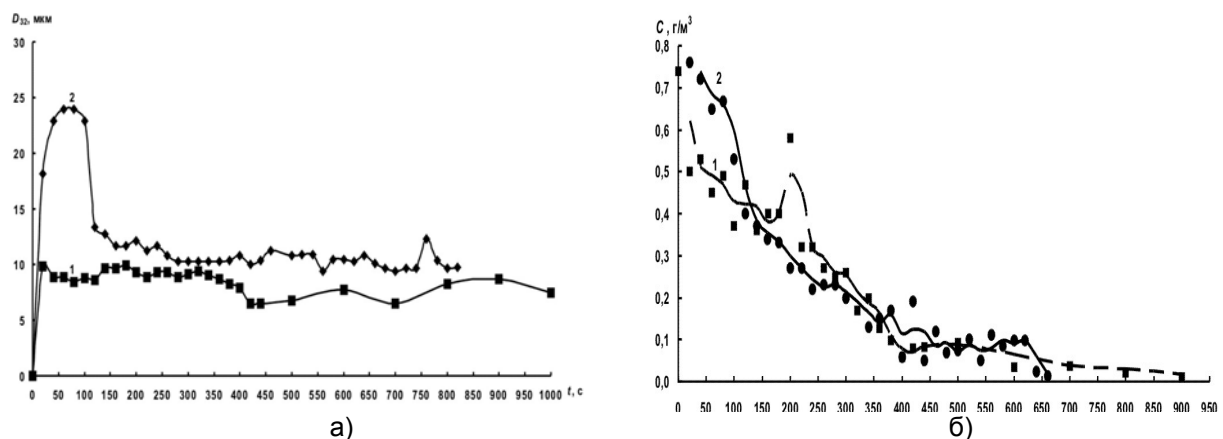


Рисунок 5. График зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) распыленной муки от времени без ультразвукового воздействия (1) и с УЗ воздействием (2).



Рисунок 6. Фото стенки аэрозольной камеры после ультразвукового воздействия на аэрозоль (мучная пыль).

Таким образом, в работе с помощью точных измерений дисперсных характеристик аэрозолей во времени показано, что ультразвуковое воздействие повышает скорость коагуляции и осаждения частиц как жидко-капельных, 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 ультразвуковой коагуляции твердофазных аэрозолей находится на начальном этапе и послужит результатом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалунова К.В. Повышение эффективности процесса коагуляции газодисперсных систем наложением ультразвуковых полей: дисс... 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; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 228 с.
3. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Шалунова К.В. // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 303–309.
4. Olga B. Kudryashova, Igor R. Akhmadeev, Anatoly A. Pavlenko, Vladimir A. Arkhipov, Sergey S. Bondarchuk // Proceedings of ISMTII-2009 29 June – 2 July, 2009. In 4 V.; V. 2. – Saint-Peterburg, 2009. – Pp. 178-183.