

СТРОЕНИЕ АНОДНЫХ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ ПО ДАННЫМ МЕТОДА АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

под углом к плоскости снимка, либо перпендикулярно ей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые методом атомно-силовой микроскопии исследованы анодные оксиды алюминия. Установлено значительное различие в структуре получаемых образцов в зависимости от электролита и тока анодирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компанец Е.Ю., Вихарев А.В. Влияние условий наполнения анодного оксида алюминия на характер его связи с водой. // Защита металлов. - 1978. - №4. - С. 441-444.
2. Вихарев А.А., Вихарев А.В., Вагина Э.А., Макаренко Л.Ю. Исследования анодного оксида алюминия, полученного в щелочном электролите. // УДК 66.074:66.084.08

Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. - 2004. - т. 47. - №7. - С. 75-78.

3. Черных М.А., Вихарев А.В., Овсянникова Н.Г. О влиянии структурных анионов на процесс кристаллизации анодных оксидов алюминия при нагреве. // Журнал прикладной химии. - 1981. - №10 - С. 2301-2303.

4. Вихарев А.В., Верещагин В.И., Вихарев А.А., Заезжаева И.Н., Макаренко Л.Ю. Состав и строение анодных оксидов алюминия. // Ползуновский вестник. - Барнаул, 2004. - №4. - С. 104-107.

5. Вихарев А.В., Компанец Е.Ю. Особенности структуры анодного оксида алюминия и место в ней анионов. // Труды АлтГТУ, 1995. - вып. 4. - С. 284-291.

6. Компанец Е.Ю., Вихарев А.В. О катратной природе пористых анодных окисных пленок. // Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции. Теория и практика электрохимических процессов. - Барнаул, 1990. - С. 136.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЯ, ПЕРЕНОСИМОГО ПОТОКОМ ВОЗДУХА

В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, Р.Н. Голых

В статье представлены результаты исследований процесса акустической коагуляции аэрозоля при различных параметрах акустического воздействия (частота, уровень звукового давления) и наличии воздушных потоков. Показано, что акустическую коагуляцию можно использовать как в виде самостоятельного способа очистки, так и в составе пылеуловителей различного типа.

Ключевые слова: акустическое воздействие, аэрозоль, коагуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Современная деятельность промышленных предприятий приводит к значительному загрязнению окружающей среды, что является одной из важнейших экологических проблем. В связи с этим, возросло значение газоочистки, то есть извлечения из газовых выбросов вредных веществ, улавливания и возвращения готового продукта в производственный цикл, технологическая подготовка газов.

Существующие способы газоочистки (электростатические, инерционные, гравитационные и др.) и устройства, их реализующие, в ряде случаев не обеспечивают требуемую степень очистки от аэрозоля с размером частиц менее 10 мкм. В связи с этим перспективным методом удаления примесей

из газообразных сред является процесс акустической коагуляции.

Однако, до настоящего времени, несмотря на интерес к такому процессу очистки (Н.А. Фукс, Е.П. Медников, Х. Грин, Л.Д. Розенберг и др.) [1-4], не существует рекомендаций по оптимальным параметрам акустического воздействия. Кроме того, еще одним фактором, сдерживающим промышленное использование акустической коагуляции, является то, что большинство экспериментальных исследований процесса коагуляции были проведены в замкнутом объеме без наличия воздушного потока. Это не позволяет оценить возможность и перспективность промышленного применения акустической коагуляции.

В связи с этим, возникает необходимость в проведении экспериментов, направленных на исследование параметров акустического воздействия и возможности коагуля-

ции аэрозолей, переносимых потоками воздуха.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Выявленные в работах [5-7] оптимальные режимы акустического воздействия позволили сформулировать требования к ультразвуковым излучателям: для эффективной коагуляции аэрозолей акустическое воздействие должно осуществляться с частотой колебаний более 20 кГц (т.е. в ультразвуковом диапазоне частот) и уровнем звукового давления не менее 130 дБ.

Весьма эффективным излучателем, способными обеспечивать ультразвуковое воздействие в выявленных режимах, является пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система (УЗКС) [8-10].

Конструкция используемой УЗКС, которая разработана в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института АлтГТУ, схематично показана на рисунке 1.

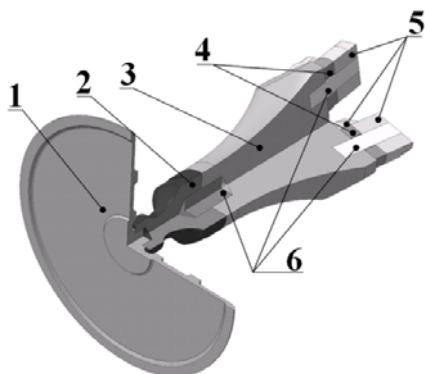


Рисунок 1. Трехполуволновая УЗКС с дисковым излучателем: 1 – дисковый излучатель; 2 – концентратор; 3 – преобразователь; 4 – пьезоэлектрические элементы; 5 – задние отражающие накладки; 6 – стягивающие шпильки.

Представленная конструкция УЗКС состоит из двухполуволнового преобразователя 3-5, полуволнового концентратора 2, дискового излучателя 1.

Исследования проводились в специальной экспериментальной установке. Основу установки составляет коагуляционная камера объемом 1,25 м³. В состав установки также входит:

1) оборудование для создания аэрозоля, в качестве которого использованы ультразвуковые ингаляторы серии «Муссон-2» и аэрозольный распылитель «Cyclon Ultra-Flex». Для создания аэрозоля с твердой дисперсной фазой использован порошок исходного вещества и воздушный компрессор;

2) ультразвуковые излучатели (УЗКС) для осуществления акустического воздействия на аэрозоль. Было использовано 4 УЗКС, что позволило обеспечить разнообразие условий проведения экспериментов:

– УЗКС 250 (диаметр излучателя дискового типа – 250мм; уровень звукового давления не менее –140 дБ; частота механических колебаний 21±0,5 кГц);

– УЗКС 320 (диаметр излучателя дискового типа – 320 мм; уровень звукового давления не менее –144 дБ; частота механических колебаний 32±0,5 кГц);

– УЗКС 360 (диаметр излучателя дискового типа – 360 мм; уровень звукового давления не менее –146 дБ; частота механических колебаний 25±0,5 кГц);

– УЗКС 420 (диаметр излучателя дискового типа – 420 мм; уровень звукового давления не менее –150 дБ; частота механических колебаний 27±0,5кГц);

3) Газоструйный излучатель для сравнительного воздействия в звуковом диапазоне частот (частота механических колебаний – 10 кГц; уровень звукового давления 135 дБ);

4) Измеритель концентрации аэрозоля для количественной оценки эффективности акустического воздействия. Измеритель состоит из точечного источника для формирования узкого светового пучка, фотоприемника и АЦП, предназначенного для ввода и обработки полученной информации. Измерения проводятся в инфракрасном диапазоне для исключения влияния внешних источников света. Принцип действия измерителя концентрации базируется на эффекте рассеивания и поглощения светового излучения частицами аэрозоля;

5) Вспомогательное оборудование: вентилятор для равномерности распределения аэрозоля в камере; источник света – люминесцентная лампа для освещения объема камеры; микрофон шумомера для измерения уровня звукового давления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Все экспериментальные исследования были разделены на 3 этапа:

1. Определение зависимости эффективности процесса коагуляции аэрозолей от частоты механических колебаний;

2. Определение зависимости эффективности процесса коагуляции аэрозолей от уровня звукового давления.

3. Определение возможности процесса акустической коагуляции аэрозолей, переносимых воздушными потоками.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЯ, ПЕРЕНОСИМОГО ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Исследования проводились для аэрозолей с различной дисперсной фазой. Состав частиц дисперсной фазы и их размер приведены в таблице 1.

Таблица 1

Аэрозоли, используемые при проведении экспериментальных исследований

Название аэрозоля	Размер частиц, мкм
1 Аэрозоль водный №1 (создаваемый распылителем «Cyclon Ultra-Flex»)	5–10
2 Известковая пыль	5–10
3 Аэрозоль водный №2 (создаваемый ультразвуковыми ингаляторами серии «Муссон-2»)	2–5
4 Мучная пыль	1–5

На первом этапе определялась зависимость эффективности процесса коагуляции аэрозолей от частоты механических колебаний. Отбор проб осуществлялся через 6 минут. Эффективность ультразвуковой коагуляции рассчитывалась по формуле [11]:

$$\eta = \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где η – эффективность ультразвуковой коагуляции, %; n_1 – концентрация аэрозоля в начале эксперимента, г/м³; n_2 – концентрация аэрозоля в конце эксперимента, г/м³.

При исследовании влияния частоты колебаний на эффективность процесса УЗ коагуляции уровень звукового давления поддерживался постоянным и составлял 130 дБ. При этом значении уровня звукового давления эффект ультразвуковой коагуляции становится заметным. Кроме того, применение более высоких уровней звукового давления на низкой частоте (менее 20 кГц) опасно для здоровья. Начальная концентрация аэрозоля поддерживалась постоянной от опыта к опыту и была равна 4 г/м³.

Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты представлены на рисунке 2.

Из гистограммы, приведенной на рисунке 2, видно, что для аэрозолей с размером частиц 5–10 мкм с увеличением частоты механических колебаний происходит незначительное снижение эффективности акустической коагуляции (на 6–9%). В то же время, для аэрозолей с размером частиц 1–5 мкм эффективность процесса коагуляции значительно возрастает с увеличением частоты колебаний (на 15–18%).

Обобщая результаты, приведенные на рисунке 2, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным является акустическое

воздействие в ультразвуковом диапазоне частот, хотя при этом и наблюдается незначительное снижение эффективности коагуляции аэрозоля с размером частиц 5–10 мкм. Снижение эффективности процесса коагуляции легко компенсируется тем, что применение акустического воздействия в ультразвуковом диапазоне частот безопасно для обслуживающего персонала.

Следующим этапом экспериментов было определение зависимости эффективности процесса коагуляции аэрозолей от уровня звукового давления. При проведении эксперимента использовалась УЗКС 420, обеспечивающая максимальный уровень звукового давления. Кроме того, генерируемая этой УЗКС частота в 27 кГц является средней частотой из имеющегося диапазона частот, и применяемые для проведения исследований аэрозоли достаточно эффективно коагулируют на этой частоте.

Также как и в предыдущем эксперименте «точкой начального отчета» было выбрано значение уровня звукового давления в 130 дБ. Уровень звукового давления изменялся ступенчато с шагом 4 дБ и контролировался шумомером ультразвукового частотного диапазона [12]. Максимальное значение уровня звукового давления, для которого производились эксперименты, равнялось 150 дБ. Это ограничение является конструктивным пределом дискового излучателя, превышение которого ведет к поломке УЗКС. Эффективность ультразвуковой коагуляции определялась по формуле (1). Во всех проводимых экспериментах начальная концентрация аэрозолей равнялась 4 г/м³. Отбор проб проводился через 4 мин после начала эксперимента.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что при постепенном увеличении уровня звукового давления с 130 до 150 дБ эффективность ультразвуковой коагуляции увеличивается. Так, для аэрозолей с размером частиц 5–10 мкм увеличение уровня звукового давления на 20 дБ позволило повысить эффективность на 15 %, а для аэрозолей с размером частиц 1–5 мкм – на 13–15%.

Обобщая результаты двух экспериментов по исследованию влияния акустических параметров на эффективность процесса коагуляции, можно сделать вывод о том, что для аэрозолей с размером частиц менее 10 мкм наиболее оптимальным является акустическое воздействие в ультразвуковом диапазоне частот с уровнем звукового давления более 140–150 дБ.

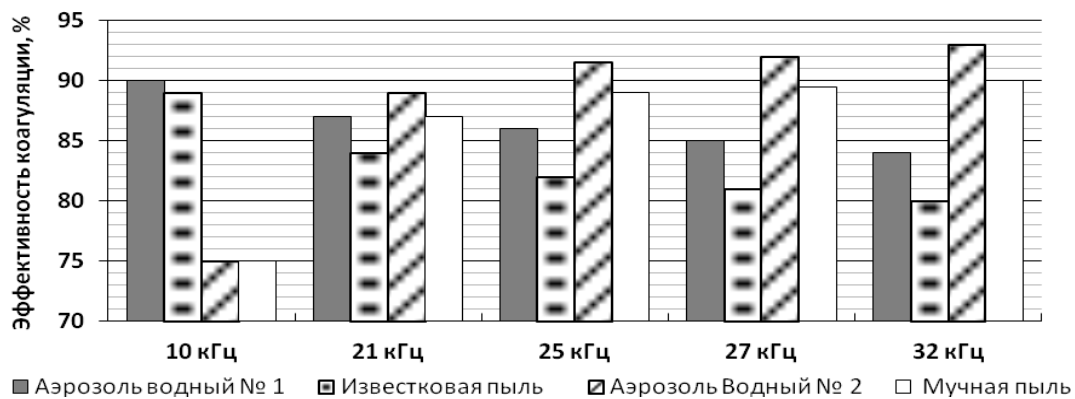


Рисунок 2. Эффективность процесса коагуляции различных аэрозолей при различной частоте механических колебаний.

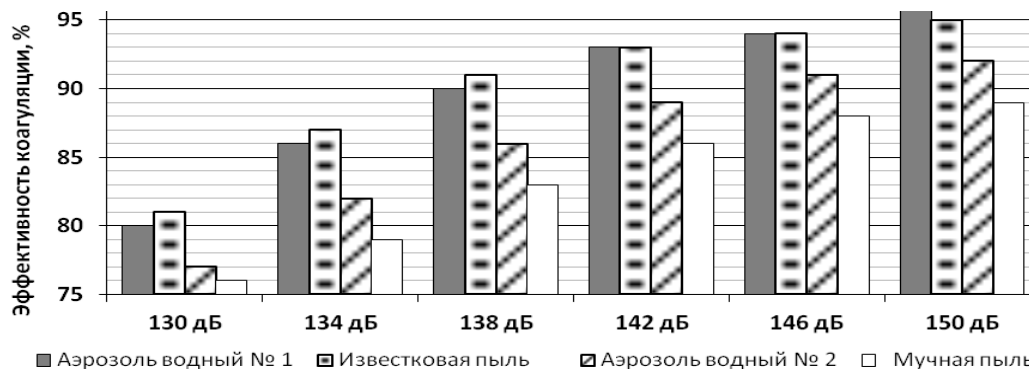


Рисунок 3. Эффективность процесса коагуляции различных аэрозолей при различных уровнях звукового давления.

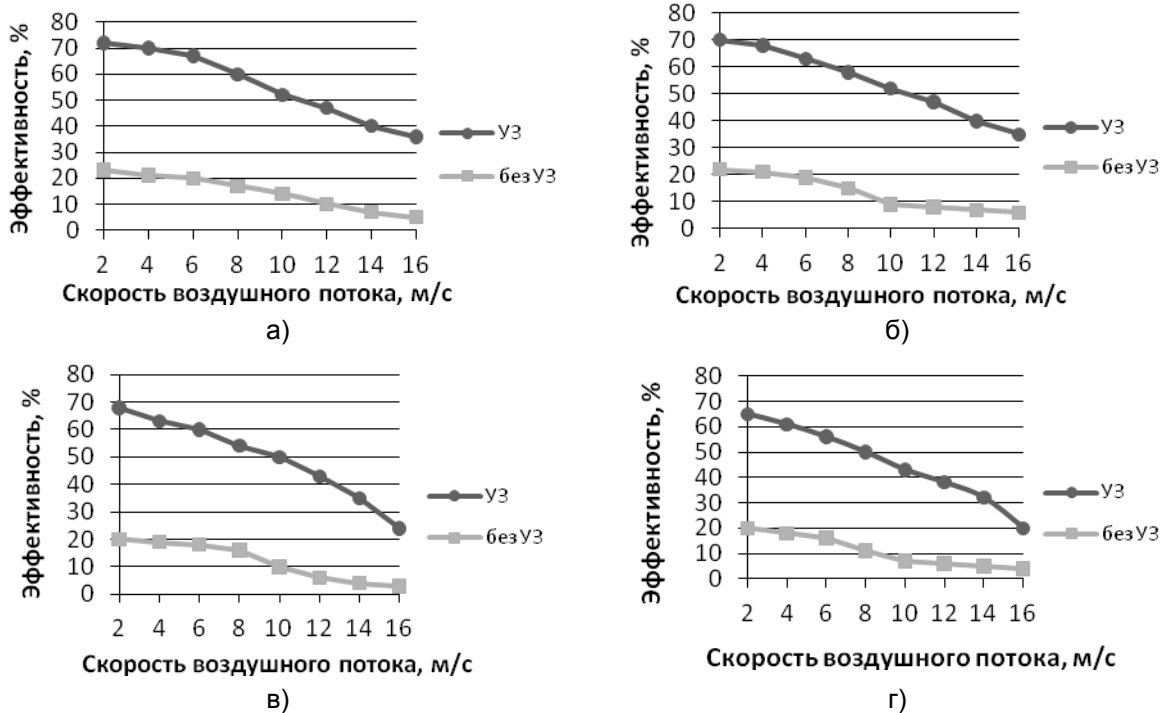


Рисунок 5. Зависимость эффективности ультразвуковой коагуляции аэрозолей от скорости воздушных потоков: а) – аэрозоль водный № 1; б) – известковая пыль; в) – аэрозоль водный № 2; г) – мучная пыль.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЯ, ПЕРЕНОСИМОГО ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Последним этапом проводимых исследований было определение возможности ультразвуковой коагуляции аэрозолей, переносимых воздушными потоками. Проведение этого эксперимента необходимо для определения возможности практического применения ультразвуковой коагуляции в промышленных объектах (например, в трубопроводах, дымоходах, осадительных камерах, циклонах).

Исследования проводились в специальной установке, эскиз которой представлен на рисунке 4. Основу экспериментальной установки составляет осадительная камера 5, входной 9 и выходной 10 патрубков. Аэрозоль поступает в коагуляционную камеру посредством входного патрубка 9. Для отвода коагулируемого аэрозоля предназначен выходной патрубок 10.

УЗКС устанавливаются во входном патрубке 1 под углом 45° к оси патрубка, что позволяет за счет многократного отражения звуковых волн от верхней и нижней стенок входного патрубка добиться равномерного распределения звукового давления во входном патрубке.

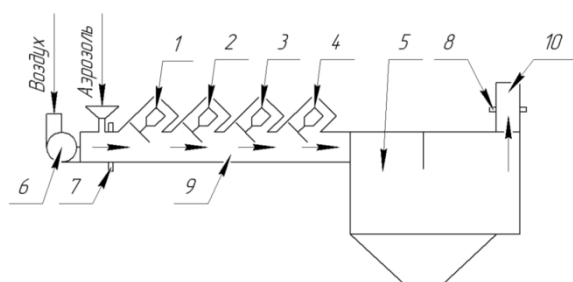


Рисунок 4. Эскиз экспериментальной установки для исследования УЗ коагуляции в потоке воздуха: 1 – УЗКС 320 мм; 2 – УЗКС 420 мм; 3 – УЗКС 360; 4 – УЗКС 250; 5 – осадительная камера; 6 – нагнетатель; 7 – измеритель плотности аэрозоля (ИПА 1); 8 – ИПА 2; 9 – входной патрубок; 10 – выходной патрубок

Первым по направлению движения аэрозоля был размещен самый высокочастотный излучатель, затем остальные по мере убывания частоты излучения. Такое расположение излучателей наиболее эффективно, поскольку позволяет постепенно понижать частоту воздействия по мере увеличения размера частичек аэрозоля при их коагуляции. При проведении исследований поддерживался максимальный уровень звукового давления для каждой из УЗКС.

Для определения эффективности ультразвуковой коагуляции концентрация аэрозоля измеряется в двух точках:

– точка ИПА 1 для измерения концентрации аэрозоля до ультразвукового воздействия;

– точка ИПА 2 для измерения концентрации аэрозоля после воздействия ультразвуковыми колебаниями, на выходе из осадительной камеры.

Для создания воздушных потоков использовался вентилятор 3. Скорость перемещения воздушных потоков внутри аэрозольной камеры измерялась и контролировалась при помощи анемометра LV 110. При проведении эксперимента скорость воздушных потоков изменялась от 2 м/с до 16 м/с с шагом 2 м/с. Выбор такого диапазона скоростей был обусловлен характеристиками существующего газоочистного оборудования (для эффективной работы самого распространенного устройства для пылеулавливания – циклона – скорость запыленного потока во входном патрубке обычно составляет не более 16 м/с).

При проведении эксперимента начальная концентрация аэрозолей равнялась 20 г/м^3 . Эффективность ультразвуковой коагуляции рассчитывалась по формуле (1). Для сравнения эффективности ультразвуковой коагуляции с другими методами очистки газовых потоков было решено провести эксперименты при тех же условиях (количество аэрозолей, их концентрация, скорость воздушных потоков), только без ультразвукового воздействия. Данный эксперимент будет имитировать процесс газоочистки в пылевых мешках.

Результаты экспериментов по исследованию эффективности газоочистки при ультразвуковом воздействии и без него представлены на рисунке 5.

Из представленных на рисунке 5 зависимостей видно, что эффективность ультразвуковой коагуляции падает с ростом скорости воздушных потоков. Однако, несмотря на уменьшение эффективности ультразвуковой коагуляции при увеличении скорости воздушных потоков, применение ультразвуковых колебаний позволяет существенно интенсифицировать процесс очистки газового потока. При минимальной исследуемой скорости воздушных потоков (2 м/с) применение ультразвукового воздействия позволяет повысить степень очистки более чем в 3 раза, в случае с максимальной скоростью воздушных потоков (16 м/с) – более чем в 6 раз.

Следует заметить, что при скоростях воздушных потоков до 8 м/с ультразвуковую коагуляцию можно использовать как самостоятельный способ очистки газовых потоков (максимальное значение эффективности

процесса коагуляции составляет 72%). При скорости воздушных потоков свыше 8 м/с ультразвуковую коагуляцию эффективно применять в качестве предварительной или первой ступени обработки газовых потоков с последующим улавливанием дисперсной фазы в инерционных или других пылеуловителях (минимальное значение эффективности процесса коагуляции при скорости потока в 16 м/с порядка 20%). Полученные результаты говорят о высокой эффективности ультразвуковой коагуляции аэрозолей и о возможности ее промышленного применения для очистки отходящих газов или улавливания полезных веществ из газовой фазы как в промышленных помещениях при отсутствии потоков, так при наличии воздушных потоков, например, в газоходах, осадительных камерах, циклонах и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментальных исследований была установлена возможность и показана эффективность ультразвуковой коагуляции аэрозолей, переносимых потоками воздуха и определены оптимальные режимы акустического воздействия для коагуляции аэрозолей с размером частиц менее 10 мкм.

В ходе исследований установлено следующее:

1) для коагуляции аэрозоля с размером частиц менее 10 мкм наиболее оптимальным является акустическое воздействие в ультразвуковом диапазоне частот, хотя при этом и наблюдается незначительное снижение эффективности коагуляции аэрозоля с размером частиц 5-10 мкм;

2) применение ультразвукового воздействия на аэрозоли может стать эффективным способом повышения эффективности работы газоочистного оборудования, поскольку позволяет в разы увеличивать размеры аэрозольных частиц, что напрямую влияет на степень их улавливания. Известно, что для мелкодисперсных аэрозолей с размером частиц 2–5 мкм степень очистки в циклонах, камерах, мешках составляет не более 60 %, в то время как степень улавливания частиц размером 15–20 мкм составляет уже 95–99,9%;

3) акустическое воздействие в ультразвуковом диапазоне частот позволяет коагулировать аэрозоли переносимые воздушными потоками, тем самым увеличивая степень их осаждения от 3 до 6 раз в зависимости от скорости потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия, 1972. – 428 с.
2. Фукс, Н. Механика аэрозолей. М.: Издательство академии наук СССР, 1955. – 352 с.
3. Медников Е.П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1963.– 263 с.
4. Физические основы ультразвуковой технологии. М.: Наука, 1968. – 688 с
5. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Шалунова К.В. // Вести высших учебных заведений Черноморья. – 2010. – № 2 (20). – С. 48–52.
6. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Шалунова К.В. // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 303–309.
7. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Golyh R.N., Shalunova K.V. // International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2010: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2010. – P.328-333.
8. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н. // Современные проблемы технической химии. Материалы докладов Всероссийской научно-технической и методической конференции, 2009. Секции 5-7. С. 21 – 26
9. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Khmelev S.S., Shalunov A.V., Lebedev A.N., Galahov A.N., Shalunova K.V. // International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2009: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2009. – P.250-253
10. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н., Галахов А.Н. // Известия Тульского Государственного университета, серия: технические науки, – 2010, – Вып.1 – С.148–153.
11. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2 ч. Ч. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 2002. – 400 с.
12. Хмелев В.Н., Савин И.И., Генне Д.В., Бахирев А.А. // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник – Бийск: АлтГТУ, 2005. – С. 115–117.