

ОСАЖДЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ СРЕД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

М.Ю. Степкина¹, О.Б. Кудряшова¹, А.Н. Галахов²

¹Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск

²Федеральный научно-производственный центр "Алтай"

Применения аэрозольных сред широко известно в медицинских и квазимедицинских лекарственных и диагностических продуктах и препаратах (аэрозоли дыхательных путей), при распылении инсектицидов и для продуктов личного ухода (духи, дезодоранты и прочие косметические средства). Разнообразие веществ «загрязнителей» приводит к выбору направления исследований для обеспечения чистоты атмосферы хотя бы для ограниченного пространства. Актуальной задачей является создание технологии улавливания частиц аэрозольных образований из газодисперсных систем. Вещество, находящееся в аэрозольном состоянии, имеет ряд особых свойств и признаков, которые необходимо учитывать в работе по очистке помещений от вредных выбросов. При выборе способа и метода очистки следует выявить особенности и границы применимости, связанные, прежде всего, с размерами частиц и с их плотностью. В последнее время активно применяют возможность совмещения нескольких методов очистки с целью повышения общей эффективности сбора частиц в диапазоне размеров порядка микрометра. Повышение эффективности газоочистительного оборудования возможно за счет укрупнения частиц. Улавливание частиц с помощью электрического поля и ультразвуковая агломерация частиц, способствующая их быстрому осаждению, являются перспективными направлениями, которые требуют тщательного исследования в зависимости от физико-химических свойств и дисперсности рассматриваемой аэрозольной среды. Статья посвящена исследованию функциональных возможностей газоочистительного оборудования на базе ультразвукового и электрического поля для улавливания дисперсных частиц микрометрового размера. В статье приводятся теоретические оценки и экспериментальные результаты по воздействию электростатического и ультразвукового полей на процесс осаждения и коагуляции модельного аэрозоля.

Ключевые слова: мелкодисперсный аэрозоль, ультразвук, электростатический осадитель.

ВВЕДЕНИЕ

За последнее время, достигнут значительный прогресс в разработке электрических и ультразвуковых методов очистки воздушной среды с целью повышения эффективности в диапазоне малых частиц (менее 20 мкм) [1].

Известно [2], что вдыхание пыли диоксида кремния SiO₂ (аэросила) и накопление его в легких может вызвать заболевание – силикоз. Следовательно, возникает задача улавливания подобной взвешенной в воздушной среде вредной для человека мелкодисперсной пыли [3].

Одним из эффективных способов решения этой проблемы является использование энергетических воздействий, способствующих коагуляции, укрупнению, осаждению и улавливанию частиц. Перспективным направлением увеличение эффективности улавливания дисперсных частиц микрометрового размера является их предварительная коагуляция в акустических полях высокой интенсивности, а также дрейф и осаждение в электростатических полях с высоким напряжением [4-7].

Цель данной работы заключается в исследовании способов устранения мелкодисперсной пыли из воздушной среды на базе устройств, работающих на основе физических полей (акустического и электрического). Для этого необходимо провести экспериментальные исследования по очистке от аэрозольных образований различных типов в воздушной среде в за-

мкнутом объеме; оценить эффективность улавливания исследуемых веществ при воздействии акустического и электрического поля.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Введение внешних энергетических воздействий применяют для различных целей. В частности ультразвуковое воздействие пригодно для интенсификации различных процессов химических технологий в газодисперсных системах, таких как разрушение пен [8], сушки [9], коагуляции [10], осаждения [11], в качестве устройства распыления [12], для очистки от высокодисперсных аэрозольных частиц [13] и др. Электростатическое воздействие так же применяют в различных областях человеческой деятельности, например для зарядки наночастиц [14], в качестве электростатического осадителя [15], ионизатора воздушной среды [16], электроаэродинамическая струйная печать [17] и т.д.

Электростатический осадитель является эффективным способом удалять твердые загрязнители микрометрового размера (такой как пыль и дым), или жидкость (туман, нефть, туман) взвешенных частиц в газе окружающей среды. Этот процесс осаждения теперь широко используется в квартирах, офисах и больницах, из-за его низкого энергопотребления и высоких полезных действий фильтрации (до 99.9%). Во многих больницах, в Алжире и в большинстве Африканских стран система фильтрации газа несовершенная и требует значительных инвестиций. По-

этому основной проблемой в современном мире остается разработка экономически выгодной «проводной пластины» в качестве электростатического осадителя [18]. К тому же озон, высвобождающийся при работе большинства ионизаторов, представляет собой особый интерес, поскольку он может изменить химические и микрофизические свойства заряженных частиц посредством сложных химических реакций, в частности это характерно для органических компонентов, полициклических и углеводородных соединений [19].

Проведем оценку скорости движения частиц в поле сил тяжести, электростатическом поле, при воздействии звукового ветра. Сделаем также оценку скорости укрупненных за счет ультразвуковой коагуляции частиц аэрозоля.

Скорость осаждения частицы диаметра D и плотностью ρ_p в среде с вязкостью μ и плотностью ρ определяется формулой Стокса:

$$u_s = \frac{D^2 g}{18\mu} \cdot (\rho_p - \rho), \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения.

Для скорости дрейфа частицы в электрическом поле получено выражение [7]:

$$u_e = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} DE^2}{2\mu}, \quad (2)$$

где E – напряженность электрического поля.

При мощном акустическом воздействии на частицы действует сила звукового ветра. Скорость движения частицы под действием звукового ветра определим, следуя [20]:

$$u_w = \frac{PD}{12\mu}, \quad (3)$$

где P – давление звукового излучения. В бегущей волне давление звукового излучения определяется звуковым давлением p :

$$P = \frac{2p^2}{\rho c^2},$$

где c – скорость звука, ρ – плотность газа.

Для описания процессов ультразвуковой коагуляции воспользуемся интегральным уравнением Смолуховского, которое определяет изменение со временем вектора функции $f(D,t)$ распределения частиц по размерам:

$$\frac{\partial f(D,t)}{\partial t} = I_1 + I_2, \quad (4)$$

где I_1 описывает уменьшение количества частиц с диаметром D за единицу времени в единице объема за счет столкновения частицы диаметра D с частицей диаметра D_1 :

$$I_1 = -f(D,t) \int_0^{D_{\max}} K(D,D_1)f(D_1,t)dt,$$

где $K(D,D_1)$ – вероятность столкновения частиц,

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{18\mu H}{g(\rho_p - \rho)t}}, \quad H - \text{верхняя граница облака. Все}$$

частицы, масса которых превышает максимальное значение $D_{\max}(t)$, выпадают в осадок и не принимают дальнейшего участия в коагуляции. Спектр частиц на каждый момент времени t будет обрезан справа за счет седиментации крупных частиц, причем, постепенно эта граница будет смещаться в сторону все более малых частиц.

Член I_2 описывает появление частиц диаметра D за счет столкновения частиц с диаметрами D_1 и $D-D_1$:

$$I_2 = -\frac{1}{2} \int_0^D K(D-D_1, D_1)f(D_1,t)f(D-D_1,t)dt.$$

Начальные условия для уравнения (4): при $t=t_0$ $f(D,t_0)=f_0(D)$ – начальное массовое распределение частиц по размерам. Для описания функции распределения частиц по размерам обычно применяют гамма-распределение: $f_0(D) = aD^\alpha \exp(-bD)$, где b , α – параметры распределения, a – нормировочный коэффициент. Важной статистической характеристикой функции распределения частиц по размерам является средний объемно-поверхностный диаметр частиц (диаметр Заутера) $D_{32}=(\alpha+3)/b$.

Ядром интегрального уравнения (4) выступает вероятность столкновения частиц $K(D,D_1)$. Вероятность столкновения частиц определяет эффективность коагуляции: чем она выше, тем быстрее произойдет коагуляция и осаждение аэрозоля. При ультразвуковом воздействии выражение для вероятности столкновения частиц включает частоту ω , скорость колебательного движения частицы (пропорциональная амплитуде) U_0 , время стоксовой релаксации $\tau=(\rho_p-\rho) D^2/18\mu$:

$$K(D,D_1) = \frac{k_b n_0}{\eta} (D^2 + D_1^2) \left(1 + k_a \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \right) \right), \quad (5)$$

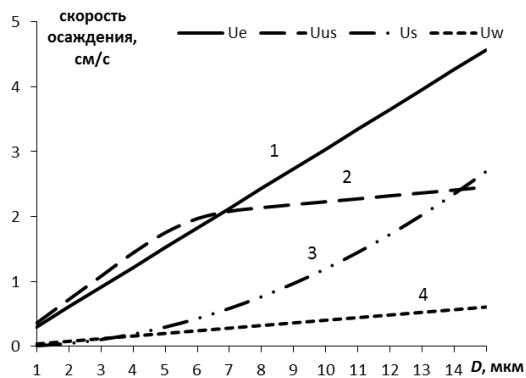
где k_b , k_a – коэффициенты пропорциональности.

В таблице 1 приведены расчетные значения скоростей осаждения частиц, соответствующие различным механизмам. Расчет сделан для частиц SiO_2 ($\rho_p=2360$ кг/м³). Скорость гравитационного осаждения u_s рассчитана по формуле (1), скорость дрейфа в электрическом поле u_e – по формуле (2), скорость движения частиц под действием акустического течения u_w – по формуле (3), скорость осаждения за счет акустической коагуляции u_{us} получена из численного решения уравнения (4).

Табл. 1. Соотношения характерных скоростей движения частиц при различных воздействиях

D , мкм	u_e/u_s	u_w/u_s	u_{us}/u_s
1	25,39	3,38	30,36
2	12,67	1,69	15,14
3	8,48	1,13	10,04
4	6,33	0,85	7,52
5	5,07	0,68	5,85
6	4,23	0,56	4,56
7	3,62	0,48	3,54
8	3,17	0,42	2,79
9	2,82	0,38	2,25
10	2,54	0,34	1,86
11	2,31	0,31	1,57
12	2,12	0,28	1,34
13	1,95	0,26	1,17
14	1,81	0,24	1,02
15	1,69	0,23	0,91

На рисунке 1 показаны скорости осаждения частиц в зависимости от их размеров для разных механизмов осаждения.



1 – дрейф в электрическом поле, 2 – ультразвуковое осаждение, 3 – гравитационное осаждение, 4 – акустическое течение

Рис. 1. Зависимость скорости осаждения в соответствии с различными механизмами (гравитационное, акустическое течение, в электрическом поле, в ультразвуковом поле) от диаметра частиц

Ультразвуковая коагуляция происходит тем интенсивнее, чем выше частота ультразвука (5). К эффекту укрупнения частиц под действием ультразвука добавляется воздействие акустического течения. Результат расчетов мы видим в таблице 1. Начиная с некоторого достаточно крупного размера частиц (в нашем примере это диаметр около 18 мкм) ультразвуковое осаждение не может конкурировать с есте-

ственным гравитационным, и становится бесполезным.

Для малых размеров частиц (диаметром менее 6 мкм) эффект от ультразвукового воздействия несколько больше, чем от воздействия электрическим полем. Но для более крупных частиц скорость дрейфа в электрическом поле значительно выше, чем для других механизмов осаждения.

Если компонента скорости, обусловленной гравитацией u_s больше, чем компонента скорости, обусловленная силой действующего излучения u_w , то ведущим механизмом является стоксовая седиментация. В противном случае, если $u_w > u_s$, ведущим механизмом осаждения является звуковой ветер (акустическое течение), который «сдувает» частицы к дну камеры. При увеличении размеров частиц ведущим становится стоксовое осаждение, так как масса частиц имеет решающее значение.

В качестве модельного вещества в эксперименте будем использовать аэрозоль диоксида кремния (аэросила). Аэросил распыляется в экспериментальной камере пневматическим способом. Для определения дисперсных характеристик частиц по размерам применяется аналитическая система Malvern Spraytec, принцип действия которой основан на регистрации полной индикатрисы рассеяния зондирующего излучения дисперсной средой. Полученная гистограмма распределения частиц по размерам приведена на рисунке 2. Большая часть частиц входит в диапазон размера 2-15 мкм, средний объемно-поверхностный диаметр составил 12 мкм.

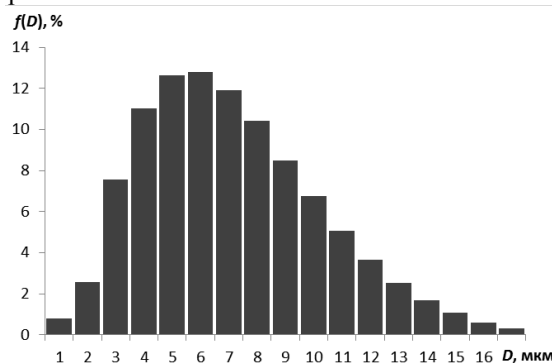


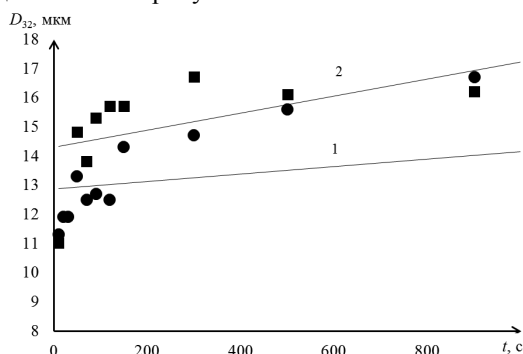
Рис. 2. Начальная гистограмма распределение частиц по размерам для аэросила измеренное установкой Malvern Spraytec

Для измерения дисперсности и концентрации частиц аэросила в экспериментальной камере применялась лазерная измерительная установка [21]. Аэросил распределен в измерительном объеме пневматическим способом в первой серии эксперимента без каких-либо внешних воздействий, во второй серии экспериментов при наличии электростатического поля внутри экспериментальной камеры. Масса порошка составила 3 грамма, распыление проходило в течение 20 секунд. Параметры электроосаждающего устройства представлены в таблице 2.

Табл. 2. Технические параметры электрофильтра

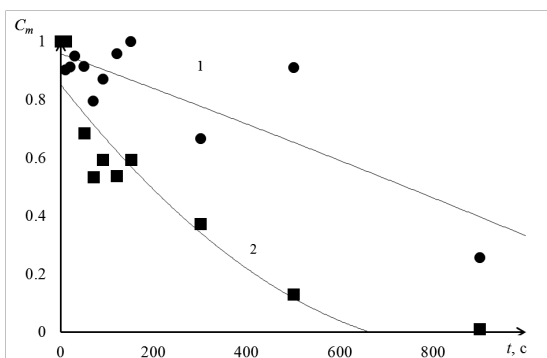
Параметры	Значения
Площадь осаждения, мм ²	1000
Длина коронирующего элемента (длина активной зоны), мм	85
Габариты	140×140×113
Масса, кг	1,7
Межэлектродное расстояние, мм	8
Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, Вт	20

Значения величины среднего объемно-поверхностного диаметра D_{32} и убыль массовой концентрации за время эволюции аэрозоля аэросила представлены на рисунке 3 и 4 соответственно.



1 – эксперимент без воздействий; 2 – эксперимент при воздействии электрического поля

Рис. 3. Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра от времени



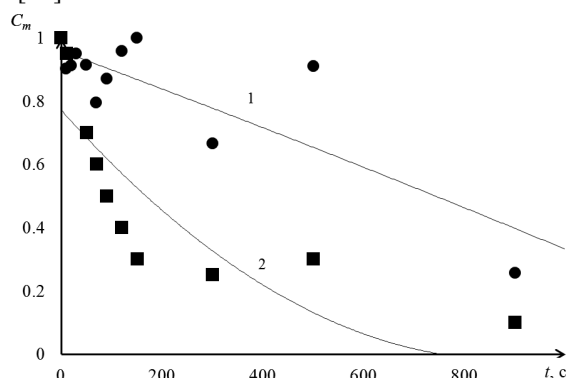
1 – эксперимент без воздействий; 2 – эксперимент при воздействии электрического поля

Рис. 4. Зависимость относительной концентрации от времени

Как видно из полученных результатов (рисунок 3), средний объемно-поверхностный диаметр частиц в процессе осаждения существенно не меняется и остается в пределах 15-16 мкм, при этом осаждение аэрозоля резко ускоряется под действием электрического поля (рисунок 4). Время осаждения по сравнению с гравитационным уменьшается, примерно, в два раза,

что коррелирует с теоретическими оценками (таблица 1, первая колонка, размер частиц 12 мкм).

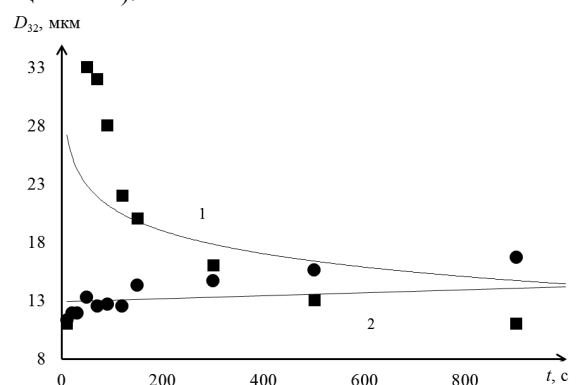
Исследования процесса ультразвуковой коагуляции были проведены в лабораторной коагуляционной камере цилиндрической формы длиной 2500 мм и диаметром 800 мм и позволили выявить зависимости относительной счётной концентрации частиц от времени в воздухе (рисунок 5). Используемый ультразвуковой излучатель имеет следующие технические характеристики: диаметр 320 мм; рабочая частота 21,5 кГц; максимальное значение звукового давления 151 дБ [22].



1 – эксперимент без воздействий; 2 – эксперимент при воздействии ультразвукового поля

Рис. 5. Зависимости относительной концентрации частиц SiO₂ от времени

В ходе исследований было установлено, что процесс УЗ коагуляции можно условно разделить на два этапа. На первом этапе происходит укрупнение частиц, приблизительно, в 3 раза за счет коагуляции (рисунок 6). Затем происходит быстрое осаждение частиц под действием силы тяжести. В результате можно отметить ускорение осаждения в 1,4 раза, что также соответствует полученным теоретическим оценкам (таблица 1, последняя колонка, размер частиц 12 мкм).



1 – эксперимент без воздействий; 2 – эксперимент при воздействии ультразвукового поля

Рис. 6. Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра от времени

Таким образом, эксперимент показывает, что внешние поля (ультразвуковое и электрическое) уско-

ряют осаждение мелкодисперсного аэрозоля. При этом, для аэрозоля данных размеров и плотности электрическое поле оказалось несколько более эффективным, чем ультразвуковое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены теоретические оценки скорости седиментации и экспериментальные исследования осаждения мелкодисперсного аэрозоля (частицы диаметром мене 15 мкм) в присутствии внешних воздействий: акустического и электрического поля.

Из оценок характерных скоростей дрейфа частиц аэросила в электрическом и гравитационном поле, под действием звукового ветра показано, что влияние звукового ветра имеет значение лишь для самых малых частиц (до 3 мкм); воздействие электрического поля в несколько раз ускоряет процессы осаждения. Если сравнивать скорость осаждения частиц достаточно тяжелого вещества, такого, как двуокись кремния, под действием электрического и ультразвукового поля, то ультразвуковое осаждение более эффективно для частиц с размером менее 6 мкм. Такие частицы эффективно осаждаются за счет ускорения процессов коагуляции, чему способствует применение ультразвука. При этом ультразвуковая коагуляция мелкодисперсных аэрозолей требует высокой частоты и мощности источника.

Работа выполнена при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-10209).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Степкина, М.Ю. Применение электростатических и ультразвуковых воздействий для осаждения аэрозолей / М.Ю. Степкина, А.А. Антонникова // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Технические средства противодействия терроризму. Серия 16. – 2018. – Выпуск (117 - 118). – С. 65-70.
2. Архипов, В. А. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность / А.В. Архипов, У.М. Шереметьев. – Томск : ГТТУ, 2007. – 136 с.
3. Степкина, М.Ю. Экспериментальное исследование способа ускорения осаждения мелкодисперсного аэрозольного облака под действием электрического поля / М.Ю. Степкина, И.Р. Ахмадеев, Б.И. Ворожцов // Ползуновский вестник 2014 г. – №3. – С. 134 – 138.
4. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова К.В., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 241 с.
5. Кудряшова, О.Б. Экспериментальные исследования эволюции мелкодисперсного аэрозоля растворов глицерина / А.А. Антонникова, Н.В. Коровина, И.Р. Ахмадеев., С.С. Титов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 9/3. – С. 181-184.
6. Antonnikova, A.A. Sedimentation of Superfine Aerosol by Means of Ultrasound / N.V. Korovina., O.B. Kudryashova// Open Journal of Acoustics. – 2013. – Vol. 3, № 3A. – P. 16-20. – <http://www.scirp.org/journal/wja/>. – DOI:10.4236/oja.2013.33A004.

7. Кудряшова, О.Б. Осаждение пыли с помощью внешних полей / М.Ю. Степкина, А.А. Антонникова, М.В. Тильзо. // Южно-Сибирский научный вестник 2017. – № 3(19). – С. 34-42.
8. Галахов, А.Н. Разработка ультразвукового оборудования для разрушения пен и исследование его функциональных возможностей / А.Н. Галахов, В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т.17. – №4. – С.969–978.
9. Хмелев, В.Н. Ультразвуковая сушка в пищевой промышленности / Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Галахов А.Н. // Вестник алтайской науки. – 2012. – № 1. – С. 143–144.
10. Хмелев, В.Н. Контроль процесса УЗ коагуляции дисперсных частиц нанометрового размера / В.Н. Хмелев, Шалунов А.В., Нестеров В.А., Хмелев М.В., Галахов А.Н. // Ползуновский вестник. – 2013. – №2. – С.154–158.
11. Kudryashova, O. Mechanisms of aerosol sedimentation by acoustic field //A. Antonnikova.,N Korovina.,I. Akhmadeev // *Archives of Acoustics*. – 2015. – Т. 40. – № 4. – pp. 485-489.
12. Хмелев, В.Н. Дистанционная обработка биотканей ультразвуком с одновременным напылением лекарственных растворов [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелев, В. В. Педдер, А. В. Педдер, А. В. Шалунов, В.К. Косёнок, А. Н. Галахов, Е. В. Надей, В. А. Нестеров, Р. Н. Голых // Электронный журнал «Техническая акустика». – 2013. – 3. – 14 с. – Режим доступа <http://ejta.org/ru/khmelev13.zip>
13. Хмелев, В.Н. Теоретическое исследование возможности повышения эффективности сепарации инерционных пылеуловителей наложением УЗ-колебаний / А.В. Шалунов., В.А. Нестеров., А.Н. Галахов, Р.Н. Голых, В.Е. Бажин // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности* Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием– Бийск: БТИ АлтГТУ, 2014 г. – С. 7-12.
14. Chih-Liang Chien Modeling and Validation of Nanoparticle Charging Efficiency of a Single-Wire Corona Unipolar Charger // Tsai Chuen-Jinn, Chen Hui-Lin, Lin Guan-Yu , Wu Jong-Shinn // *Aerosol Science and Technology*. – 2011. – 45. – pp.1468-1479.
15. Bangwoo Han Efficient Collection of Atmospheric Aerosols with a Particle Concentrator—Electrostatic Precipitator Sampler / Hudda Neelakshi, Ning Zhi, Kim Yong-Jin // *Aerosol Science and Technology*. – 2009. – 43. – pp.757-766.
16. Степкина, М. Ю. Методы очистки воздушной среды от мелкодисперсного аэрозоля на основе внешних физических полей в замкнутом объеме / А. А. Антонникова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2017. – № 4. – С. 149-155.
17. Jaehong Park Deposition of Charged Aerosol Particles on a Substrate by Collimating Through an Electric Field Assisted Coaxial Flow Nozzle / Jeong Jimin, Kim Chul // *Aerosol Science and Technology*. – 2013. – 47. – pp.512-519.
18. Farid, Miloua Application of electrostatic precipitator in collection of smoke particles from hospital wastes combustion / Tilmatine Amar, Sidi-Mohammed Remaoun., Berrached Djeloul // *International Journal of Environmental Studies* – 2013.– Volume 70.– Issue 4. – pp. 527-535.
19. Bangwoo, Han Unipolar Charging of Fine and Ultra-Fine Particles Using Carbon Fiber Ionizers / Kim Hak-Joon, Kim Yong-Jin Sioutas Constantinos // *Aerosol Science and Technology*. – 2008. – Volume 42. – Issue 10. – pp. 793-800.
20. Kudryashova O.B., Antonnikova A.A., Korovina N.V., Akhmadeev I.R. Mechanisms of Aerosol Sedimentation by Acoustic Field // *Archives of Acoustics*. – 2015. – V. 40, № 4. – p. 485-489.
21. Kudryashova O.B., Pavlenko A.A., Vorozhtsov B.I., Titov S.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Maksimenko E.V., Akhmadeev I.R., Muravlev E.V. Remote optical diagnostics of nonstationary aerosol media in a wide range of particle sizes. In: Photodetectors. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. – p. 341–364.
22. В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, А.Н. Галахов, Р.Н. Голых Повышение эффективности сепарации газоочиститель-

ного оборудования за счёт применения ультразвуковых колебаний
// Южно-Сибирский Вестник.– 2013 г. – №1 (3). – С. 5-9.

Степкина Мария Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории физики преобразования энергии взрывчатых веществ, ИПХЭТ СО РАН, тел. +79609491683, e-mail: mabric@mail.ru.

Кудряшова Ольга Борисовна – старший научный сотрудник лаборатории физики преобразования энергии взрывчатых веществ, ИПХЭТ СО РАН, тел. +79059245444, e-mail: olgakudr@inbox.ru.

Галахов Антон Николаевич – начальник сектора отдела 91 разрушающего контроля и физических методов исследования, АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»», тел. +79133603446, e-mail: galakhov-87@mail.ru

SEDIMENTATION OF AEROSOL MEDIA UNDER THE ELECTRIC AND ACOUSTIC FIELDS

M. Yu. Stepkina¹, O. B. Kudryashova¹, A. N. Galakhov²

¹*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the SB RAS, Biysk*

²*Federal Research and Production Center «Altai»*

Abstract – Applications of aerosol media are widely known in medical and quasimedical medicinal and diagnostic products and medicines (aerosols of respiratory systems), in dispersion of insecticides and for products of personal care (parfumes, deodorants and other cosmetics). A variety of substances of "pollutants" leads to the choice of the direction of researches for ensuring purity of the atmosphere at least for closed space. Relevant task is the creation of technology of catching of aerosol particles in gas-dispersers systems. The substance in an aerosol has a few of special characteristics which need to be considered in work on cleaning of rooms off harmful emissions. At the choice of a way and method of cleaning it is necessary to reveal features and limits of applicability connected, first of all, with the sizes of particles and with their density. Recently a possibility of combination of several methods of cleaning are actively applied for the purpose of increase of overall effectiveness of collecting particles in the range of the sizes of an order of a micrometer. Increase in efficiency of the gas-cleaning equipment is possible due to integration of particles. Catching of particles by means of electric field and the ultrasonic agglomeration of particles promoting their fast sedimentation are the perspective directions which demand a careful research depending on physical and chemical properties and dispersion of the considered aerosol media. The paper is devoted to a research of functionality of the gas-cleaning equipment on the basis of ultrasonic and electric field for catching of disperse particles of the micrometer size. Theoretical estimates and experimental results on influence of electrostatic and ultrasonic fields on the process of sedimentation and coagulation of a model aerosol are given in the paper.

Index terms: fine aerosol, ultrasound, electrostatic precipitator.

REFERENCES

- Stepkina M.Yu., Antonnikova A.A. Application of electrostatic and ultrasonic influences for sedimentation of aerosols // Problems of the defensive technic Scientific and technical magazine. Technical means of counteraction to terrorism. Series 16.– 2018. – № (117 - 118). – P. 65-70.
- Arkipov V.A., Sheremet'ev U.M.. Aerosol systems and their influence on activity. – Tomsk: STPU, 2007. – 136 p.
- Stepkina M.Yu., Akhmadeev I.R., Vorojtsov B.I. Pilot study of a method of acceleration of sedimentation of a fine aerosol cloud under the influence of electric field // Polzunovsky Bulletin. – 2014. – № 3. – pp. 134 – 138.
- Khmelev V.N., Shalunov A.V., Shalunova K.V., Tcyganok S.N., Barsukov R.V., Slivin A.N. Ultrasonic coagulation of aerosols. – Biysk: AltGTU Press, 2010. – 241 p.
- Kudryashova O.B., Antonnikova A.A., Korovina N.V., Akhmadeev I.R., Titov S.S. Pilot studies of evolution of a fine aerosol of solutions of glycerin // News of higher educational institutions. Physics.– 2013. – V. 56, № 9/3. – pp. 181-184.
- Antonnikova, A.A. Korovina N.V., Kudryashova O.B. Sedimentation of Superfine Aerosol by Means of Ultrasound // Open Journal of Acoustics. – 2013. – Vol. 3, № 3A. – P. 16-20. – <http://www.scirp.org/journal/wja/>. – DOI:10.4236/oja.2013.33A004.
- Kudryashova O.B., Stepkina M.Yu., Antonnikova A.A., Tilzo M.V. Sedimentation of dust by means of external fields//the Southern Siberian scientific bulletin of 2017. – No. 3(19). – pp. 34-42.
- Galakhov, A.N., Khmelev V.N., Shalunov A.V. Development of the ultrasonic equipment for destruction of foams and research of its functionality // Bulletin of the Tambov state technical university. – 2011. –V.17. – №4. – pp.969–978.
- Khmelev V.N., Shalunov A.V., Barsukov R.V., Galakhov A.N Ultrasonic drying in the food industry. // Bulletin of the Altai science.– 2012. – № 1. – pp. 143–144.
- Khmelev V.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Khmelev M.V., Galakhov A.N Control of process of US-coagulation of disperse particles of the nanometer size // Polzunovsky Bulletin. – 2013. – №2. – pp.154–158.
- Kudryashova, O. Mechanisms of aerosol sedimentation by acoustic field /A. Antonnikova.,N Korovina.,I. Akhmadeev // *Archives of Acoustics*. – 2015. – V. 40. – № 4.– pp. 485-489.
- Khmelev V.N., V.V. Pedder, A.V. Pedder, Shalunov A.V., Kosenok V.K., Galakhov A.N., Nedey E.V., Nesterov V.A., Golyh R.N. Teleprocessing of biofabrics by ultrasound with simultaneous dusting of medicinal solutions [Electronic resource] // Electronic magazine «Applied acoustics». – 2013. – # 3. – 14 p. – Режим доступа<http://ejta.org/ru/khmelev13.zip>
- Khmelev V.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Galakhov A.N., Golyh R.N., Bajin V.E. Theoretical research of a possibility of increase in efficiency of separation of inertial dust collectors imposing of US fluctuations // Technologies and the equipment of the chemical, biotechnological and food industry Materials of the VII All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with the international participation – Biysk: BТИ ALTSTU, 2014 г. – pp. 7-12.
- Chih-Liang Chien Modeling and Validation of Nanoparticle Charging Efficiency of a Single-Wire Corona Unipolar Charger // Tsai Chuen-Jinn, Chen Hui-Lin, Lin Guan-Yu , Wu Jong-Shinn // *Aerosol Science and Technology*. – 2011. – 45. – pp.1468-1479.
- Bangwoo Han Efficient Collection of Atmospheric Aerosols with a Particle Concentrator—Electrostatic Precipitator Sampler / Hudda Neelakshi, Ning Zhi, Kim Yong-Jin // *Aerosol Science and Technology*. – 2009. – 43. – pp.757-766.
- Stepkina M.Yu., Antonnikova A.A. Methods of cleaning of the air media of a fine aerosol on the basis of external physical fields in the closed space // the Southern Siberian scientific bulletin of 2017. – № 4. – pp. 149-155.
- Jaehong Park Deposition of Charged Aerosol Particles on a Substrate by Collimating Through an Electric Field Assisted Coaxial Flow Nozzle / Jeong Jimin, Kim Chul // *Aerosol Science and Technology*. – 2013. – 47. – pp.512-519.
- Farid, Miloua Application of electrostatic precipitator in collection of smoke particles from hospital wastes combustion / Tilmatine Amar, Sidi-Mohammed Remaoun., Berrached Djeloul // *International Journal of Environmental Studies* – 2013.– Volume 70.– Issue 4. – pp. 527-535.
- Bangwoo Han Unipolar Charging of Fine and Ultra-Fine Particles Using Carbon Fiber Ionizers / Kim Hak-Joon, Kim Yong-Jin, Sioutas Constantinos // *Aerosol Science and Technology*. – 2008. – Volume 42. –Issue 10. – pp. 793-800.