

УДК 538.9

Экспериментальное исследование эволюции мелкодисперсных частиц при различных методах генерации аэрозольного облака

М.Ю. Степкина, О.Б. Кудряшова, А.А. Антонникова, Е.В. Муравлев*

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1*

Поступила в редакцию 25.01.2018 г.

Рассмотрены различные способы распыления твердофазных частиц: импульсный, электростатический и пневматический. Проведен модельный эксперимент по осаждению взвешенных в воздушной среде мелкодисперсных частиц полимерного вещества – поливинилпирролидона. Проанализировано изменение концентрации исследуемых аэрозольных частиц при ультразвуковом осаждении. Экспериментальное исследование показало, что электростатическая генерация аэрозоля значительно увеличивает скорость осаждения частиц с применением ультразвука.

Ключевые слова: аэрозоль, распыление, генерация, ультразвуковое воздействие, осаждение, средний объемно-поверхностный диаметр, метод малоуглового рассеяния; aerosol, dispersion, generation, ultrasonic exposure, precipitation, surface-volume mean diameter, small-angle scattering method.

Аэрозоли находят применение во многих технологических процессах, промышленности, сельском хозяйстве, при пожаротушении, кондиционировании и очистке воздушной среды. Свойства и возможность применения аэрозолей в этих процессах зависят от способа распыления. Широко известен способ распыления мелкодисперсных порошков и создания аэрозольного облака посредством коронного разряда (электростатическое распыление). Так, для рационального распределения и глубокого проникновения лекарственных средств в виде аэрозольных частиц им чаще всего предварительно сообщают заряд. Электростатическое распыление применяют для нанесения покрытий на детали, а также в качестве эффективного способа создания облака сорбционных частиц для нейтрализации вредных веществ, распределенных в атмосфере и на поверхностях [1–4].

К достоинствам зарядки порошковых материалов коронным разрядом относятся следующие: высокая эффективность зарядки порошкообразных веществ; высокая надежность оборудования; простота эксплуатации и технического обслуживания распылителей; низкая чувствительность к температуре и влажности окружающей среды.

Перспективным методом создания облака мелкодисперсного аэрозоля является импульсный метод (за счет энергии высокоэнергетических материалов).

* Мария Юрьевна Степкина (mabric@mail.ru); Ольга Борисовна Кудряшова (olgakudr@inbox.ru); Александра Александровна Антонникова (antonnikova.a@mail.ru); Евгений Викторович Муравлев (evvimv@gmail.com).

Импульсное распыление происходит за счет срабатывания мощного заряда взрывчатого вещества. Такой метод обладает рядом преимуществ по сравнению с другими: высокой скоростью создания аэрозольного облака и малыми габаритами распылителей, что позволяет реализовывать импульсный метод распыления на разных объектах без предварительной сложной подготовки. Объем облака и скорость распространения фронта от времени для различных веществ при ударно-волновом распылении незначительно зависят от материала частиц [5, 6].

Образование плотного аэрозольного облака с целью, например, пожаротушения возможно путем пневматического распыления с помощью инжекторного пескоструйного аппарата. Измельчение вещества при распылении происходит за счет энергии потока сжатого воздуха, вытекающего с высокой скоростью из отверстий. К достоинствам пневматического способа относят: надежность в эксплуатации, возможность распыления высоковязких жидкостей, слабую зависимость качества распыления от объемного расхода распыляемого вещества.

Для сорбции вредных газообразных или аэрозольных образований в воздухе распыляют аэрозольное облако частиц сорбента. Следующим этапом данного способа очистки помещений является осаждение частиц отработанного сорбента. С этой целью часто применяют ультразвуковое (УЗ) воздействие на аэрозольные частицы. Осаждение взвешенных частиц в замкнутом объеме под действием УЗ хорошо изучено во многих работах [7–10]. Авторами [11] предложен способ УЗ-осаждения аэрозолей с использованием дополнительной дисперсной

фазы. Однако ранее не было исследовано, как эффективность УЗ-осаждения зависит от способа получения аэрозоля.

Важнейшие характеристики продуцируемого аэрозоля определяются способом его образования. Так, удельная поверхность и дисперсность аэрозольных частиц имеют различные значения в зависимости от способа распыления. Установлено, что при ударно-волновом способе распыления процесс разрушения агломератов частиц происходит более эффективно в отличие от пневматического способа [12].

Электростатическое распыление позволяет разбить агломераты и увеличить дисперсность аэрозоля, однако при столкновении электростатически заряженных частиц с электрически нейтральными частицы коагулируют, что приводит к существенному увеличению их размера в первые минуты образования аэрозольного облака по сравнению, например, с пневматическим способом распыления. С другой стороны, электростатическая коагуляция способствует более быстрому гравитационному осаждению частиц даже при отсутствии внешних полей [13–17].

Цель данной работы — экспериментальное исследование скорости УЗ-осаждения аэрозоля в зависимости от способа его генерации.

Экспериментальные исследования изменения дисперсных характеристик и концентрации частиц аэрозоля в зависимости от способа распыления проводились с помощью лазерного измерительного комплекса ЛИД-2М [12], основанного на применении метода малоуглового рассеяния, в замкнутом объеме однокубовой камеры.

В качестве модельного вещества выбран мелкодисперсный порошок поливинилпирролидона как полимерный материал, который нашел применение в самых разнообразных отраслях медицины, фармацевтики, косметологии и промышленного производства. При пневматическом и электростатическом способе распыления (распылитель СТАРТ-50) в эксперимен-

тальном объеме было распределено 4,5 г вещества за 20 с. В процессе импульсного диспергирования распределено 2,13 г за 0,2 с. Серии экспериментов проведены в одинаковых условиях окружающей среды. На рис. 1 показано изменение во времени среднего объемно-поверхностного диаметра частиц модельного аэрозоля при разных способах распыления.

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод, что дисперсность модельных веществ меняется во времени одинаково. Максимального размера (до 20 мкм) частицы поливинилпирролидона достигают на первых десятках секунд импульсного распыления, минимального — после 500 с. Наименьший размер (порядка 5 мкм) наблюдается при импульсном распылении.

Экспериментальные исследования влияния УЗ-воздействия на скорость осаждения модельного аэрозоля при различных способах генерации проводились аналогично экспериментам без УЗ-воздействия. Сразу после распыления поливинилпирролидона включался источник ультразвуковых волн УЗКС «Соловей» (уровень звука 125 дБ, частота 22 кГц). Эволюция относительной концентрации частиц рассматриваемого аэрозоля при пневматическом, импульсном и электростатическом распылениях без воздействия и с применением ультразвука представлена на рис. 2.

Применение УЗ-колебаний для осаждения аэрозольных частиц поливинилпирролидона, полученных пневматическим или импульсным распылением, незначительно влияет на характер эволюции взвешенных частиц по сравнению с естественным осаждением (рис. 2, а, б). Отсутствие влияния УЗ-поля на скорость осаждения частиц объясняется высокой начальной дисперсностью частиц модельного аэрозоля в работе [8].

Иная картина наблюдается при УЗ-осаждении аэрозоля, распыленного электростатическим способом (рис. 2, в). УЗ-воздействие на облако частиц поливинилпирролидона в этом случае примерно в 3 раза

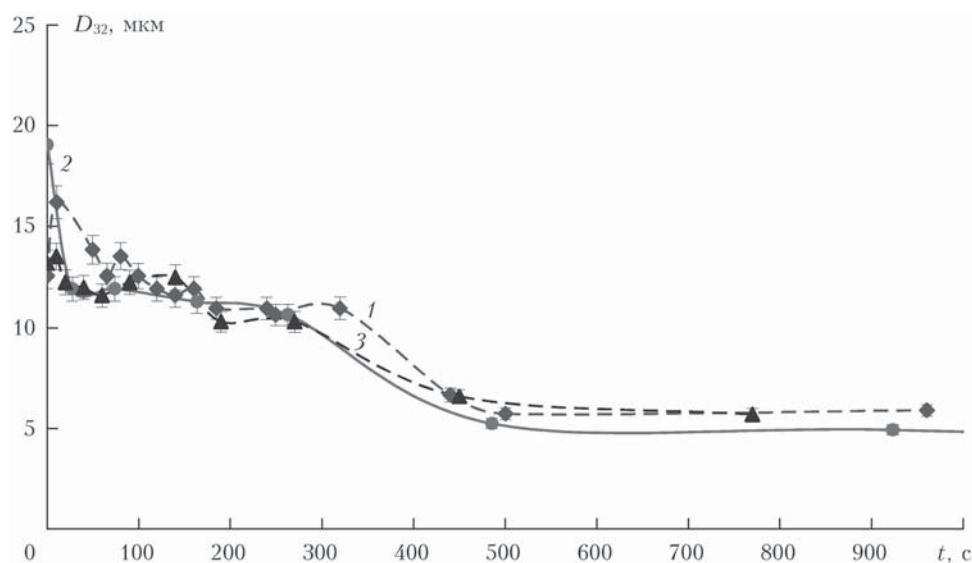


Рис. 1. Изменение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц поливинилпирролидона при разных способах распыления: 1 — пневматическое; 2 — импульсное; 3 — электростатическое

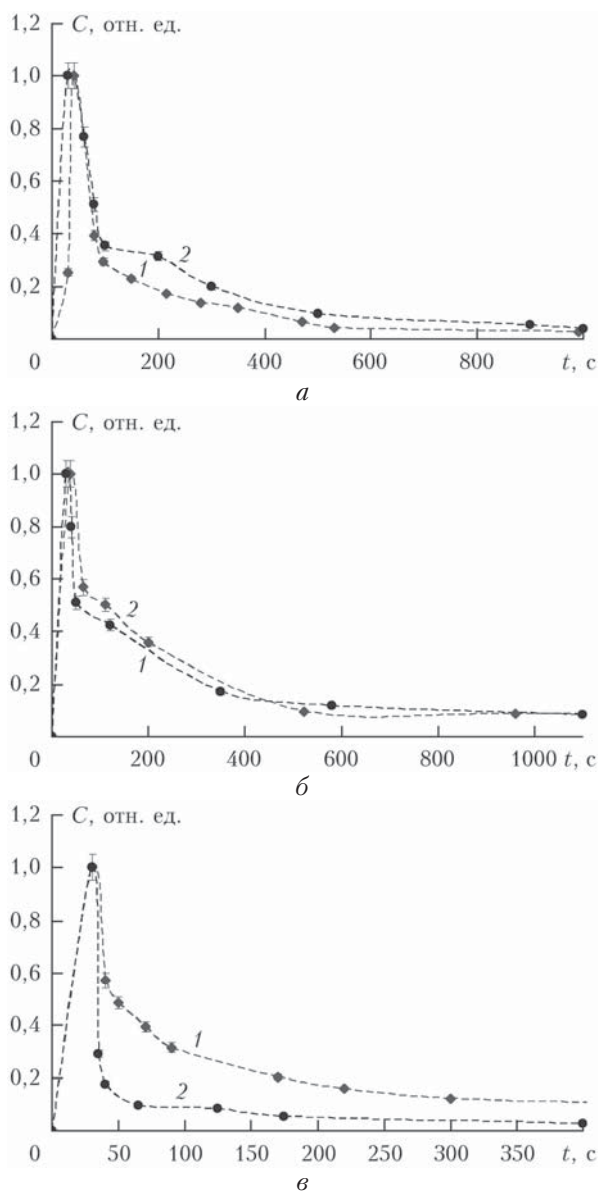


Рис. 2. Изменение относительной концентрации поливинилпирролидона при пневматическом (а), импульсном (б), электростатическом (в) распылениях: 1 – без УЗ-воздействия; 2 – с УЗ-воздействием

увеличило скорость осаждения по сравнению с осаждением без воздействий. Это объясняется эффектом электростатической коагуляции [13, 18, 19], которая приводит к укрупнению частиц, благодаря чему УЗ-воздействие становится эффективным.

Итак, эксперимент с электростатической зарядкой частиц показал, что в течение десятка секунд происходит коагуляция частиц, после чего они начинают осаждаться, и размер частиц, находящихся еще в воздухе, постепенно уменьшается. В эксперименте с ультразвуковой коагуляцией процесс укрупнения частиц более медленный и увеличение их размера не так сильно выражено. Следовательно, существенное увеличение скорости осаждения аэрозольных частиц в замкнутом воздушном пространстве возможно за счет предварительной электростати-

ческой зарядки облака аэрозоля и применения воздействия ультразвукового поля на этапе эволюции продуцируемого аэрозоля.

Работа выполнена с использованием приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-79-10209).

1. Степкина М.Ю., Кудряшова О.Б., Муравлев Е.В. Использование электрического поля для очистки поверхностей // Ползунов. вестн. 2015. № 4. С. 95–100.
2. Оура К., Лифшиц В.Г. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. 490 с.
3. Плюц Ю.А. Определение величины заряда контактирующих материалов // Изв. ВолГТУ. 2004. № 9. С. 38–39.
4. Овчаренко А.Г. Измерение электростатических характеристик дисперсных и сплошных твердых сред материалов // Ползунов. вестн. 2008. № 4. С. 118–124.
5. Муравлев Е.В., Степкина М.Ю., Тутов С.С., Ахмадеев И.Р., Павленко А.А., Кудряшова О.Б. Исследование процессов диспергирования компактированных порошков // Ползунов. вестн. 2016. № 4. С. 64–67.
6. Кедринский В.К. Газодинамика взрыва: эксперимент и модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 435 с.
7. Nesterov V.A., Shalunov A.V., Khmelev V.N., Golykh R.N., Dorovskikh R.S., Shalunova A.V. Determination of the modes and the conditions of ultrasonic spraying providing specified productivity and dispersed characteristics of the aerosol // J. Appl. Fluid Mech. 2017. V. 10, N 5. P. 1409–1419.
8. 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.
9. Riera E., Elvira L., González I., Rodriguez-Maroto J., Mucoz-Bueno R., Dorronsoro-Areal J.L. Investigation of the influence of humidity on the ultrasonic agglomeration of submicron particles in diesel exhausts // Ultrasonics. 2003. V. 41, N 4. P. 277–281.
10. Liu J., Wang J., Zhang G., Zhou J., Cen K. Frequency comparative study of coal-fired fly ash acoustic agglomeration // J. Environ. Sci. 2011. V. 23, N 11. P. 1845–1851.
11. Titov S.S., Stepinkina M.Yu., Antonnikova A.A., Korovina N.V., Vorozhtsov B.I., Muravlev E.V., Kudryashova O.B. Sedimentation of harmful dust by means of ultrasonic waves and additional disperse phase // Arabian J. Geosci. 2015. V. 8, N 12. P. 11321–11328.
12. Кудряшова О.Б., Степкина М.Ю., Коровина Н.В., Антонникова А.А., Муравлев Е.В., Павленко А.А. Распыление нанопорошков для адсорбции токсичных веществ // Инж.-физ. журн. 2015. Т. 88, № 4. С. 808–813.
13. Jaworek A., Krupa A., Czech T. Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning: A brief review // J. Electrostat. 2007. V. 65, N 3. P. 133–155.
14. Park J., Jeong J., Kim C., Hwang J. Deposition of charged aerosol particles on a substrate by collimating through an electric field assisted coaxial flow nozzle // Aerosol Sci. Technol. 2013. V. 47, N 5. P. 512–519.
15. Bohm J. Electrostatic Precipitators. Amsterdam: Elsevier, 1982. 349 p.
16. Intra P., Yawootti A., Tippayawong N. Electrostatic evaluation of a unipolar diffusion and field charger of aerosol particles by a corona discharge // Part. Sci. Technol. 2013. V. 31, iss. 6. P. 621–631.
17. Lanin V.L. Increasing in efficiency of ultrasonic cleaning by means of directed action of an electric field in liquid

- media // Surf. Eng. Appl. Electrochem. 2008. N 4. P. 60–65.
18. *Laitinen A., Hautanen J., Keskinen J., Kauppinen E., Jokiniemi J., Lehtinen K.* Bipolar charged aerosol agglomeration with alternating electric field in laminar gas flow // J. Electrostat. 1996. V. 38, iss. 4. P. 303–315.
19. *White H.J.* Fifty years of electrostatic precipitation // J. Air Pollut. Control Assoc. 1957. V. 7, N 3. P. 166–177.

M.Y. Stepkina, O.B. Kudryashova, A.A. Antonnikova, E.V. Muravlev. **Experimental study of the evolution of fine particles by methods of aerosol cloud generation.**

Different ways of dispersion of solid-phase particles are considered: pulse, electrostatic, and pneumatic. The model experiment on sedimentation of fine airborne particles of polymeric substance kollidon is made. A change in the concentration of the studied aerosol particles at ultrasonic sedimentation is analysed. The pilot study has shown that electrostatic generation of aerosol considerably increases the speed of sedimentation of particles with application of ultrasound.