

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

М.Ю. Степкина, О.Б. Кудряшова, Е.В. Муравлев

*Представлено описание ряда наиболее распространённых веществ и методов, применяемых для нейтрализации опасных материалов. Проведены экспериментальные исследования по оценке проникновения мелкодисперсного порошка в поверхности различных материалов и конфигурации с применением электростатического распыления. Подтверждена эффективность предложенного электростатического способа нанесения адсорбирующего порошка на различные поверхности.*

*Ключевые слова: дегазация, электростатическое напыление, адсорбция, наносорбент, дезинфекция.*

### ВВЕДЕНИЕ

Опасность техногенных аварий на промышленных площадках, экологических катастроф, военных действий, приводящих к образованию высокотоксичных облаков пыли и паров, а также заражения вирусами и бактериями делает актуальной разработку способов быстрой и эффективной ликвидации последствий таких событий прежде, чем они перерастут в катастрофу. Высокая токсичность, трудность индикации и высокая дисперсность вредных продуктов делает такие события особенно опасными. При этом очистка воздуха помещений от загрязнений представляет меньшую сложность, чем очистка поверхностей внутри помещения, в поры которых могут проникать токсичные продукты, вирусы, бактерии, оставаясь там надолго.

В работах [1, 2] описаны способы борьбы с вредными аэрозольными образованиями в воздухе помещений. В таблице 1 представлены предельно допустимые концентрации некоторых опасных промышленных и радиоактивных веществ. Главная задача проведенных в работах исследований заключалась в получении из опасных образований в атмосфере полупродукта, которым можно управлять – осадить, собрать и уничтожить.

Среди способов, позволяющих обеспечить очистку объектов, в настоящее время активно используют химический метод, который позволяет подобрать и распылить вещество, химически взаимодействующее с опасным продуктом, образуя нейтральное вещество, которое впоследствии либо под действием силы тяжести, либо электромагнитного поля, либо с помощью воздушного потока осадится в нужном месте и далее может быть собранным и дезактивированным.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) промышленных пылей и радиоактивных веществ

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Окислы железа	30,00	Кадмий	0,10
Окислы цинка	15,00	Хромовая кислота	0,10
Перманганат	6,00	Уран естественный	0,09
Акролеин	2,30	Осмий	0,01
Динитробензол	1,50	Теллур	5*10 <sup>-3</sup>
Пыль фторидов	1,00	Бериллий	2*10 <sup>-3</sup>
Йод	1,00	Мышьяк	0,15
Перекись бария	0,50	Свинец	0,15
Торий	0,50	Ртуть	0,10

Аналогом такого подхода являются работы по воздействию наноразмерных заряженных структур на микроорганизмы, проводимые в Институте Физики Прочности и Материаловедения СО РАН (г. Томск), которые доказали высокую эффективность и практическую значимость данного подхода для решения актуальных проблем медицины и биотехнологии [3].

К основным составам и методам позволяющим нейтрализовать вредные и опасные продукты, можно отнести: молибдено- и вольфрамоорганические производные (гидролиз с эфиром фосфорной кислоты), объединение фосфоорганических составов с ионом лантана либо с переходным металлом, гидролиз или окисление с помощью отбели-

вателя или щелочных солей, соединения феррата (VI), окиси молибдена (VI), марганец (VII), нанотубулярный титан, наноразмерный оксид магния, цеолиты, кремнистые образования, алюмосиликатные сорбенты. Большинство этих соединений воздействует на широкий диапазон химических отравляющих веществ (зарин, зоман, горчичный газ, сернокислый кальций, органофосфаты, этанолы и др.). Цеолиты, кремнистые образования и алюмосиликатные сорбенты применяют для очистки питьевых и сточных вод от загрязнений. Окиси молибдена растворяют в воде, затем подвергают взаимодействию с эфиром фосфорной кислоты. Марганец (VII) применяют для очистки в различных формах (порошок, жидкость, суспензия, аэрозоль), он прост в утилизации, имеет длительный срок хранения, стабилен при низких и очень высоких температурах (>800 °С), с целью улучшения свойств минерала также допускается включать дополнительные составы (антифриз, глицерин) [4]. Нанотубулярный титан применяют в основном для дезактивации поверхностей. Системы гидролиза или окисления с помощью отбеливателя или щелочных солей имеют высокую скорость разложения и отличается простотой, однако имеет ряд недостатков: конечный продукт представляет собой проблему для утилизации, оказывает коррозионное воздействие на кожу, резину и металлические поверхности и являются неэффективными в холодных погодных условиях. Соединения феррата (VI) используются в широком диапазоне кислотности и температуры окружающей среды. Он не образует токсичных продуктов на выходе, легко обрабатывается и хранится, имеет сильный потенциал окислителя; присутствие феррата легко контролировать визуально, так как происходит изменение цвета по ходу того, как он реагирует и истощается; он безвреден для большинства поверхностей и может быть образован разными способами (пасты, порошки, мази, крема, спреи, растворы для разбрызгивания) [5]. В результате все анализируемые работы свидетельствуют о перспективности метода сорбционной очистки.

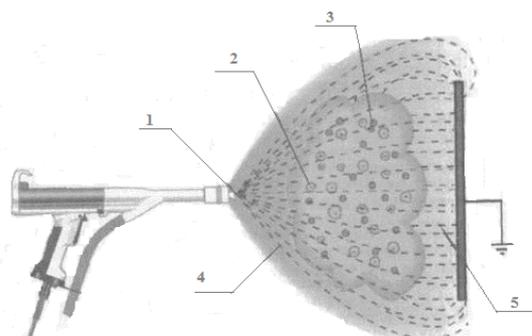
Таким образом, как и в задаче очистки воздуха помещения, для очистки поверхностей от вредных агентов можно использовать адсорбирующие и дезактивирующие порошки. Сложность заключается в нанесении этих порошков на поверхности (особенно, вертикальные, перевернутые и сложной геометрической конфигурации) таким образом, чтобы они удерживались там в течение времени, необходимого для адсорбции вредных веществ.

Затем требуется собрать и уничтожить образовавшийся продукт (порошок с адсорбированными на нем вредными агентами).

Идея авторов состоит в том, чтобы для нанесения на поверхности адсорбирующего порошка использовать электростатический способ напыления. Для нанесения порошка на вертикальные поверхности либо плоскость под отрицательным углом можно использовать электростатические распылители, которые сообщают частицам заряд коронным разрядом (рисунок 1), что позволят им удерживаться на таких поверхностях.

Цель работы – оценка эффективности использования электростатического напыления для нанесения адсорбирующих порошков на поверхности различных материалов и конфигураций, поиск оптимальных параметров электростатического распылений.

Электростатическое напыление порошков на поверхности хорошо известно. Обычно при работе таких устройств в один из каналов подается порошок, а по другому каналу поступает сжатый воздух. Непосредственно в пистолете происходит зарядка распыляемого вещества при напряжении 60–70 кВ. В частности, такой метод нанесения применяют при окраске автомобилей, в принтерах и т.д. Однако до сих пор не было предпринято попыток использовать принцип напыления порошков на поверхности с целью дезинфекции и очистки.

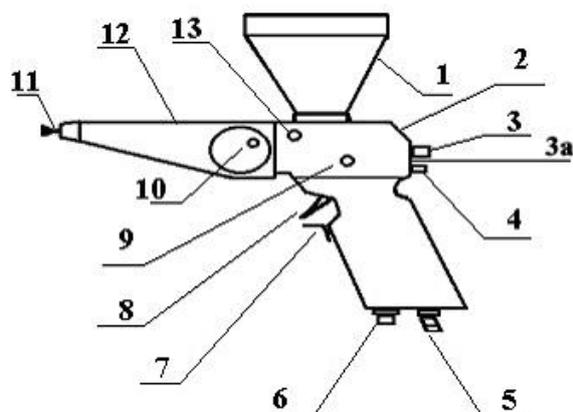


1 – коронирующий электрод; 2 – заряженные частицы порошка; 3 – свободные ионы; 4 – электрическое поле высокой напряженности; 5 – силовые линии

Рисунок 1 – Зарядка в поле коронного разряда

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве электростатического распылителя был выбран пистолет «СТАРТ-50-комби», позволяющий распылять порошки в небольшом объеме для лабораторных работ, с необходимыми регулировками сопла (рисунок 2).



- 1 – бункер с крышкой; 2 – рукоятка; 3 – ручка регулировки эжектора; 3а – винт регулировки расхода сжатого воздуха; 4 – заглушка; 5 – штуцер подачи сжатого воздуха; 6 – гнездо питания; 7 – скоба снятия электростатического заряда; 8 – курок; 9 – винт регулировки барбатажа; 10 – индикатор подачи питания на ствол-преобразователь; 11 – распылительная насадка; 12 – ствол-преобразователь; 13 – винт крепления ствола к рукоятке

Рисунок 2 – Описание электростатического пистолета «Старт-50»

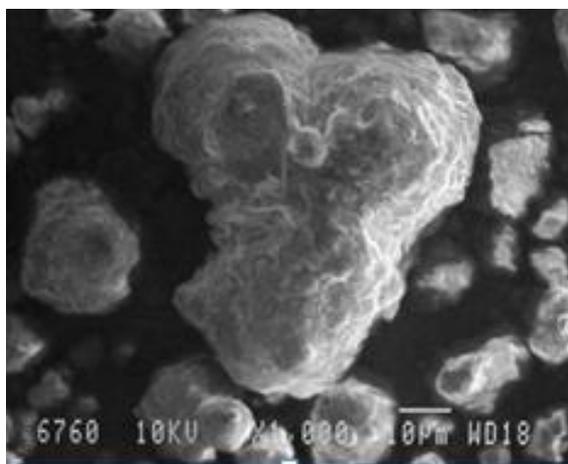


Рисунок 3 – Фотография частиц порошка псевдобемита, полученная на сканирующем микроскопе при 1000-кратном увеличении

В результате мониторинга современного рынка определено, что наиболее распространённым и доступным из веществ, применяемых в качестве сорбентов, является гидроксид алюминия (псевдобемит), который отличается высокой дисперсностью и представляет собой рыхло связанные пористые агрегаты. На рисунке 3 представлена фотография образца

порошка псевдобемита, полученные с помощью растрового сканирующего электронного микроскопа «JSM-840» (Япония) [6]. Частицы порошка представляют собой агломераты микронных размеров, но являются наноструктурированными за счет многочисленных микро- и нанопор в объеме частиц. Наличие таких пор и определяет сорбционную активность порошка, причем, такая активность не является избирательной, что, безусловно, является достоинством данного материала для целей дезактивации поверхностей от широкого спектра вредных агентов. Таким образом, в дальнейшей экспериментальной работе использовался порошок псевдобемита.

Проведены экспериментальные исследования по определению эффективности нанесения порошка псевдобемита на различные поверхности (стекло, дерево, металл, текстолит и т.д.).

На металлическую и стеклянную поверхность порошок ложится равномерно, частицы плотно прилегают к поверхности и не отрываются при встряхивании либо наклоне самой поверхности (рисунок 4). Для деревянной и текстолитовой поверхности (рисунок 5) мелкодисперсный порошок ложится не так равномерно и устойчиво.

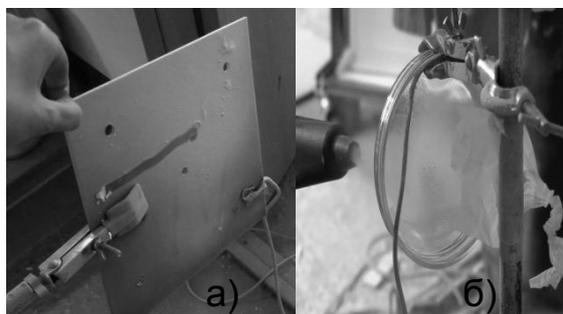


Рисунок 4 – Нанесение порошка электростатическим пистолетом на металлическую (а) и стеклянную (б) вертикальные поверхности

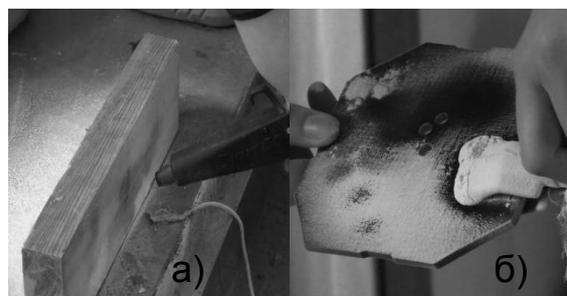


Рисунок 5 – Нанесение порошка электростатическим пистолетом на деревянную поверхность (а) и текстолит (б)

Для сравнения проведен опыт по распылению такого же мелкодисперсного порошка с использованием пневматического способа распыления. В этом случае при переворачивании или обдуве поверхности порошок легко удаляется (рисунок 6).

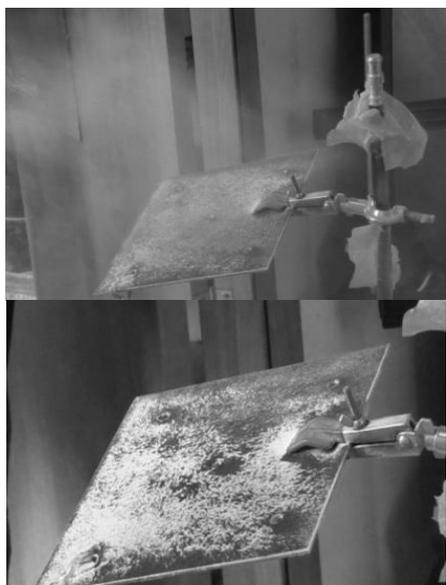
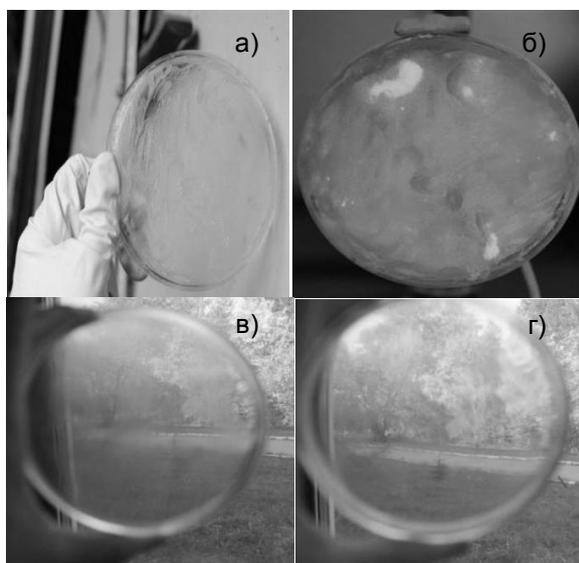


Рисунок 6 – Нанесение порошка пескоструем на металлическую поверхность



а – нанесения маслянистого вещества на образец, б – распыление сверху образца сорбента; в – образец после очистки без нанесения сорбента; г – образец после очистки при нанесении сорбента

Рисунок 7 – Испытания по адсорбционной способности псевдобенита

Чтобы проверить адсорбционные свойства псевдобемита как сорбирующего вещества был проведен следующий эксперимент: на стеклянную подложку наносится слой маслянистого вещества (рисунок 7а), сверху наносится электростатическим способом слой сорбента – псевдобемита (рисунок 7б). Через 20 мин снимается слой вещества. Для сравнения подготовлен такой же образец, но без нанесения сорбента. Оба образца протирают сухой мягкой тканью, после чего результаты сравнивают на прозрачность (рисунок 7 в, г).

На рисунке 7 г видно, что при распылении псевдобемита образец практически не содержит помутнений (остатки масла), в отличие от образца на рисунке 7в.

## ВЫВОДЫ

Проведен обзор существующих способов очистки воздуха и поверхностей помещений от вредных агентов (частиц аэрозоля, токсичных веществ, микроорганизмов). Для решения проблемы нанесения на вертикальные, наклонные и перевернутые поверхности наносорбентов и удержания их на этих поверхностях предложено использовать электрическое поле. В качестве модельного сорбента в работе использован распространённый коммерческий продукт – псевдобемит (гидроксид алюминия).

Проведены экспериментальные исследования по оценке проникновения нанопорошка псевдобемита в поверхности различного материала и конфигурации с применением электростатического напыления. На такие материалы, как стекло, металл, дерево и текстолит порошок наносится равномерно и держится продолжительное время. В контрольных экспериментах (без применения электрического поля) порошок на поверхностях не удерживался. Сорбционные свойства псевдобемита проверены в эксперименте по адсорбции маслянистого вещества. В результате чего при применении сорбирующего порошка (псевдобемита) был получен более чистый модельный образец, чем без нанесения сорбента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панасенко, А. И. Технология очистки от аэрозолей / А. И. Панасенко. – Донецк : ДВНЗ «ДОННТУ», 2008. – 119 с. – ISBN 978-966-377-066-6.
2. Белоусов, В. В. Теоретические основы процессов газоочистки / В. В. Белоусов. – М. : Металлургия, 1988. – 256 с.

3. Lerner M., Loghkomoyev A., Pehenko V., Psakhye S. Application inorganic nanopowder for sorption microorganisms II Russian-German Conference of the Koch-Metchnikov-Forum, Tomsk, 9-12 September, 2007. – Tomsk, Abstract book., 2007. – P. 221.

4. Пат. 8084662 США, МКИА62D 3/37. Method for degrading chemical warfare agents using Mn(VII) oxide with-and-without solid support / Rajan K. Vempati, Edward R. Biehl, Ramesh S. Hegde, David Y. Son. – №11/1241742; заявлено 09.05.2005; опубл. 27.12. 2011, Бюл. № 36. – 5 с.

5. Пат. 8034253 США, МКИС09К 3/00, А62D 3/00, С01В 7/00, С11D3/39 Decontaminant / Bruce F. Monzyk, Russell R. Greene, Chad M. Cucksey, John A. McArthur, F. Michael Von Fahnstock, Steven C. Lorence, Michael J. Murphy, Brian J. Blackstone, Thomas A. Malloy, IV. – № 11/718,851; заявлено 14.11.2005; опубл. 14.11.2005, Бюл. №32 – 8 с.

6. Кудряшова, О. Б. Распыление нанопорошков для адсорбции токсичных веществ / О. Б. Кудряшова, М. Ю. Степкина, Н. В. Коровина, А. А. Антонникова, Е. В. Муравлев, А. А. Павленко // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 808–813.

**Степкина М.Ю.** – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории физики

*преобразования энергии высокоэнергетических материалов, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: tabric@mail.ru.*

**Кудряшова О.Б.** – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: olgakudr@inbox.ru.

**Муравлев Е.В.** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: evvimv@gmail.com.