

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ КОМПАКТИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

Е.В. Муравлев, А.А. Павленко, И.Р. Ахмадеев, О.Б. Кудряшова,  
М.Ю. Степкина, Н.В. Коровина

*В статье приведены данные о экспериментальных исследованиях импульсных процессов диспергирования компактированных порошков. Показана возможность дополнительного диспергирования порошков и создания облаков аэрозолей за малые (порядка 0,5 с) промежутки времени.*

*Ключевые слова: компактированные порошки, распылитель, дисперсность.*

### ВВЕДЕНИЕ

Аэрозоли с успехом используют во многих отраслях, так, например, в современной медицине – аэрозольной терапии и аэрозольной диагностике. Вдыханием аэрозолей некоторых лекарств и антибиотиков можно эффективно лечить ряд заболеваний. Аэрозольное лечение весьма рационально, поскольку в этом случае достаточно дорогостоящие лекарственные средства расходуются в меньшем количестве, чем при его употреблении в любой другой форме. Также, распыление облаков аэрозолей может применяться для нанесения покрытий на детали сложной формы и для тушения пожаров.

Перспективным методом создания облака мелкодисперсного аэрозоля является импульсный (за счет энергии высокоэнергетических материалов – ВЭМ). Такой метод обладает рядом преимуществ по сравнению с другими [1]. Это, во-первых, дешевизна и простота реализации, во-вторых, малые габариты распылителей, что позволяет реализовывать импульсный метод диспергирования на разных объектах без предварительной сложной подготовки [2].

Проведены экспериментальные исследования создания облаков мелкодисперсных аэрозолей из компактированных порошков импульсным (взрывным) методом.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В экспериментальных исследованиях использовалась следующая аппаратура:

– для регистрации геометрических размеров облака использовалась камера скоростной съёмки ВИДЕОСПРИНТ. Скорость записи – 500 кадров/с @1280x500;

– для регистрации тепловых потоков облака использовался тепловизор ThermoPro TP8. Скорость съёмки 50 кадров/с;

– регистрация дисперсных характеристик облака производилась с помощью установки ЛИД2-М с частотой регистрации 1000 Гц.

В ходе работы проводились экспериментальные исследования диспергирования порошков двух органических вещества (карбамид, карбид кальция). В качестве оснастки для импульсного диспергирования использовались распылители трех типов (рисунок 1) с массой ВЭМ 0,05 г.

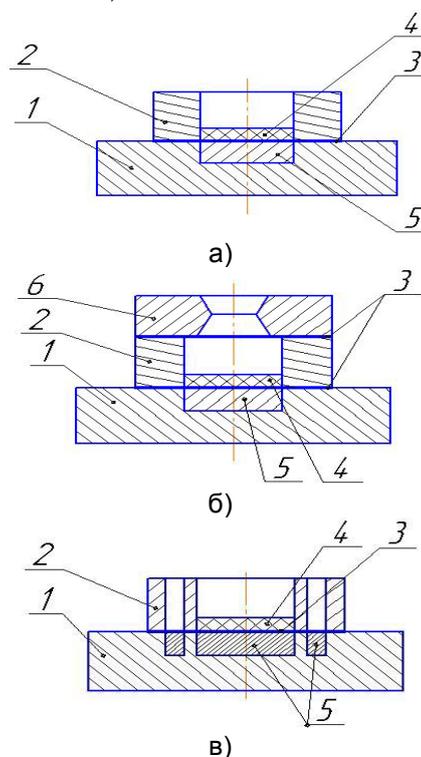


Рисунок 1 – Структурная схема распылителей  
а) – открытый; б) – с соплом;  
в) – с дополнительным радиальным зарядом

Подготовка образцов проводилась следующим образом:

Образец вещества измельчался с помо-

щью шаровой мельницы КМ-1, далее ситовым методом проводилась выборка порошка дисперсностью 0,063...0,1 мм.

Компактирование образцов проводилось на разрывной машине Р-0,05 с помощью штамповой оснастки.

Полученные образцы в виде таблеток (рисунок 2) массой 0,1 г. имеют размеры – диаметр 8 мм и толщина ~ 2 мм.



Рисунок 2 – Образец компактированного порошка

Испытания проводились следующим образом. В основание распылителя 1 укладывается заряд ВЭМ 5, закрывается мембраной 3, устанавливается корпус распылителя 2 (рисунок 1). На мембрану помещается образец порошка 4. При использовании распылителя (рисунок 1б) корпус 2 закрывается мембраной 3 и устанавливается сопло 6. При использовании распылителя (рисунок 1в) укладывается дополнительно кольцевой заряд ВЭМ (масса 0,05 г).

Экспериментальные исследования проводились с органическими веществами в разных агрегатных состояниях: насыпном и твердом (компактированном).

На рисунке 3 приведены кадры видеосъемки процесса диспергирования компактированного образца карбида.

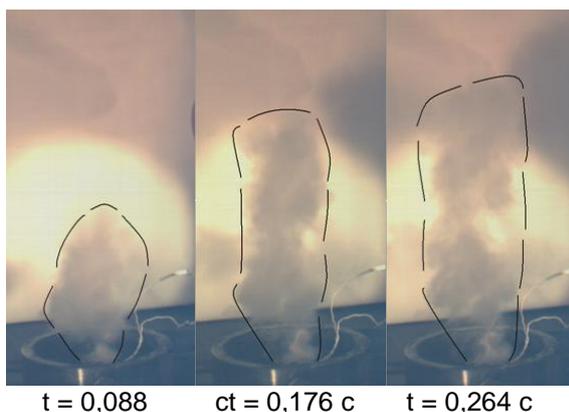


Рисунок 3 – Пример видеосъемки процесса диспергирования

Кадры тепловизионной съёмки приведены на рисунке 4.

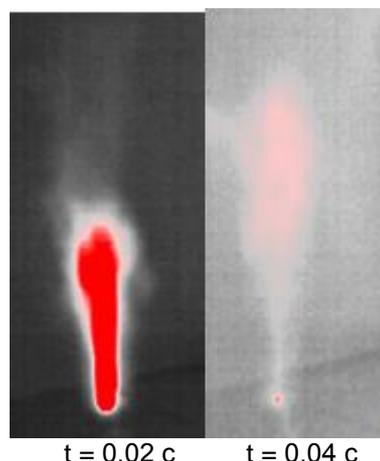


Рисунок 4 – Пример тепловизионной съёмки

На графиках (рисунок 5) приведены зависимости: скорость распространения фронта облака аэрозоля ( $u$ ) – время ( $t$ ); объем облака ( $V$ ) – время ( $t$ ); температуры облака ( $T$ ) – время ( $t$ ); для порошка (1) и компактированного образца (2) карбида кальция при открытом (рисунок 1а) генераторе.

Как видно из графиков, аэрозольное облако, полученное при диспергировании компактированного образца, распространяется в измерительном объеме с большей скоростью и с меньшей температурой, что может быть объяснено большим давлением форсирования, необходимым для разрушения образца.

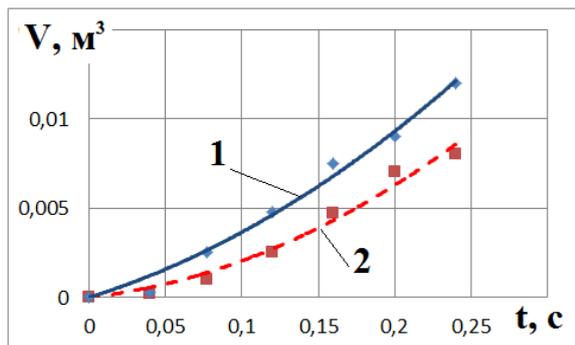
На рисунке 6 приведены гистограммы размеров частиц облака через 0,5 секунд от начала эксперимента.

Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что использование импульсного метода диспергирования приводит к дополнительному дроблению порошка с начальной дисперсности 0,063...0,1 мм до 0,001...0,02 мм.

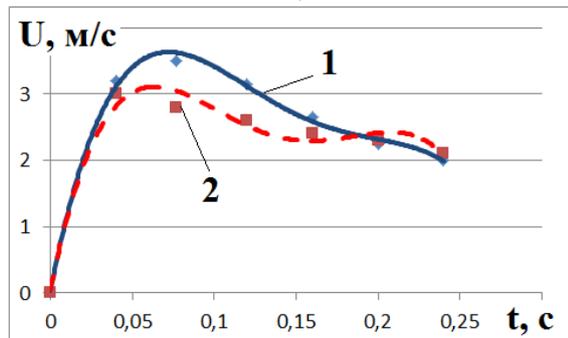
На рисунке 7 приведены зависимости объема облака и скорости распространения фронта от времени для различных веществ (карбида кальция и карбамида).

Из анализа графиков (рисунок 7) видно, что параметры облаков аэрозоля, получаемых в процессе диспергирования, практически не зависят от материала частиц.

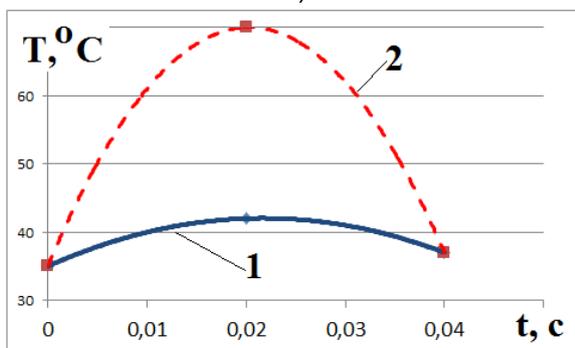
На рисунке 8 приведены сравнительные зависимости при различных вариантах конструкции распылителей (рисунок 1).



а)



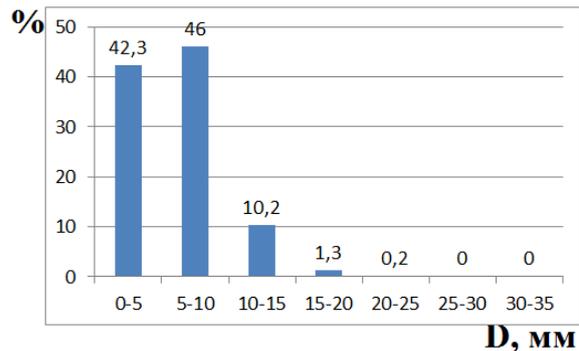
б)



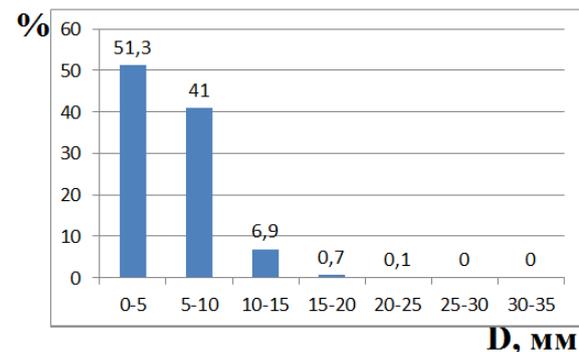
в)

Рисунок 5 – Зависимости объема (а), скорости (б), температуры (в) облака аэрозоля от времени при различных типах агрегатного состояния порошка 1 – компактированный образец; 2 – порошок

Анализируя графики на рисунке 8 при различных вариантах зарядания, можно сделать вывод, что объем и скорость распространения облака при использовании распылителя с дополнительным радиальным зарядом (рисунок 1в) больше (порядка 1,7 раз). Распылитель с соплом (рисунок 1б) вносит незначительное (порядка 10 %) увеличение скорости распространения облака.

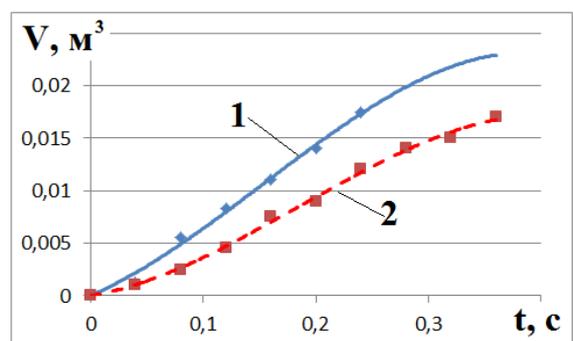


а)

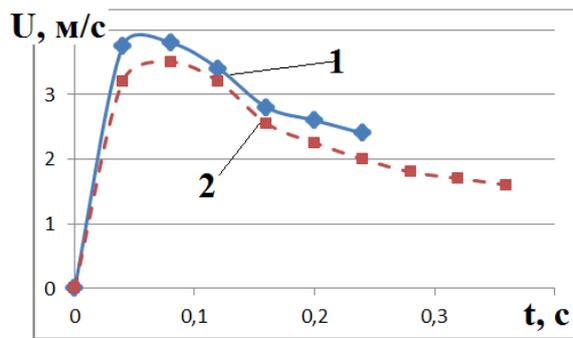


б)

Рисунок 6 – Размеры частиц после эксперимента а) – карбид кальция; б) – карбамид



а)



б)

Рисунок 7 – Зависимости  $V(t)$  и  $U(t)$  1 – карбамид; 2 – карбид кальция

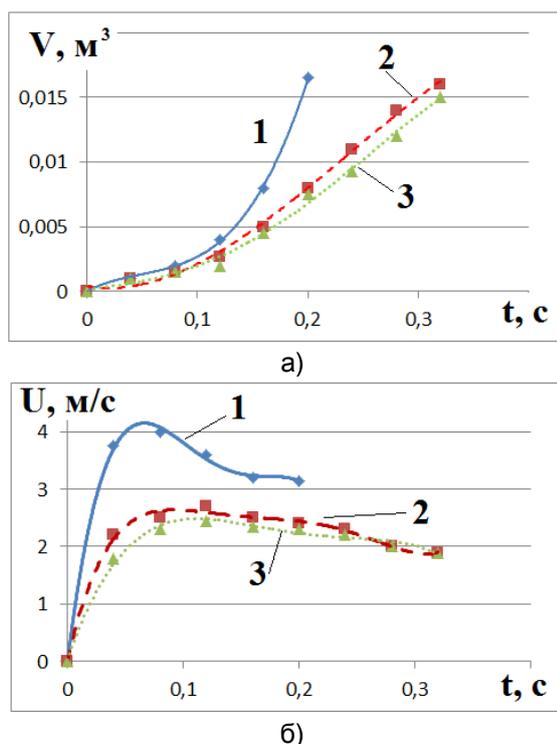


Рисунок 8 – Зависимости объема облака, скорости распространения от времени при различных типах распылителей  
1 – с радиальным зарядом; 2 – сопловым блоком; 3 – открытый

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Показана возможность диспергирования (измельчения) образцов органических веществ (размеры частиц уменьшается до 3 раз). Достоинством данного метода является создание большого объема облака, за короткий промежуток времени и практически мгновенное остывания облака (порядка 0,04 секунды) до температуры окружающей среды, что позволяет исключить воздействие нагрева на конечный продукт.

2. Разработаны конструкции распылителей и проведен сравнительный анализ их функционирования. При этом установлено, что использование распылителя с соплом увеличивает скорость движения фронта облака (на величину, порядка 10 %), а использование генератора с дополнительным радиальным зарядом увеличивает скорость распространения в 1,7 раза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант мол\_нр 16-38-50168).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшова, О. Б. Ударно-волновая генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей / О. Б. Кудряшова, Б. И. Ворожцов, Е. В. Муравлев // *Ползуновский вестник* № 4 Т.1 2016

равлев, А. Н. Ишматов, А. А. Павленко // *Ползуновский вестник*. – 2010. – № 4-1. – С. 95–100.

2. Ворожцов, Б. И. Экспериментальное моделирование взрывного диспергирования жидкости и порошков / Б. И. Ворожцов, О. Б. Кудряшова, Е. В. Муравлев и др. // *Известия вузов: Физика*. – 2008. – Т. 51, № 8/2. – С. 115–121.

**Муравлев Евгений Викторович**, 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), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, e-mail: evvimv@gmail.com, тел.: (3854) 30-58-47.

**Павленко Анатолий Александрович**, заведующий лабораторией физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, тел.: (3854) 30-58-47.

**Ахмадеев Игорь Радикович**, 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), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, тел.: (3854) 30-58-47.

**Кудряшова Ольга Борисовна**, 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), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, e-mail: olgakudr@inbox.ru, тел.: (3854) 30-58-47.

**Степкина Мария Юрьевна**, 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), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, e-mail: tabric@mail.ru, тел.: (3854) 30-58-47.

**Коровина Наталья Владимировна**, 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), Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, тел.: (3854) 30-58-47.