

# МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Шаптала В. Г., д-р техн. наук, проф.,

Шаптала В. В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ УЛОВИТЕЛЕЙ СЛИПАЮЩИХСЯ ПЫЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

ShaptalaVadim@yandex.ru

Простота конструкции, надежность и экономичность обусловили широкое применение центробежных пылеуловителей для очистки аспирационных выбросов. Однако, необходимым условием применения центробежных аппаратов для очистки аспирационных выбросов от слипающихся пылей является их оснащение надежными системами очистки (регенерации) осадительных поверхностей от пылевых отложений. Надежная и достаточно эффективная очистка отсасываемого воздуха в условиях силикатных производств достигается с помощью специально разработанного центробежного уловителя слипающихся пылей с механической системой регенерации осадительных поверхностей. Разработан метод расчета эффективности центробежных уловителей слипающихся пылей, позволяющий прогнозировать их технологические характеристики в зависимости от конструктивно-режимных параметров аппаратов и свойств осаждаемой пыли.

**Ключевые слова:** Слипающаяся пыль, центробежный пылесадитель, регенерация, гидравлическое сопротивление, эффективность пылеулавливания.

**Введение.** Пыли, выделяемые при производстве строительных материалов, такие как цементная, песчано-известковая, меловая и другие отличаются повышенными адгезионными и ауогезионными свойствами, что затрудняет их улавливание и транспортирование [1...3]. Так, устойчивая работа циклонов, используемых в качестве и уловителей слипающихся пылей в системах аспирации технологического оборудования, возможна лишь при наличии надежной системы регенерации их внутренних поверхностей, позволяющей периодически очищать их от пылевых отложений.

Известны различные способы и устройства для регенерации поверхностей пылесадительных устройств — механическая очистка, вибровстряхивание, обратная продувка пористых футеровок и др. [3...6].

Высокие эксплуатационные качества при улавливании слипающейся песчано-известковой пыли показали центробежные пылеуловители с цилиндрическим корпусом, осадительная поверхность которых выложена из упругих металлических пластин, размещенных внахлест одна с другой по направлению закрутки пылегазового потока (рис. 1) [4].

Для разрушения осевшего на внутренней поверхности аппарата слоя пыли с помощью специального привода пластинам сообщается возвратно-поступательное перемещение, приводящее к их выгибанию внутрь корпуса (рис. 1). Широкое использование разработанного пылеуловителя для очистки аспирационных выбросов сдерживалось отсутствием методов расчета его эффективности.

**Методология.** Технологические характеристики пылеуловителя установлены путем лабораторных и промышленных испытаний, выполненных с применением математического планирования эксперимента [5,6]. Математическое моделирование процесса осаждения частиц слипающихся пылей проводилось в рамках вероятностно-энергетического подхода [7].

**Основная часть.** Лабораторные исследования проводились на воздухе, искусственно запыленном с помощью пылепитателя песчано-известковой пылью, характерной для производства силикатного кирпича [1]. Плотность частиц пыли равнялась  $\rho = 2520 \text{ кг/м}^3$ , а ее дисперсный состав приведен в табл. 1.

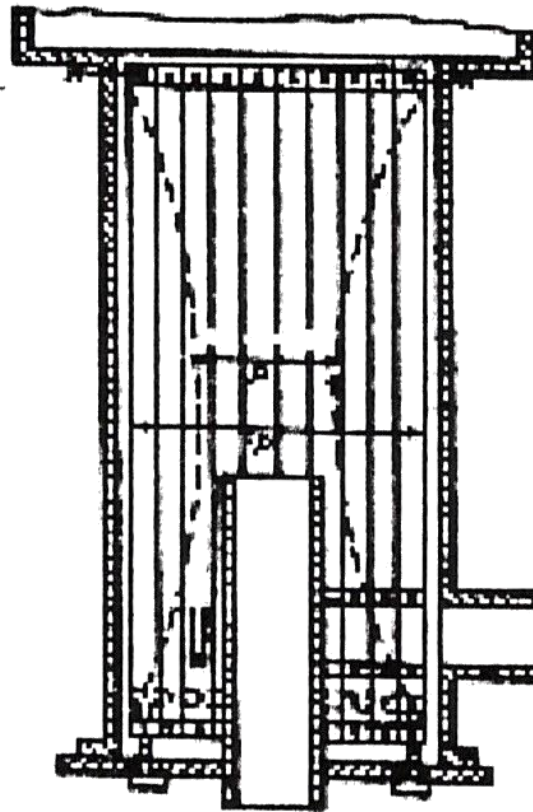


Рис. 1. Центробежный уловитель слипающей пыли

Таблица 1

Дисперсный состав песчано-известковой пыли

$(\delta_{i-1}, \delta_i)$ , мкм	<6.3	6.3-13	13-25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800
$\Delta D$	0.01	0.02	0.03	0.07	0.14	0.35	0.32	0.06

В процессе исследований определялась эффективность пылеуловителя в зависимости от его геометрических размеров, расхода, температуры и относительной влажности запыленного воздуха. Было установлено, что

основным фактором, влияющим на эффективность улавливания пыли, является скорость очищаемого воздуха в плане циклона (фиктивная скорость  $U_{\phi}$ , рис. 2.)

$\eta$

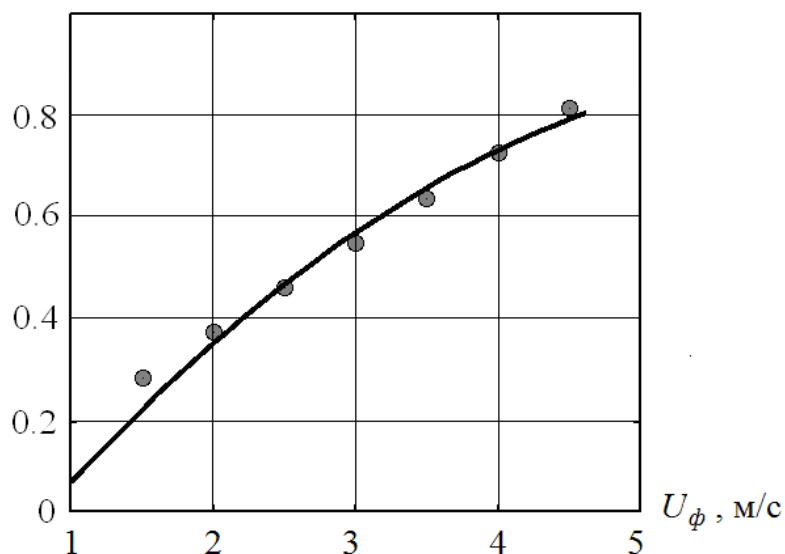


Рис. 2. Зависимость эффективности улавливания пыли от скорости воздуха в плане циклона

Кроме этого, исследовалось изменение гидравлического сопротивления аппарата в процессе его залипания. Установлено, что эффективность улавливания пыли и гидравлическое сопротивление пылеуловителя практически не меняются до образования пылеотложений толщиной до  $d = 5$  мм, после чего необходимо производить регенерацию осадительных поверхностей. Зависимость продолжительности образования пылеотложений от концентрации пыли показана на рис. 3.

Среднее значение коэффициента гидравлического сопротивления пылеуловителя равно  $\xi = 213$ .

Приведенные выше экспериментальные данные использовались для разработки методики расчета эффективности центробежных разгрузителей и уловителей слипающихся пылей, поскольку существующие методы расчета циклонов к ним не применимы, так как не учитывают особенностей осаждения слипающихся частиц. Эти особенности обусловлены специфическими свойствами слоя оосажденных частиц, которые исключают возможность упругого отскока частиц от осадительной поверхности, их измельчения и вторичного уноса.

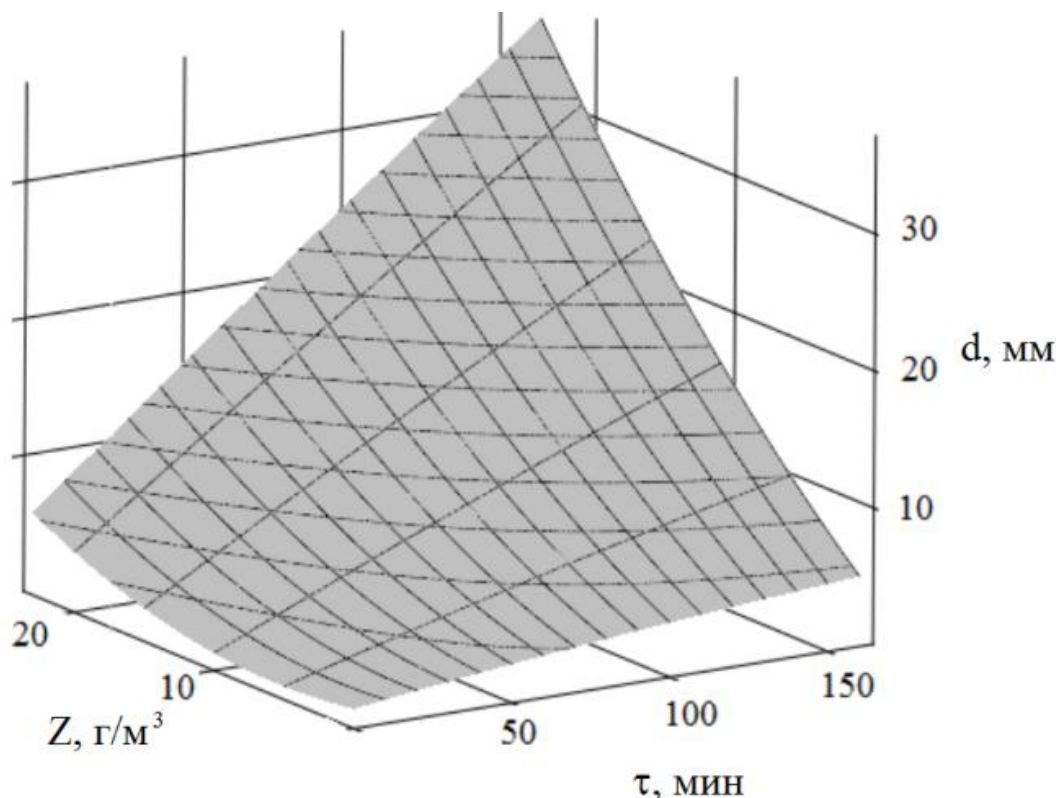


Рис. 3. Зависимость толщины пылеотложений  $d$  от времени  $\tau$  и концентрации пыли в очищаемом воздухе  $Z$

Полагая распределение частиц по размерам логарифмически-нормальным, а процесс их осаждения стохастико-детерминированным, выразим полный коэффициент осаждения пыли в следующем виде [7]:

$$\eta = \Phi(x), \tag{1}$$

где

$$x = \frac{\lg d_{0.5}/d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\sigma}}, \tag{2}$$

$\Phi(x)$  - интеграл вероятностей,  $d_{0.5}$  -

медианный размер улавливаемых частиц;  $\sigma_\sigma$  - среднее квадратическое отклонение;  $\sigma_\eta$  - среднее квадратическое отклонение фракционного коэффициента осаждения. Величина  $\sigma_\sigma$  может быть предварительно оценена с помощью соотношения:

$$\sigma_\sigma = \frac{d_{0.5}}{d_{0.16}} = \frac{d_{0.84}}{d_{0.5}} \tag{3}$$

а затем уточнена с помощью метода наименьших квадратов по всему дисперсному

составу пыли (табл. 1).

В формуле (3)  $d_{0.16}$  и  $d_{0.84}$  - размеры частиц, для которых интегральная функция распределения по проходу  $D(d)$  равна соответственно 0.16 и 0.84.

Поскольку соотношения конструктивных размеров разработанного уловителя налипающих пылей и цилиндрической части циклона ЦН-15 совпадают, то для параметра  $\lg \sigma_\eta$  принимается значение, установленное экспериментально для этих циклонов:  $\lg \sigma_\eta = 0.352$  [8]. Расчеты показывают, что значение параметра  $d_{50}$ , найденное экспериментально для циклона ЦН-15, для уловителей слипающихся пылей использоваться не может из-за специфических свойств осажденных частиц.

Так как определение  $\eta_{50}$  для уловителей слипающихся пылей в лабораторных условиях затруднительно, то был разработан косвенный способ определения этого параметра по зависимости  $\eta(U_\phi)$ , представленной на рис. 2. Суть способа состоит в следующем: по данным дисперсного анализа пыли определяются параметры  $d_{0.5}$  и  $\sigma_\eta$ . Так для песчано-известковой пыли, дисперсный состав которой приведен в табл. 1,  $d_{0.5} = 130$  мкм,  $\sigma_\eta = 2.3$  мкм. Затем эмпирическая зависимость  $\eta$  от  $U_\phi$  аппроксимируется аналитической зависимостью  $\eta(U_\phi)$  и вместе с параметрами  $d_{0.5}$  и  $\sigma_\eta$  подставляется в формулу (4), которая выводится из соотношений (1) и (2):

$$d_{50} = \frac{d_{0.5}}{10^{\Delta \cdot \Phi_\eta^{-1}(\eta(U_\phi) - 0.5)}}. \quad (4)$$

Здесь  $\Delta = \sqrt{\lg \sigma_\eta^2 + \lg \sigma_\eta^2}$ ;  $\Phi_\eta^{-1}$  - функция, обратная функции Лапласа  $\Phi_\eta$ :

$$\Phi_\eta = \Phi(x) - 0.5 \quad (5)$$

Известно, что эффективность инерционного осаждения частиц определяется критериями Стокса и Рейнольдса [9]. При моделировании центробежного осаждения вместо критерия Рейнольдса для пылегазового потока может быть использовано гидравлическое сопротивление пылеуловителя  $\xi$  [7]. Путем математической обработки приведенных выше экспериментальных данных и результатов

расчетов по формуле (4) была получена следующая критериальная зависимость для параметра  $d_{50}$ :

$$\frac{d_{50}}{d_{0.5}} = \frac{13.8 \cdot 10^{-3}}{(\xi \cdot Stk)^{1.81}}, \quad (6)$$

где  $Stk$  - число Стокса:

$$Stk = \frac{d_{0.5}^2 \rho_\eta U_\phi}{18 \mu D}, \quad (7)$$

$\mu$  - коэффициент динамической вязкости аспирируемого воздуха,  $D$  - внутренний диаметр пылеуловителя после регенерации осадительной поверхности.

Соотношения (1-7) вместе с зависимостью, представленной на рис. 3, определяют метод расчета эффективности центробежных осадителей слипающихся пылей с механической системой регенерации осадительной поверхности.

**Выводы.** В ходе экспериментальных исследований и натурных испытаний установлен рациональный режим работы центробежных уловителей слипающихся пылей. С использованием опытных данных в рамках вероятностно-энергетического подхода разработан метод расчета их эффективности. Этот метод позволяет прогнозировать технологические характеристики пылеуловителей и на их основе проектировать первые ступени очистки аспирационного воздуха в производстве строительных материалов.

*\*Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации НШ-588.2012.8 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов и изделий. Белгород: «Везелица», 2007. 512 с.
2. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Металлургия, 1978. 288 с.
3. Проектирование обеспыливающих систем/ В.А. Минко, М.И. Кулешов, М.Г. Абрамкин и др. Белгород, Изд-во БТИСМ, 1986. 76 с.

4. Наумов В.П., Минко В.А., Кулешов М.И., Шаптала В.Г. Авторское свидетельство № 1421417 СССР. Уловитель налипающей пыли. Бюл. Изобретений и открытий, 1988. № 33.

5. Селиванов Г.Г., Сергиенко Е.Н. Об эффективности улавливания слипающихся пылей в центробежных аппаратах/ Физико-математические методы исследования свойств строительных материалов и процессов их производства: сб. науч. трудов. М.: Изд-во МИСИ, БТИСМ, 1984. С. 100-108.

6. Селиванов Г.Г. Циклоны для очистки газов и воздуха от слипающихся пылей. Промышленная и санитарная очистка газов.

1984. № 1. С.48-53.

7. Вальдберг А.Ю., Кирсанова Н.С. Практическая реализация вероятностно-энергетического метода расчета центробежных пылеуловителей. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1994. № 9. С. 26-29.

8. Справочник по пыле- и золоулавливания. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков. Под общ. Ред. А.А. Русанова. М.: Энергоатомиздат, 1983. - 312 с.

9. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности. СПб.: Химия, 1993. 320 с.