

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ  
В ПРОЦЕССАХ РЕЗКИ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ****Беспалова А.В.**, к.т.н., доцент,*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
bepalova-a-v@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3713-0610

**Аннотация.** Разрезание камня для строительных работ осуществляется алмазными дисковыми кругами, скорость резания которых составляет 35...50 м/с. Ввиду высокой интенсивности процесса резания и интенсивного микро стружкообразования, процесс разрезания твердых строительных материалов сопровождается значительным пылеобразованием. Определена концентрация пыли в рабочем пространстве в размере  $4,8 \cdot 10^8$  шт/м<sup>3</sup> за время рабочего цикла разрезания, что позволяет в каждом конкретном случае формулировать требования предъявляемые к средствам индивидуальной и коллективной защиты работников. Доказано, что при производственной высоте около 2 м в течение рабочего цикла (около 3 минут) пыль оставаться на уровне около 1,5 м, то есть практически в рабочей зоне.

**Ключевые слова:** алмазный разрезной круг, концентрация пыли, скорость резки, время седиментации, размеры частиц.

**Введение.** В процессе ремонта и реставрации зданий часто приходится укреплять сооружения, имеющие большие разрушения. При этом в стены, фундаменты и перекрытия вводятся вспомогательные конструкции, для чего в них приходится прорезать проемы и гнезда, куда заводятся усиливающие элементы. Такие работы часто выполняются в известняк-ракушечнике, бетоне, граните, базальте путем разрезания или проделывания прорезей под необходимый размер отрезными кругами из синтетического алмаза и кубического нитрида бора (СА и КНБ). Разрезание твердых строительных материалов осуществляется дисковыми алмазными кругами и кругами из КНБ скорость вращения, которых, а, следовательно, и скорость резания составляет 35–50 м/с. Ввиду высокой интенсивности процесса резания и интенсивного микро стружкообразования, процесс разрезания сопровождается значительным пылеобразованием, что указывалось в работе [1]. Концентрация пыли в рабочем пространстве не может быть охарактеризована только минутной концентрацией. Процесс разрезания длительный, по крайней мере, несколько минут. Если разделить пыль на минутные порции, то очевидно, что после того, как поступила первая порция, она некоторое время частично находится в воздухе. Во время ее нахождения в воздухе в рабочее пространство поступает вторая порция пыли, а затем третья и т.д. Таким образом, чем более длительное время осаждения пыли, тем будет выше ее концентрация в рабочем пространстве.

Разумнее для определения всех этих зависимостей иметь математические модели выброса пыли, скорости ее оседания и времени оседания в зависимости от вышеперечисленных факторов.

**Анализ последних публикаций.** В настоящее время имеются теоретические модели оседания пыли. Так работе [2] приведены математические модели оседания пыли, которые учитывают различные силы, которые действуют на пылинку во время ее витания в воздухе. Однако расчеты относятся к пыли, выбрасываемой из дымовых труб значительной высоты 40 – 50 м. Таким образом, речь идет скорее о частицах сажи. Не учитывается форма частиц, известно, что основная форма частиц – хлопьевидная. Не рассматривается минеральный состав пыли и зависимость скорости седиментации от этого состава.

В работе [3] имеются математические модели седиментации пыли в производственных

цехах строительных предприятий, однако без источников генерации пыли. Высота, с которой осажается пыль, конкретно не указана, однако авторы рассматривают форму пылинок, хотя основные расчеты проводятся для пылинок сферической формы. Рассмотрен один вид материала – минеральная вата. Патогенные свойства этого вида пыли очень высоки, однако пыль другого минерального состава не рассмотрена.

В работе [4] имеются модели оседания пыли в вентиляционных каналах. Авторы постарались учесть все виды сил, которые действуют на пылинку во время ее нахождения в воздухе. Математические модели в основном учитывают сферическую форму частиц. Минеральный состав пыли также не рассмотрен.

В работе [5] рассмотрены скорости оседания частиц из различного материала – минералов, биоматериалов, биоминералов в воде. Математический аппарат учитывает все силы, действующие на частицу, однако среда в которой происходит осаждение отличается от воздушной среды, хотя основные закономерности и сохраняются.

В работе [6] рассматриваются вопросы осаждения минеральной пыли из атмосферы в Японии. Используются спутниковые наблюдения с дистанционным зондированием. Работа имеет экологический аспект. Исследуются зависимости осаждения пыли от временных и пространственных факторов. В работе используются спутниковые наблюдения, и она может рассматриваться как экспериментальная. Скорости осаждения пыли могут быть сопоставлены с полученными теоретически.

**Цель исследований.** Цель работы – выполнить аналитическое исследование изменения концентрации пыли, образующейся при абразивном разрезании каменных конструкций, в зависимости от скорости ее оседания, являющейся функцией размеров и формы пылинки, разрезаемого материала, температуры и влажности окружающей среды.

**Материалы и методика исследований.** При исследованиях применялись следующие методы: имитационное моделирование, математического моделирования, теория вероятности и математической статистики; графические методы, положения теории оптимального управления; методики статистического планируемого эксперимента.

**Результаты исследований.** Общее векторное уравнение движения частицы имеет вид:

$$\begin{aligned} m_p \frac{d\mathbf{v}}{dt} &= \mathbf{F}, \\ \frac{d\mathbf{R}_p}{dt} &= \mathbf{v}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $m_p$  – масса частицы;

$\mathbf{R}_p$  – радиус вектор координаты частицы;

$\mathbf{F}$  – вектор сил, действующих на частицу.

В гравитационном поле на частицу (как покоящуюся, так и движущуюся) действуют сила тяжести  $F_g = \rho_p V_p g$  и сила Архимеда  $F_A = -\rho V_p g$ , которые записывают как сумму сил:

$$F_B = (\rho_p - \rho) V_p g,$$

где  $V_p$  – объем частицы;

$g$  – вектор ускорения свободного падения;

$\rho_p, \rho$  – плотность материала частицы и плотность дисперсионной среды соответственно.

Сила вязкого сопротивления среды:

$$\mathbf{F}_S = -C_D \frac{\rho S_m}{2} |\mathbf{u}_R| \mathbf{u}_R,$$

где  $S_m$  – площадь миделева сечения тела (максимальная площадь сечения тела в плоскости, перпендикулярной направлению его движения);

$\mathbf{u}_R = \mathbf{v} - \mathbf{u}$  – вектор скорости относительного движения тела и несущей среды;

векторы  $\mathbf{v}, \mathbf{u}$  – скорости частицы и несущей среды соответственно;

$C_D$  – эмпирический коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса  
 $Re = \frac{\rho |\mathbf{u}_R| d_p}{\mu}$ ,

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости дисперсионной среды, если выразить его через коэффициент кинематической вязкости  $\nu = \mu/\rho$ , то число Рейнольдса примет вид:

$$Re = \frac{|\mathbf{u}_R| d_p}{\nu};$$

$d_p$  – диаметр частицы.

Подставляя все значащие для рассматриваемой задачи силы в уравнение (1), можно получить дифференциальное уравнение движения частицы для каждой конкретной задачи.

В случае частиц с малой инерционностью скорость дисперсной фазы определяется из динамического баланса сил, действующих на частицы. Таким образом, нет необходимости решать полные дифференциальные уравнения движения, а достаточно рассмотреть уравнение динамического баланса сил.

Рассмотрим так называемую модель дрейфа частицы, т.е. будем исходить из следующих предположений:

- движение частицы определяется силой Архимеда  $F_A$  и силой сопротивления  $F_S$ ;
- вектор скорости частицы в начальный момент времени параллелен вектору ускорения, вызываемого силой Архимеда  $F_A$ ;
- взаимодействие между частицами отсутствует.

С учетом вышеприведённых предположений уравнение движения одиночной частицы можно представить в следующем виде:

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -C_D \frac{\rho S_m}{2} |\mathbf{v}| \mathbf{v} + (\rho_p - \rho) V_p \mathbf{g}. \quad (2)$$

Траектории пылевых частиц строим на основании интегрирования методом Рунге-Кутты уравнений движения (1), которые для двумерного случая, с учетом, что скорость среды нулевая, запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dv_i}{dt} &= -C_D \frac{\rho S_m}{2m_p} |v| v_i - \frac{(\rho_p - \rho)}{m_p} V_p g_i \delta_{i2}, \quad |v| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \\ \frac{dx_i(t)}{dt} &= v_i(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x_i(t)$  – координаты положения частицы;

$v_i(t)$  – скорость частицы;

$\delta$  – символ Кронекера.

С начальными условиями  $x_i(0) = 0, i = 1, 2, \{v_1(t), v_2(t)\}|_{t=0} = \{v_1^0, v_2^0\}$ .

В случае сферической частицы система (3) запишется так:

$$\begin{aligned} \frac{dv_i}{dt} &= -C_D \frac{3}{4d_p} |v| v_i - \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho_p} g_i \delta_{i2}, \quad |v| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \\ \frac{dx_i(t)}{dt} &= v_i(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Численные исследования зависимости скорости частиц и высоты, на которую они поднимаются в зависимости от геометрических параметров частицы, представлены на рис. 1.

Настоящие и последующие расчеты проведены для условий: атмосферное давление 100 кПа, влажность воздуха 60...80 %. При этих условиях обычно производятся работы и колебания плотности воздуха при этом незначительны.

Из вышеприведенных графиков видно, что в определенный момент времени скорость частицы падет до нуля и частица переходит в так называемое взвешенное состояние.

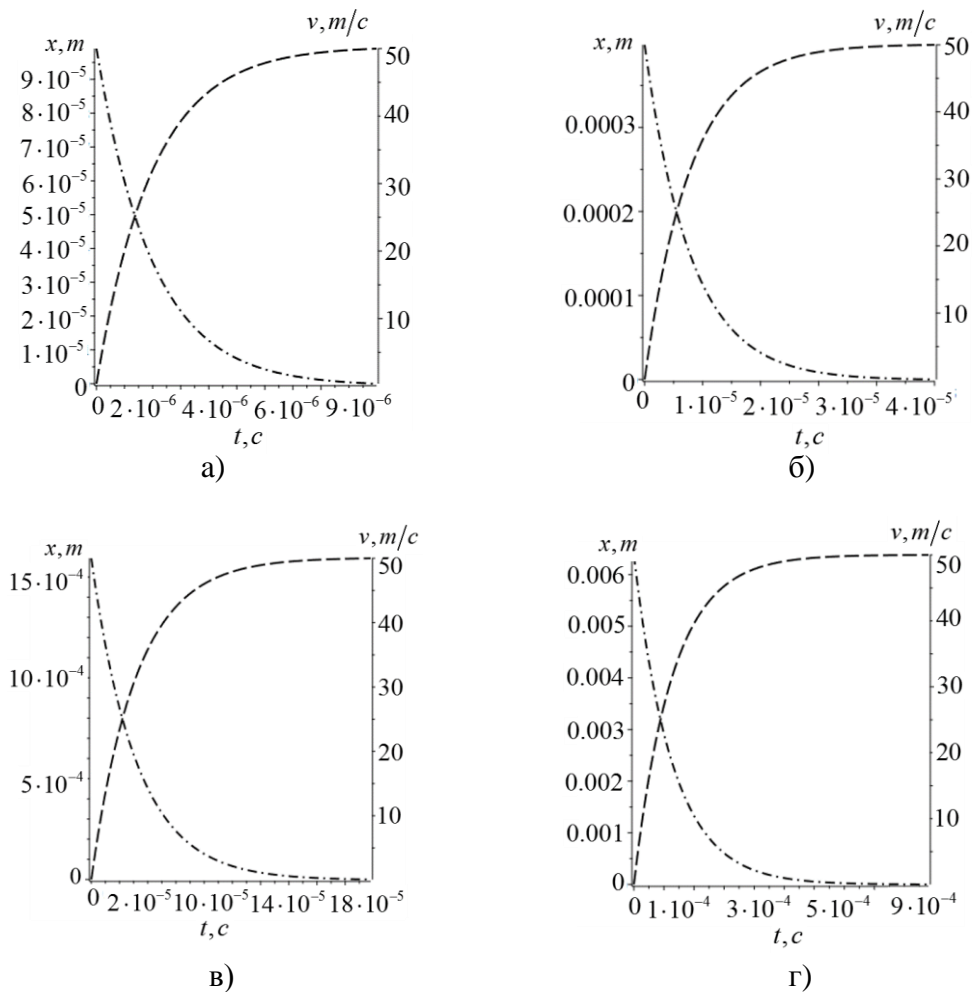


Рис. 1. Зависимости скорости частиц и высоты подъема в зависимости от времени и диаметра частицы  $d_p$ :

----- – скорость частиц; -·-·-·- – высота вылета частиц; материал – базальт;  
 а –  $d_p = 0.5\mu m$ ; б –  $d_p = 1\mu m$ ; в –  $d_p = 2\mu m$ ; г –  $d_p = 4\mu m$

*Скорость и время оседания частиц.* Основным условием, необходимым для нахождения частицы во взвешенном состоянии, а, следовательно, определения оседания частиц является условие динамического баланса сил (2), которое в случае гравитационного оседания частиц, т.е. в стационарном режиме ( $dv/dt=0$ ), может быть представлено следующим образом:

$$-C_D \frac{\rho S_m}{2m} |v_s| v_s + \frac{\rho_p - \rho}{m} V_p g = 0, \quad (5)$$

где  $v_s$  – скорость стационарного осаждения частицы (скорость седиментации).

Используя решение уравнения (3), можно определить такие характеристики как время седиментации  $t_s$  и длина седиментации  $l_s$  следующим образом:

$$t_s = \frac{\rho}{\rho - \rho_p} \frac{v_s}{g}, \quad l_s = v_s t_s. \quad (6)$$

Скорость седиментации можно рассматривать в качестве масштабной характеристики, характеризующей скорость движения частицы в сопротивляющейся среде.

*Влияние формы частицы на скорости осаждения.* Форма частиц дисперсной фазы может отличаться от сферической (снежинки, многогранники, эллипсоиды, пластины, волокна и так далее).

Каждий метод определения размера основан на измерении различных физических характеристик частиц (максимальная длина, минимальная длина, объем, площадь поверхности и т.д.), и, как следствие, размеры, полученные разными методами, будут различаться. При этом ошибочных результатов нет – каждый ответ субъективно корректен – он отражает физически измеряемую характеристику.

Для несферических частиц в [7] была предложена формула для  $C_D$  с учетом фактора сферичности  $\Phi_p$ :

$$C_D = \frac{24}{Re} \left[ 1 + \frac{3}{16} Re + \frac{9}{160} Re^2 \ln(2 Re) + \frac{10(1 - \Phi_p)}{\Phi_p} Re^{0.35} \right], \quad Re < 2, \quad (7)$$

где  $\Phi_p = \pi(6V_p/\pi)^{2/3} S_p^{-1}$ ;

$V_p$  – эквивалентный объем частицы.

Для частиц сложной формы трудности, возникающие при сопоставлении динамических и геометрических параметров частиц, могут быть преодолены путем замены реальных частиц близкими по форме эллипсоидами.

Рассмотрим частицу в форме вытянутого эллипсоида:

$$\Omega: x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/b^2 = 1, \quad a > b, \quad (8)$$

$$V_p = 4\pi ab^2/3, \quad S_p = 2\pi b^2(1 + \lambda e^{-1} \arcsin(e)), \quad \lambda = a/b > 1, \quad e = a^{-1} \sqrt{a^2 - b^2},$$

где  $V_p$  – объем частицы;

$S_p$  – площадь поверхности частицы.

Тогда, фактор сферичности  $\Phi_p$  запишется так:

$$\Phi_p = \Phi_p(\lambda) = 2\lambda^{2/3} (1 + \lambda^2(\lambda^2 - 1)^{-1/2} \arcsin \sqrt{1 - \lambda^{-2}})^{-1}. \quad (9)$$

Проецируемая площадь  $A_p$  будет зависеть от ориентации главной оси эллипсоида относительно вертикали. Ориентация будет зависеть от начальных условий, инерции частицы и условий окружающей среды. Если мы рассмотрим поворот  $\theta$  в плоскости  $(x, y)$ , имеем в проекции эллипс  $a_{proj}(\theta) = a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta$ . Для случайно ориентированных частиц проецируемая площадь  $A_p$  заменяется сферически усредненным значением:

$$\hat{A}_p = [4 \int_0^{\pi/2} \pi b a_{proj}(\theta) d\theta] [4 \int_0^{\pi/2} d\theta]^{-1} = 2baE(e), \quad (10)$$

где  $E(e)$  – полный эллиптический интеграл второго рода.

Окончательно получим выражение для эквивалентного диаметра  $d_{pe}$ , как функцию от  $\lambda$ :

$$d_{pe} = d_{pe}(\lambda) = 2(S_p/\pi)^{1/2} = 2b(1 + \frac{\lambda^2}{(\lambda^2 - 1)^{1/2}} \arcsin \sqrt{1 - \lambda^{-2}})^{1/2} = b\Psi_d(\lambda). \quad (11)$$

Подставляя полученные выражения в уравнение баланса сил (5), получим:

$$v_s = \frac{(\rho_p - \rho) d_p V_p g}{12 \mu S_m} = \frac{(\rho_p - \rho) \pi d_p^2}{18\mu \Psi_d(\lambda) E(e)}, \quad Re < 1, \quad (12)$$

$$\left[ 1 + \frac{3}{16} \left( \frac{\rho v_s d_p(\lambda)}{\mu} \right) + \frac{9}{160} \left( \left( \frac{\rho v_s d_p(\lambda)}{\mu} \right) \right)^2 \ln \left( \frac{2\rho v_s d_p(\lambda)}{\mu} \right) + \frac{10(1 - \Phi_p(\lambda))}{\Phi_p(\lambda)} \left( \frac{\rho v_s d_p(\lambda)}{\mu} \right)^{0.35} \right] v_s = \frac{(\rho_p - \rho) d_p^2(\lambda) \pi g}{18\mu E(e) \Psi_d(\lambda)}, \quad 1 < Re < 2. \quad (13)$$

Уравнение (13) является нелинейным относительно  $v_s$  и его необходимо решать численно.

На рис. 2 представлена залежності швидкості осадження частини (см/ч) від її геометричних параметрів і температури  $T, ^\circ\text{C}$  при атмосферному тиску для випадку  $Re < 1$ .

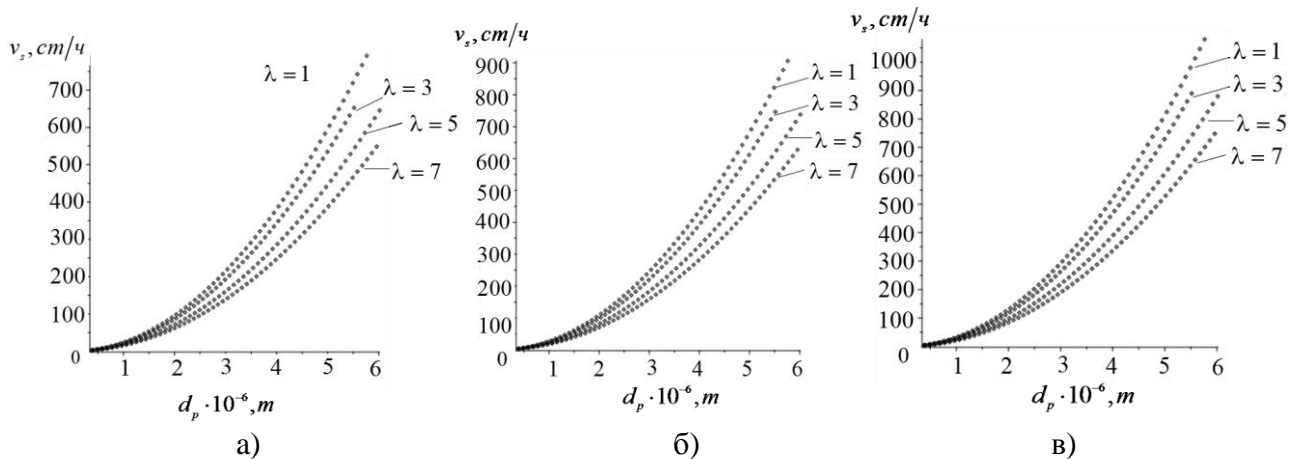


Рис. 2. Залежності швидкості осадження (см/ч) від геометричних параметрів частини і температури оточуючої середовища. При  $\lambda=1$  (сферична частинка) бралися діаметри  $d_p = 0,4 \dots 6 \mu\text{m}$ , а при  $\lambda=3, 5, 7$ , величина  $b$  підбиралася так, щоб  $d_{pe} = d_{pe}(\lambda) = 0,4 \dots 6 \mu\text{m}$ .  
Різнаємий матеріал – базальт; а –  $T = 20^\circ\text{C}$ ; б –  $T = 40^\circ\text{C}$ ; в –  $T = -20^\circ\text{C}$

На рис. 3 представлені залежності швидкості осадження в залежності від матеріала і геометричних параметрів частини при атмосферному тиску для випадку  $Re < 1$ .

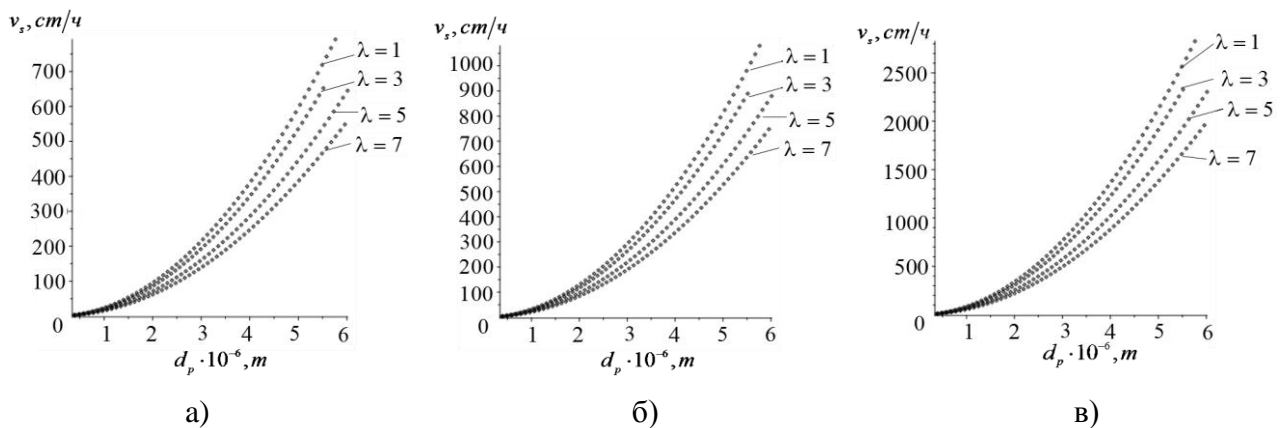


Рис. 3. Залежності швидкості осадження (см/ч) від виду різняємого матеріала і геометричних параметрів частини:  
а – бетон ( $\rho_p = 2200 \text{ кг/м}^3$ ); б – граніт ( $\rho_p = 3000 \text{ кг/м}^3$ ); в – сталь 40x ( $\rho_p = 7850 \text{ кг/м}^3$ )

**Висновки.** Результати розрахунків показують, що швидкість седиментації частинок значно залежить від форми. Чим вище сферичність, тим вище швидкість седиментації. Температурний стан оточуючої середовища мало впливає на швидкість осадження, в будь-якому випадку, в прийнятному діапазоні температур, при яких може відбуватися робота. Це можна пояснити незначительним зміною густоти повітря, в результаті чого сила опору середовища і архімедова сила змінюються незначительно.

Швидкість осадження частинок пилу, генерованої при різанні найбільш поширених будівельних каменних матеріалів, також відрізняється незначительно. Так, практично однакову швидкість осадження мають частинки пилу, отримані при різанні базальта і бетону.

Несколько выше скорость оседания частицы из гранита. Это можно объяснить тем, что структура этих материалов хрупкая, в результате чего пылинки имеют похожую форму и на скорость оседания влияет только плотность, которая различается незначительно.

Что касается частиц стружки-пыли при разрезании стальной арматуры, то здесь явно видно влияние более высокой плотности стали.

Скорость осаждения частиц сгенерированной пыли, учитывая реальную форму при деформации скалывания ( $\lambda = 5...7$ ) составляет для частиц размером 6 мкм примерно 600...700 см/час или 10...11 см/мин. Это означает, что при высоте производства работы порядка 2 м (200 см) за время рабочего цикла (примерно 3 мин) пыль останется на высоте порядка 1,5 м, т.е. практически останется в рабочей зоне. Это дает основание утверждать о высокой концентрации пыли (как указано порядка  $4,8 \cdot 10^8$  шт./м<sup>3</sup>).

Следует отметить, что в расчет принимались частицы размером 4...6 мкм. Так при уменьшении размеров пылинок с 6 до 2 мкм, т.е. в 3 раза, скорость оседания уменьшается в 7 раз.

В каждый модельный момент времени  $\Delta t = 1$  с в рабочую зону поступает  $4,6 \cdot 10^5 ... 2,8 \cdot 10^6$  частиц различного диаметра.

Получено, что минутная концентрация пыли при резке твердых строительных материалов (при размерах рабочей зоны  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  м = 0,125 м<sup>3</sup>) находится в пределах  $0,28 \cdot 10^8 ... 1,68 \cdot 10^8$  шт./м<sup>3</sup>, т.е. за время разрезания 3 мин получим концентрацию  $0,84 \cdot 10^8 ... 4,8 \cdot 10^8$  шт./м<sup>3</sup>. Диапазон размеров пылинок составляет 0,35–6 мкм.

Достоинством аналитического исследования можно считать то, что математические модели дают возможность оценивать генерацию пыли при разрезании различных материалов, например, керамической плитки из оксидов алюминия и циркония.

Перспективами дальнейших исследований должны стать способы и устройства, позволяющие повысить производительность и эффективность процесса разрезания, снизить патогенное воздействие мелких фракций пыли на организм человека путем применения более совершенных методов защиты.

### Литература

1. Bezpaloa A. Investigation of the formation process of hazardous and harmful production factors when cutting a stone for construction works / A. Bezpaloa, V. Lebedev // EUREKA: Physics and Engineering, 5(12), 2017. – pp. 30-38.
2. Мущенко В.Л. Расчет скорости падения частиц пыли и оценка степени влияния различных сил, действующих на частицу / В.Л. Мущенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного ун-та. – Воронеж: ВГАСУ, 2009. – Вып. 2. – С. 58-63.
3. Азаров В.Н. Теоретические исследования скорости осаждения мелкой пыли в воздухе рабочих помещений предприятий машиностроения и строительной промышленности / В.Н. Азаров, О.И. Бессараб, О.В. Кабаев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного ун-та. – Волгоград: ВолГАСУ, 2010. – Вып. 17(36). – С. 102-105
4. Ran G. Modeling deposition of particles in vertical square ventilation duct flows / G. Ran, L. Angui // Building and Environment, 2011. – vol. 46. – pp. 245-252.
5. Federico M. The settling velocity of mineral, biomineral and biological particles and aggregates in water / M. Federico // Journal of geophysical research: oceans, 2013. – vol. 118. – pp. 1-15.
6. Clift R. Bubbles, Drops, and Particles / R. Clift, J. Grace, M. Weber // Academic Press, 1978. – 380 p.
7. Zhaolin G. Numerical Simulation of Dust Lifting within Dust Devils / G. Zhaolin, Z. Yongzhi. – Journal of the atmospheric sciences «Simulation of an Intense Vortex», 2006. – vol. 63. – pp. 263-264.



## References

- [1] A. Bezpalova, V. Lebedev, "Investigation of the formation process of hazardous and harmful production factors when cutting a stone for construction works". *EUREKA: Physics and Engineering*, 5(12), pp. 30-38, 2017.
- [2] B.L. Mushchenko, "Raschet skorosti padeniya chasticz py`li i ocenka stepeni vliyaniya razlichny`kh sil, dejstvuyushhikh na chasticzu", *Nauchny`j vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel`nogo un-ta*, Voronezh, VGASU, vol. 2, pp. 58-63, 2009.
- [3] V.N. Azarov, O.I. Bessarab, O.V. Kabaev, "Teoreticheskie issledovaniya skorosti osazhdeniya melkoj py`li v vozdukhie rabochikh pomeshhenij predpriyatij mashinostroeniya i stroitel`noj promy`shlennosti", *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel`nogo un-ta*, Volgograd, VolgASU, vol.17 (36), pp. 102-105, 2010.
- [4] G. Ran, L. Angui, "Modeling deposition of particles in vertical square ventilation duct flows", *Building and Environment*, vol. 46, pp. 245-252, 2011.
- [5] M. Federico, "The settling velocity of mineral, biomineral and biological particles and aggregates in water", *Journal of geophysical research: oceans*, vol. 118, pp. 1-15, 2013.
- [6] R. Clift, J. Grace, M. Weber. *Bubbles, Drops, and Particles*. Academic Press, 1978.
- [7] G. Zhaolin, Z. Yongzhi, "Numerical Simulation of Dust Lifting within Dust Devils", *Journal of the atmospheric sciences "Simulation of anIntense Vortex"*, vol. 63, pp. 263-264, 2006.

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОУТВОРЕННЯ В ПРОЦЕСАХ РІЗАННЯ КАМ'ЯНИХ МАТЕРІАЛІВ

Беспалова А.В., к.т.н., доцент

Одеська державна академія будівництва та архітектури  
bespalova-a-v@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3713-0610

**Анотація.** У процесі ремонту або реставрації будівельних конструкцій часто необхідно зміцнювати будівельні конструкції з вапняку-черепашнику, бетону, залізобетону, твердих матеріалів-граніту, базальту та т.д. шляхом різання або виготовлення надрізів необхідного розміру за допомогою знімного кола з синтетичного алмазу і кубічного нітриду бору.

Процес різання супроводжується значним утворенням пилу, що може бути як шкідливим, так і небезпечним фактором в роботі.

Метою даної роботи є проведення аналітичного дослідження зміни концентрації пилу, що утворюється при абразивної різки кам'яних конструкцій в залежності від швидкості її осідання, яка залежить від розміру і форми пилових частинок, матеріалу, що розрізається, а також від температури і вологості навколишнього середовища.

Були розроблені математичні моделі – викид пилу з-під диску, швидкість осадження частинок пилу в залежності від їх матеріалу, розміру і форми, а також в залежності від температури, тиску і вологості, концентрації пилу в робочому просторі і зміни концентрації під час розрахункового циклу різання.

Показано, що швидкість осадження частинок істотно залежить від форми. Чим вище сферичність, тим вище швидкість осідання. Температура навколишнього середовища мало впливає на швидкість осідання в діапазоні температур (-20 → + 40 ° С), при якому відбувається операція.

Швидкість осадження частинок пилу, що утворюються при різанні найбільш поширених матеріалів будівельного каменю, також незначно відрізняється. Практично однакову швидкість осідання мають частинки пилу, отримані при різанні базальту і бетону. Трохи вище швидкість осадження частинок з граніту. Концентрація пилу в робочому просторі була визначена в розмірі  $4,8 \cdot 10^8$  шт / м<sup>3</sup>.



Доведено, що при виробничій висоті близько 2 м протягом робочого циклу (близько 3 хвилин) пи́л залишатиметься на рівні близько 1,5 м, тобто практично в робочій зоні.

Перевагою аналітичного дослідження можна вважати те, що математичні моделі дозволяють оцінити утворення пи́лу при різанні різних матеріалів, наприклад, керамічної плитки, виготовленої з оксидів алюмінію і цирконію.

**Ключові слова:** алмазне розрізне коло, концентрація пи́лу, швидкість різання, час седиментації, розміри частинок.

## METHOD OF RESEARCH OF DUST FORMATION IN THE PROCESS OF CUTTING STONE MATERIALS

**Bespalova A.V.**, PhD., Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
bespalova-a-v@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3713-0610

**Abstract.** In the process of repair or restoration of building structures, it is often necessary to strengthen building structures from limestone-shell rock, concrete, reinforced concrete, hard materials-granite, basalt, etc. by cutting or making cuts of the required size with detachable circles of synthetic diamond and cubic boron nitride.

The cutting process is accompanied by considerable dust formation, which can be both harmful and dangerous factor in the work.

The aim of the work is to carry out an analytical study of the change in the concentration of dust produced during the abrasive cutting of stone structures, depending on its sedimentation rate, which is a function of the size and shape of the dust particle, the material being cut, and the temperature and humidity of the environment.

Mathematical models have been developed – dust emission from under the wheel, speed of sedimentation of dust particles depending on their material, size and shape, and also depending on temperature, pressure and humidity, the concentration of dust in the working space and the concentration change during the cutting cycle.

It is shown that the velocity of the sedimentation of particles depends significantly on the shape. The higher the sphericity, the higher the sedimentation rate. The ambient temperature has little effect on the sedimentation rate, in the temperature range ( $-20 \rightarrow +40$  °C) at which the operation takes place.

The sedimentation rate of dust particles generated by cutting the most common building stone materials also differs slightly. Almost the same sedimentation rate has dust particles obtained by cutting basalt and concrete. A bit higher is the sedimentation rate of particles from granite. The concentration of dust in the working space was determined in the amount of  $4,8 \cdot 10^8$  psc/m<sup>3</sup>.

It is proved that with a production height of about 2 m during the working cycle (about 3 minutes), the dust will remain at about 1.5 m, i.e. practically in the working area.

The advantage of the analytical study can be considered that mathematical models make it possible to evaluate the generation of dust when cutting various materials, for example, ceramic tiles made from aluminum and zirconium oxides.

**Keywords:** cutting of stone structures, dust formation, dust sedimentation, dust concentration, sedimentation rate, sedimentation time.

Стаття надійшла 15.05.2019