

УДК 331.45.001.85

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.116601

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЮ НА ЩЕБЕНОЧНОЙ АВТОДОРОГЕ

© О. В. Нестеренко, Т. А. Комиссаренко, Н. В. Домничев

В данном исследовании рассмотрены проблемы пылеподавления на щебеночной автодороге. Приведены расчеты описывающие положение и скорость частицы в момент ее движения. Рассмотрены решения по удержанию пыли, путем нанесения на полотно дороги растворов солей хлоридов, а также бишофита. Приведены сравнения эффективности связывания дорожной пыли водным раствором природного бишофита с раствором хлористого кальция и водой, влияние расхода бишофита на интенсивность пылевыделения из щебеночной смеси автодороги

**Ключевые слова:** проблемы пылеподавления, частица пыли, удержание пыли, аэрозольные частицы, бишофит, карьер.

## 1. Введение

При эксплуатации автотранспорта в карьере вредному воздействию пыли подвергаются не только автомобили и водители, но и горнорабочие, которые работают в непосредственной близости к дороге, поэтому борьба с пылением автодорог в карьере является актуальной задачей. Обрабатывать дороги целесообразно такими реагентами, которые, с одной стороны, способны достаточно длительное время удерживать пыль в связанном состоянии, а с другой стороны, быть достаточно дешевыми и недефицитными [1, 2]. Однако эффективные технологии обработки дорог со щебеночным покрытием базируются на использовании современных материалов (отходы производства целлюлозы, переработки нефтепродуктов и т.д.), которые производятся за пределами Украины, что является существенным сдерживающим фактором на пути их применения.

## 2. Литературный обзор

В конструкции щебеночных дорог, по которым перемещается горная масса автомобильным транспортом, предусмотрено наличие так называемого конструктивного слоя износа, который покрывает крупный щебень дорожного полотна [3]. Указанный слой, в свою очередь, формируется из отходов производства крупных фракций щебня [4], в состав которого входят пылевидные частицы. Эти частицы необходимы для омоноличивания (упрочнения) слоя износа. Так как полотно дороги при прохождении автомобиля постоянно прогибается, а материал находится в сложном напряженном состоянии, то для обеспечения заданной прочности конструктивного слоя износа в отсеве щебня должно присутствовать от 4 до 12 % пылевидных частиц [5]. Кроме этого в отсев дополнительно попадает до 80 % пылевидных частиц размером до 0,25 мм, образующихся при истирании колесами автомобилей даже прочных пород щебня [6, 7]. При этом сверхмалые частицы из этого состава коагулируются в агрегаты более 10 мкм и находятся на поверхности полотна дороги в псевдожидком состоянии.

При прохождении автомобилей вся масса пылевидных частиц приходит в движение и поднимается в воздух, загрязняя атмосферу.

## 3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработка практических методов по снижению пылеобразования на щебеночной автодороге.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– Провести анализ движение сферической аэрозольной частицы в однородном воздушном потоке.

– Осуществить анализ существующих решений по удержанию пыли, в т.ч. путем нанесения на полотно дороги растворов солей хлоридов, а также бишофита.

– Сравнение эффективности связывания дорожной пыли водным раствором природного бишофита с раствором хлористого кальция и водой.

## 4. Исследование эффективности связывания дорожной пыли водным раствором природного бишофита с раствором хлористого кальция и водой

Рассмотрим движение сферической аэрозольной частицы в однородном воздушном потоке. Для простоты будем учитывать только силу тяжести предполагается, что движение происходит только в стоковой области. Дифференциальное уравнение движения частицы имеет вид:

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} = 3\pi\mu d(\bar{u} - \bar{v}) + m\bar{q}\bar{G}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы;  $\mu$  – вязкость воздуха, при нормальных условиях  $\mu = 1,83 \cdot 10^{-4}$  г/м·с;  $d$  – диаметр частицы;  $\bar{u}$  – скорость воздушного потока вблизи частицы;  $\bar{v}$  – скорость центра тяжести частицы;  $\bar{G}$  – единичный вектор в направлении силы тяжести частицы.

Разделим обе части уравнения на  $3\pi\mu d$  и получим

$$\frac{m}{3\pi\mu d} \frac{d\bar{v}}{dt} + \bar{v} = \bar{u} + \frac{m\bar{q}}{3\pi\mu d} \bar{G}. \quad (2)$$

Введем обозначение

$$\tau = \frac{m}{3\pi\mu d} \quad (3)$$

и перепишем уравнение (2)

$$\tau \frac{d\bar{v}}{dt} + \bar{v} = \bar{u} + \tau q \bar{G}. \quad (4)$$

Отметим, что коэффициент  $\tau$  имеет размерность времени.

Для сферической частицы

$$m = \frac{\pi d^3 (\rho_r - \rho_e)}{6}, \quad (5)$$

где  $\rho_r$  – плотность вещества частицы;  $\rho_e$  – плотность воздуха.

Поскольку  $\rho_r \gg \rho_e$ , имеем

$$\tau = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2}{\mu} \cdot \rho_r. \quad (6)$$

Во всех этих уравнениях  $\bar{u}$  и  $\tau q \bar{G}$  – два вектора. Сложение этих постоянных векторов даст один постоянный вектор  $\bar{v}$  (рис. 1), величина которого будет равна сумме векторов  $\bar{v} = \bar{u} + \tau q \bar{G}$ .

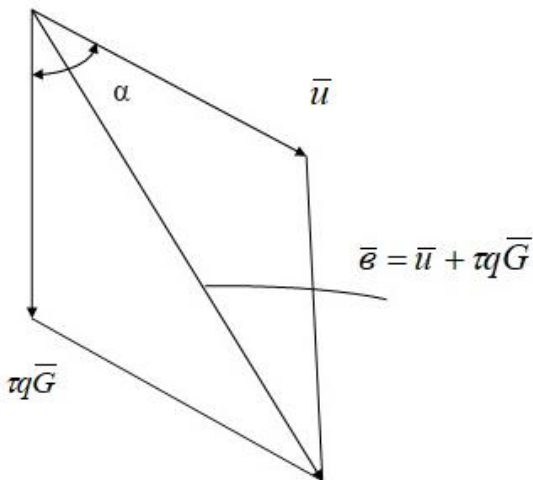


Рис. 1. Сложение векторов  $\bar{u}$  и  $\tau q \bar{G}$

Подсчитаем величину для частиц пыли, например, гранита

$$\rho_r = 2,65 \text{ г/см}^3, d = 10 \text{ мкм} = 10 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\tau = \frac{1}{18} \cdot \frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{1,83 \cdot 10^{-4}} \cdot 2,65 = 0,0804 \cdot 10^{-2} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

При ветре  $u = 5 \text{ м/с} = 500 \text{ м/с}$  и  $\alpha = 90^\circ$ , имеем

$$\begin{aligned} v^2 &= u^2 + (\tau q)^2 + 2u \cdot (\tau q) \cos 90^\circ = u^2 + (\tau q)^2 = \\ &= 500^2 + (8,04 \cdot 981 \cdot 10^{-4})^2 = 500^2 + (0,79)^2 \approx 500^2; \\ v &= 500 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Тогда, используя параметры  $\tau$  и  $v$ , уравнение (4) перепишем так

$$\tau \frac{d\bar{v}}{dt} + \bar{v} = \bar{u}_o. \quad (7)$$

Пусть декартова система координат выбрана так, что при  $t=0$  частица находится в начале координат. Путем вращения координат ось  $X$  расположим параллельно вектору  $\bar{v}$ . Тогда вектор начальной скорости лежит в плоскости  $x, y$ , и может быть разложен на составляющие  $\bar{v}_{x_0}$  и  $\bar{v}_{y_0}$ :

$$\bar{v}_o = \bar{v}_{x_0} + \bar{v}_{y_0}. \quad (8)$$

Уравнение (7) в векторной форме сводится к двум скалярным уравнениям

$$\tau \frac{dv_{x_1}}{dt} + v_{x_1} = v, \quad (9)$$

$$\tau \frac{dv_{y_1}}{dt} + v_{y_1} = 0, \quad (10)$$

Уравнение (9) описывает движение частицы вдоль оси  $x$ , а уравнение (10) – вдоль оси  $y$ .

Запишем начальные условия

$$t=0; x_1=0; y_1=0;$$

$$t=0; x_0=V_{x_0}; y_0=V_{y_0}$$

и проинтегрируем уравнение (9) и (10) в осях  $x'-y'$

$$V_{x_1} = v + (V_{x_0} - v)e^{-\frac{t}{\tau}}; \quad (11)$$

$$V_{y_1} = V_{y_0} e^{-\frac{t}{\tau}}; \quad (12)$$

$$x_1 = vt + \tau(V_{x_0} - v)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \quad (13)$$

$$y_1 = \tau V_{y_0} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (14)$$

Уравнения (11)–(14) описывают положение и скорость частицы в любой момент ее движения.

Для примера рассмотрим движение частицы диаметром  $d = 10 \text{ мкм} = 10 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 10^{-3} \text{ см}$  и  $\rho_r = 2,65 \text{ г/см}^3$ ,  $\tau = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ , которая попадает в поток воздуха, имеющий горизонтальную скорость  $30,5 \text{ м/мин} = 50,83 \text{ см/с}$  (скорость движения нагруженного автомобиля). Рассчитать скорость частицы через  $10^{-3} \text{ с}$  после ее попадания в поток.

Сначала определяем модуль вектора. Он равен

$$v = \sqrt{u^2 + (\tau q)^2} \text{ (рис. 2)}$$

Поскольку  $\tau q = 8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 981 = 0,79 \text{ см/с}$ , то

$$v = \sqrt{(50,83)^2 + (0,79)^2} = 50,84 \text{ см/с}.$$

Угол поворота  $\alpha$  равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\tau q}{u} = \frac{0,79}{50,84} = 3,056;$$

$$\alpha = 0,02^\circ.$$

Поэтому

$$V_{x_{10}} = \tau q \cos(90^\circ - \alpha) = \tau q \sin \alpha = \\ = 0,79 \cdot 3,491 \cdot 10^{-4} = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ см/с}$$

$$\text{А } V_{0_{y_1}} = \tau q \cos = 0,79 \cdot 1 = 0,79 \text{ см/с.}$$

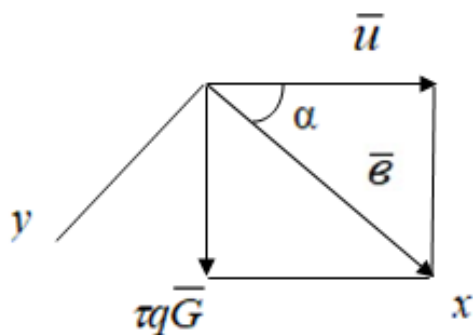


Рис. 2. Постоянный вектор  $\bar{v}$

Следовательно, в этом случае ось  $x$  можно считать направленной горизонтально.

Теперь рассмотрим движение пылевой частицы диаметром  $d=30 \text{ мкм}=30 \cdot 10^{-4} \text{ см}=3 \cdot 10^{-3} \text{ см}$  и плотностью  $\rho_r=1 \text{ г/см}^3$ .

Предположим, что частица также попадает в горизонтальный поток воздуха, имеющий скорость  $30,5 \text{ м/мин}=50,83 \text{ см/с}$ .

Рассчитать скорость частицы через  $1 \text{ мс}/10^{-3} \text{ с}$ .

Вычисляем параметр  $\tau$

$$\tau = \frac{1}{18} \frac{d^2}{\mu} \rho_r = \frac{1}{18} \frac{(3 \cdot 10^{-3})^2}{1,83 \cdot 10^{-4}} \cdot 1 = 2,73 \cdot 10^{-3}.$$

Скорость оседания частицы равна

$$\tau q = 2,73 \cdot 10^{-3} \cdot 981 = 2,7 \text{ см/с.}$$

Вычисляем вектор  $v$

$$v = \sqrt{u^2 + (\tau q)^2} = \sqrt{(50,83)^2 + (2,7)^2} = 50,9 \text{ см/с.}$$

Находим угол поворота

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\tau q}{u} = \frac{2,7}{50,83} = 0,0531;$$

$$\alpha = 3,04^\circ; \sin \alpha = 0,0530; \cos \alpha = 0,998.$$

В исследуемой системе

$$V_{x_{10}} = 2,7 \cdot \sin(3,04^\circ) = 2,7 \cdot 0,0530 = 0,14 \text{ см/с}$$

$$V_{y_1} = 2,7 \cdot \cos(3,04^\circ) = 2,7 \cdot 0,998 = 2,7 \text{ см/с.}$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-\frac{10^{-3}}{2,73 \cdot 10^{-4}}} = 0,693.$$

Вычисляем компоненты скорости

$$V_x = v + (V_{x_{10}} - v)e^{-\frac{t}{\tau}} = \\ = 5,09 + (0,14 - 5,09) \cdot 0,693 = 15,72 \text{ см/с};$$

$$V_y = V_{y_1} e^{-\frac{t}{\tau}} = 2,7 \cdot 0,693 = 1,87 \text{ см/с.}$$

Теперь необходимо вернуться из искусственной системы координат в реальную.

Горизонтальная скорость равна

$$V_H = V_x \cdot \cos \alpha - V_y \cdot \sin \alpha = \\ = 15,72 \cdot 0,998 - 1,87 \cdot 0,0530 = 15,59 \text{ см/с};$$

Вертикальная скорость равна

$$V_V = V_x \cdot \sin \alpha - V_y \cdot \cos \alpha = \\ = 15,71 \cdot 0,0530 + 1,87 \cdot 0,998 = 2,7 \text{ см/с.}$$

Аналогично можно вычислить координаты частиц пыли размерами до  $50 \text{ мкм}$ , которые наиболее опасные для человека и механизмов.

Для типичных размеров частиц экспоненциальные функции [8, 9] быстро убывают и частица очень быстро приобретает скорость турбулентного неуправляемого воздушного потока.

Следовательно, поднятые автомобилями минеральные частицы при последующем планировании имеют большую скорость в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной. Это в значительной степени усложняет вынос частиц пыли вертикальными воздушными потоками, образующимися в карьере.

Одно из решений задачи по удержанию пыли в конструктивном слое износа автомобильной дороги со щебеночным покрытием находится в обработке её полотна растворами солей хлоридов, которые позволяют связывать сверхмалые минеральные частицы в крупные агрегаты не способные планировать в воздухе.

Основные физико-химические свойства основных солей промышленного производства представлены в табл. 1. В данной таблице приведены в частности коэффициент поверхностного натяжения, растворимость в воде, а также агрессивность к окружающей среде [10, 11].

Следует отметить, что реагенты на основе  $\text{NaCl}$  и  $\text{KCl}$ , после исследований их свойств при пылеподавлении в жидком виде, практически не используются из-за их агрессивности к живой и неживой природе, а также к металлам [12, 13]. В противном случае возникает необходимость введения в растворы ингибиторов коррозии, что усложняет и удорожает их применение.

Таблица 1

## Основные физико-химические свойства солей входящих в растворы

Показатели	Водные растворы солей		
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>
Радиус катионов, м·10 <sup>-10</sup>	Na <sup>+</sup> 0,98	Ca <sup>2+</sup> 1,06	Mg <sup>2+</sup> 0,78
Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м	При концентрации 20 % 0,077	При концентрации 29 % 0,081	При концентрации 20 % 0,083
Содержание хлоридов в солях, %	93–99,7	67–95	24–27
Растворимость в воде, кг/кг	0,357 при 10 °С	0,745 при 20 °С	0,356 при 20 °С
Удельная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2165	1680	1560
Температура кристаллизации, °С	–	45,3	116,7
Агрессивность	Агрессивный к металлам	Агрессивный к металлам	Агрессивный к алюминиевым сплавам
Гигроскопичность	Соли и растворы гигроскопичны, особенно хлористый магний		
Пожароопасность	пожаробезопасные		

Существенное значение для связывания дорожной пыли, особенно в полузамкнутом пространстве карьеров, при температуре воздуха свыше +30–40 °С и слабом его движении играет связанная в кристаллах солей вода. Однако, существенным недостатком в распространенном растворе соли CaCl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O является неспособность удерживать, после испарения воды из раствора, внутреннюю кристаллическую влагу, так как при достижении температуры +30 °С и выше хлористый кальций начинает терять эту влагу (в начале две молекулы воды), а при +45,3 °С – кристаллизуется. Такой механизм удаления воды из раствора и кристаллов приводит к тому, что в условиях указанных температур, сопровождаемых, к тому же, низкой влажностью воздуха, хлористый кальций способствует пересыханию пыли в верхней части дорожного полотна. Это, наряду с высокой его коррозийностью, является существенным недостатком.

В отличие от кристаллогидратов хлористого кальция, хлорид магния MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O существует до положительной температуры +116,7 °С в виде расплывчатых, аморфных кристаллов, обладающих гигроскопичностью выше, чем хлористый кальций (табл. 1)

Важной особенностью хлористого магния является то обстоятельство, что радиус его катионов на одну треть меньше кальция хлористого [10, 11]

Это способствует созданию более плотных, хотя и аморфных, солевых мостиков, связывающих отдельные пылинки и их агрегаты [14, 15].

К этому следует добавить еще одно важное свойство хлористого магния, которое имеет существенное значение при эксплуатации автомобильных дорог с жестким покрытием – худшая в сравнении с другими солями растворимости в воде (табл. 1). Зависимость интенсивности испарения влаги из щебеночной смеси приведена на рис. 3.

Указанное свойство влияет положительно не только на процесс омоноличивания материала в щебеночной смеси и его механическое упрочнение, но и выноса из её состава мелких связующих частиц при осадках в виде ливневых дождей и талых вод.

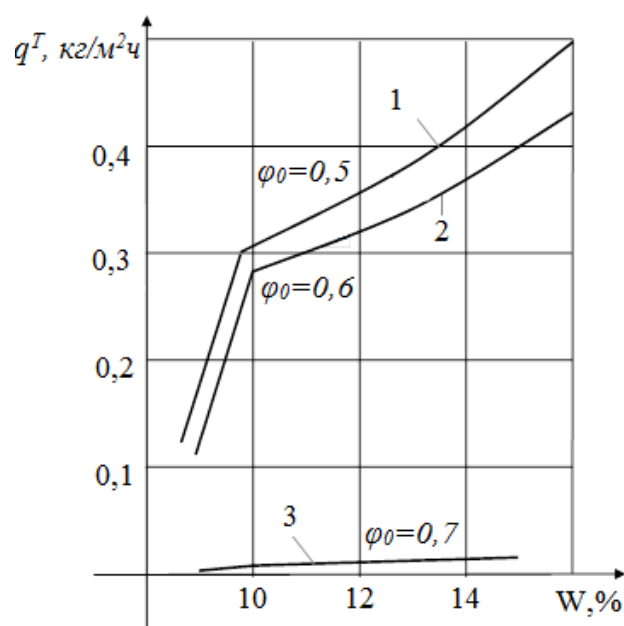


Рис. 3. Зависимость интенсивности испарения влаги из щебеночной смеси фракции 0–25 мм от содержания жидкости (1,2 – воды и 3 – раствора бишофита)

### 5. Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования по пылеподавлению на щебеночной автодороге в промышленных условиях в карьерах Кривбасса позволили выявить большую эффективность связывания дорожной пыли водным раствором природного бишофита (рис. 4) в сравнении с таким же раствором хлористого кальция и водой. При этом установлено, что критическая скорость массового уноса пыли, обработанной раствором бишофита, в 3–5 раз выше, чем смоченной водой.

В условиях применения для омоноличивания крупного щебня в конструкции дороги отсевам его производства из местных пород Кривбасса коэффициент пористости, приходящий на единицу площади полотна дороги составляет 0,22, а мелкие минеральные частицы начинают концентрироваться на глубине 10–20 мм от поверхности. Исходя из этого объема и коэффициента пористости, оптимальный рас-

четный расход бишофита при первичном применении составляет 2,0–2,2 л/м<sup>2</sup>

Вместе с тем, промышленные исследования показали, что для повышения эффективности связывания пыли непосредственно в слое износа автодо-

роги, обработку полотна раствором бишофита следует проводить в два этапа, соответствующих экстремальным значениям суточной температуры – днем с расходом 70 % (1,2–1,5 л/м<sup>2</sup>), а расходом ночью – 0,5–1,0 л/м<sup>2</sup> (оставшиеся 30 %) табл. 2 [18].

Таблица 2

Влияние расхода бишофита на интенсивность пылевыведения из щебеночной смеси автодороги

№ п/п	Первичный расход, л/м <sup>2</sup> при t=31°C	Повторный, изменяющийся, л/м <sup>2</sup> при t=12°C	Вынос пыли, мг/м <sup>2</sup> ·С
1	0,5	0,5–1,5	15
2	1,0	0,5–1,5	11
3	1,2	0,5–1,5	10
4	1,5	0,5–1,5	2

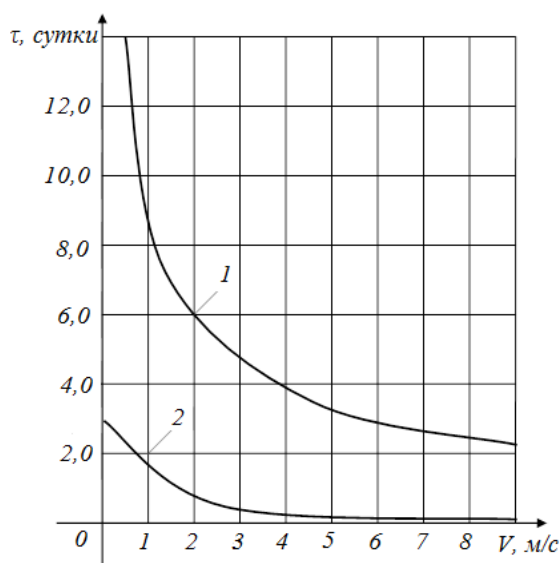


Рис. 4. Зависимость времени испарения влаги из щебеночной смеси, обработанной бишофитом, от скорости ветра при  $\phi_0=0,7$  при температуре воздуха 30–34 °С (1 – раствор природного бишофита; 2 – вода), при среднем диаметре зерна  $d=18$  мм, влагосодержании в смеси 16 % в условиях ограничения пыления щебеночных дорог санитарным нормам  $\geq 2$  мг/м<sup>3</sup> [19].

Двукратная обработка полотна дороги: днем при высокой температуре, а ночью, когда температура воздуха падает, позволяет снизить пыление в 5–6 раз [16, 17].

Наряду с этим, следует отметить, что применять раствор природного бишофита отдельно в качестве смачивателя пыли нецелесообразно в виду большой его поверхностной энергии [14], обусловленной

большим коэффициентом поверхностного натяжения, которая на 10–20 % больше чем у воды. Его следует использовать после предварительного смачивания щебеночно смеситехнической водой, что в 8–10 раз повышает скорость фильтрации его в нижние конструктивные слои и наряду с этим повышает запас воды для капиллярного смачивания щебеночной смеси в слое износа дороги. К тому же, максимальное объемное содержание раствора в щебеночной смеси должно составлять 14–16 % при удельной его плотности 1170–1260 кг/м<sup>3</sup> [16].

## 6. Выводы

Результаты исследований свидетельствуют:

1. Эффективность связывания дорожной пыли водным раствором природного бишофита является большей, относительно такого же количества раствором хлористого кальция и водой.

2. Критическая скорость массового уноса пыли, обработанной раствором бишофита, в 3–5 раз выше, чем смоченной водой.

3. Для повышения эффективности связывания пыли непосредственно в слое износа автодороги, обработку полотна раствором бишофита следует проводить в два этапа, соответствующих экстремальным значениям суточной температуры.

4. Наиболее опасным является распространение пылевого облака в области щебеночной дороги в карьере в горизонтальной поверхности.

## Благодарности

Авторы статьи благодарят Радченко И. С. за предоставленную консультацию при математическом моделировании процессов.

## Литература

1. Иголкин, Н. И. Содержание и ремонт автомобильных дорог [Текст] / Н. И. Иголкин. – М.: Автотранспортиздат, 1963. – 367 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-34-95. Щебінь із вміщуючих гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залістистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і рудників України [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1966. – 12 с.
3. Барон, Л. Н. Абразивность горных пород при добычании [Текст] / Л. Н. Барон, А. В. Кузнецов. – М.: Изд-во АН СССР, 1971. – 168 с.
4. Тохтуев, Г. В. Физико-механические свойства горных пород Кривбасса [Текст] / Г. В. Тохтуев, В. Г. Борсенков, А. В. Титлянов. – К.: Госгортехиздат УССР, 1962. – 102 с.
5. Куприянов, В. А. Использование вскрышных пород в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Куприянов, В. Н. Шухова, В. М. Соловьев и др. // Автомобильные дороги. – 1978. – № 2. – С. 11–12.

6. Одинцов, Б. Н. Щебень из сопутствующих пород Криворожского железорудного бассейна [Текст] / Б. Н. Одинцов, Г. Н. Бондаренко, Г. Ф. Неаронова // Автомобильные дороги. – 1975. – № 119. – С. 15.
7. Назарова, Ю. Н. Разработка способов борьбы с пылью на автодорогах угольных карьеров в климатических условиях южной Якутии [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ю. Н. Назарова. – М., 1990. – 204 с.
8. Фриш, С. Э. Курс общей физики [Текст] / С. Э. Фриш, А. В. Тимофеева. – М.: Физматгиз, 1961. – 384 с.
9. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. II [Текст] / А. А. Яблонский. – М.: Высшая школа, 1962. – 372 с.
10. Справочник химика [Текст] / под ред. Б. П. Никольского. – М.: Химия, 1966. – 976 с.
11. Лапшин, А. Е. Характеристика процессов в технологии противопылевой обработки щебеночной дороги растворами солей [Текст] / А. Е. Лапшин, О. В. Нестеренко, Л. В. Ермак, В. Н. Назаренко // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2004. – С. 73–75.
12. ТУ 25. Украина. 22529511-003-97 Раствор природного бишофита [Текст]. – К.: Бунау, 1995. – 11 с.
13. Першин, М. Н. Применение карналита для обеспыливания автомобильных дорог [Текст] / М. Н. Першин, А. П. Платонов, К. П. Глинская, А. А. Митянин // Автомобильные дороги. – 1969. – № 12. – С. 13–14.
14. Сумм, Б. Д. Физико-химические основы смачивания и растекания [Текст] / Б. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. – М.: Химия, 1976. – 231 с.
15. Марченко, Р. Т. Физическая и коллоидная химия [Текст] / Р. Т. Марченко. – М.: Высшая школа, 1965. – 373 с.
16. Нестеренко, О. В. Повышение эффективности обеспыливания автомобильных дорог в карьерах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / О. В. Нестеренко. – Кривой Рог, 2008. – 147 с.
17. Нестеренко, О. В. О закреплении слоя износа на автомобильных дорогах щебеночного типа при их гидрообеспыливании [Текст] / О. В. Нестеренко, А. А. Гурин, В. Н. Назаренко // Качество минерального сырья. – 2005. – С. 139–145.
18. Нестеренко, О. В. Механизм смачивания и оптимальный расход бишофита при обеспыливании щебеночных автодорог в условиях изменения суточных параметров воздуха [Текст] / О. В. Нестеренко // Вісник КТУ. – 2006. – С. 194–197.
19. Пат. № 59943А UA. Спосіб попередження пилення прикар'єрних та внутрішньо кар'єрних доріг з нежорстким покриттям. МПК: В65G 69/16, E21F 5/06 [Текст] / Брехунов О. В., Шпірок Д. М., Мельник Ю. І., Некрасов В. Г., Кіковка О. В., Немировський Г. І. та ін. – № 2002129881; заявл. 10.12.2002; опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Маланчук З. Р.  
Дата надходження рукопису 19.09.2017*

**Комиссаренко Татьяна Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра рудничной аэрологии и охраны труда, Криворожский национальный университет, ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027  
E-mail: tetiana.komisarenko63@gmail.com

**Домничев Николай Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра рудничной аэрологии и охраны труда, Криворожский национальный университет, ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027  
E-mail: domnichew@gmail.com

**Нестеренко Оксана Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра рудничной аэрологии и охраны труда, Криворожский национальный университет, ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027  
E-mail: nesterenko\_ktu@mail.ru