

# ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, Н. М. Суслов, А. Н. Семин, А. И. Ермолаев, Т. Н. Черемисина, М. С. Филатов

## Dust formation and use of rocks dust at industrial sites

S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, N. M. Suslov, A. N. Semin, A. I. Ermolaev, T. N. Cheremisina, M. S. Filatov

The authors identified the sources of dust formation in quarries and risk of dust effect on staff health. This article presents dust properties depending on its fractional composition and possible ways of use of dust in the production: the use as target products; return to the production that generates this type of dust; recycling in another production with obtaining of commercial products; recycling for construction purposes; agricultural use etc. The authors consider possibility of using pulverized coal as a new fuel. According to studies of granulometric composition of fragmented by explosion rocks of various hardness, for each kilogram of explosives during mass explosions gaseous cloud obtains from 80 to 320 g of particulate fraction of up to 20 microns. One can see a presented dust properties, depending on the particle size, and the dependence by definition of the dust and gas atmospheric pollution in the production of massive explosions. The Authors also propose a new all-terrain vehicle with the air bag for collection and transportation of dust-raising bulk materials in the conditions of obstruction on the land, such as in quarries after blasting, excavation, works on movement of the rock mass, and others. This article contains the description and operating principle of the new vehicle, and the main parameters of speed airflow depending on the fractional composition of dust. Authors suggest dependences for differential pressure to create an airbag and the suction line, as well as in the flexible suction conduit, in the intake nozzle, in the filter and expenditure of transported air in the suction line.

**Keywords:** career; dangerous and harmful manufacturing processes; raw materials dust; dust removal; vehicle; labor safety; airbag; compressed air; differential pressure; vacuum.

Определены источники образования пыли в карьерах и опасность влияния пыли на здоровье обслуживающего персонала. Представлены свойства пыли в зависимости от ее фракционного состава и возможные пути использования пыли в производстве: использование в качестве целевых продуктов; возврат в производство, в технологии которого образуется данный вид пыли; переработка пыли в другом производстве с получением товарных продуктов; утилизация в строительных целях; сельскохозяйственное использование и др. Рассмотрена возможность использования угольной пыли в качестве нового топлива. По данным исследований гранулометрического состава раздробленных взрывом горных пород разной крепости установлено, что в расчете на 1 кг взрывчатых веществ при проведении массовых взрывов в пылегазовое облако поступает от 80 до 320 г пылевой фракции до 20 мкм. Представлены свойства пыли в зависимости от размера частиц, а также зависимость по определению пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов. Предложено новое транспортное средство высокой проходимости с использованием воздушной подушки для подборки и транспортировки пылеобразующих сыпучих материалов в условиях непроходимости по земле, например в карьерах после взрывных работ, экскавации, работ по перемещению горной массы и др. Даны описание и принцип действия нового транспортного средства. Представлены основные скоростные параметры воздушного потока от фракционного состава пыли. Предложены зависимости по определению перепадов давления для создания воздушной подушки и во всасывающей линии, а также во всасывающем гибком трубопроводе, в заборном сопле, в фильтре и расход транспортируемого воздуха во всасывающей линии.

**Ключевые слова:** карьеры; опасные и вредные технологические процессы; пыль сырьевых материалов; пылеулавливание; транспортное средство; охрана труда; воздушная подушка; сжатый воздух; перепад давления; вакуум.

К самым вредным производствам и профессиям по показателям вредности и с тяжелыми условиями труда относятся горные работы. Современный уровень открытых горных работ характеризуется большой мощностью используемого оборудования и высокой интенсивностью технологических процессов на глубинах до 300–600 м.

Основными наиболее опасными и вредными технологическими процессами на карьере являются: буровзрывные работы, экскавация горной массы, транспортировка горной массы, складирование, отвалообразование. В условиях этих работ, на безопасность работающих в карьере влияет такой опасный и вредный фактор, как интенсивное пылеобразование.

Пыль, образующаяся на предприятиях строительной индустрии, весьма разнообразна по свойствам, химическому и дисперсному составу [1]. Неорганической является пыль сырьевых материалов горных пород и строительных материалов. Все горные породы (и пыль горных пород) делятся по способу образования на три большие группы: изверженные, осадочные и метаморфические.

Изверженные породы (гранит, диорит и им подобные) широко используются в производстве щебня, необходимого для получения высокопрочных бетонов. Для пыли изверженных пород характерен средний диаметр частиц 20–30 мкм, площадь удельной поверхности 2500–4500 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

Пыль осадочных пород – это пыль песка, каолина, глины, доломита, известняка. Осадочные породы наиболее широко применяются в произ-

водстве строительных материалов. Например, песок является сырьевым материалом силикатного и глиняного кирпича, стеклянного и минерального волокна, а также входит в состав керамических изделий. Метаморфические породы (гнейс, кварцит, талькомагнезит) используются в производстве огнеупорных материалов.

Глинистые, или тонкодисперсные, породы состоят из обломков диаметром менее 0,01 мм, при этом до 30 % обломков имеют диаметр менее 0,001 мм. К этой группе относится глина – весьма широко распространенная порода на поверхности земли. Типичные минералы глины – каолинит и монтмориллонит. Кроме того, в глине имеются обломки гидрослюда, кварца, полевого шпата, слюды, иногда примеси гидроокислов железа, карбонатов, сульфатов и др. Пластичные глины, состоящие из каолинита, гидратов окиси алюминия и слюды, носят название огнеупорных глины (не плавятся до температуры 1700 °С). Используются они для изготовления огнеупорных кирпичей. Глина, состоящая из каолинита, носит название *каолина*. В случае отсутствия посторонних примесей она обладает белым цветом. Глины из монтмориллонита называют *бентонитовыми*. Они высокодисперсны, благодаря чему используются для отбеливания тканей и очистки различных нефтепродуктов, вин, масел, шерсти. Плотные, цементованные кремнеземом глинистые породы называются аргиллитами. Глины имеют широкое применение: тощие глины (содержащие примесь зерен кварца, халцедона, опала и окислов железа) применяются для изготовления кирпичей, черепицы, красок, поргланцемента; жирные глины, содержащие большое количество каолинита или полностью состоящие из него (каолиновые глины), являются ценным сырьем для фарфоровой промышленности (URL: <http://www.prokamni.ru/content/view/383/>).

Возможные пути использования пыли:

- в качестве целевых продуктов;
  - возврат в производство, в технологии которого образуется данный вид пыли;
  - переработка пыли в другом производстве с получением товарных продуктов;
  - утилизация в строительных целях;
  - сельскохозяйственное использование и др.
- Пыль, образовавшаяся при добыче строительных материалов открытым способом, используется в строительной отрасли для строительства дорог и в производстве таких материалов, как кирпич и керамическая плитка. Недавние исследования по потенциалу карьерной пыли на цементных смесях фокусировались на частичной замене песка.

Следует отметить силикозоопасность пыли метаморфических пород, так как наличие свободной двуокиси кремния в кварцевой пыли достигает 70–85 %.

Добыча и обработка асбеста являются крупной отраслью промышленности. Разработка ведется преимущественно открытым способом с дальнейшим обогащением руды на фабриках. Месторождения разбросаны по всему миру, крупнейшее из которых находится в России на Урале. Асбестовая пыль выделяется на разных этапах производства асбеста и асбестоцементных изделий (URL: <http://biofile.ru/bio/36816.html>). Пыль асбеста была квалифицирована как канцерогенное вещество. Безопасного количества асбестовой пыли не существует. Любая доза способна

Свойства пыли в зависимости от размера частиц.

Показатель	Размер частиц, мкм			
	> 5	0,1–5	0,001–0,1	< 0,001
Характеристика частиц	Грубодисперсные	Тонкодисперсные	Коллоидные	Молекулярные
Видимость при наблюдении	Видимы простым глазом	Видимы под микроскопом	Видимы под ультрамикроскопом	Невидимы
Способность к диффузии	Не способны	Почти не способны	Способны с малой скоростью	Способны
Способность к коагуляции	Не способны	Способны	Способны	Не способны
Участие в броуновском движении	Не участвуют	Небольшое участие	Участвуют	Участвуют

стать причиной заболевания. В первую очередь асбест причиняет вред тем, кто с ним регулярно работает: при добыче, строительстве, производстве. Опасно даже одно волокно асбеста, попавшее в легкие человека (URL: [http://www.b-g.by/ru/6\\_2011/society/7667/](http://www.b-g.by/ru/6_2011/society/7667/)).

Наибольшим фиброгенным действием обладают пылевые частицы, содержащие свободную двуокись кремния (SiO<sub>2</sub>). Весьма опасна для здоровья работающих пыль кварца, кристобалита и тридимита, образующаяся при производстве стекла и диносовых изделий, содержащая свыше 90 % свободной двуокиси кремния.

При производстве массовых взрывов выделяется огромное количество пыли и газа в окружающую среду. Масса скважинных зарядов при взрывной отбойке в карьерах достигает 300–1000 т, а масса взорванной горной породы достигает 5 млн т. По данным исследований гранулометрического состава раздробленных взрывом горных пород разной крепости установлено, что в расчете на 1 кг взрывчатых веществ при проведении массовых взрывов в пылегазовое облако поступает от 80 до 320 г пылевой фракции до 20 мкм [2]. Авторами работы [3] было установлено, что удельное количество пыли на единицу объема горной массы зависит от крепости пород, возрастает с увеличением глубины выработки и изменяется в диапазоне 30–160 г/м<sup>3</sup>.

Известно, что степень вредного воздействия пыли на оборудование и персонал карьера определяется её физико-химическими свойствами и концентрацией в воздухе. В свою очередь, свойства пылевых частиц в основном зависят от их минералогического и химического состава и крупности.

В зависимости от крупности частиц различают:

- крупную пыль (100–500 мкм), которая легко выпадает из потоков газа;
- мелкую пыль (10–100 мкм), которая оседает в спокойной среде;
- тонкую пыль – туманы (0,1–10 мкм), которая трудно оседает даже в спокойной газовой среде;
- весьма тонкую пыль – думы (< 0,1 мкм), находящуюся в броуновском движении и не оседаемую в обычных условиях.

Более подробная характеристика изменения свойств пыли в зависимости от крупности частиц приведена в таблице [4].

Дисперсность витающей пыли в карьерах чрезвычайно высока. Так, в атмосфере Сибайского карьера при экскаваторных работах, на дорогах при движении автосамосвалов вся пыль имеет размеры до 5 мкм, в том числе 98 % частичек – 2 мкм и меньше. В кабинах экскаваторов Высокогорского, Гороблагодатского и Лебединского железорудных, Гайского серно-обогатительного и Сорского молибденового карьеров число пылинок до 3 мкм составляет 75–80 %. Частички пыли до 2 мкм на различных рабочих местах в Коркинских и Богословских карьерах составляют 71–73 %.

Дисперсный состав пыли можно представить в виде содержания по числу или по массе частиц различных фракций. Большинство промышленной пыли подчиняется нормально-логарифмическому закону распре-

деления частиц по размерам. В этом случае интегральная кривая распределения частиц по размерам может быть выражена аналитически [5]:

$$D(d_q) = \frac{100}{\lg \sigma_q \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2\lg^2 \sigma_q}} d \lg d_q,$$

где  $D(d_q)$  – относительное содержание частиц меньше данного размера  $d_q$ , %;  $\sigma_q$  – среднее квадратичное отклонение в функции данного распределения;  $\lg(d_q/d_m)$  – логарифм отношения текущего размера  $d_q$  к медианному для данного распределения размеру  $d_m$ , который представляет собой такой размер, при котором число частиц крупнее  $d_m$  равно числу частиц мельче  $d_m$ .

Максимальный размер отдельных пылинок, попадающих в легкие человека, обычно не превышает 10 мкм, основное количество частиц имеет размер 5 мкм и ниже. Наиболее опасными считаются частицы, размеры которых не превышают 2 мкм. В атмосфере Ангренского разреза указывают на то, что витающая в разрезе пыль полидисперсная и содержит до 95 % частиц с размерами не более 10 мкм.

Производственная пыль – одна из наиболее распространённых профессиональных вредностей, которая может вызывать пылевые заболевания, занимающие первое место в мире среди профессиональных заболеваний.

Опасность легочных заболеваний возрастает с увеличением содержания в пылевом аэрозоле свободной двуокиси кремния. При этом отмечено, что удельная доля двуокиси кремния в составе пыли на железорудных карьерах изменяется от 5,5 до 16,7 %, а на карьерах, добывающих руды цветных металлов, она может достигать 60 %. Особую опасность представляют пылевые образования в атмосфере карьеров, добывающих радиоактивные руды. Вдыхание пыли, содержащей уран, радий, радиоактивный свинец, соединения тория, полоний и другие изотопы, а также пыли с адсорбируемыми на ней из воздуха короткоживущими продуктами распада радона, активность которых на четыре-пять порядков превышает активность указанных ранее веществ, приводит к внутреннему облучению и раку легких. Некоторые виды пыли (например, угольная, торфяная, серная), взвешенные в воздухе, также представляют собой взрывоопасную смесь.

Около 30 % угля теряется в виде пыли во время добычи, и от 50 до 60 млн т материала ежегодно остается под землей. Исследователи из Университета Нельсона Манделы в Южной Африке разработали новое топливо, которое произведено из комбинации водорослей и угольной пыли. Угольная пыль в качестве основного компонента является побочным продуктом процесса добычи угля. Это топливо, как утверждается, может оказать существенное положительное влияние на окружающую среду (URL: <http://gisprofi.com/gd/documents/uchenye-proizveli-novoe-toplivo-iz-ugolnoj-pyli-i-vodoroslej.html>).



Рисунок 1. Ячеистая поверхность туфов – результат выветривания / Figure 1. Cellular surface of tuffs – the result of weathering.



Рисунок 2. ТСВП – судно на воздушной подушке СЛАВИП / Figure 2. A vehicle with high cross – hovercraft SLAVIP.



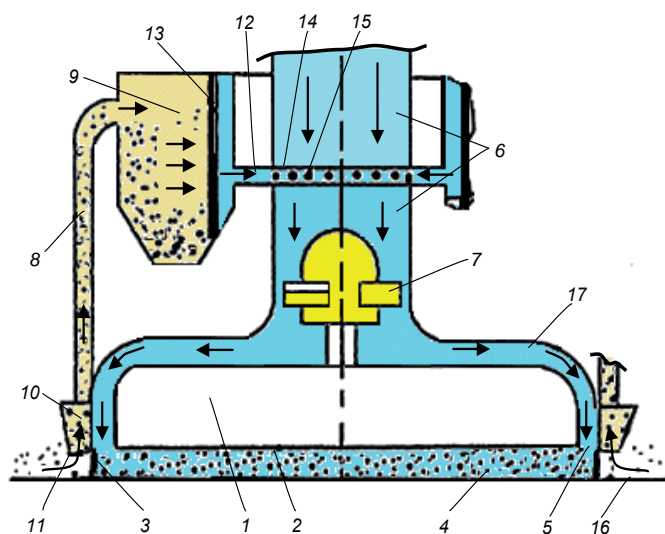


Рисунок 3. Транспортное средство высокой проходимости / Figure 3. A vehicle with high cross.

В настоящее время существует несколько методик по расчету пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах, например, методика расчета вредных выбросов для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей), разработанная ИГД им. А. А. Скочинского [6]. Масса твердых частиц (пыли), выбрасываемых с пылегазовым облаком, т, определяется по зависимости

$$t = qKQ10^{-3},$$

где  $q$  – удельное пылевыделение по методике ИГД им. А. А. Скочинского,  $q = 0,11 \text{ кг/м}^3$ ;  $K$  – переводной поправочный коэффициент прочностного породного пылевыделения,  $K = 1$ ;  $Q$  – количество одновременно взрываваемой горной массы, т.

Поэтому пылеулавливание на карьере является одной из важнейших задач обеспечения безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала. Проблема очистки воздуха в карьерах, является весьма актуальной с точки зрения производительности работ по добыче горной массы, а также с точки зрения обеспечения санитарных норм, ограничивающих предельно допустимые концентрации в воздухе вредных газов и аэрозоля. Известный комплекс мер по уменьшению пылеобразования на карьерах не позволяет полностью справиться с этой проблемой.

Кроме ранее перечисленных пылевых образований, присутствует геологическая деятельность ветра, часто называемая *эоловой*, которая связана с динамическим воздействием воздушных струй на горные породы и выражается в разрушении, размельчении пород, сглаживании и полировке их поверхностей, перенесении обломочного материала и отложении его на поверхности земли. В неоднородных породах, состоящих из минералов различной стойкости, под ударами песчинок, получающих вращательное движение (вследствие турбулентного, или вихревого, характера движения атмосферы), высверливаются небольшие углубления – ячеи. Так возникают *ячеистые* скальные поверхности, напоминающие пчелиные соты в несколько увеличенном виде (рис. 1).

Перед авторами статьи встал вопрос, можно ли не только уменьшить работы по очистке воздуха в карьерах от пыли, но и собрать эту пыль как ценное добавочное сырье для промышленных предприятий. Пыль, образовавшаяся при разработке карьеров, используется в строительной отрасли.

Для решения этой задачи авторы предложили транспортное средство высокой проходимости (ТСВП).

В настоящее время известно большое количество машин высокой проходимости, которые решают в основном одну задачу – перемещение по труднодоступной местности, т. е. такие виды транспорта, которым не нужны дороги. Одно из известных ТСВП представлено на рис. 2. Его световой клиренс составляет 0,35 м – расстояние между самой нижней частью судна на воздушной подушке и поверхностью суши во время его движения, что позволяет ТСВП беспрепятственно проходить по бездорожью.

Разработанное судно на воздушной подушке относится авторами [7, 8] к транспортной технике с использованием для перемещения воздушной подушки, а также для подборки и транспортировки пылеобразных сыпучих материалов в условиях непроходимости по суше, например в карьерах после взрывных работ, экскавации, работ по перемещению горной массы и др.

Важнейшей задачей разработки является расширение области ТСВП использования для сбора пылеобразующего сыпучего материала с поверхности грунта, который является добавочным ценным сырьем для промышленных предприятий. Это позволяет экономить энергетические затраты на производство той же самой промышленной пыли, получая ее уже в готовом виде.

ТСВП содержит корпус 1 с днищем 2 и гибкое ограждение 3 полости 4 воздушной подушки, выполненное по периметру днища 2 (рис. 3).

За пределами периметра гибкого ограждения 3 воздушной полости 4 днища 2 установлены сопла 5 (щелевые сопла) для подачи сжатого воздуха в полость 4 воздушной подушки. Всасывающий воздухозаборник 6 снабжен нагнетателем 7 воздуха. Перепускные трубопроводы 8 подсоединены к грузовому контейнеру 9. За пределами периметра ограждения (юбки) 3 воздушной полости 4 днище 2 снабжено закольцованным патрубком 10 с соплами 11 для засасывания сыпучего материала. При этом закольцованный патрубок 10 посредством перепускных трубопроводов 8 сообщен последовательно сначала с грузовым контейнером 9 для сбора сыпучего материала, а затем с воздухозаборником 6. Для очистки воздуха от сыпучего материала грузовой контейнер 9 снабжен фильтром 13. К грузовому контейнеру 9 подведен перепускной трубопровод 12, который преобразован в закольцованный перфорированный трубопровод 14, встроенный в периметр воздухозаборника 6. Отверстия 15 перфорированного трубопровода 14 обращены в полость воздухозаборника 6.

С помощью нагнетателя воздуха 7 создают расчетное избыточное давление, которое рассчитывают из условия веса перемещаемого транспортного средства. Величина подъема транспортного средства над почвой на оптимальную величину устанавливается автоматически. При большой величине подъема давление воздуха будет снижаться благодаря увеличивающемуся зазору между бортом юбки 3 и поверхностью 16 почвы, устранить который полностью не представляется возможным, и тогда избыточного давления в пространстве будет недостаточно для дальнейшего подъема транспортного средства, в результате чего оно опустится. Воздушная подушка между гибкой юбкой 3 и плоским днищем 2 создается потоком воздуха из кольцевых сопел 5. Под днищем 2 образуется слой сжатого воздуха, который приподнимает транспортное средство над земляной поверхностью 16. Изменения высоты подъема в процессе перемещения транспортного средства на воздушной подушке осуществляется за счет регулирования формы и геометрических размеров сопел 5. Потоками сжатого воздуха из сопел 5 происходит ворошение, выбивание и подъем пылевых частиц материала из неровных поверхностей почвенной поверхности 16. При перемещении воздуха нагнетателем 7 в воздухозаборник 6 создается разрежение. Поднятые пылевые частицы засасываются потоками воздуха соплами 11 в закольцованный патрубок 10 и направляются по перепускным трубопроводам 8 в бункер 9. После очистки фильтром 13 от пылевых частиц воздух засасывается в воздухозаборник 6. В воздухозаборнике 6 очищенный воздух смешивается с атмосферным, откуда эта воздушная смесь нагнетателем 7 по воздуховоду 17 через сопла 5 подается в полость 4 воздушной подушки.

Для данного варианта использования новой разработки перепад давления для нагнетателя 7 определяется по следующей зависимости [1, 9], Па:

$$\Delta P_{\text{пер}} = \Delta P_{\text{нат}} + \Delta P_{\text{в}},$$

где  $\Delta P_{\text{нат}}$  – потеря давления нагнетателя для создания воздушной подушки, Па;  $\Delta P_{\text{в}}$  – потеря давления во всасывающей линии, Па.

Потребная производительность вентиляторов для ТСВП с сопловой схемой на 30–40 % меньше, чем для судов с камерной схемой при той же высоте парения. Это обстоятельство позволяет применять для сопловых схем вентиляторы меньших габаритов, что является дополнительным преимуществом сопловой схемы.

В настоящее время для создания воздушной подушки ТСВП применяются преимущественно осевые вентиляторы. Обычно их располагают симметрично относительно центра тяжести площади подушки или на вертикальной оси, проходящей через него.

Давление в воздушной подушке для малых аппаратов колеблется в пределах 80–100 кг/м<sup>2</sup>. Скорость воздуха по воздуховоду 20 м/с [9].

Чем больше скорость воздушного потока, тем значительнее производимая им работа: скорость 4,4–6,7 м/с несет пыль, 9,3–15,5 м/с – песок, а 18,9 м/с – гравий. При скорости 22,6–58,6 м/с могут передвигаться и переноситься мелкие камешки и галька (URL: <http://www.ronl.ru/referaty/geologiya/14892/>).

Потерю давления нагнетателя для создания воздушной подушки  $\Delta P_{\text{нат}}$  можно определить по формуле [9]:

$$\Delta P_{\text{нат}} = 0,11 \left( \Delta / \sqrt{S} \right)^{0,25} l p_{\text{в}} v^2 / \sqrt{S},$$

где  $\Delta$  – шероховатость воздуховода, м;  $S$  – площадь поперечного сечения воздуховода, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина воздуховода, м;  $p_{\text{в}}$  – плотность воздуха в возду-

ховоде, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость движения воздуха по воздуховоду, м/с.

Суммарная потеря напора  $\Delta P_{\Sigma}$ , создаваемого во всасывающей линии ТСВП, определяется как сумма потерь давления на отдельных участках:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_T + \Delta P_C + \Delta P_{\Phi},$$

где  $\Delta P_T$  – потери давления во всасывающем трубопроводе, Па;  $\Delta P_C$  – потеря динамического напора транспортирующего воздуха в заборном сопле, Па;  $\Delta P_{\Phi}$  – потери давления в фильтре очистки запыленного воздуха, Па.

При создании всасывающей линии ТСВП подробный расчет суммарной потери напора можно выполнить по методике [1].

Общие потери давления во всасывающем гибком трубопроводе

$$\Delta P_T = K_T (l_n + K_k l_k) (\lambda_n \rho_n v_n^2 + \lambda_m \mu \rho_m v_m^2) / (2 D_{tr}),$$

где  $K_T$  – экспериментальный коэффициент, характеризующий материал трубопровода;  $l_n$  – длина криволинейного участка трубопровода, м;  $l_k$  – длина криволинейного участка трубопровода, м;  $K_k$  – коэффициент дополнительного увеличения потерь давления в гибком трубопроводе переменной конфигурации, выполненном из армированного резиноканавного рукава;  $\lambda_n$  – коэффициент сопротивления движению чистого воздуха;  $\lambda_m$  – коэффициент сопротивления движению всасываемого материала по прямолинейному участку трубопровода;  $\mu$  – концентрация смеси, кг/кг;  $v_n$  – скорость воздуха во всасывающем трубопроводе, м/с;  $v_m$  – скорость движения частиц материала во всасывающем трубопроводе, м/с;  $D_{tr}$  – диаметр трубопровода, м.

Потеря динамического напора транспортирующего воздуха в заборном сопле:

$$\Delta P_C = 0,664 \rho_n h_n g + 1,52 \frac{Q_p^2}{\rho_n} \left( \frac{12,1}{d_{в.с}^4} + \frac{0,28}{d_c^4} \right),$$

где  $d_{в.с}$  – диаметр входного сечения сопла, м;  $d_c$  – диаметр сопла, м;  $h_n$  – высота слоя загружаемого материала, м;  $\rho_n$  – насыпная плотность частиц материала, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_p$  – расчетная производительность разгрузки, кг/мин.

Потери давления в фильтре, Па:

$$\Delta P_{\Phi} = \Delta P_{\Phi,ч} [1 - (0,03 + 2,19 \times 10^{-6} G) \mu],$$

где  $\Delta P_{\Phi,ч}$  – потери давления в фильтрах на чистом воздухе, определяются по зависимости, Па:  $\Delta P_{\Phi,ч} = 8 Q_{\Sigma}^{0,9}$ , где  $Q_{\Sigma}$  – расход транспортирующего воздуха во всасывающей линии, м<sup>3</sup>/с;

$$Q_{\Sigma} = Q_p / (3,6 \mu \rho_n);$$

$G$  – грузоподъемность цистерны, кг;  $\mu$  – концентрация материаловой воздушной смеси на входе в цистерну, кг материала/кг воздуха,

Таким образом, применение ТСВП в горной промышленности и производстве строительных материалов решает экологические, производственные и технические задачи. Экологическая задача – это охрана окружающей среды от вредных примесей, которые содержит в себе производственная пыль. Производственная задача – охрана труда рабочих. Техническим результатом является расширение области использования транспортного средства высокой проходимости для сбора пылеобразую-

щего сыпучего материала с поверхности грунта, который является добавочным ценным сырьем для промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов С. Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2007. 317 с.
2. Адушкин В. В. Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду // Горный журнал. 1996. № 4. С. 49–55.
3. Бересневич П. В. Аэрология карьеров. М.: Наука, 1990. 280 с.
4. Руденко К. Г., Калмыков А. В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. 264 с.
5. Овчинников А. А., Дубкова Н. З., Кузнецов М. Г. и др. Исследование процесса улавливания твердых частиц в высокоэффективных скрубберах вихревого типа. Казань: КГТУ, 2009. 77 с.
6. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей). Люберцы: НИЦ ГП – ИГД им. А. А. Скочинского, 1999. 47 с.
7. Транспортное средство высокой проходимости / Давыдов С. Я., Черемисина Т. Н. Заявка на изобретение № 2015157171 от 29.12.2015.
8. Давыдов С. Я., Боярских Г. А., Белов С. В., Черемисина Т. Н. Пылеобразование и решения по пылеулавливанию в карьерах / ГИАБ. 2016. № 3. 10 с. / Деп. в изд-ве «Горная книга» 13.01.16, № 1065/3-16.
9. Вавилов И. С. Летательный аппарат на воздушной подушке: проблемы остоичности // Омский научный вестник. Сер. «Приборы, машины и технологии». 2009. № 2 (80). С. 133–136.

REFERENCES

1. Davydov S. Ya. 2007, *Energosberegayushchee oborudovanie dlya transportirovki sypanykh materialov: Issledovanie, razrabotka, proizvodstvo* [Energy-saving equipment for the transport of bulk materials: Research, development, production], Ekaterinburg, 317 p.
2. Adushkin V. V. 1996, *Osnovnye faktory vozdeystviya otkrytykh gornyykh rabot na okruzhayushchuyu sredu* [The main influencing factors of open cast mining on the environment]. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], no. 4, pp. 49-55.
3. Beresnevich P. V. 1990, *Aerologiya kar'erov* [Aerology of quarries], Moscow, 280 p.
4. Rudenko K. G., Kalmykov A. V. 1987, *Obespylivanie i pyleulavlivanie pri obrabotke poleznykh iskoपाемых* [Dedusting and dust collection in the processing of minerals], Moscow, 264 p.
5. Ovchinnikov A. A., Dubkova N. Z., Kuznetsov M. G. et al. 2009, *Issledovanie protsessa ulavlivaniya tverdykh chastits v vysokoeffektivnykh skrubberakh vikhrevogo tipa* [Research of the process of trapping particulates in highly effective vortex type scrubbers], Kazan', 77 p.
6. 1999, *Metodika rascheta vrednykh vybrosov (sbrosov) dlya kompleksa oborudovaniya otkrytykh gornyykh rabot (na osnove udel'nykh pokazateley)* [Methodology for calculating of harmful emissions (discharges) for opencast mining equipment (based on specific indicators)], Lyubertsy, 47 p.
7. Davydov S. Ya., Cheremisina T. N. *Transportnoe sredstvo vysokoy prokhodimosti. Zayavka na izobretenie № 2015157171 ot 29.12.2015* [High cross vehicle. The application for the invention № 2015157171 from 12.29.2015].
8. Davydov S. Ya., Boyarskikh G. A., Belov S. V., Cheremisina T. N. 2016, *Pyleobrazovanie i resheniya po pyleulavlivaniyu v kar'erakh* [Dust formation and solutions for dust collection in quarries]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 3, pp. 171–180.
9. Vavilov I. S. 2009, *Letatel'nyy apparat na vozduшной podushke: problemy ostoichivosti* [Dusting and solutions for dust removal in quarries]. *Omskiy nauchnyy vestnik: seriya "Pribory, mashiny i tekhnologii"* [Omsk Scientific Bulletin. Equipment, machines and technology], no. 2, pp. 133–136.

Станислав Яковлевич Давыдов,

davidovtrans@mail.ru

Нияз Гадым-оглы Валиев,

Николай Максимович Суслов,

Александр Николаевич Семин,

Александр Иванович Ермолаев,

Татьяна Николаевна Черемисина,

Михаил Сергеевич Филатов,

Уральский государственный горный университет

Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Stanislav Yakovlevich Davydov,

davidovtrans@mail.ru

Niyaz Fadym-ogly Valiev,

Nikolay Maksimovich Suslov,

Aleksandr Nikolaevich Semin,

Aleksandr Ivanovich Semin,

Tat'yana Nikolaevna Cheremisina,

Mikhail Sergeevich Filatov,

Ural State Mining University

Ekaterinburg, Russia