

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Морин А.С.¹, Бровина Т.А.¹, Игнатова О.С.¹, Сысоев А.А.²

¹*Сибирский федеральный университет, Красноярск;*

²*Кузбасский государственный технический университет, Кемерово*

Ключевые слова: открытые горные работы, воздушное пространство, карьерные автомобильные дороги, самосвалы, пылевыведение, витающая пыль, стационарные и подвесные системы орошения воздуха, дисперсность, капли воды, диаметр частиц.

Аннотация. Дана общая характеристика запылённости атмосферы современных карьеров. Показаны достоинства и недостатки поливаторосительных машин и стационарных средств гидравлического подавления пыли на автомобильных дорогах и в примыкающих к транспортным бермам зонах. Предложены подвесные оросительные модули для создания гидродинамической завесы вокруг движущегося самосвала в тёплое время года. Простота конструкции модулей дополняется высокой эффективностью пылегазоподавления при малых затратах энергии и низком расходе воды. Представлена элементарная математическая модель процесса подавления пыли с использованием оросительных систем. С помощью этой модели обоснованы рабочие параметры и составные части подвесных модулей. Рекомендованы к применению в составе модулей насадки для распыления воды Spray Expert FM1,5 компании «ООО «Эксперт Инжиниринг» (Россия) и пластинчатый ротационный насос Rotoflow с подачей 60÷120 л/ч и массой 1 кг. Мощность привода насоса, подключённого к бортовой энергетической установке самосвала, не превышает 50÷100 Вт.

IMPROVEMENT OF HYDRAULIC EQUIPMENT SUPPRESSION OF DUST AND GAS EMISSIONS OF MINING DUMP TRUCKS

Morin A.S.¹, Brovina T.A.¹, Ignatova O.S.¹, Sysoev A.A.²

¹*Siberian Federal University, Krasnoyarsk;*

²*Kuzbass State Technical University, Kemerovo*

Keywords: open pit mining, airspace, quarry highways, dump trucks, dust extraction, floating dust, stationary and suspended air dust suppression systems, dispersion, water droplets, particle diameter.

Abstract. This paper provides a general overview of atmospheric dust levels in modern open-pit mines. The advantages and disadvantages of water trucks and stationary hydraulic dust suppression on haul roads and in areas adjacent to transport berms are highlighted. Suspended irrigation modules are proposed for creating a hydrodynamic curtain around moving dump trucks during the warm season. The simplicity of the module design is complemented by high dust and gas suppression efficiency with low energy consumption and low water consumption. An elementary mathematical model of the dust suppression process using irrigation systems is presented. This model helps justify the selection of operating parameters and components for the suspended modules. For use in the modules, we recommend Spray Expert FM1.5 water atomizing nozzles from ООО Expert Engineering (Russia) and a Rotoflow vane rotary pump delivering 60÷120 l/h and weighing 1 kg. The power requirement of the pump drive, when connected to the dump truck's onboard power system, does not exceed 50÷100 W.

Введение. Общая характеристика проблемы запылённости атмосферы карьеров

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых с помощью мощных высокопроизводительных машин и оборудования сопровождается повышенным выделением в атмосферу вредных и ядовитых примесей в виде газов, паров и аэрозолей, причём наиболее заметный вклад в общее загрязнение воздушного пространства карьеров и прилегающих к ним территорий вносят различные виды промышленной пыли, интенсивность выделения которой на объектах открытых горных работ изменяется от нескольких десятков до многих тысяч г/с [1].

Способность атмосферы аккумулировать витающую пыль достаточно высока. Уровень запылённости воздуха на рабочих местах в карьере может превышать норму в десятки и сотни

раз [2], а в очагах загрязнения – в тысячи раз [3]. В 1 м^3 воздуха, содержащем от 1 до 1000 мг пыли плотностью $1000 \div 4500 \text{ кг/м}^3$, может разместиться от 425 тысяч до 1,9 триллионов пылинок крупностью $1 \div 10 \text{ мкм}$, способных проникать через дыхательные пути в лёгкие человека и вызывать хронические заболевания. Промышленная пыль оказывает негативное влияние не только на персонал карьера, но и на технический ресурс и производительность горнодобывающей техники, а также на экологию близлежащих территорий.

О применении стационарных и самоходных средств поливки дорог и орошения воздуха в карьерах

Для снижения интенсивности пылевыведения при экскавации горной массы и её транспортировании из карьера в тёплые периоды года «Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых» (§ 1226) предусмотрена необходимость систематического орошения взорванных горных пород и поливки автомобильных дорог водой (приказ Ростехнадзора № 505 от 08.12.2020).

Автомобильные дороги в карьерах являются одним из основных внутренних источников загрязнения воздуха. При пылевом фоне карьера $2 \div 10 \text{ мг/м}^3$ уровень запылённости воздуха вблизи автодорог достигает $60 \div 540 \text{ мг/м}^3$ [3], а интенсивность пылевыведения из-под колёс самосвала грузоподъёмностью до 40 т составляет $0,001 \div 0,014 \text{ кг/с}$ [3, 4]. Дисперсность витающей над карьерными дорогами пыли чрезвычайно высокая: 90÷98% частиц пыли имеют размер менее 10 мкм [3].

Равномерное увлажнение автомобильных дорог в карьере и примыкающих к ним пространств и площадей можно обеспечить с помощью стационарных оросительных установок. В зависимости от дорожно-климатических условий и интенсивности движения технологического автотранспорта нормативный удельный расход воды q_n при подавлении пыли у автодорог без переувлажнения орошаемых зон может изменяться от 0,16 до $2,5 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ [5]. Норма водопотребления при поливке автодорог на угольных и сланцевых разрезах России – $0,438 \div 0,625 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ [6].

Стационарные поливооросительные установки требуют значительного объёма воды. В тех случаях, когда необходимый расход Q стационарных установок для борьбы с пылью достигает нескольких десятков и сотен $\text{м}^3/\text{ч}$, перспективно вовлечение в водохозяйственный оборот собственных очищенных сточных и дренажных вод [7, 8]. Большую часть воды, поступающей из напорного трубопровода водоотливной установки, целесообразно распылять в зонах действия прямых солнечных лучей, расположенных, в основном, в северной части карьера. Для безаварийной реализации схем водоотлива с путевым отбором воды необходимы насосные агрегаты с достаточным для увеличения подачи резервом мощности и с существенным кавитационным запасом на входе в насос. Использование значительных объёмов карьерных вод при орошении прогреваемых солнечными лучами площадок и откосов уступов позволит интенсифицировать воздухообмен, снизить затраты энергии на водоотлив, уменьшить сброс сточных и дренажных вод в водоёмы и выброс пыли в атмосферу без переувлажнения горных пород в карьере [8].

Область эффективного применения стационарных средств гидравлического подавления пыли на больших площадях ограничивает растущая стоимость оросителей, геометрические параметры и масса которых могут изменяться в широких пределах в зависимости от дальности действия точек раздачи воды и её расхода Q . Для уменьшения расхода воды Q следует повышать дисперсность распыляемых капель или расширять зоны орошения, примыкающие к пунктам раздачи воды, путём создания над откосами уступов восходящих водяных струй с углом наклона $40 \div 45^\circ$.

Использованию крупномасштабных стационарных систем орошения воздуха в современных карьерах препятствует недостаточное разнообразие номенклатуры выпускаемой промышленностью поливооросительной горной техники и ряд других факторов.

В настоящее время для обеспечения санитарно-гигиенических норм в воздухе рабочих зон на отечественных карьерах применяют поливооросительные машины БЕЛАЗ 7613 и

БЕЛАЗ 7647, а также самоходные вентиляторы-оросители УМП-1Б и УМП-30 (НИПИГОРМАШ). Данное оборудование является дорогостоящим, сложным в обслуживании и требует значительных эксплуатационных затрат [9, 10].

Эффективность применения самоходных поливооросительных машин при наличии крупных источников загрязнения воздуха нередко оценивается как весьма низкая [11]. При их работе часть воды распыляется специальными соплами, расположенными в передней части машины, а часть воды фактически проливается из трубок с высверленными отверстиями диаметром не менее 1 см, присоединённых к задней стороне автомобиля. В таком случае возникает эффект закрепления пылящих поверхностей, но не решается проблема витающей над ними пыли [7]. При натурных исследованиях динамики загрязнённости рабочих зон в карьере Н.З. Битколов регистрировал снижение концентрации взвешенной пыли в процессе поливки автодорог приблизительно в 8 раз (с 6,6 миллиардов до 860 миллионов частиц пыли в 1 м^3) и отмечал при этом нерешённость задачи нормализации санитарно-гигиенических условий труда [2].

Ещё одним недостатком поливооросительных машин является невозможность равномерного увлажнения протяжённых пылящих поверхностей в карьере и прилегающих к ним пространств. Этот недостаток обычно проявляется при неблагоприятных изменениях микроклиматических и горнотехнических условий (например, с наступлением жаркой и сухой погоды) и становится причиной нерационального расходования воды и частых нарушений нормативного пылевоздушного баланса на рабочих местах. Решая возникающую проблему запылённости карьера, предприятие периодически вынуждено нести дополнительные капитальные затраты и эксплуатационные расходы, связанные с повышением дальности водяных струй или с увеличением количества используемых самоходных оросителей.

Конкурентоспособной заменой этим машинам, обеспечивающей санитарно-гигиенический эффект при снижении материальных и энергетических затрат, могут стать автономные оросительные модули, размещаемые на буровых, выемочно-погрузочных и транспортных машинах технологического комплекса карьера.

Подвесные оросительные модули для подавления пылегазовых выбросов карьерного автомобильного транспорта

Идея оснащения технологических машин и оборудования поливооросительными модулями различного назначения получила практическое применение во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства [12, 13]. Представленное схематически на рисунке 1 оросительное устройство разработано в институте цветных металлов Сибирского федерального университета и может быть использовано для подавления пылегазовых выбросов карьерного автомобильного транспорта [14]. Оно содержит установленную на палубе 1 самосвала 2 ёмкость для воды 3 с горловиной 4 и кранами для слива воды 5 и её подачи в систему орошения воздуха 6, гибкий трубопровод 7 с фильтрами для очистки воды 8 и 9, насос 10, подключённый к бортовой энергетической установке 11 с выключателем 12, а также подвешенный на платформе 13 распределитель 14 с насадками 15 для распыления воды в орошаемых зонах 16 (рис. 1-3).

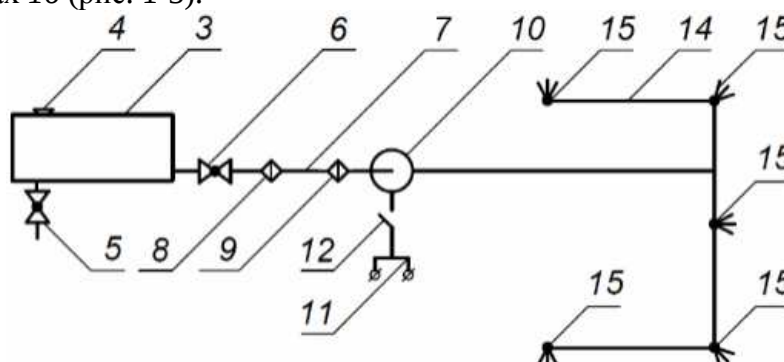


Рис. 1. Схема подвесной системы для подавления пылегазовых выбросов карьерного самосвала

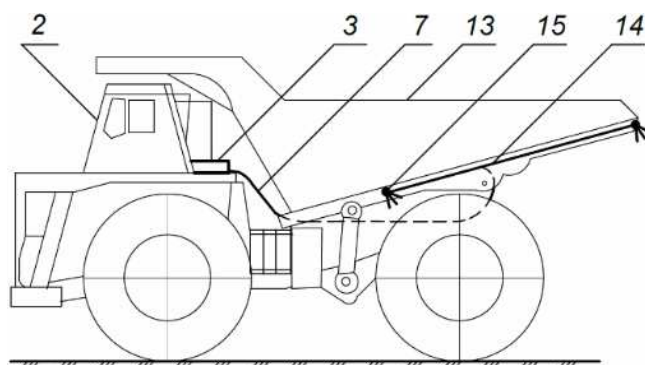


Рис. 2. Карьерный самосвал с подвесной оросительной системой

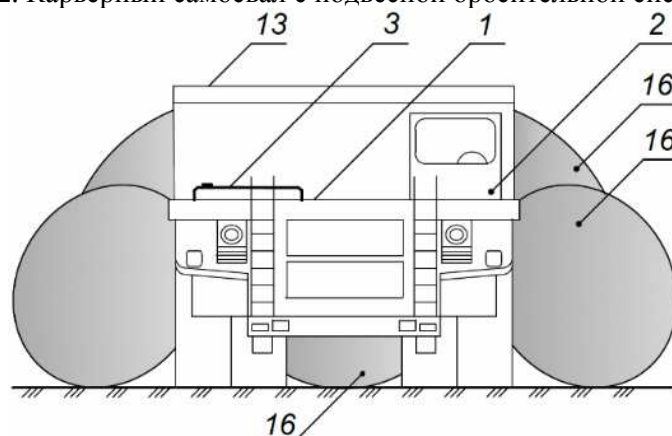


Рис. 3. Постановка гидродинамической завесы вокруг движущегося самосвала

Монтаж системы пылегазоподавления осуществляют в тёплое время года следующим образом. На палубе 1 самосвала 2, используемого для вывоза горной массы из карьера, устанавливают ёмкость 3 вместимостью до 1 м³, а на внешних боковых и задней поверхностях платформы 13 подвешивают изготовленный из стальных или гибких труб распределитель воды 14 с патрубками для крепления насадок 15, конструктивно приспособленных к распылению воды в виде шарообразного или полушарообразного облака. Затем соединяют распределитель 14 с ёмкостью 3 с помощью гибкого трубопровода 7, а к последнему подключают насосный агрегат 10.

В периоды отсутствия дождей для подавления пыли и ядовитых газов, поступающих в воздушное пространство карьера от работающего самосвала 2, открывают кран 6 на трубопроводной магистрали 7 и запускают насос 10 с помощью выключателя 12 бортовой энергетической установки 11. При открытом кране 6 и работающем насосе 10 воду из ёмкости 3 направляют по трубопроводу 7 в распределитель 14 с насадками 15, из которых она поступает в орошаемые зоны 16 в виде мелких капель размером $d_k = 0,25 \div 0,75$ мм. Снижение указанного размера капель нецелесообразно не только потому, что для этого требуются дополнительные затраты энергии и более качественная очистка распыляемой воды от тонких механических примесей, но и в связи с тем, что в результате избыточного дробления в массиве капель резко активизируется процесс парообразования с уменьшением веса жидкой фазы до значений, при которых существенная доля капель, насыщенных пылевыми частицами и газами, приобретает физические свойства аэрозоля.

Удаление механических примесей из воды, подаваемой к насадкам 15 для последующего диспергирования, обеспечивают фильтры грубой 8 и тонкой 9 очистки. Дисперсность капель воды и размер орошаемых зон 16 устанавливают, регулируя рабочий режим насоса 10 изменением частоты вращения вала электродвигателя.

При перемещении самосвала 2 по автодорогам масса распылённой воды, выпускаемой из форсунок 15, создаёт по его бокам и позади капельный шлейф, препятствующий распространению в воздушном пространстве отработанных газов и вылетающей из-под колёс пыли.

Израсходовав рабочий объём воды, самосвал направляют в специально обустроенный пункт, в котором заполняют ёмкость 3 технической водой через горловину 4.

С наступлением холодного периода года перед первыми заморозками систему орошения воздуха демонтируют, предварительно слив воду из ёмкости 3 через патрубок с краном 5.

Предлагаемое подвесное оборудование карьерных самосвалов является, фактически, средством постановки подвижной гидродинамической завесы для локализации пылегазовых выбросов в карьере при положительной температуре воздуха. Максимальный экономический эффект при его применении может быть получен за счёт рационального расходования воды с минимальными материальными и энергетическими затратами.

Обоснование технических параметров подвесной системы орошения воздуха целесообразно осуществлять, основываясь на результатах анализа взаимосвязи физических и геометрических параметров частиц взвешенной пыли и капель распыляемой воды. Для упрощения анализа орошаемое пространство было разделено на несколько зон одинакового размера в количестве, соответствующем количеству форсунок в оросительной системе. Было также представлено, что орошаемые зоны, капли распыляемой воды и частицы взвешенной пыли имеют форму шара диаметром d_o , d_k и d_q соответственно, при этом капли воды и частицы пыли распределены в орошаемой зоне равномерно.

Объём орошаемой зоны в карьере

$$V_o = \frac{\pi \cdot d_o^3}{6}, \text{ м}^3. \quad (1)$$

Объём капли воды

$$V_k = \frac{\pi \cdot d_k^3}{6}, \text{ м}^3. \quad (2)$$

Объём пылевой частицы

$$V_q = \frac{\pi \cdot d_q^3}{6}, \text{ м}^3. \quad (3)$$

Масса пыли, взвешенной в орошаемой зоне

$$m_n = c_n \cdot V_o = \frac{c_n \cdot \pi \cdot d_o^3}{6}, \text{ кг}, \quad (4)$$

где c_n – допустимое содержание пыли в орошаемой зоне, кг/м^3 .

Объём воды, взвешенной в орошаемой зоне

$$V_e = q_o \cdot m_n = \frac{q_o \cdot c_n \cdot \pi \cdot d_o^3}{6}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где q_o – удельный расход воды в орошаемых зонах, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Количество водяных капель, взвешенных в орошаемой зоне

$$n_k = V_e / V_k = \frac{q_o \cdot c_n \cdot d_o^3}{d_k^3}. \quad (6)$$

Масса пылевой частицы

$$m_q = \rho_n \cdot V_q = \frac{\rho_n \cdot \pi \cdot d_q^3}{6}, \text{ кг}, \quad (7)$$

где ρ_n – плотность пыли, кг/м^3 .

Количество пылевых частиц в орошаемой зоне

$$n_q = m_n / m_q = \frac{c_n \cdot d_o^3}{\rho_n \cdot d_q^3}. \quad (8)$$

Объём орошаемого пространства, приходящийся на одну частицу пыли

$$V_{oq} = V_o / n_q = \frac{\rho_n \cdot \pi \cdot d_q^3}{6 \cdot c_n}, \text{ м}^3. \quad (9)$$

Линейный размер орошаемого пространства вокруг одной частицы пыли

$$L_{оч} = \sqrt[3]{V_{оч}} = 0,806 \cdot d_q \cdot \sqrt[3]{\rho_n / c_n}, \text{ м.} \quad (10)$$

Количество частиц пыли, связываемых каплей воды

$$n_{чк} = n_q / n_k = \frac{d_k^3}{q_o \cdot \rho_n \cdot d_q^3}. \quad (11)$$

Длина траектории каплей воды, достаточная для очистки от пыли орошаемого пространства

$$L_k = L_{оч} \cdot n_{чк} = \frac{0,806 \cdot d_k^3}{q_o \cdot \sqrt[3]{\rho_n^2 \cdot c_n} \cdot d_q^2}, \text{ м.} \quad (12)$$

Оптимальный расход воды в оросительной системе достигается при равенстве длины необходимой траектории каплей L_k и размера орошаемой зоны d_o . При соблюдении условия $L_k = d_o$ получаем следующее уравнение для определения удельного расхода воды:

$$q_o = \frac{0,806 \cdot d_k^3}{\sqrt[3]{\rho_n^2 \cdot c_n} \cdot d_q^2 \cdot d_o}, \text{ м}^3/\text{кг.} \quad (13)$$

В этом случае расход воды (подача насоса) в подвесной оросительной системе

$$Q = 3,6 \cdot 10^6 \cdot q_o \cdot I_n = \frac{2,902 \cdot 10^6 \cdot d_k^3 \cdot I_n}{\sqrt[3]{\rho_n^2 \cdot c_n} \cdot d_q^2 \cdot d_o}, \text{ л/ч,} \quad (14)$$

при расходе воды в орошаемой зоне

$$Q_o = \frac{Q}{n_o}, \text{ л/ч.} \quad (15)$$

где I_n – интенсивность пылевыведения от движущегося самосвала, кг/с; n_o – количество орошаемых зон (на рис. 3 $n_o = 5$).

Анализ функции $Q = f(d_k)$ даёт возможность обосновывать выбор составных частей конструкции подвесной оросительной системы. Так, при постановке гидродинамической завесы вокруг самосвала с указанными на рисунке 4 рабочими параметрами Q , d_o и d_k заслуживают внимания насадки Spray Expert FM1,5 компании «ООО «Эксперт Инжиниринг» (Россия). Этот тип насадок позволяет формировать шарообразное облако распылённой воды диаметром d_o от 1 до 5 м при расходе Q_o от 0,08 до 0,22 л/мин и давлении на входе от 0,2 до 1,5 МПа (2÷15 бар).

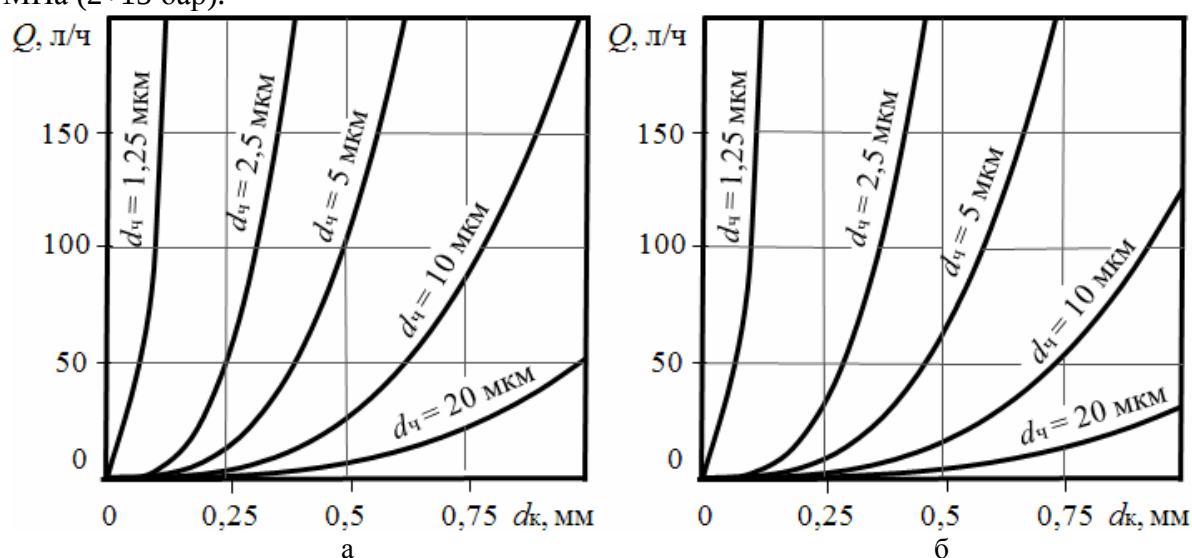


Рис. 4. Графики зависимости расхода воды Q в подвесной системе карьерного самосвала с пятью зонами орошения воздуха диаметром $d_o = 3$ (а) и 5 м (б) от размера d_k распыляемых капель воды при давлении витающей пыли крупностью d_q (при $c_n = 2 \cdot 10^{-6}$ кг/м³, $\rho_n = 2500$ кг/м³ и $I_n = 0,005$ кг/с)

Для водоснабжения насадок Spray Expert FM1,5 в количестве 5 шт. ($n_0 = 5$) может быть использован выпускаемый фирмой «Fluid-o-Tech» (Италия) весьма компактный пластинчатый ротационный насос Rotoflow серии CO/CA-МО/МА 50-200 CA104. При массе 1 кг насос способен обеспечить подачу $Q = 60 \div 120$ л/ч и давление p до 2 МПа (20 бар). Необходимая мощность электродвигателя для указанного насоса $50 \div 100$ Вт.

Заключение

Выполненные изыскания, направленные на совершенствование технических средств для гидравлического подавления пылегазовых выбросов в карьерах показал следующее.

1. Для повышения эффективности гидравлического подавления пыли в карьерах рекомендуется более активно вовлекать в водохозяйственный оборот собственные сточные и дренажные воды при условии их соответствия требуемым нормам.

2. Максимальный эффект от применения стационарных поливооросительных систем, присоединяемых к напорным трубопроводам карьерных водоотливных установок, достигается в тех случаях, когда материальные затраты на возведение этих систем и проведение мероприятий, связанных с переводом карьерных вод в категорию технических, погашаются за счёт снижения затрат энергии на работу насосных агрегатов, уменьшения сброса карьерных вод в природные водоёмы и улучшения условий труда в карьере.

3. При остром дефиците воды для полива и орошения очагов пылевыведения, рассредоточенных на большой площади объекта открытых горных работ, рекомендуется применять автономные оросительные модули, размещаемые на буровых, выемочно-погрузочных и транспортных машинах технологического комплекса карьера.

Список литературы

1. Бересневич П.В., Михайлов В.А., Филатов С.С. Аэрология карьеров: Справочник. – М.: Недра, 1990. – 280 с.
2. Битколов Н.З. Улучшение условий труда на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 104 с.
3. Неволин Д.Г., Кошкарлов Вл.Е., Кошкарлов Вас.Е. Технология обеспыливания автодорог на основе битумно-полимерных материалов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 135 с.
4. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. – М.: Недра, 1975. – 256 с.
5. Кошкарлов В.Е., Валиев Н.Г. Опыт и перспективы применения битумных эмульсий при строительстве и эксплуатации карьерных автодорог // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 5. – С. 13-20.
6. Методика по нормированию водопотребления и водоотведения для предприятий по добыче и переработке углей и сланцев. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1976. – 80 с.
7. Летуев К.В., Ковшов С.В., Гридина Е.Б. Технология гидрообеспыливания автомобильных дорог угольных разрезов с применением очищенных сточных и дренажных вод // Экология и промышленность России. – 2020. – № 1. – С. 30-33.
8. Морин А.С., Мигунов В.И., Штреслер К.А., Чесноков В.Т. Карьерные водоотливные установки с путевым отбором воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 3. – С. 130-140.
9. Морин А.С. Технология проветривания глубоких и сверхглубоких карьеров: монография. – М.: МАКС Пресс, 2006. – 160 с.
10. Морин А.С. Роль методов искусственного проветривания в комплексе мероприятий по управлению пылегазовым режимом карьеров // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 24-28.
11. Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L. Numerical simulation of blasting dust pollution in open pit mines // Applied Ecology and Environmental Research. 2019, vol. 17, no. 5, pp. 10313-10333. DOI: 10.15666/aer/1705_1031310333.
12. Wang Z., Zhou W., Jiskani I. M., Ding X., Luo H. Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control // Environmental Pollution. 2022, vol. 292, p. 118293. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118293.
13. Boente C., Millan-Martinez M., de la Campa A. M. S., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J. D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during open-pit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // Atmospheric Pollution Research. 2022, vol. 13, no. 4, p. 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
14. Патент №2804919 РФ. Устройство для подавления пылегазовых выбросов в карьере / А.С. Морин, Т.А. Бровина, В.И. Мигунов. – Заявка №2023105072 от 01.03.2023; опубл. 09.10.2023, Бюл. № 28.

References

1. Beresnevich P.V., Mikhailov V.A., Filatov S.S. Aerology of open-pit mines: Handbook. – M.: Nedra, 1990. – 280 p.
2. Bitkolov N.Z. Improving working conditions in open-pit mines. – M.: Nedra, 1972. – 104 p.

3. Nevolin D.G., Koshkarov V.I., Koshkarov V.S. Technology of Dust Control on Roads Based on Bitumen-Polymer Materials. – Ekaterinburg: USURT, 2015. – 135 p.
4. Nikitin V.S., Bitkolov N.Z. Ventilation of open-pit mines. – M.: Nedra, 1975. – 256 p.
5. Koshkarov V.E., Valiev N.G. Experience and prospects of application of bitumen emulsions in construction and operation of open-pit mine roads // News of universities. Mining journal. 2011, no. 5, pp. 13-20.
6. Methodology for the standardization of water consumption and discharge for enterprises engaged in the extraction and processing of coal and shale. – M.: IM n.a. A.A. Skochinsky, 1976. – 80 p.
7. Letuev K.V., Kovshov S.V., Gridina E.B. Technology of hydro-dust suppression of highways in coal open-pit mines using purified wastewater and drainage water // Ecology and Industry of Russia. 2020, no. 1, pp. 30-33.
8. Morin A.S., Migunov V.I., Shtresler K.A., Chesnokov V.T. Drainage facilities with underway water intake in open pit mines // Mining information and analytical bulletin. 2024, no. 3, pp. 130-140.
9. Morin A.S. Technology of ventilation of deep and superdeep open pit mines: monograph. – M.: MAX Press, 2006. – 160 p.
10. Morin A.S. The role of forced ventilation methods in a set of measures to control dust and gas conditions in open pits // News of universities. Mining journal. 2007, no. 1, pp. 24-28.
11. Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L. Numerical simulation of blasting dust pollution in open pit mines // Applied Ecology and Environmental Research. 2019, vol. 17, no. 5, pp. 10313-10333. DOI: 10.15666/aeer/1705_1031310333.
12. Wang Z., Zhou W., Jiskani I. M., Ding X., Luo H. Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control // Environmental Pollution. 2022, vol. 292, p. 118293. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118293.
13. Boente C., Millan-Martinez M., de la Campa A. M. S., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J. D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during open-pit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // Atmospheric Pollution Research. 2022, vol. 13, no. 4, p. 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
14. Patent No. 2804919 RU. Device for suppressing dust and gas emissions in the open pit mine / A.S. Morin, T.A. Brovina, V.I. Migunov. – Appl. No. 2023105072 from 01.03.2023; publ. 09.10.2023, Bul. No. 28.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Морин Андрей Степанович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы»	Morin Andrey Stepanovich – doctor of technical sciences, associate professor, head of the Department of mining machines and complexes
Бровина Татьяна Александровна – старший преподаватель кафедры «Горные машины и комплексы»	Brovina Tatyana Aleksandrovna – senior lecturer of the Department of mining machines and complexes
Игнатова Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы»	Ignatova Olga Sergeevna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining machines and complexes
Сысоев Андрей Александрович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Открытые горные работы»	Sysoev Andrey Aleksandrovich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department open pit mining
tabrovina@mail.ru	

Получена 22.11.2024