



УДК 622.276+622.807.2:622.273

Обзор / Review

© ПНИПУ / PNRPU, 2019

МЕТОДЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Кришчук, М.Ю. Лискова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

DUST SUPPRESSION METHODS IN COAL MINES OF THE FAR NORTH

Nikita A. Sharov, Ruslan R. Dudayev, Denis I. Krishchuk, Maria Yu. Liskova

Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy ave., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 12.11.2018. Принята / Accepted: 01.06.2019. Опубликовано / Published: 28.06.2019

Ключевые слова:

угольные разрезы, пыль, источники пылеобразования, методы пылеподавления, открытые горные работы, уголь, запыленность воздуха, борьба с пылью, пылевая нагрузка, отрицательные температуры, полезное ископаемое, добыча, карьер, топливо, Крайний Север.

В настоящее время угольная промышленность России демонстрирует наращивание добычи угля на фоне увеличения экспорта полезного ископаемого. Добыча угля на территории Российской Федерации производится открытым и подземным способами, на данный момент действует 59 шахт по добыче подземным способом и 108 угольных разрезов. Особенностью современного этапа развития горных работ на карьере является высокая концентрация и интенсификация всех технологических процессов, связанных с добычей и переработкой горнорудного сырья. Отмеченное сопровождается усложнением процесса проветривания выработанного пространства карьера, ухудшением условий труда по пылевому и газовому факторам, негативным воздействием на организм человека и на окружающую среду.

При поступлении пыли более 58 кг/га в месяц наблюдается эффект угнетения жизнедеятельности большинства растений и животных в данном районе. Вдыхаемая пыль вызывает острые заболевания верхних дыхательных путей. Накопление в воздухе пыли взрывоопасных и горючих материалов грозит опасностью взрыва или возгорания. Повышенное количество пыли отрицательно сказывается на состоянии техники. Помимо чисто механического износа из-за попадания абразивных частиц в трущиеся детали возможны сбои систем управления машиной, так как повышенное количество пыли попадает в электронные блоки управления.

Ресурс двигателей, работающих в условиях запыления, сокращается в 2–3 раза. Воздействие пыли увеличивает интенсивность процесса коррозии, обслуживание и ремонт техники становятся сложнее и продолжительнее по времени.

Поэтому подавление пыли – чрезвычайно важное мероприятие, которое применяется во многих отраслях. Пылеподавление – очень широкое понятие. В данной статье рассмотрена только часть этого вопроса – комплекс способов и средств. Для борьбы с пылью используются разнообразные способы и оборудование – от сложных стационарных вытяжных вентиляционных систем, сепараторов-циклонов и электростатических пылеуловителей до дождевальных установок, гидромониторов и туманообразующих пушек, распыляющих воду, химические вещества и пену.

В данной статье проанализированы специфика отработки полезных ископаемых в условиях отрицательных температур, источники пылеобразования, влияние пыли на организм человека и методы пылеподавления, которые используют на угольных разрезах в целом, а также рассматривается проблема пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера. Данная проблема является актуальной на сегодняшний день, так как многие угледобывающие предприятия России действуют в условиях низкого температурного режима.

Key words:

coal mines, dust, dust sources, dust suppression methods, open-cast mining, coal, air dustiness, dust control, dust load, negative temperatures, mineral, mining, quarry, fuel, Far North.

At present, the coal industry in Russia is demonstrating an increase in coal production against the background of increasing exports of minerals. Coal mining on the territory of the Russian Federation is made by open and underground methods, currently there are 59 underground mines and 108 coal mines operating.

The peculiarity of the modern stage of development of mining at a quarry is the high concentration and intensification of all technological processes associated with the extraction and processing of mining raw materials. The above is accompanied by the increasing complexity of the process of airing the open pit space, the deterioration of working conditions due to dust and gas factors, and the negative impact on the human body and the environment.

Why is coal dust so dangerous? According to research data, when dust is received in excess of 58 kg / ha per month, there is an effect of depressing the vital activity of most plants and animals in the area. Inhaled dust causes acute diseases of the upper respiratory tract. The accumulation of dust explosive and combustible materials in the air threatens to explode or ignite. The increased amount of dust adversely affects the condition of the equipment. In addition to purely mechanical wear due to the ingress of abrasive particles into moving parts, malfunction of the machine control systems is possible, since an increased amount of dust gets into the electronic control units.

The resource of engines operating in dusty conditions is reduced by 2-3 times. The impact of dust increases the intensity of the corrosion process, maintenance and repair of equipment become more difficult and longer in time.

Therefore, the suppression of dust - an extremely important event, which is used in many industries. Dust suppression is a very broad concept. This article covers only part of this issue - a set of ways and means. To combat dust, a variety of methods and equipment are used - from complex stationary exhaust ventilation systems, cyclone separators and electrostatic dust collectors to sprinklers, hydromonitors and fogging guns that spray water, chemicals and foam.

This article analyzes the specifics of mining in negative temperatures, sources of dust formation, the effect of dust on the human body and dust suppression methods that are used on coal mines in general, and also deals with the problem of dust suppression on coal mines of the Far North. This problem is relevant today, as many coal-mining enterprises in Russia operate in low temperature conditions.

Шаров Никита Андреевич (тел.: +007 951 922 54 75, e-mail: sharov.nickita@yandex.ru).

Дудаев Руслан Робертович (тел.: +007 982 491 66 96, e-mail: dudaevruslan69@gmail.com).

Кришчук Денис Игоревич (тел.: +7 950 4657995, e-mail: ms.den.best@mail.ru).

Лискова Мария Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 922 311 67 64, e-mail: liskova.rpb@gmail.com). Контактное лицо для переписки.

Nikita A. Sharov (tel.: +007 951 922 54 75, e-mail: sharov.nickita@yandex.ru).

Ruslan R. Dudayev (tel.: +007 982 491 66 96, e-mail: dudaevruslan69@gmail.com).

Denis I. Krishchuk (tel.: +7 950 4657995, e-mail: ms.den.best@mail.ru).

Maria Yu. Liskova (Author ID in Scopus: 55749420800) – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Life Safety (tel.: +007 922 311 67 64, e-mail: liskova.rpb@gmail.com). The contact person for correspondence.

Введение

Уголь – полезное ископаемое, вид топлива, источник 40 % электроэнергии всего мира. Ископаемое, без которого невозможна выплавка чугуна и ферросплавов. Данное полезное ископаемое имеет три вида: каменный уголь, бурый уголь и антрацит [1].

Угольная промышленность России демонстрирует наращивание добычи угля на фоне увеличения экспорта полезного ископаемого. Однако следует учесть, что уголь считается самым «грязным» видом топлива и попадает под все новые ужесточения требований к экологии [2]. И во всех странах-потребителях угля вводятся программы по переходу на возобновляемые источники энергии и программы общей газификации.

Несмотря на это, количество потребляемого угля не снизится, а снизится его мировая доля в выработке электроэнергии [3]. И для понижения рисков в угольной промышленности России следует сделать акцент на экспорт в восточные страны и добычу коксующегося и антрацитного угля, спрос на которые не упадет никогда.

Добыча угля на территории Российской Федерации производится открытым и подземным способами, на данный момент действует 59 шахт по добыче подземным способом и 108 угольных разрезов. Их суммарная производственная мощность – 435 млн т угля. Численность всех работников в угледобывающей промышленности составляет 130 тыс. человек.

Отличительной особенностью добычи угля, по сравнению с другими полезными ископаемыми, является повышенная запыленность в шахтах и разрезах, опасность прорыва ядовитых и взрывоопасных газов и возможность возгорания шахты, которое очень сложно тушить [4].

Основные угольные месторождения нашей страны расположены на юго-востоке, также имеются большие запасы качественного угля на северо-востоке страны. Основными предприятиями, добывающими уголь в нашей стране, являются:

1. «СУЭК», в который входит 15 шахт и 12 разрезов в Сибири и на Дальнем Востоке, добывающих около 27 % угля в России. В 2017 г. компания добыла 107,8 млн т угля [5].

2. «Кузбассразрезуголь» – компания ведет свою деятельность в Кемеровской области, ей принадлежат 6 угольных разрезов и 1 угольная шахта, с которых добывается 46 млн т угля в год [5].

3. «СДС-Уголь», добывающий 30 млн т в год на своих четырех угольных разрезах и двух шахтах [5].

В настоящее время существует заинтересованность по добыче угля на Крайнем Севере России. Такая заинтересованность появилась по причине появления достаточного количества мощных ледоколов российского флота. На сегодняшний день Россия обладает 41 ледоколом, из них 8 атомных [6]. Для сравнения во всем мире всего 80 ледоколов. Еще одной причиной является глобальное потепление, которое за последние 100 лет увеличило среднюю температуру воздуха на 0,74 °С и уменьшило площадь поверхности льдов на 25 % [7]. Все это дает возможности осваивать новые месторождения в Арктическом регионе России и конкурировать Северному морскому пути с Суэцким каналом.

Для изучения пылеподавления на северных угольных предприятиях нами были изучены: угольный разрез «Юньягинский» (Республика Коми), а также две шахты «Северная» и «Заполярная», расположенные в Воркуте, Республике Коми). На них были определены значительные проблемы с пылеподавлением в условиях Крайнего Севера по причине низкой влажности и невозможности или дороговизне использования классических методов борьбы с пылью. Однако для изучения пылеподавления именно на разрезах мы можем опираться только на опыт разреза «Юньягинский».

Прежде чем изучать методы пылеподавления в угольных карьерах непосредственно Крайнего Севера, необходимо определить специфику отработки полезных ископаемых в данных климатических условиях, источники пылеобразования, влияние пыли на организм человека и методы пылеподавления, которые используют на угольных разрезах в целом.

Особенности отработки угольных карьеров в условиях отрицательных температур

Для арктических регионов России характерно влияние экстремальных природно-климатических условий, очагового характера расселения и освоения, отсутствия нормальной транспортной инфраструктуры. Например, для нескольких труднодоступных районов Якутии стоимость доставки превышает стоимость добычи настолько существенно, что разработка месторождений местного угольного топлива осуществляется только в непосредственной близости от основных точек потребления [8].

Так, наряду с экстремальными природными и климатическими условиями жизнедеятельности, для регионов Арктической зоны РФ характерны

высокая энергоемкость и низкая эффективность добычи природных ресурсов [9].

Отдельно стоит отметить проблему северного завоза, с помощью которого население, проживающее на этой территории, обеспечивается необходимыми ресурсами. В настоящее время ее предлагается решать за счет использования возобновляемых и альтернативных, в том числе местных, источников энергии.

Электроснабжение Арктической зоны северо-востока России осуществляется от децентрализованных дизельных электростанций и отдельных изолированных энергоузлов [10]. Промышленные потребители тепловой энергии и электроэнергии представлены предприятиями по добыче полезных ископаемых. В ближайшей и среднесрочной перспективе существенный рост потребления энергии не прогнозируется.

На сегодняшний день действующие угледобывающие предприятия, участвующие в завозе угля в регион или поставляющие его в смежные районы, используют традиционные открытые или подземные геотехнологии. При этом они сталкиваются со следующими производственными сложностями: слабой технической оснащенностью, высоким износом основных фондов, дефицитом квалифицированного персонала. Амортизационные отчисления и получаемая прибыль не обеспечивают проведение нормальных реновационных мероприятий [11].

Строительство промышленных и бытовых сооружений на ледяном панцире вечной мерзлоты, который постоянно меняет свою структуру, очень сложно. Рыхлые грунты – песчаники, галечники и глины – в условиях вечной мерзлоты ведут себя самым непредсказуемым образом. Возведенные на них сооружения нагревают грунт, и он теряет монолитность, начинает подтаивать и смещаться. Строить основания зданий на мерзлоте можно, только приняв специальные меры для поддержания постоянной температуры грунта [12].

Сильные ветры и частые метели – это еще одна особенность северного климата, с которой сталкиваются предприятия. К примеру, на севере Якутии крайне тяжелые погодные условия, скорость ветра 1 м/с по ощущениям человека понижает температуру воздуха на два градуса. Например, когда температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и дует ветер 18 м/с, мороз получается на уровне $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$! Местный климат по жесткости уступает только антарктическому [13].

Кроме этого, горные работы обычно сопровождаются интенсивным пылеобразованием и выбросами пыли в окружающую среду. Зона покрытия земной поверхности пылевыми

выбросами обычно в десятки раз превышает размеры промплощадок [14].

Значение этого экологического фактора при освоении месторождений в криолитозоне многократно возрастает вследствие наличия мощных потоков трансграничного переноса пассивных загрязнений [15].

Еще одной отличительной особенностью Крайнего Севера и Арктики в частности является режим солнечной активности. Здесь целый год делится на полярный день и полярную ночь протяженностью по полгода.

Все особенности, перечисленные выше, сильно усложняют добычу полезного ископаемого в условиях Крайнего Севера.

Источники пылеобразования в угольных карьерах

Пылевая обстановка разреза в целом и его отдельных участков в значительной степени зависит от наличия, состава и характера движущихся воздушных потоков, которые в основном определяют количество приносимых, возникающих и выносимых из разреза вредных веществ, а иногда могут быть причиной интенсивного пылеобразования [16–18]. Также запыленность воздуха на разрезах определяется расстоянием от источника пылеобразования и климатическими условиями. Источники образования пыли на карьере при добыче и переработке минерального сырья представлены в табл. 1 [19, 20].

Анализ литературных источников показывает, что, несмотря на применение различных способов пылеподавления, концентрация пыли на всех этапах добычи угля на разрезах превышает нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) [13], установленные для воздушной среды рабочей зоны.

Например, на предприятиях, ведущих активную добычу угля на месторождениях Кузнецкого и Иркутского угольных бассейнов, наиболее неблагоприятные условия трудового процесса выявлены на рабочих местах водителей и машинистов тяжелой техники с высокой степенью запыленности, значительно превышающей норму (табл. 2).

Влияние пыли на организм человека

Воздействие вредных производственных факторов, характерных для всех трудовых процессов добычи угля, приводит к развитию профессиональных заболеваний работников отрасли, что влечет за собой значительный урон предприятию и государству в целом, наносит непоправимый ущерб здоровью работников угольной отрасли, сокращает продолжительность жизни [21, 22].

Таблица 1

Основные источники загрязнения атмосферы пылью на горных предприятиях [20]

Основные технологические процессы и объекты	Источники загрязнения
Подготовка горных пород к выемке	1. Пыль при бурении скважин 2. Пыль при производстве взрывных работ
Выемочно-погрузочные работы	1. Пыль при выемке и погрузке горной массы в транспортные средства и разрезке в отвал различными выемочными машинами. 2. Пыль при выемке горной массы экскавационными и экскавационно-транспортирующими машинами с двигателем внутреннего сгорания (экскаваторы с дизельным приводом, погрузчики, скреперы, бульдозеры)
Транспортирование карьерных грузов	1. Пыль на карьерных автодорогах. 2. Сдувание пыли из транспортных сосудов при перемещении полезных ископаемых, пустых пород и отходов обогащения. 3. Пыль на пунктах перегрузки
Отвалообразование и складирование пустых пород, отходов обогащения и полезных ископаемых	1. Пыль при укладке горной массы в отвалы и склады. 2. Пыление обнаженных поверхностей отвалов пустых пород, складов полезных ископаемых, шламохранилищ
Карьерные выемки	1. Сдувание пыли с поверхностей отвалов и площадок
Объекты промплощадки: – дробильно-сортировочные, агломерационные и обогатительные фабрики; – котельные установки; – базы производственных машин и автотранспортной техники	1. Пыль при разгрузке, дроблении и сортировке полезных ископаемых. 2. Пыль при обжиге в обогащении полезных ископаемых. 3. Пыль при работе котельных установок. 4. Пыль при эксплуатации без производственной техники

Таблица 2

Запыленность на рабочих местах месторождений Кузнецкого и Иркутского бассейнов [23–25]

Рабочее место	Средний уровень концентрации пыли, мг/м ³	Превышение ПДК, мг/м ³
<i>Кузнецкий бассейн</i>		
Водитель автомобиля БелАЗ грузоподъемностью 30 т	7,4 ± 1,2	5,4 ± 1,2
Водитель автомобиля БелАЗ грузоподъемностью 42 т	7,0 ± 1,1	5,0 ± 1,1
Водитель автомобиля БелАЗ грузоподъемностью 170 т	6,1 ± 1,0	4,1 ± 1,0
Водитель автомобиля БелАЗ грузоподъемностью 200 т	6,2 ± 1,6	4,2 ± 1,6
Машинист бульдозера Т-500-Р-1	5,8 ± 2,9	3,8 ± 2,9
<i>Иркутский бассейн</i>		
Машинист бульдозера	16,0 ± 0,2	14,0 ± 0,2
Машинист колесной техники	18,1 ± 0,4	16,1 ± 0,4
Водитель автосамосвала	14,9 ± 0,2	12,9 ± 0,2
Машинист экскаватора	15,4 ± 0,1	13,4 ± 0,1
Машинист буровой установки	10,5 ± 3,0	8,5 ± 3,0
Взрывник	6,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2

По данным Международной организации труда, ежегодно от связанных с работой несчастных случаев и заболеваний гибнет 2,34 млн людей. Подавляющее большинство из них – примерно 2,02 млн чел – умирает от разнообразных профессиональных заболеваний [26].

В России наибольший уровень профессиональных заболеваний зафиксирован именно среди работников предприятий по добыче полезных ископаемых [27]. Так, в 2015 г. удельный вес работников в горнодобывающей промышленности, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, составил 56,5 %. При этом, несмотря на техническое переоснащение, первой в списке идет угольная отрасль добывающей промышленности, в которой удельный вес рассматриваемой категории работников составляет 79,7 % от общего числа тех, кто занят в данной отрасли [28–30].

Производственные условия на угольных разрезах характеризуются совокупностью вредных факторов трудового процесса, негативно влияющих на организм человека [31, 32]. К вредным производственным факторам могут относиться:

угольно-породные аэрозоли, шум, вибрация, температурный режим, влажность воздуха, вредные газы и другие [33, 34].

Риск получить профессиональное заболевание пылевой этиологии зависит от следующих факторов [16]:

1) концентрация пыли, продолжительность и интенсивность воздействия;

2) индивидуальная восприимчивость к пыли и наличие факторов, предрасполагающих к развитию фиброза;

3) физико-химические свойства пыли, геометрические параметры частиц, их аэродинамические свойства.

Установлено [35, 36], что действие пыли на организм при дыхании запыленного воздуха носит накопительный характер. Важным является то, каким способом осуществляется дыхание: через нос или через рот. Значительная часть пыли (до 90 %) задерживается слизистой оболочкой носа, носоглотки, трахеи, бронхов по мере прохождения ее по дыхательному тракту, другая часть проникает в нижние дыхательные пути и там задерживается. При длительном воздействии пыли уменьшается защитное действие слизистой оболочки, происходят изменения в верхних дыхательных путях, приводящие к заболеванию пылевым бронхитом [37]. Длительный контакт с мелкими фракциями пыли (до 5 мкм) может привести к заболеванию пневмокониозом [38].

Так, в Китае пневмокониоз – самое распространенное заболевание, обусловленное трудовой деятельностью, удельный вес которого составляет более 80 % от всех зарегистрированных случаев профессиональных заболеваний. Причем по последним данным известно, что ежегодно там фиксируется от 10 до 23 тыс. случаев заболеваний. В Индии негативное воздействие кремневой пыли распространяется на 10 млн рабочих, занятых в горнодобывающей, строительной и прочих отраслях промышленности [39, 40].

Во Вьетнаме доля заболеваний пневмокониозом составляет 75,7 % в структуре профессиональной заболеваемости, за которые работники получают пособия. В Бразилии негативному воздействию кремневой пыли подвергаются 6,6 млн работников. Исследования, проведенные в Латинской Америке, показывают, что 37 % подземных рабочих имеют диагноз силикоза, 50 % шахтеров старше 50 лет. Эпидемиологические исследования в развивающихся странах подтверждают, что от силикоза и других видов пневмокониоза могут

страдать от 30 до 50 % работников добывающей промышленности [39].

В США, по официальным данным, количество заболевших пневмокониозом составляет 1 млн человек. Свыше 50 % рабочих Японии, ведущих подземную добычу полезных ископаемых, страдают от пневмокониоза; в Австрии от 2 до 20 % шахтеров имеют указанное заболевание. В Англии ежегодно регистрируется более 5 тыс. случаев пневмокониоза. Нередко пневмокониоз приводит к смертельному исходу. Среди заболевших в США ежегодно умирает около 2 тыс., в Англии – 1300 человек [41].

Таким образом, уровень профессиональной заболеваемости в угольной промышленности очень высок не только в России, но и в мире в целом.

Как показывает анализ, при отработке угольного разреза образуется большое количество пыли, которая, в свою очередь, оказывает влияние на организм человека и является весьма опасной [42]. Поэтому необходимо применять различные методы пылеподавления, которые рассмотрим ниже.

Методы пылеподавления в карьерах

Производственный процесс добычи угля открытым способом сопряжен с высоким уровнем профессионального риска, который формируется преимущественно в связи с интенсивным ингаляционным воздействием угольной пыли на фоне неблагоприятного микроклимата [43].

Борьба с пылью на горных предприятиях включает предупреждение пылеобразования, пылеподавление и пылеулавливание. При невозможности полного исключения пылеобразования наряду с пылеулавливанием на горных предприятиях при различных технологических процессах широко используется пылеподавление пыли в атмосфере (коагуляция) и ее осаждение непосредственно в местах пылеобразования, а также обеспыливающая (искусственная) вентиляция – разжижение и удаление пылевого облака [44].

На открытых горных работах все источники пылевыделения можно разделить на локальные (точечные) и площадные, которые представлены на рис. 1.

По сравнению с локальными источниками, площадные обладают значительными пылящими поверхностями и, как следствие, большими объемами загрязненного воздуха. Поэтому и

способы борьбы с пылью должны быть более масштабными [19].



Рис. 1. Источники пылевыведения на разрезе

Борьба с пылью на предприятиях минерально-сырьевого комплекса может производиться на разных стадиях ее формирования: при образовании твердых частиц пылевой фракции в результате технологического процесса, при сдувании (взметывании) пылевых частиц, непосредственно в запыленном воздухе [45, 46].

При этом уменьшение концентрации пыли в воздухе может достигаться различными путями: путем предотвращения образования пыли, путем осаждения пыли за счет процессов коагуляции, путем фильтрования запыленного воздуха, путем вентиляции – разжижение и удаление пылевого облака из атмосферы [46].

Выделено четыре направления борьбы с пылью на горных предприятиях: организационное, технологическое, техническое и биологическое. Каждое из них может быть реализовано в комплексе с другими, а системность решения конкретных задач обосновывается экономическими, энергетическими, санитарно-гигиеническими или экологическими критериями [47, 48].

Организационные способы направлены на оптимизацию производственных процессов, связанных с режимом ведения горных работ, и имеют в своем составе технологическую и природную составляющие [46].

Технологические способы пылеподавления представляют собой мероприятия по рационализации технологии и процессов, модернизации средств труда и применению новой техники [46].

Технические способы пылеподавления, прежде всего, связаны с применением технических средств,

снижающих пылеобразование и пылевыведение и подавляющих пылевыведение. Все они могут быть разделены на два вида: мокрые и сухие [46].

Биологические способы пылеподавления связаны с применением материалов, имеющих органическую основу (биогенные способы), а также с использованием живой природы (биоценоотические способы) [46].

Несмотря на значительные масштабы проведенных исследований в области снижения пылевыведения и пылепереноса и предложенных конструктивных решений, практические результаты достаточно скромны в связи с тем, что недостаточно внимания уделено аспектам повышения эффективности и работоспособности предложенных устройств, а также рационализации их работы [46].

В этой связи поиск рациональных средств и способов снижения пылегазовых выбросов в атмосферу, как и прежде, актуальная задача. Наиболее перспективными и технологичными [49, 50, 51] являются мокрые способы, реализуемые в процессе увлажнения пылеобразующего сырья и пылящего материала, орошения витающей пыли растворами и связывания жидкими (гелеобразными) веществами.

Особый интерес представляют мокрые способы управления пылевыми выбросами на всех стадиях процесса с использованием эффектов фазовых переходов «пар – жидкость – лед» [46].

Анализ научных исследований и технических решений, направленных на снижение пылевыведения в условиях открытых горных работ, показал, что основным способом борьбы с пылью на точечных и протяженных источниках пылеподавления является гидрообеспыливание (орошение), т.е. улавливание и осаждение твердых частиц пыли каплями жидкости [52–55].

Пылеподавление водой является одним из наиболее распространенных мероприятий по снижению пылевой нагрузки на разрезах [56]. Эффективность пылеподавления водой оросителями в зависимости от ветроустойчивости покрытия достигает 95 %. В условиях отрицательных температур на выходящем сопле форсунки образуется наледь, которая препятствует выходу жидкости, влияет на качество получаемого аэрозоля, значит, для круглогодичного пылеподавления орошение водой не является эффективным методом, так как в процессе коагуляции частичек пыли с водой в зимний период вода замерзает и не может

полностью вступать в контакт с пылью, т.е. эффективность снижается примерно до 40 %. Это не может удовлетворять потребности предприятия в безопасной, бесперебойной работе системы в целом [46].

Еще одним из основных направлений снижения пылевой нагрузки на рабочую зону карьеров строительных материалов от аэротехногенного воздействия внешних отвалов пород является уменьшение пылевыделения на основе нанесения на их поверхность защитного биогенного слоя, состоящего из смеси биогумуса и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы. Установлено, что при нанесении биогенного защитного слоя на основе смеси биогумуса и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы обеспечивается снижение пылевыделения в 10–11 раз с повышением биопродуктивности укрепленной поверхности внешних отвалов на 90 %, что определяется соотношением компонентов смеси 125:1 и толщиной слоя 3 см [57].

Немаловажную роль в процессе пылеподавления на разрезе играет и пылеобразование на технологических автодорогах. Интенсивное пылеобразование приводит к снижению скорости движения и уменьшению производительности автомобильного транспорта, интенсивному износу деталей и узлов автомобильной техники, а также к формированию профессиональных заболеваний у работников разреза. Запыленность воздуха вблизи автодорог составляет $0,5\text{--}103 \text{ кг/м}^3$, интенсивность выделения пыли на дорогах – $0,014 \text{ кг/с}$. Дисперсность витающей пыли чрезвычайно высокая: 90–98 % пылинок имеют размер менее 10 мкм, что говорит о потенциальной пневмокониозоопасности из-за содержания свободного кремнезема в виде кварца, количество которого достигает 40–42 % [58]. Внедрение поверхностно-активных веществ в данной ситуации может оказаться наиболее оптимальным способом борьбы с пылью в течение всего года.

В настоящее время существует целый ряд поверхностно-активных веществ, которые образуют на поверхности автодороги гибкую пленку, способную связывать породно-угольную пыль и существенно снижать пылеобразование вследствие работы грузового транспорта на срок порядка 14 дней. Например, поверхностно-активное вещество РНХ-1020 производства «Роснефтехим» сохраняет эффективность в условиях дождливой погоды и может использоваться на автодорогах разреза при температуре до $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ [59].

При взрывных работах пылеподавление рационально осуществлять через продолжительную (до, во время и после взрыва) обработку пылегазового облака тонкораспыленной ионизированной жидкостью из оросительных установок, размещаемых в чередующемся (по заряду ионов) порядке вне зоны их возможного повреждения или разрушения под воздействием взрыва [60].

На рис. 2 представлена эффективность способов пылеподавления с точки зрения круглогодичности пылеподавления.

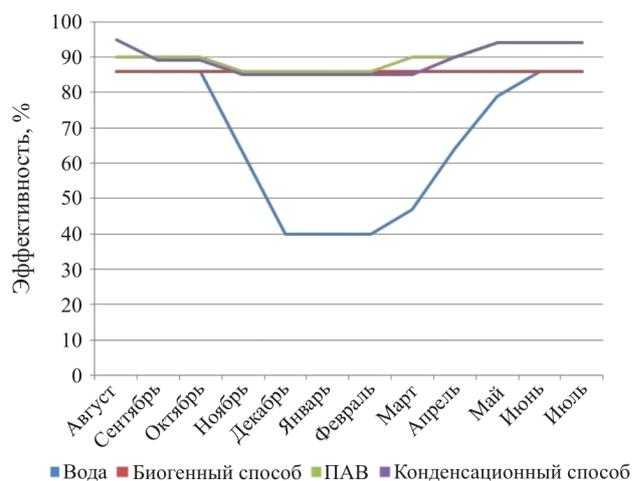


Рис. 2. Зависимость эффективности различных способов пылеподавления от времени года

Помимо данных мер, существуют приборы для улавливания аэрозолей, которые помогают очистить загрязненный воздух и удалить особо мелкие фракции [61].

Для улавливания аэрозолей применяют сухие, мокрые и электрические способы очистки, осуществляемые аппаратами и устройствами различной конструкции [62]. Выбор способа и аппарата для улавливания аэрозолей осуществляется в зависимости от его дисперсного состава (табл. 3).

В случаях, когда технические мероприятия не могут обеспечить снижения запыленности воздуха на рабочих местах до предельно допустимых концентраций, обязательно применение индивидуальных средств защиты от пыли [63].

Таким образом, механизм повышения качества пылевой обстановки на горных предприятиях представляет собой предупреждение пылеобразования, пылеподавление и пылеулавливание. Для улавливания аэрозолей применяют сухие, мокрые и электрические способы очистки с помощью аппаратов и устройств различной конструк-

ции. Основными методами пылеподавления являются гидрообеспыливание, использование поверхностно-активных веществ, биогенный и конденсационный способы.

Т а б л и ц а 3

Выбор аппаратов в зависимости от дисперсности пыли

Размер частиц, мкм	Способы очистки	Аппараты
40–1000	Сухой	Пылеосадительные камеры
20–1000	Сухой	Циклоны диаметром 1–2 м
5–1000	Сухой	Циклоны диаметром 1 м
20–100	Мокрый	Скрубберы
0,9–100	Сухой	Тканевые фильтры
0,05–100	Сухой	Волокнистые фильтры
0,01–100	Электрический	Электрофильтры

Не всегда технические мероприятия обеспечивают полноценную здоровую пылевую обстановку на рабочих местах (снижение запыленности воздуха до предельно допустимых концентраций), в таких случаях обязательно применение индивидуальных средств защиты органов дыхания [64].

Рассмотрев методы пылеподавления, можно сделать вывод, что их достаточно много, но не все из них можно применять в условиях отрицательных температур. Поэтому необходимо проанализировать, какие методы пылеподавления можно использовать в условиях Крайнего Севера.

Методы пылеподавления в карьерах Крайнего Севера

В настоящее время существует «Руководство по борьбе с пылью сланцевых разрезах и пылевзрывозащите на угольных и сланцевых разрезах» [65], согласно которому есть дополнительные требования по борьбе с пылью при отрицательных температурах на разрезах, которые включают в себя мероприятия по борьбе с пылью в экскаваторных забоях и при погрузочно-разгрузочных работах.

Уже в 1984 г. учеными рассматривался конденсационный метод подавления пыли при перегрузке горной массы в карьерах в условиях отрицательных температур. В работах [66, 67] обоснована возможность использования нагретой распыленной воды для конденсационного подавления пыли при перегрузке горной массы на открытых горных работах в период отрицательных температур. При этом эффективность конденсационного пылеподавления зависит не только от температуры и расхода воды, но и от температуры и начальной запыленности воздуха.

В работе [67] приведена методика расчета расхода нагретой воды для конденсационного пылеподавления при перегрузке горной массы в карьерах в условиях отрицательных температур. В работе [67] установлено, что увеличение температуры воды повышает эффективность пылеподавления в 1,1–4,2 раза, при температуре подаваемой воды 95 °С пылевые частицы менее 5 мкм улавливаются на 85–86 %. Исследовано влияние температуры воздуха на эффективность осаждения пыли. Эксперименты проводили с горячей (95 °С) водой при температуре воздуха 0; –100; –200 °С. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что при понижении температуры воздуха эффективность осаждения возрастает и достигает при отношении масс горячей воды и пыли $(0,8–1,3) \cdot 10^3$ кг/кг 80–90 % и более. Это можно объяснить интенсификацией процесса за счет получения более высокого пересыщения при низких отрицательных температурах. Установлено, что для конденсационного пылеподавления в условиях отрицательных температур рекомендуется использовать нагретую до 80–95 °С воду из расчета 300–800 кг на 1 кг выделяющейся пыли.

Многие угледобывающие предприятия России действуют в условиях низкого температурного режима. В связи с этим осуществление трудовой деятельности требует применения особых средств индивидуальной защиты [68]. При этом к основной функции средств индивидуальной защиты органов дыхания добавляется еще одна – защита от низких температур окружающей среды. Например, автономный респиратор с поддувом, регенеративный респиратор, респиратор с кислородным баллоном, респиратор-кондиционер [69].

Защита от холода путем подогрева вдыхаемого воздуха устройствами, через которые производится дыхание, способствует уменьшению теплопотерь на согревание вдыхаемого воздуха. В целом

этот процесс отражается на сохранении нормального теплового состояния организма и, следовательно, повышает уровень работоспособности организма [70].

Данные устройства предназначены для повышения температуры вдыхаемого воздуха при низких отрицательных температурах, однако для них присущи общие недостатки эксплуатационного или конструктивного характера. При этом при температурах ниже – 30 °С материал корпуса, фильтра, теплообменника, образовавшийся конденсат замерзают и повышается сопротивление дыханию [71].

Не всегда технические мероприятия обеспечивают полноценную здоровую пылевую обстановку на рабочих местах (снижение запыленности воздуха до предельно допустимых концентраций), в таких случаях обязательно применение индивидуальных средств защиты органов дыхания.

Однако многие угольные шахты и разрезы функционируют в регионах с низким температурным режимом. В связи с этим на указанных предприятиях необходимо использовать особые средства индивидуальной защиты, учитывающие отрицательную температуру окружающей среды. Основные из них – автономный респиратор с поддувом, респиратор с кислородным баллоном, регенеративный респиратор, респиратор-кондиционер.

Заключение

Таким образом, установлено, что к неблагоприятным факторам труда на объектах горнодобывающей промышленности Крайнего Севера относятся: низкие температуры воздуха и горных пород; повышенная влажность; часто – большие скорости движения воздуха по основным выработкам; пыль, взрывные и выхлопные газы; шум, вибрация, суфлярные выделения токсических газов; повышенная опасность травмирования и развития профессиональных заболеваний. Основным неблагоприятным профессиональным фактором на большинстве горнодобывающих объектов Севера остается пыль, концентрации которой зависят от технологии разработки, вида полезного ископаемого, применяемой техники, производственной операции, реализации противопылевых мероприятий. Поэтому концентрации пыли на рабочих местах

колеблются в широких пределах. В связи с трудностями применения противопылевых средств, как правило на горных предприятиях Крайнего Севера, они значительно выше уровней, выявленных на объектах, расположенных в средней полосе страны. Уровни запыленности забоев при открытом способе добычи полезных ископаемых в условиях Севера, как правило, ниже, чем при работе в шахтах. Они зависят от глубины карьера, применяемой горной техники и погодных условий.

Большинство специалистов сходятся во мнении, что не существует единого решения всех сложных проблем борьбы с пылью и универсального, полностью безопасного и продуктивного метода обеспыливания. В каждом конкретном случае эти вопросы решаются индивидуально. В комплекс мероприятий по снижению факторов производственной среды, воздействующих на горнорабочих, должно входить использование индивидуальных средств защиты. Вместе с тем необходимо понимать, что они не в состоянии заменить применение радикальных и комплексных технических мер борьбы с пылью, таких как пылеулавливание и пылеподавление.

Библиографический список

1. World of molecules [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.worldofmolecules.com/fuels/coal7b.htm> (дата обращения: 25.10.2018).
2. The Guardian [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.theguardian.com/commentis-free/2009/feb/15/james-hansen-power-plants-coal> (дата обращения: 25.10.2018).
3. Coal's decade of stagnation [Электронный ресурс] / International Energy Agency. – URL: <https://www.iea.org/coal2017> (дата обращения: 25.10.2018).
4. The prevention and control of fire and explosion in mines [Электронный ресурс] / Deep Mined Coal Industry Advisory Committee, The Mining Association of the United Kingdom. – URL: <http://www.hse.gov.uk/mining/feguidance.pdf> (дата обращения: 25.10.2018).
5. Независимое аналитическое агентство «Росинформуголь» [Электронный ресурс] / под ред. Г.Л. Краснянского; Российский уголь. – URL: <https://www.rosugol.ru/index.php>. (дата обращения: 25.10.2018).

6. Does the U.S. stand a chance against Russia's icebreakers? [Электронный ресурс] – URL: <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a19673250/future-icebreakers> (дата обращения: 25.10.2018).
7. Трубецкой К.Н. Геотехнологическая парадигма развития комплексного освоения недр в Арктической зоне России / ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр РАН». – Москва, 2015. – 12 с.
8. Kolmar South Yakutia coal [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kolmar.ru/upload/iblock/b0d/b0dceaf5729be2ae739e9599a0f06911.pdf> (дата обращения: 25.10.2018).
9. Российская газета [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovy-dok.html> (дата обращения: 25.10.2018).
10. The development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iecca.ru/en/legislation/strategies/item/99-the-development-strategy-of-the-arctic-zone-of-the-russian-federation> (дата обращения: 25.10.2018).
11. Освоение угольных месторождений в удаленных районах северо-востока Арктики – основа обеспечения энергобезопасности населения региона [Электронный ресурс] / Ткач С.М. [и др.]; ИГДС СО РАН. – URL: <https://docplayer.ru/32006093-Osvoenie-ugolnyh-mesto-rozhdenny-v-udalennyh-raonah-severo-vostoka-arktiki-osnova-obespecheniya-energobezopasnosti-naseleniya-regiona.html> (дата обращения: 25.10.2018).
12. Институт промышленного гражданского проектирования [Электронный ресурс]. – URL: http://2k-project.ru/ob-institute/sobytiya_i_novosti/news/news_2k/ctatya-v-zhurnale-stroitelnyj-ekspert (дата обращения: 25.10.2018).
13. Порцевский А.К. Вентиляция шахт. Аэрология карьеров. – Москва: МГОУ, 2004. – 71 с.
14. Overview of mining and its impacts [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Chapter1.pdf> (дата обращения: 25.10.2018).
15. Геотехнологическая парадигма развития комплексного освоения недр в Арктической зоне России / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Г.В. Калабин, А.Н. Прошляков // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 3 (19). – С. 54–65.
16. Воронов Е.Т. Борьба с пылью при разведке месторождений в условиях вечной мерзлоты. – Москва: Недра, 1977. – 93 с.
17. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов, П.В. Бересневич, В.Г. Борисов, А.И. Лобода. – Москва: Недра, 1981. – 262 с.
18. Михайлов В.А., Бересневич П.В. Научно-технический прогноз развития способов и средств борьбы с пылью и вредными газами при открытой разработке // Горный журнал. – 1975. – № 4. – С. 69–72.
19. Бульбашев А.П., Шувалов Ю.В. Борьба с пылью на карьерах по добыче строительных материалов. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 2006. – 208 с.
20. Далбаева Е.П. Разработка способа уменьшения риска профессиональных заболеваний на карьерах криолитозоны // Международная научно-практическая конференция, посвященная 10-летию юбилею горного отделения Улан-Удэнского инженерно-педагогического колледжа. – Улан-Удэ, 2013. – С. 37–41.
21. Профилактика профессиональных заболеваний: доклад [Электронный ресурс] / МОТ, 2013. – URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-mos-cow/documents/genericdocument/wcms_312005.pdf (дата обращения: 25.10.2018).
22. Жукова Т.В. Гигиенические вопросы диагностики индивидуального здоровья / Ростовский государственный медицинский университет. – Ростов, 2000. – С. 58.
23. Кислицына В.В., Мотуз И.Ю. Пылевой фактор на предприятиях угольной промышленности [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 4. – Ч. 2. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/32001> (дата обращения: 25.10.2018).
24. Кислицына В.В., Корсакова Т.Г., Мотуз И.Ю. Особенности условий труда и профессионального риска работников, занятых при открытой добыче угля // Международный журнал прикладных фундаментальных исследований – 2013. – № 4. – С. 52–55.
25. Тимофеева С.С., Мурзин М.А. Пылевая нагрузка при добыче угля и профессиональные риски // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 5. – С. 68–71.
26. Global trends and challenges on occupational safety and health: ILO introductory report [Электронный ресурс] // XIX World Congress on Safety and Health at Work. – Istanbul, 2011. – URL: <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/>

@ed_protect/@protrav/@s_afework/documents/publication/wcms_162662.pdf (дата обращения: 25.10.2018).

27. Occupational disease in mines [Электронный ресурс]. – URL: https://www.la-bour.gov.on.ca/english/hs/sawo/pubs/fs_miningdi-sease.php (дата обращения: 25.10.2018).

28. Величковский Б.Т. О физико-химических свойствах кремнезема, обуславливающих развитие силикоза // Патогенез пневмокониозов. – Свердловск, 1970. – С. 213–218.

29. О состоянии профессиональной заболеваемости в Российской Федерации в 2013 г.: информационный сборник статей и аналитических материалов. – Москва: Федеральное государственное здравоохранение, 2013. – 109 с.

30. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: государственный доклад. – Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. – 206 с.

31. Галкин К.А., Ищук И.Г., Забурдяев Г.С. Влияние геологических особенностей угольных пластов на заболеваемость рабочих пневмокониозами: экспресс-информация. – Москва: ЦНИЭИуголь, 1980. – 8 с.

32. Трубицын А.А., Полякова Г.Г., Морозова Н.В. О состоянии профессиональной заболеваемости на предприятиях угольной промышленности // Предупреждение травматизма и аварий в угольных шахтах и на разрезах: сборник научных трудов / ВостНИИ. – Кемерово, 1999. – С. 89–91.

33. Зайденварг В.Е. Структурные преобразования в угольной промышленности России // Энергетическая политика. – 1999. – № 3. – С. 25–31.

34. Саламатин А.Г. Угольная промышленность России: проблемы и возможности устойчивого развития // Энергетическая политика. – 1999. – № 3. – С. 16–20.

35. Борьба с силикозом: сборник статей. – Москва: Издательство Академии наук СССР, 1955. – Т. 2. – 30 с.

36. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: Руководство Р 2.2.2006-05: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29 июля 2005 г. – Москва, 2005. – 156 с.

37. Airborne irritant induced bronchitis [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.dove-](https://www.dove-med.com/diseases-conditions/air-borne-irritant-induced-bronchitis)

[med.com/diseases-conditions/air-borne-irritant-induced-bronchitis](https://www.dove-med.com/diseases-conditions/air-borne-irritant-induced-bronchitis) (дата обращения: 25.10.2018).

38. Романченко С.Б., Руденко Ю.Ф., Костеренко В.Н. Пылевая динамика в угольных шахтах // Горное дело. – 2011. – Т. 6, кн. 9. – 255 с.

39. Профилактика профессиональных заболеваний: доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда // Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. – Чебоксары, 2013.

40. Доклад о состоянии окружающей природной среды г. Волгограда в 1998 г. / под общ. ред. С.В. Косенковой. – Волгоград: Волжский полиграфический комбинат, 1999. – 319 с.

41. Каспаров А.А. Гигиена труда и промышленная санитария. – Москва, 1981. – 384 с.

42. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust [Электронный ресурс] // Journal of occupational and environmental medicine. DOI: 10.1097/JOM.0000000000000260. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4556416/> (дата обращения: 25.10.2018).

43. Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining, advances in landscape architecture [Электронный ресурс] DOI: 10.5772/55796. – URL: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/reclamation-of-degraded-landscapes-due-to-opencast-mining> (дата обращения: 25.10.2018).

44. Гаспарьян Н.А. Пылеподавление на основе использования фазовых переходов влаги при ведении открытых горных работ: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.26.01 / Гаспарьян Никита Александрович. – Санкт-Петербург, 2008. – 185 с.

45. Методы и средства защиты человека и окружающей среды / В.И. Дикарев, В.А. Роголев, В.А. Денисов [и др.]. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 1999. – 186 с.

46. Иванов А.В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО «Ковдорский ГОК»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.36 / Иванов Андрей Владимирович. – Санкт-Петербург, 2015. – 206 с.

47. Рациональная организация добычи полезных ископаемых в карьерах со сложными

условиями труда горнорабочих / А.П. Бульбашев, Н.А. Гаспарьян, С.В. Ковшов, А.Н. Никулин, Ю.Д. Смирнов, Ю.В. Шувалов. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 2009. – 464 с.

48. Бульбашев А.П., Шувалов Ю.В. Рациональные технологии освоения месторождений строительных материалов. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 2000. – 234 с.

49. Ищук И.Г., Подображин С.Н. Методологические основы выбора эффективных составов жидкостей для предварительного увлажнения угольного массива // Борьба с силикозом. – Москва: Наука, 1986. – Т. 12. – С. 26–33.

50. Качурин Н.М., Рябов Р.Г. Комплексное использование отходов – эффективный способ охраны окружающей среды // Ресурсосберегающие технологии. – Москва, 1997. – № 6. – С. 18.

51. Коробова Н.Л. Экология и горное производство. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – 456 с.

52. Иванов А.В., Смирнов Ю.Д., Каменский А.А. Использование пароконденсационного способа пылеподавления при различных технологических операциях добычи полезных ископаемых // Записки Горного института. – Санкт-Петербург: Горный университет, 2009. – Т. 186. – С. 82–85.

53. Кудряшов В.В., Воронина Ю.В. Направление в разработке приборов пылевого контроля // Проблемы современной рудничной аэрологии. – Москва: Наука, 1974. – С. 208–214.

54. Кудряшов В.В. Научные основы гидрообеспыливания шахт Севера. – Москва: Наука, 1984. – 264 с.

55. Кудряшов В.В. Некоторые вопросы теории и расчет оптических пылеизмерительных приборов // Борьба с силикозом. – Свердловск: УФАН СССР, 1960. – Т. III. – С. 161–162.

56. Ивашкин В.С. Борьба с пылью и газами на угольных разрезах. – Москва: Недра, 1980. – 153 с.

57. Ковшов С.В. Обоснование параметров биогенного способа снижения аэротехногенного воздействия внешних отвалов на рабочее пространство карьеров строительных материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.26.01 / Ковшов Станислав Вячеславович. – Санкт-Петербург, 2010. – 172 с.

58. Борьба с пылеобразованием на карьерных автодорогах нефтяными вяжущими / А.П. Зиновьев,

А.Н. Купин, П.Л. Ольков, Г.Г. Максимов. – Уфа: Башкирское книжное издательство, 1990. – 95 с.

59. Опытно-промышленные испытания профилактического средства РНХ-1020 ТУ 0258-006-73761066-2011 производства ЗАО ИПК «Роснефтехим», пылеподавление на технологических автомобильных дорогах филиала «Угольный разрез “Коркинский”»: отчет о выполненных работах. – Коркино, 2012.

60. Способ пылеподавления при взрывных работах: патент Российская Федерация 2273738 / Бригадин И.В., Богарчук В.С., Добрица Ю.В., Есенина Н.А., Нестеров А.Г., Крапивин С.В.; 2006. – Бюл. № 10.

61. Air pollution control [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.britannica.com/technology/air-pollution-control> (дата обращения: 25.10.2018).

62. Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust (WHO, 1999) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.who.int/occupational_health/publications/airdust/en/ (дата обращения: 25.10.2018).

63. Personal protective equipment guidelines [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.safety.uwa.edu.au/topics/physical/protective-equipment> (дата обращения: 25.10.2018).

64. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: справочное руководство / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейникова, М.Е. Трубицына. – Санкт-Петербург: Искусство России, 2002. – 400 с.

65. Руководство по борьбе с пылью и пылевзрывозащите на угольных и сланцевых разрезах: утв. Министерством угольной промышленности СССР 26 апреля 1990 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093007> (дата обращения: 25.10.2018).

66. Пирамидина Н.Г. Конденсационный метод подавления пыли при перегрузке горной массы в карьерах в условиях отрицательных температур: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.26.01 / Пирамидина Ната Геннадьевна. – Алма-Ата, 1984. – 17 с.

67. Пирамидина Н.Г. Конденсационный метод пылеподавления на открытых горных работах // Труды Центрального НИИ проектно-конструкторского института профилактики пневмокониозов и техники безопасности. – 1976. – Вып. 15. – С. 40–43.

68. Пирамидина Н.Г. Результаты лабораторных исследований конденсационного подавления пыли при отрицательных температурах воздуха // Труды института Унипромедь. – Свердловск, 1977. – Вып. XX. – С. 83–86.

69. Забурдяев Г.С. Защита органов дыхания шахтеров // Охрана труда и социальное страхование. – 2001. – № 2. – С. 68–69.

70. Respiratory Protection: The Right Respirator [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.covwc.com/templates/System/details.asp?id=48008&PG=resources&CID=30429> (дата обращения: 25.10.2018).

71. Рациональная организация добычи полезных ископаемых в карьерах со сложными условиями труда горнорабочих / А.П. Бульбашев, Н.А. Гаспарьян, С.В. Ковшов, А.Н. Никулин, Ю.Д. Смирнов, Ю.В. Шувалов. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 2009. – 464 с.

References

1. World of molecules, available at: <https://www.worldofmolecules.com/fuels/coal7b.htm> (accessed 25 October 2018).

2. The Guardian, available at: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2009/feb/15/james-hansen-power-plants-coal> (accessed 25 October 2018).

3. Coal's decade of stagnation, available at: <https://www.iea.org/coal2017> (accessed 25 October 2018).

4. The prevention and control of fire and explosion in mines, available at: <http://www.hse.gov.uk/mining/feguidance.pdf>. (accessed 25 October 2018).

5. Nezavisimoe analiticheskoe agentstvo "Rosinformugol" [Independent analytical agency "Rosinformugol"], available at: <https://www.rosugol.ru/index.php>. (accessed 25 October 2018).

6. Does the U.S. stand a chance against Russia's icebreakers?, available at: <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a19673250/future-icebreakers> (accessed 25 October 2018).

7. Trubetskoi K.N. Geotekhnologicheskaja paradigma razvitiia kompleksnogo osvoeniia nedr v Arkticheskoi zone rossii [Geotechnological paradigm of development of integrated mineral resources development in the Arctic zone of Russia]. Moscow, 2015, 12 p.

8. KOLMAR South Yakutia Coal, available at: <http://www.kolmar.ru/upload/iblock/b0d/b0dcea5729be2ae739e9599a0f06911.pdf> (accessed 25 October 2018).

9. Rossiiskaia gazeta RG.RU [Rossiyskaya gazeta RG.RU], available at: <http://www.rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovy-dok.html> (accessed 25 October 2018).

10. The development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation, available at: <http://www.iecca.ru/en/legislation/strategies/item/99-the-development-strategy-of-the-arctic-zone-of-the-russian-federation> (accessed 25 October 2018).

11. Tkach S.M. et al. osvoenie ugolnykh mestorozhdenii v udalennykh raionakh severo-vostoka Arktiki - osnova obespecheniia energobezопасnosti naseleniia regiona [The development of coal deposits in remote areas of the north-eastern Arctic - the basis for ensuring the energy security of the population of the region], available at: <https://docplayer.ru/32006093-Osvoenie-ugolnyh-mestorozhdeniy-v-udalennyh-raonah-severo-vostoka-arktiki-osnova-obespecheniya-energo-bezопасnosti-naseleniya-regiona.html> (accessed 25 October 2018).

12. Institut promyshlennogo grazhdanskogo proektirovaniia [Institute of industrial civil engineering], available at: http://2k-project.ru/ob-institute/sobytiya_i_novosti/news/news_2k/ctatya-v-zhurnale-stroitelnyj-ekspert (accessed 25 October 2018).

13. Portsevskii A.K. Ventilatsiia shakht. Aerologiya karerov [Mine ventilation. Quarries aerology]. Moscow, MGOU, 2004, 71 p.

14. Overview of mining and its impacts, available at: <https://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Chapter1.pdf> (accessed 25 October 2018).

15. Trubetskoi K.N., Galchenko Iu.P., Kalabin G.V., Proshliakov A.N. Geotekhnologicheskaja paradigma razvitiia kompleksnogo osvoeniia nedr v Arkticheskoi zone Rossii [Geotechnological paradigm of development of integrated mineral resources development in the Arctic zone of Russia]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no.3 (19), pp.54-65.

16. Voronov E.T. Borba s pyliu pri razvedke mestorozhdenii v usloviakh vechnoi merzloty [Fighting dust in exploration in permafrost]. Moscow, Nedra, 1977, 93 p.

17. Mikhailov V.A., Beresnevich P.V., Borisov V.G., Loboda A.I. Borba s pyliu v rudnykh karerakh [Fighting dust in ore quarries]. Moscow, Nedra, 1981, 262 p.

18. Mikhailov V.A., Beresnevich P.V. Nauchno-tekhnicheskii prognoz razvitiia sposobov i sredstv borby s pyliu i vrednymi gazami pri otkrytoi razrabotke [Scientific and technical forecast

of the development of methods and means of combating dust and harmful gases in open development]. *Mining Journal*, 1975, no.4, pp.69-72.

19. Bulbashev A.P., Shuvalov Iu.V. Borba s pyl'iu na karerakh po dobyche stroitelnykh materialov [Fighting dust in quarries for the extraction of building materials]. Saint Petersburg, MANEB, 2006, 208 p.

20. Dalbaeva E.P. Razrabotka sposoba umensheniia riska profes-sionalnykh zabolevanii na karerakh kriolitozony [Development of a method for reducing the risk of occupational diseases in cryolithozone quarries]. *Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia, posviashchennaia 10-letnemu iubileiu gornogo otdeleniia ulanudenskogo inzhenerno-pedagogicheskogo kolledzha*. Ulan-ude, 2013, pp.37-41.

21. Profilaktika professionalnykh zabolevanii [Prevention of occupational diseases], available at: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/--ro-geneva/---sro-moscow/documents/genericdocument/wcms_312005.pdf (accessed 25 October 2018).

22. Zhukova T.V. Gigienicheskie voprosy diagnostiki individualnogo zdorovia [Hygienic issues of diagnosing individual health]. Rostov, Rostovskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet, 2000, 58 p.

23. Kislitsyna V.V., Motuz I.Iu. Pylevoi faktor na predpriiatiakh ugolnoi promyshlennosti [Dusty factor on the enterprises of the coal industry]. *Sovremennye nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 2014, no.4, part 2, available at: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/32001> (accessed 25 October 2018).

24. Kislitsyna V.V., Korsakova T.G., Motuz I.Iu. Osobennosti uslovii truda i professionalnogo riska rabotnikov, zaniatykh pri otkrytoi dobyche uglia [Features of working conditions and occupational risk of workers engaged in open-cast coal mining]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh fundamentalnykh issledovaniia*, 2013, no.4, pp.52-55.

25. Timofeeva S.S., Murzin M.A. Pylevaia nagruzka pri dobyche uglia i professionalnye riski [Dust load in coal mining and occupational hazards]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no.5, pp.68-71.

26. Global trends and challenges on occupational safety and health: ILO introductory report, available at: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/

[@protrav/@safework/documents/publication/wcms_162662.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_162662.pdf) (accessed 25 October 2018).

27. Occupational disease in mines, available at: https://www.labour.gov.on.ca/english/hs/sawo/pubs/fs_miningdisease.php (accessed 25 October 2018).

28. Velichkovskii B.T. O fiziko-khimicheskikh svoistvakh kremnezema, obuslovlivaiushchikh razvitie silikoza [On the physico-chemical properties of silica, causing the development of silicosis]. *Patogenez pnevmokoniozov*. Sverdlovsk, 1970, pp.213-218.

29. O sostoianii professionalnoi zabolevaemosti v Rossiiskoi Federatsii v 2013 g. [On the state of occupational morbidity in the Russian Federation in 2013]. *Informatsionnyi sbornik statei i analiticheskikh materialov*. Moscow, Federalnoe gosudarstvennoe zdravookhranenie, 2013, 109 p.

30. O sostoianii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiiia naseleniia v Rossiiskoi Federatsii v 2014 godu [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2014]. Gosudarstvennyi doklad. Moscow, Federalnaia sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteli i blagopoluchiiia cheloveka, 2015, 206 p.

31. Galkin K.A., Ishchuk I.G., Zaburdiaev G.S. Vliianie geologicheskikh osobennostei ugolnykh plastov na zabolevaemost rabochikh pnevmokoniozami: ekspress-informatsiia [Influence of geological features of coal seams on the incidence of workers with pneumoconiosis: express information]. Moscow, TsNIEiugol, 1980, 8 p.

32. Trubitsyn A.A., Poliakova G.G., Morozova N.V. O sostoianii professionalnoi zabolevaemosti na predpriiatiakh ugolnoi promyshlennosti [On the state of occupational morbidity in coal industry enterprises]. *Preduprezhdenie travmatizma i avarii v ugolnykh shakhtakh i na razrezakh. Sbornik nauchnykh trudov*. Kemerovo, 1999, pp.89-91.

33. Zaidenvarg V.E. Strukturnye preobrazovaniia v ugolnoi promyshlennosti Rossii [Structural transformations in the coal industry of Russia]. *Energeticheskaiia politika*, 1999, no.3, pp.25-31.

34. Salamatin A.G. Ugolnaia promyshlennost Rossii: problemy i vozmozhnosti ustoichivogo razvitiia [Coal industry of Russia: problems and opportunities for sustainable development]. *Energeticheskaiia politika*, 1999, no.3, pp.16-20.

35. Borba s silikozom [Fight against silicosis]. Sbornik statei. Moscow, Izdatelstvo Akademii nauk SSSR, 1955, vol.2, 30 p.

36. Rukovodstvo po gigenicheskoj otsenke faktorov rabochej sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiia uslovii truda [Guidance on the hygienic assessment of factors of the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions]. Rukovodstvo R 2.2.2006-05, utverzhdeno glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 29 iulija 2005 g. Moscow, 2005, 156 p.

37. Airborne irritant induced bronchitis, available at: <https://www.dovemed.com/diseases-conditions/airborne-irritant-induced-bronchitis> (accessed 25 October 2018).

38. Romanchenko S.B., Rudenko Iu.F., Kosterenko V.N. Pylevaia dinamika v ugolnykh shakhtakh [Dust dynamics in coal mines]. *Gornoe delo*, 2011, vol.6, book 9, 255 p.

39. Profilaktika professionalnykh zabolevanii: doklad MOT k Vsemirnomu dnu okhrany truda [Prevention of occupational diseases: ILO report on World Labor Day]. *Sbornik materialov respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Cheboksary, 2013.

40. Doklad o sostoianii okruzhaiushchej prirodnoi sredy g. Volgograda v 1998 g. [Report on the state of the environment in Volgograd in 1998]. Ed. S.v. Kosenkova. Volgograd, Volzhskii poligraficheskii kombinat, 1999, 319 p.

41. Kasparov A.A. Gigiena truda i promyshlennaia sanitariia [Occupational health and industrial sanitation]. Moscow, 1981, 384 p.

42. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust. *Journal of occupational and environmental medicine*, available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4556416/> (accessed 25 October 2018).

43. Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining, advances in landscape architecture, available at: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/reclamation-of-degraded-landscapes-due-to-opencast-mining> (accessed 25 October 2018).

44. Gasparian N.A. Pylepodavlenie na osnove ispolzovaniia fazovykh perekhodov vlagi pri vedenii otkrytykh gornykh rabot [Dust suppression based on the use of moisture phase transitions in open pit mining]. Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2008, 185 p.

45. Dikarev V.I., Rogalev V.A., Denisov V.A. et al. Metody i sredstva zashchity cheloveka

i okruzhaiushchej sredy [Methods and means of protecting people and the environment]. Saint Petersburg, MANEB, 1999, 186 p.

46. Ivanov A.V. Snizhenie aerolnogo zagriazneniia atmosfernogo vozdukhha ot proizvodstvennykh obektov OAO "Kovdorskii GOK" [Reduction of aerosol pollution of atmospheric air from production facilities of OJSC "Kovdorsky GOK"]. Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2015, 206 p.

47. Bulbashev A.P., Gasparian N.A., Kovshov S.V., Nikulin A.N., Smirnov Iu.D., Shuvalov Iu.V. Ratsionalnaia organizatsiia dobychi poleznykh iskopaemykh v karerakh so slozhnymi usloviiami truda gornorabochikh [Rational organization of mining in quarries with difficult working conditions for miners]. Saint Petersburg, MANEB, 2009, 464 p.

48. Bulbashev A.P., Shuvalov Iu.V. ratsionalnye tekhnologii osvoeniia mestorozhdenii stroitelnykh materialov [Rational technologies for the development of building materials deposits]. Saint Petersburg, MANEB, 2000, 234 p.

49. Ishchuk I.G., Podobrazhin S.N. Metodologicheskie osnovy vybora effektivnykh sostavov zhidkosti dlia predvaritelnogo uvlazhneniia ugolnogo massiva [Methodological basis for the selection of effective compositions of liquids for the preliminary moistening of a coal massif]. *Borba s silikozom*. Moscow, Nauka, 1986, vol.12, pp.26-33.

50. Kachurin N.M., Riabov R.G. kompleksnoe ispolzovanie otkho-dov - effektivnyi sposob okhrany okruzhaiushchej sredy [Integrated waste management - an effective way to protect the environment]. *Resursosberegaiushchie tekhnologii*, Moscow, 1997, no.6, pp.18.

51. Korobova N.L. Ekologiya i gornoe proizvodstvo [Ecology and mining industry]. Magnitogorsk, MGTU, 2001, 456 p.

52. Ivanov A.V., Smirnov Iu.D., Kamenskii A.A. Ispolzovanie parokondensatsionnogo sposoba pylepodavleniia pri razlichnykh tekhnologicheskikh operatsiiakh dobychi poleznykh iskopaemykh [The use of steam-condensation method of dust suppression at various technological operations of mining]. *Zapiski Gornogo instituta*. Saint Petersburg, Gornyi universitet, 2009, vol.186, pp. 82-85.

53. Kudriashov V.V., Voronina Iu.V. Napravlenie v razrabotke priborov pylevogo kontroliia [Direction in the development of dust

control devices]. *Problemy sovremennoi rudnichnoi aerologii*. Moscow, Nauka, 1974, pp.208-214.

54. Kudriashov V.V. Nauchnye osnovy gidrobespylivaniia shakht Severa [The scientific basis of hydrospray the mines of the North]. Moscow, Nauka, 1984, 264 p.

55. Kudriashov V.V. Nekotorye voprosy teorii i raschet optiche-skikh pyleizmeritelnykh priborov [Some questions of the theory and calculation of optical dust measuring devices]. *Borba s silikozom*. Sverdlovsk, UFAN SSSR, 1960, vol.III, pp.161-162.

56. Ivashkin B.C. Borba s pyliu i gazami na ugolnykh razrezakh [Fighting dust and gas in coal mines]. Moscow, Nedra, 1980, 153 p.

57. Kovshov S.V. Obosnovanie parametrov biogenogo sposoba snizheniia aerotekhnogenogo vozdeistviia vneshnikh otvalov na rabochee prostranstvo karerov stroitelnykh materialov [Substantiation of the parameters of the biogenic method of reducing the aerotechnogenic impact of external dumps on the working space of quarries of building materials]. Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2010, 172 p.

58. Zinovev A.P., Kupin A.N., Olkov P.L., Maksimov G.G. Borba s pyleobrazovaniem na karernykh avtodorogakh neftianymi viazhushchimi [Fighting dust on oil roads on open roads]. Ufa, Bashkirskoe knizhnoe izdatelstvo, 1990, 95 p.

59. Opytno-promyshlennye ispytaniia profilakticheskogo sredstva RNKh-1020 TU 0258-006-73761066-2011 proizvodstva ZAO IPK "Rosneftekhim", pylepodavlenie na tekhnologicheskikh avtomobilnykh dorogakh filiala "Ugolnyi razrez "Korkinskii" [Pilot tests of the prophylactic agent RNH-1020 TU 0258-006-73761066-2011 produced by CJSC IPK Rosneftekhim, dust suppression on the technological highways of the Korkinsky coal mine branch]. Otchet o vpolnennykh rabotakh. Korkino, 2012.

60. Brigadin I.V., Bogarchuk V.S., Dobritsa Iu.V., Esenina N.A., Nesterov A.G., Krapivin S.V. Sposob pylepodavleniia pri vzryvnykh rabotakh [Method of dust suppression during blasting]. Patent Russian Federation 2273738, 2006.

61. Air pollution control, available at: <https://www.britannica.com/technology/air-pollution-control> (accessed 25 October 2018).

62. Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust (WHO, 1999),

available at: http://www.who.int/occupational_health/publications/airdust/en/ (accessed 25 October 2018).

63. Personal protective equipment guidelines, available at: <http://www.safety.uwa.edu.au/topics/physical/protective-equipment> (accessed 25 October 2018).

64. Basmanov P.I., Kaminskii S.L., Korobeinikova A.V., Trubitsyna M.E. Sredstva individualnoi zashchity organov dykhaniia: spravochnoe rukovodstvo [Personal respiratory protective equipment: reference guide]. Saint Petersburg, Iskusstvo Rossii, 2002, 400 p.

65. Rukovodstvo po borbe s pyliu i pylevzryvozashchite na ugolnykh i slantsevnykh razrezakh, utverzhdennoe Ministerstvom ugolnoi promyshlennosti SSSR 26 apreliia 1990 g. [Guidelines for combating dust and dust and explosion protection in coal and shale cuts, approved by the Ministry of Coal Industry of the USSR on April 26, 1990], available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200093007> (accessed 25 October 2018).

66. Piramidina N.G. Kondensatsionnyi metod podavleniia pyli pri peregruzke gornoi massy v karerakh v usloviakh otritsatelnykh temperatur [Condensation method of suppressing dust during overloading of the rock mass in quarries at negative temperatures]. Abstract of Ph. D. thesis. Alma-Ata, 1984, 17 p.

67. Piramidina N.G. Kondensatsionnyi metod pylepodavleniia na otkrytykh gornykh rabotakh [Condensation method of dust control in open pit mining]. *Trudy tsentralnogo nii proektno-konstruktorskogo instituta profilaktiki pnevmokoniozov i tekhniki bezopasnosti*, 1976, iss.15, pp.40-43.

68. Piramidina N.G. Rezultaty laboratornykh issledovaniia kondensatsionnogo podavleniia pyli pri otritsatelnykh temperaturakh vozdukha [The results of laboratory studies of condensation suppression of dust at negative air temperatures]. *Trudy instituta Unipromed*. Sverdlovsk, 1977, iss.XX, pp.83-86.

69. Zaburdiaev G.S. Zashchita organov dykhaniia shakhterov [Miners respiratory protection]. *Okhrana truda i sotsialnoe strakhovanie*, 2001, no.2, pp. 68-69.

70. Respiratory protection: the right respirator, available at: <http://www.covwc.com/templates/System/details.asp?id=48008&PG=resources&CID=30429> (accessed 25 October 2018).

71. Bulbashev A.P., Gasparian N.A., Kovshov S.V., Nikulin A.N., Smirnov Iu.D., Shuvalov Iu.V. Ratsionalnaia organizatsiia dobychi poleznykh iskopaemykh v karerakh so slozhnymi usloviiami truda gornorabochikh [Rational organization of mining in quarries with difficult working conditions for miners]. Saint Petersburg, MANEB, 009, 464 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Методы пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера / Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Крищук, М.Ю. Лискова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №2. – С.184–200. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.8

Please cite this article in English as:

Sharov N.A., Dudayev R.R., Krishchuk D.I., Liskova M.Yu. Dust suppression methods in coal mines of the Far North. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol.19, no.2, pp.184-200. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.8