

УДК 622.271:622.807.8

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ



А. В. СТРИЖЕНОК¹,
доцент, канд. техн. наук, alexeystrizhenok@mail.ru



А. В. ИВАНОВ¹,
доцент, канд. техн. наук



ВАНГ ХЕТАНГ²,
проф., PhD

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

² Китайский горно-технологический университет, Суйчжоу, Китай

Введение

Пыль, представляя собой двухфазную систему из воздуха и взвешенных в нем твердых частиц различного физико-химического состава, является наиболее распространенным загрязнителем окружающей среды [1]. Особое внимание при изучении ее влияния необходимо уделить дисперсности пыли [2]. Последняя определяет поведение и время нахождения пылевых частиц в воздухе. Вне зависимости от своего химического состава пыль несет в себе как положительный, так и отрицательный электрические заряды, а также обладает высокоактивной поверхностью, в результате чего к ней могут прилипать и другие мелкие частицы или газы. Последние, в свою очередь, обволакивая каждую частицу пыли, обеспечивают ее длительное нахождение в воздухе и проникновение в легкие человека [3]. Вместе с тем воздействие частиц на органы дыхания, наряду с размером, определяется их удельным весом и формой.

Приведены результаты экспериментального определения эффективности применения водных растворов на основе поливинилацетата и полиэтиленгликоля для закрепления пылящих поверхностей на объектах ведения открытых горных работ.

Установлена экспериментальная зависимость эффективности пылеподавляющего раствора от концентрации связующих агентов и состава водного раствора, что позволит расчетным путем подобрать оптимальный состав реагента в зависимости от климатических и метеорологических условий месторасположения объекта.

Ключевые слова: пылеподавление, поливинилацетат, полиэтиленгликоль, водный раствор, распыление, связующее

DOI: 10.17580/gzh.2023.09.09

Наиболее опасными для человека считаются частицы пыли размером от 0,3 до 5 мкм, а из этого диапазона особо вредна фракция от 1 до 2 мкм, так как именно она характеризуется наибольшей фиброгенной активностью. Такие частицы с легкостью мигрируют по лимфатическим путям и могут задерживаться в лимфатических узлах [4]. Именно из-за электрозаряженности пыли она задерживается и с трудом удаляется с поверхности дыхательных путей, и, ко всему прочему, способствует заносу в организм патогенных микроорганизмов, в числе которых различные вирусы и бактерии [5].

По данным Всемирной организации здравоохранения, негативное влияние пыли на здоровье человека обусловлено как кратковременным воздействием, продолжительностью в несколько часов или дней, так и долговременным воздействием – на протяжении нескольких месяцев или лет. Это воздействие заключается в резком увеличении числа респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, росте числа смертельных случаев и госпитализаций на фоне увеличения пылевой нагрузки на приземную атмосферу [6].

Для снижения негативного воздействия требуется проведение мероприятий по предотвращению переноса взвешенных частиц с различных пылящих поверхностей.

Орошение водой является одним из наиболее распространенных способов снижения пылевой нагрузки на карьерах и других техногенных пылящих поверхностях [7]. В зависимости от химического состава и ветроустойчивости покрытия эффективность пылеподавления водой может достигать 95 %. Однако использование воды без каких-либо связующих

компонентов имеет краткосрочный эффект и ряд других недостатков.

Так, например, одним из основных недостатков является невозможность использования воды в условиях отрицательных температур, так как при распылении воды на поверхностях образуется наледь, в результате чего уменьшается интенсивность смачивания пылящей породы. Из-за такой неполноты взаимодействия замерзающей воды с частицами пыли эффективность пылеподавления снижается до 40 % и менее [8]. Также недостатком этого метода является короткий период действия пылеподавления, так как вода быстро испаряется, и возобновляются процессы пылеобразования и переноса мелкодисперсных частиц [9].

Для повышения эффективности пылеподавления необходимо использовать специальные составы, которые способствуют слипанию частиц пыли при увлажнении пылящего материала или созданию на поверхности реагентной пленки, предотвращающей унос пылевых частиц и обеспечивающей закрепление поверхности с целью удержания воды в пылящем материале.

Одним из эффективных способов пылеподавления, широко применяющихся в настоящее время, является обработка поверхностей растворами полимеров на водной основе. Так, нанесение растворов и соединений с высокой молекулярной массой значительно снижает унос частиц с пылящих поверхностей. Стойкий эффект наблюдается при нанесении на пылящую поверхность последовательно водного раствора полиакрилата натрия и водного раствора сополимера акриламида с производными акриловой кислоты [10].

Для усиления эффекта от пылеподавления водой, кроме добавления в ее состав полимерных связующих, целесообразно добавлять химические поверхностно-активные вещества, которые обеспечивали бы снижение поверхностного натяжения молекул воды, усиливая тем самым смачивание пылящего материала [11]. Так, для пылеподавления успешно применяют неионогенные пенообразователи, которые представляют собой смесь алкилсульфатов и алкилсульфонатов в сочетании с добавками [12, 13].

Также существуют составы для снижения пылевой нагрузки на основе карбоксиметилцеллюлозы [14–17], олеиновой кислоты и гидроксида натрия [18–20].

Для обработки мелкозернистых материалов могут быть использованы составы с гликольсодержащим реагентом [21], которые применяют для предотвращения пыления различных мелкозернистых материалов при хранении и транспортировании [22, 23]. Он обладает повышенной пылеподавляющей способностью, невысокой токсичностью, малой летучестью, стабилен при хранении и транспортировании, однако сложный многокомпонентный состав является его значительным недостатком [24].

Для пылеподавления применяют также и битумно-водную эмульсию. Битумные смолы собирают частицы пыли

в агломераты, а не образуют пленку, как акриловые сополимеры, поэтому смолы могут подавлять образование пыли намного дольше, чем пленка сополимера. Однако битумные эмульсии не являются экологически чистыми, а также не дают полноценного результата при умеренных температурах из-за их слабой устойчивости к солнечному свету [25].

В условиях отрицательных температур для предотвращения смерзаемости сыпучих материалов и для борьбы с пылеобразованием можно применять состав, содержащий хлорид кальция и (или) магния, дигидрофосфат натрия и (или) калия, метиленовый синий и воду [26].

Для минимизации возможного негативного воздействия синтетических химических соединений применяют реагенты на основе полимеров природного происхождения, например лигнина. Этот ароматический полимер содержится в клетках сосудистых растений, придавая им прочность. Его вяжущие свойства позволяют служить заменой хлорсодержащим веществам, таким как хлористый натрий, хлористый кальций и другим гигроскопическим солям [27]. Однако эффективность применения лигнина и лигносульфонатов напрямую зависит от влажности, и к тому же они имеют специфический запах.

Еще одним из основных направлений снижения пылевой нагрузки 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 % при толщине слоя 3 см [28].

Для повышения эффективности пылеподавления добавляют и другие связующие вещества органического происхождения, например сапропель, который обеспечивает связывание осевшей пыли, снижение ее уноса и повышение скорости роста растений, укрепляющих поверхность. Такой защитный слой обладает достаточной прочностью, ветро-, водо- и температуроустойчивостью, долговечностью, а также биопродуктивен и экологически безопасен [29, 30].

Таким образом, научный обзор показал, что использование полимерных дисперсных составов эффективнее за счет образования на пылящих поверхностях полимерной пленки и практичнее полной изоляции пылящих поверхностей, особенно на действующих объектах открытой добычи полезных ископаемых. При этом растворы со сложным составом имеют высокую стоимость. В связи с этим целью научного исследования являлся поиск сравнительно недорогого состава для пылеподавления на основе биоразлагаемых полимеров, эффективность использования которого была бы высокой, а применимость – универсальной для широкого диапазона климатических условий.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования проводили с использованием опытных образцов гнейсогранитной пыли одного из гранитных месторождений Кольского полуострова. Для выполнения опытных работ были отобраны образцы пылящего материала на трех основных источниках пылеобразования: образец № 1 – пылящий материал дробильно-сортировочных установок (ДСУ); образец № 2 – пылящий материал внутрикарьерных дорог; образец № 3 – пылящий материал отвала некондиционного гранитного отсева.

Гранулометрический состав отобранных образцов был определен в научном центре «Оценка техногенной трансформации экосистем» Горного университета методом лазерной дифракции с использованием оборудования HORIBA LA-950 [31].

Средний размер частиц пылящего материала дробильно-сортировочных установок составил 64,9 мкм, дорожной пыли – 95,5 мкм, пыли с отсева – 208,3 мкм.

При этом пыль ДСУ также характеризуется наличием фракции диаметром менее 1,6 мкм в объеме 0,1 % и фракции диаметром менее 2 мкм в объеме 0,3 %, в то время как в двух других образцах частицы данного диаметра отсутствуют. Частиц диаметром менее 5 мкм пыль ДСУ содержит чуть более 5 %, дорожная пыль – около 4 %, а пыль с отсева – 3 %. Иными словами, пыль ДСУ содержит почти в два раза больше частиц, обладающих наивысшей степенью проникновения и накопления в организме, чем пыль других образцов. В связи с этим при экспериментальном определении эффективности пылеподавления авторы в первую очередь опирались на результаты эксперимента с образцом № 1.

Для обоснования эффективности использования воды и различных пылеподавляющих водных растворов, в частности на основе поливинилацетата (ПВА) и полиэтиленгликоля (ПЭГ), использовали специально разработанную экспериментальную установку [2].

Установка включает в себя экспериментальный бункер пылеподавления, изготовленный на технической базе Горного университета, представляющий собой полый короб-параллелепипед размером 1000×1200×1150 мм (рис. 1). Он состоит из трех частей: основания, средней части, крышки.

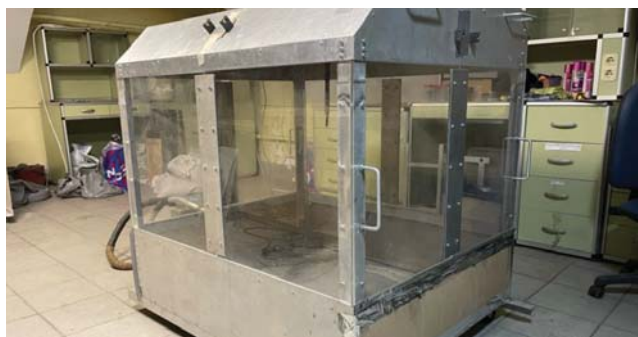


Рис. 1. Экспериментальный бункер пылеподавления

Основание исполнено на колесах для возможности перемещения, имеет отверстие во фронтальной стенке для установки патрубка нагнетателя воздуха. Средняя часть выполнена в виде рамки с прозрачными стенками, которая помещена в расположенные на угловых стойках пазы и фиксируется на основании. Крышка имеет скос по длинному ребру и отверстия для установки заборных устройств, посредством пазов устанавливается и фиксируется на средней части. На дне бункера нанесена метка зоны размещения образцов. Все металлические элементы частей бункера имеют выводы для заземления с целью удаления накапливающегося статического электричества.

В нижней части бункер имеет отверстие, через которое выведен шланг от нагнетателя воздуха для имитации ветрового потока с заданной скоростью и периодичностью.

В центр бункера через отверстие в верхней его части выведена трубка от анализатора пылемера-нефелометра DustTrak TSI 8533. Последний предназначен для измерения массовой концентрации аэрозольных частиц различного происхождения в атмосферном воздухе в диапазоне от 0,001–150 мг/м³ с пределом допускаемой относительной погрешности ±20 %. Работа прибора основана на лазерно-нефелометрическом методе анализа: концентрация пыли определяется по интенсивности рассеянного лазерного излучения в пробе воздуха.

Для контроля условий эксперимента, а именно: атмосферного давления, относительной влажности воздуха, его температуры и скорости воздушного потока, использовали метеометр МЭС-200А.

Используемая лабораторная установка позволяет смоделировать аэродинамическое воздействие на участок пылящей поверхности, приближенное к реальному, и на основании изменения значения концентрации пыли внутри бункера, создаваемой при использовании различных составов для пылеподавления, дает возможность определить эффективность снижения интенсивности выброса для каждого конкретного состава. Таким образом, в экспериментальной установке не представляется возможным определить концентрацию пыли, создаваемую над участком пылящей поверхности в реальных условиях, однако появляется возможность установить эффективность закрепления пылящей поверхности тем или иным составом на основании относительного изменения концентрации внутри бункера при обработке экспериментального участка данным составом.

В ходе эксперимента требовалось решить следующие задачи:

- изучить характер пыления всех трех сухих образцов;
- определить оптимальное количество воды, необходимое для эффективного пылеподавления;
- изучить пылеподавительную способность водной дисперсии ПВА в различных концентрациях;
- оценить пылеподавительную способность водной дисперсии ПЭГ в различных концентрациях;
- установить пылеподавительную способность водной дисперсии на основании смеси ПВА и ПЭГ в различных концентрациях.

Каждый эксперимент проводили по типовой схеме [2]: навеску пыли массой 10 г равномерно распределяли по площадке 25×25 см, расположенной в центре бункера. После этого бункер герметично закрывали и одновременно с подачей воздуха запускали в работу пылемер. Время измерения 1 ч. Подачу воздуха осуществляли в первые пять минут непрерывно, а потом через каждые пять минут по 1 мин.

В начальный пятиминутный период поддержание аэродинамического воздействия на образец в бункере обеспечивали непрерывной подачей воздушного потока со скоростью, равной средней многолетней скорости ветра в регионе, в котором отбирали экспериментальные образцы пыли; при этом происходила дефляция поверхностного слоя под действием ветровой нагрузки с выходом из него взмываемых фракций пыли. В дальнейшем достигалась эрозия поверхностного слоя, и концентрация во внутреннем пространстве бункера обеспечивалась поддержанием пыли во взвешенном в воздухе состоянии. Снижение концентрации пыли в замкнутом пространстве бункера происходило из-за постепенного накопления пыли в зонах аэродинамических теней (двух- и трехгранных углах).

После пятиминутного периода работу нагнетателя осуществляли перемененно со скоростью воздушного потока, равной максимальной скорости ветра в регионе, повторяемость которой превышает не менее чем в 5 % случаев, что позволяло поддерживать взвешенную пыль во взвешенном состоянии, а также обеспечить снижение эффекта накопления в зонах ветровых теней за счет переменного поля скоростей воздуха.

После каждого эксперимента бункер тщательно очищали от остатков пыли, и перед каждым последующим запуском проводили измерение фоновой концентрации пыли в пустом очищенном бункере.

Обсуждение результатов

При экспериментальном определении динамики пыления сухих образцов с первых секунд эксперимента и на несколько минут концентрация сухой пыли поднимается выше пределов обнаружения пылемера (более 150 мг/м³), потом начинает медленно снижаться (рис. 2).

Это постепенное снижение концентрации пыли в замкнутом пространстве бункера происходит из-за постепенного накопления пыли в зонах аэродинамических теней (двух- и трехгранных углах). Тем не менее даже с учетом этого осажде- ния пыли в зонах аэродинамических теней концентрация пыли на протяжении всего эксперимента остается довольно высокой и в среднем составляет 23,8 мг/м³.

Все дальнейшие эксперименты с водой и водными растворами ПВА и ПЭГ проводили с использованием образца пылящего материала дробильно-сортировочной установки, так как летучесть этой пыли наиболее высокая (см. рис. 2).

При экспериментальном определении эффективности пылеподавления с использованием воды первоочередной задачей является расчет оптимального количества воды

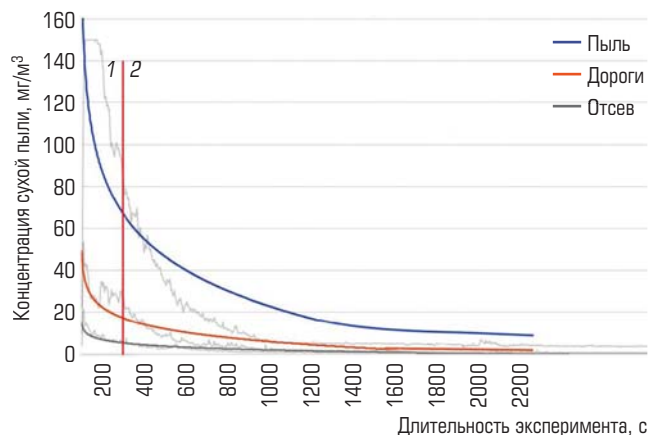


Рис. 2. Динамика пыления сухих образцов:

1, 2 – режим постоянной и периодической подачи воздуха соответственно

в условиях эксперимента, который имеет свои нюансы по сравнению с реальными условиями вследствие отсутствия инфильтрации воды в нижележащие слои грунта, так как толщина насыпного слоя на экспериментальной площадке составляет 3–4 мм. На практике средний расход воды составляет 1–1,5 л/м², а для условий эксперимента определим его путем проведения опытов с распылением на экспериментальную площадку 3, 5, 10 и 50 мл воды.

Использование 3 мл воды позволяет обеспечить эффективность пылеподавления в среднем на 23 %, 5 мл воды – 72 %, 10 мл – 94 %, 50 мл воды – 95 %. Таким образом, минимальное эффективное количество воды в условиях эксперимента составляет 5 мл.

Для сокращения расхода воды и повышения эффективности пылеподавления в данной работе использовали водную дисперсию ПВА. Данный выбор обусловлен тем, что полимер не токсичен, биоразлагаем, обладает хорошими адгезионными свойствами, а проведенный патентный поиск показал отсутствие на настоящий момент пылеподавительных составов на его основе, хотя в теории полимеры на основе винилацетата и акрила могут быть использованы для пылеподавления [32].

Пленка, образующаяся при высыхании дисперсии, обладает высокой свето-, тепло- и износостойкостью. Несмотря на то, что под действием ультрафиолета происходит частичная деструкция полимера, она сопровождается рекомбинацией образующихся макрорадикалов и реакциями переноса цепи, в результате чего увеличиваются молекулярная масса и, соответственно, прочность полимерной пленки.

Для определения оптимальной концентрации ПВА были проведены пять экспериментов с использованием 0,03; 0,06; 0,12; 0,24 и 0,48 % водной дисперсии поливинилацетата.

Использование в объеме 5 мл 0,12%-ного раствора ПВА приводит к снижению концентрации пыли в воздухе в 3,04

раза, а 0,24%-ного раствора ПВА – в 3,56 раза по сравнению с использованием такого же количества воды.

При этом по результатам эксперимента хорошо прослеживается разница в самом характере пыления при использовании воды и полимера. На начальном этапе эксперимента с водой сцепление с пылью достаточно высокое, но в процессе высыхания воды концентрация пыли постепенно начинает возрастать. В случае же с ПВА после его высыхания на поверхности образуется полимерная пленка, которая предотвращает повторное поднятие пыли в воздух. Однако при низких концентрациях пленка слишком тонкая и быстро разрушается, что приводит к повторному пылению.

В целях уточнения возможности сокращения расхода воды без значительной потери эффективности раствора были также проведены эксперименты с теми же концентрациями водной дисперсии ПВА только при распылении 3 мл растворов. Однако изменения в характере пыления вследствие недостаточной площади увлажнения привели к значительной потере эффективности.

Использование в объеме 3 мл 0,12%-ной водной дисперсии ПВА обуславливает снижение концентрации пыли в воздухе в 1,65 раза, а 0,24%-ной водной дисперсии поливинилацетата – в 1,89 раза по сравнению с использованием такого же количества воды, даже несмотря на то, что 3 мл раствора недостаточно для равномерного увлажнения всей пылящей поверхности.

Таким образом, эффективность пылеподавления водной дисперсией ПВА практически достигала максимума при концентрации 0,12 %, а далее изменялась незначительно. График зависимости эффективности снижения концентрации пыли от концентрации водной дисперсии поливинилацетата, использованной в минимальном объеме для равномерного увлажнения всей поверхности (5 мл), представлен на **рис. 3**.

Среднее содержание пыли в воздухе на протяжении эксперимента при концентрации 0,03 % ПВА составляет 6,8 мг/м³, и с последующим увеличением концентрации ПВА вдвое – 3,8 и 1,74 мг/м³ соответственно для 0,06 и 0,12 % ПВА. Однако после 0,12 % рост эффективности резко снижается, и содержание пыли составляет 1,48 и 1,16 мг/м³ для 0,24 и 0,48 % соответственно. Концентрация 0,12%-ной водной дисперсии ПВА показывает эффективность пылеподавления 92,7 % по сравнению с незакрепленными образцами, 0,24 % поливинилацетата удерживает 93,8 % частиц, а состав с содержанием 0,48%-ной водной дисперсии ПВА эффективен на 95,1 %, что сравнимо с использованием в 10 раз большего количества воды за краткосрочный период. При этом эффект закрепления поверхности сохраняется от нескольких дней до нескольких недель в зависимости от погодных условий.

График зависимости эффективности пылеподавления водной дисперсией поливинилацетата от его концентрации по сравнению с использованием такого же количества воды представлен на **рис. 4**.

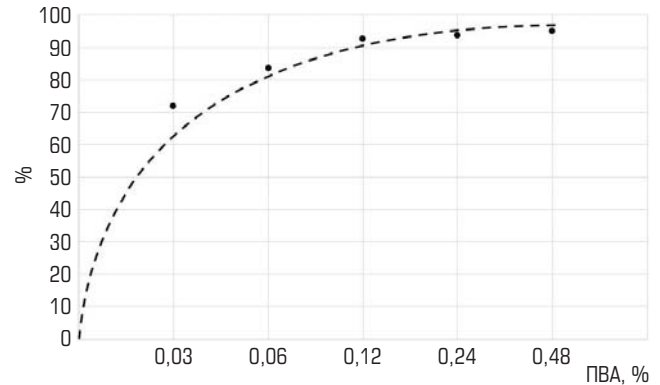


Рис. 3. Эффективность пылеподавления водной дисперсией поливинилацетата (по сравнению с сухими образцами)

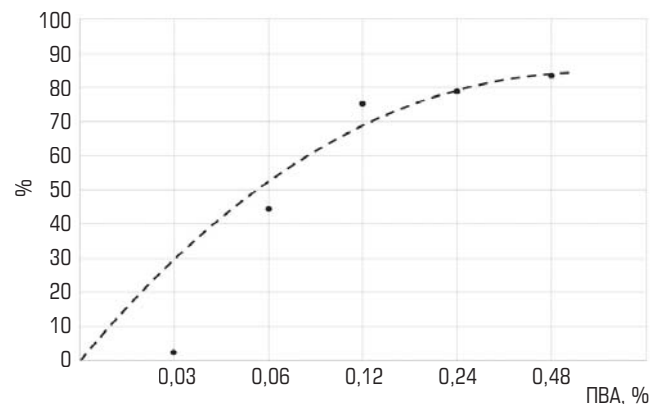


Рис. 4. Эффективность пылеподавления водной дисперсией поливинилацетата (по сравнению с водой)

Таким образом, водный раствор с концентрацией 0,03 % ПВА лишь на 2,3 % эффективнее воды, однако при концентрации поливинилацетата в водном растворе 0,06 % и более эффективность резко возрастает, достигая 75,1 % при концентрации ПВА в водном растворе 0,12 %. Дальнейшее увеличение концентрации поливинилацетата в водном растворе существенного изменения эффективности не показывает.

Полиэтиленгликоль с молекулярной массой 400 г/моль представляет собой бесцветную вязкую жидкость с температурой замерзания от -10 °С. Неограниченно растворим в воде, не токсичен, обладает высокой гигроскопичностью, вследствие чего хорошо удерживает влагу и замедляет высыхание пылящих поверхностей. Добавление ПЭГ позволяет увеличить вязкость состава пылеподавителя, что способствует уменьшению интенсивности испарения раствора при воздействии солнечного света и аэродинамической нагрузки [33].

Для определения оптимальной концентрации ПЭГ были проведены пять экспериментов с использованием 0,1; 1; 5; 10 и 20%-ного водного раствора полиэтиленгликоля.

Полиэтиленгликоль в несколько раз увеличивает время

высыхания пылящей поверхности за счет своей способности удерживать влагу [34]. Однако после его высыхания частицы остаются все также незакрепленными, и повторное пыление начинается снова, при этом чем ниже его концентрация, тем быстрее это происходит. На **рис. 5** можно проследить увеличение массовой концентрации пыли к концу эксперимента при использовании 0,1–5 % ПЭГ, что обусловлено постепенным испарением состава с поверхности экспериментального образца к концу часа. Испарение раствора с концентрацией полиэтиленгликоля 10 % и выше с поверхности экспериментального образца за час визуально не наблюдается.

Смешение данных, взаимно нерастворимых полимеров приводит к образованию гетерофазной системы – дисперсии ПВА в матрице полиэтиленгликоля. Повышенная вязкость смесей полимеров в условиях эксплуатации обеспечивает высокую стабильность таких гетерофазных систем. Данный раствор на основе смесей полимеров характеризуется большей долговечностью, чем у растворов на основе индивидуальных полимеров [33].

Исследование пылеподавительных свойств смеси полимеров проводили с тремя растворами: 0,06 % поливинилацетата и 1 % полиэтиленгликоля; 0,12 % поливинилацетата и 1 % полиэтиленгликоля; 0,24 % поливинилацетата и 1 % полиэтиленгликоля.

Динамика пыления образцов после обработки каждым из растворов представлена на **рис. 6**.

Для всех трех концентраций полимерных смесей наблюдается аддитивный эффект. Раствор № 1, состоящий из 0,06 % поливинилацетата и 1 % полиэтиленгликоля, эффективнее 0,06 % ПВА в 1,65 раза, а 1 % ПЭГ – в 1,1 раза. Раствор № 2 эффективнее 0,12 % ПВА в 2,15 раза, а 1 % ПЭГ – в 3,13 раза. Раствор № 3 эффективнее 0,24 % ПВА в 3,08 раза, а 1 % ПЭГ – в 5,29 раза.

Заключение

Несмотря на то, что пылеподавление водой является самым распространенным и малозатратным способом борьбы с пылением при добыче полезных ископаемых открытым способом, он обладает существенными недостатками: сокращением продолжительности эффекта при интенсивной ветровой нагрузке и под воздействием солнечной радиации, а также невозможностью использования при отрицательных температурах, в результате чего возникает необходимость использования для закрепления поверхностей растворов на полимерной основе.

Проведенный эксперимент показал, что использование 0,24%-ной водной дисперсии ПВА для пылеподавления снижает пыление поверхности в 3,5 раза по сравнению с использованием такого же количества воды, а 0,12%-ной водной дисперсии поливинилацетата обеспечивает сокращение пыления в 3,1 раза эффективнее воды.

Использование 1%-ного водного раствора ПЭГ для пылеподавления снижает пыление поверхности в 2,9 раза по сравнению с использованием воды, а 5%-ного раствора – в 3,7 раза.

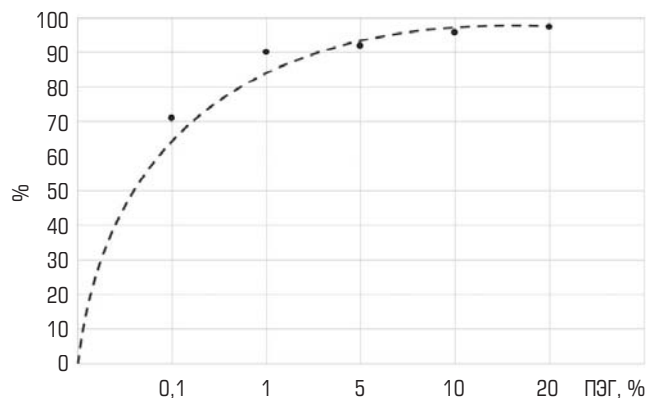


Рис. 5. Эффективность пылеподавления при использовании водных растворов полиэтиленгликоля

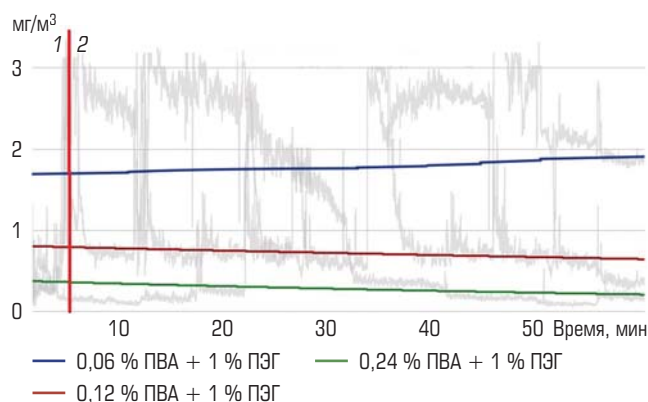


Рис. 6. Динамика пыления при использовании смеси полимеров:

1, 2 – режим постоянной и переменной подачи воздуха соответственно

При смешении полимеров наблюдается аддитивный эффект, в результате которого смесь, состоящая из 0,12 % ПВА и 1 % ПЭГ, снижает пыление поверхности в 3,13 раза, а смесь из 0,24 % поливинилацетата и 1 % полиэтиленгликоля сокращает пыление поверхности в 5,29 раза по сравнению с использованием такого же количества воды.

Выбранные для эксперимента ПВА и ПЭГ – биоразлагаемые и нетоксичные полимеры, обладающие необходимыми для пылеподавателя свойствами.

Проведенный эксперимент показал, что использование водной дисперсии поливинилацетата для пылеподавления снижает пыление поверхности до 3,5 раз по сравнению с использованием воды и более чем 20 раз по сравнению с необработанными образцами.

Библиографический список

См. англ. блок.

Efficiency evaluation of polyvinyl acetate and polyethylene glycol aqua solutions in dust suppression in open pit mining**Information about authors**

A. V. Strizhenok¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, alexeystrizhenok@mail.ru

A. V. Ivanov¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

Wang Hetang², Professor, PhD

¹Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

²China University of Mining and Technology, Xuzhou, China

Abstract

Dust pollution of the atmospheric boundary layer exerts an integrated and long-term effect on all environment components and greatly harms health. Major sources of dust formation and pollution of air with fine-dispersed suspended substances are the open pit mining facilities. In this regard, mining exerts a detrimental effect on the environment both at the stage of active operation and after completion of work. A sole method to reduce dustiness of the surface air at the open pit mining facilities to date is the physicochemical stabilization of surfaces at all production stages—dust suppression. This article presents the experimental results on the efficiency of aqua solutions made of polyvinyl acetate and polyethylene glycol in neutralizing of dusting surfaces at the open pit mining facilities. From the implemented experiments, an empirical relation between the efficiency of a dust suppression solution and the concentration of binders and the aqua solution composition is obtained, which allows calculating an optimized composition for specific open pit mining facilities subject to climatic and weather conditions, dusting fraction composition and implemented processes. The accomplished experiment shows that dust suppression using 0.24% aqueous dispersion of polyvinyl acetate reduces surface dusting by 3.5 times as compared to the same amount of water, and 0.12% aqueous dispersion of polyvinyl acetate decreases dusting 3.1 times more effectively than water.

Keywords: dust suppression, polyvinyl acetate, polyethylene glycol, aqua solution, dusting, binder.

References

- Dvoynikov M. V., Nutskova M. V., Blinov P. A. Developments made in the field of drilling fluids by Saint Petersburg Mining University. *International Journal of Engineering*. 2020. Vol. 33, Iss. 4. pp. 702–711.
- Petrova T. A., Astapenko T. S., Kologrivko A. A., Esman M. M. Reducing the geo-environmental impact of halite waste storage. *GIAB*. 2022. No. 10-1. pp. 155–162.
- Kantyukov R. R., Zapevalov D. N., Vagapov R. K. Analysis of the application and impact of carbon dioxide media on the corrosion state of oil and gas facilities. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 250. pp. 578–586.
- Kalaeva S. Z., Chistyakov Ya. V., Muratova K. M., Chebotarev P. M. Influencing fine-dispersed dust upon biosphere and human. *Izvestiya Tluskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2016. No. 3. pp. 40–53.
- Sharov N. A., Dudaev R. R., Krishchuk D. I., Liskova M. Yu. Dust suppression methods in coal mines of the Far North. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*. 2019. Vol. 19, No. 2. pp. 184–200.
- Arhipov V. A., Paleev D. Yu., Patrakov Yu. F., Usanina A. S. Coal dust wettability estimation. *Journal of Mining Science*. 2014. Vol. 50, No. 3. pp. 587–594.
- Katola V. M., Komogortseva V. E. Dust: sources of formation, its general characteristics and dust diseases (brief review). *Byulleten fiziologii i patologii dykhaniya*. 2018. Vol. 1, No. 67. pp. 111–116.
- Shakhparonova T., Sobianina D., Karapetyan K. Development of a dissolution model of a vitreous phosphorus-containing fertilizer concerning interdiffusion applied for calculation of fertilizer doses. *Research on Crops*. 2021. Vol. 22, Iss. 2. pp. 279–284.
- Makarov D. V., Svetlov A. V., Goryachev A. A., Konina O. T., Masloboev V. A. Tailings dust emissions caused by the climate change: A case-study of a mine in Russia's Far North. *GIAB*. 2021. No. 5. pp. 122–133.

- Meshkov A. A., Korshunov G. I., Kondrasheva N. K., Ereemeeva A. M., Seregin A. S. Method of Reducing Air Pollution of the Coal Mines Working Areas with Diesel Locomotives Harmful Emissions. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2020. No. 1. pp. 68–72.
- Ivanova L. A., Gorbacheva T. T., Makarov D. V., Rummyantseva A. V. Some aspects of physicochemical and biological methods for the conservation of apatite–nepheline tailings in the Far North. *Power Technology and Engineering*. 2019. Vol. 53, No. 1. pp. 47–50.
- Zhu G., Zhao J., Chen Q., Guo Q., Cheng D. et al. The comparative potential of four Compositae plants for phytoremediation of karst lead/zinc mine tailings contaminated soil. *BioResources*. 2022. Vol. 17, Iss. 2. pp. 2997–3013.
- Nunes F. C., Alves L. de J., Prasad M. N. V., de Carvalho C. C. N., Nolasco E. C. Phytoremediation strategies for rehabilitation of soils affected by red mud: The mariana tailing dam collapse (Minas Gerais, Brazil). *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55, No. 5. pp. 673–685.
- Masoud Bazgir, Davood Namdar Khojasteh. Biological, chemical and mineral mulches effect on stabilization of dust storm sources, case study: Ilam Province. *Watershed Engineering and Management*. 2018. Vol. 10, Iss. 4. pp. 701–713.
- Lukyanov V. G., Shmurygin V. A., Zabuga V. S. Introduction and use of air-mechanical foams created by foam generators for dust suppression in drilling. *Vestnik nauki Sibiri*. 2013. No. 1(7). pp. 1–4.
- Taehee Lee, Sangsik Kim, Samuel Kim, Na-Yeon Kwon, Sangchul Rho et al. Environmentally friendly methylcellulose-based binders for active and passive dust control. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2020. Vol. 12, Iss. 45. pp. 50860–50869.
- Bazhin V., Masko O. Monitoring of the behaviour and state of nanoscale particles in a gas cleaning system of an ore-thermal furnace. *Symmetry*. 2022. Vol. 14, Iss. 5. 923. DOI: 10.3390/sym14050923
- Toufigh V., Ghassemi P. Control and stabilization of fugitive dust: using eco-friendly and sustainable materials. *International Journal of Geomechanics*. 2020. Vol. 20, No. 9. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001762
- Roobeh Owji, Ghassem Habibagahi, Ehsan Nikooee, Sayed Fakhreddin Afzali. Wind erosion control using carboxymethyl cellulose: From sand bombardment performance to microfabric analysis. *Aeolian Research*. 2021. Vol. 50. 100696. DOI: 10.1016/j.aeolia.2021.100696
- Tyutrin A. A., Burdonov A. E., Bushuev K. S. Expanding the application scope of fine dust from petroleum coke calcining furnaces in aluminum production. *Materials Science Forum*. 2022. Vol. 1052. pp. 482–487.
- Ivanik S. A., Ilyukhin D. A. Flotation extraction of elemental sulfur from gold-bearing cakes. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 242. pp. 202–208.
- Pashkevich M. A., Danilov A. S. Ecological security and sustainability. *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 260. pp. 153–154.
- Mylona E., Xenidis A., Csövári M., Németh G. Application of dry covers for the closure of tailings facilities. *Land Contamination & Reclamation*. 2007. Vol. 15, Iss. 2. pp. 163–182.
- Nikolovska A., Gjorgjevska E., Tasevska M. Ecological and cost-effective solution for soil stabilization: Prevention of fugitive dust generation. *Polluting the Cities in Macedonia: What are the Solutions? : Conference*. Skopje, 2019.
- Kassymkanova K.-K., Jangulova G., Issanova G., Turekhanova V., Zhalgasbekov Y. Geomechanical processes and their assessment in the rock massifs in Central Kazakhstan. Series: SpringerBrief in Earth Sciences. Cham : Springer, 2020. 94 p.
- Lebedev A. B., Utkov V. A., Khalifa A. A. Sintered sorbent utilization for H₂S removal from industrial flue gas in the process of smelter slag granulation. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 237. pp. 292–297.
- González-Chávez M. C. A., Santiago-Martínez M. E., Corona-Sánchez J. E., Ruiz-Olivares A., Carrillo-González R. Wild plants canopies may adsorb dust particles eroded from mine tailings, decreasing potentially toxic elements dispersion. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2023. Vol. 20, Iss. 2. pp. 1277–1288.
- Teper E. Dust-particle migration around flotation tailings ponds: pine needles as passive samplers. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009. Vol. 154, Iss. 1-4. pp. 383–391.
- Khademi H., Abbaspour A., Martínez-Martínez S., Gabarrón M., Shahrokh V. et al. Provenance and environmental risk of windblown materials from mine tailing ponds,

- Murcia, Spain. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 241. pp. 432–440.
30. Subbir Parvej, Dayakar L. Naik, Hizb Ullah Sajid, Ravi Kiran, Ying Huang et al. fugitive dust suppression in unpaved roads: State of the art research review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Iss. 4. 2399. DOI: 10.3390/su13042399
31. LA-950 Laser Particle Size Analyzer. HORIBA. Available at: <https://www.horiba.com/details/la-950-laser-particle-size-analyzer-108/> (accessed: 15.06.2023).
32. Hadjiev A., Hadjiev P. On some methods for surface erosion control on tailings ponds and waste fly-ash piles. *50 years University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" (1953–2003): Annual of the university of mining and geology "St. Ivan Rilski"*. Sofia, 2003. Vol. 46, Iss. 2. Mining and Mineral Processing. pp. 185–187.
33. Matveeva V. A., Smirnov Yu. D., Suchkov D. V. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. Vol. 44, Iss. 5. pp. 1605–1618.
34. Amponsah-Dacosta F. A Field-scale performance evaluation of erosion control measures for slopes of mine tailings dams. *Proceedings of the 10th International Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference*. Santiago, 2015. Vol. 3. pp. 1419–1425.

УДК 622.85:622.411.52

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА, ЗАГРЯЗНЕННОГО УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ



М. А. ПАШКЕВИЧ,
проф., д-р техн. наук



А. А. ДУКА,
научный сотрудник, duka_aa@pers.spmi.ru

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

Поступление угольной пыли в окружающую среду в процессе добычи, перевалки, транспортирования и складирования угля является серьезнейшей проблемой как в плане влияния на организм человека, так и при оценке воздействия на компоненты природной среды [1–10]. Потенциальная опасность угольной пыли для природных компонентов связана с ее морфометрическими показателями. Угольные частицы ввиду малых размеров (как правило, менее 10 мкм) и развитой удельной поверхности обладают сорбционной способностью, в том числе и по отношению к токсичным элементам [11–15]. Оседание угольной пыли инициирует процессы депонирования и перераспределения элементов в почвенно-растительном покрове. Наибольшей экологической опасностью характеризуются тяжелые металлы, присутствующие в составе пылевых частиц. Следует отметить, что их содержание в угольной

Описано воздействие промышленных объектов угольной отрасли на почвенно-растительный покров. Определены характеристики угольной пыли, проведен эксперимент по выращиванию растительных образцов в лабораторных условиях при различных уровнях пылевой нагрузки, проанализированы морфологические изменения, концентрации хлорофиллов и каротиноидов в растительной массе, состав почвенных и растительных образцов. Установлены зависимости изменения качества почв и растительности от количества вносимой в среду угольной пыли, определены пороговые значения пылевой нагрузки.

Ключевые слова: угольная промышленность, перевалка угля, угольная пыль, почвенно-растительный покров, биоаккумуляция, фотосинтетическая активность, поллютанты

DOI: 10.17580/gzh.2023.09.10

массе изменяется в зависимости от геологического происхождения и способов обогащения углей. Помимо токсического действия на биообъекты, тяжелые металлы обладают устойчивостью к биологическому разложению и не удаляются из системы «почва–растение» [16–23].

Воздействие угольных частиц на почвенно-растительную среду происходит при помощи нескольких механизмов. В результате седиментации пыли из атмосферного воздуха в почвах и растительности протекают процессы аккумуляции ксенобиотиков. При этом оседание твердых частиц на наземную часть растений приводит к механическому перекрытию листовых пластин, что, в свою очередь, является причиной снижения фотосинтетической активности растительной массы [24–29].

В настоящее время отсутствуют исследования, в которых по совокупности критериев качества почвенно-растительного покрова был бы выработан комплексный подход к оценке экологической токсичности угольной пыли. В связи с этим как