

УДК 622.7; 622.7.017.2; 622.7:504.064.43; 622.73/.75

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
И ИНСТРУМЕНТОВ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ
И СКЛАДИРОВАНИИ УГЛЕЙ**

А. А. Бегунов¹, В. И. Удовицкий², В. А. Кандинский¹, А. И. Костенюк²

¹Инжиниринговая компания ООО “БРЕНТ”,
просп. Ленина, 55, 650043, г. Кемерово, Россия

²Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,

E-mail: uvi_kuzstu@mail.ru, Ленинградский проспект, 10, 650065, г. Кемерово, Россия

Разработан новый метод пылеподавления с использованием химических реагентов, защищенный патентом на изобретение и внедренный на ряде шахт и разрезов Кузбасса, Новосибирской области, Хакасии. По сравнению с известными решениями предлагаемый метод позволяет повысить эффективность пылеподавления пылящих поверхностей в сочетании с дополнительным эффектом снижения смерзаемости обработанных средством перевозимых углей.

Механическая переработка, потери, складирование, транспортирование, пыль, пылеобразование, источники выбросов, пылеподавление

DOI: 10.15372/FTPRPI20220417

Совершенствование технологий физико-механической переработки и обогащения полезных ископаемых заключается, как правило, в стремлении увеличить извлечение полезного компонента из минеральной массы сырья, снижая при этом технологические потери, с сохранением или сокращением издержек производства.

В соответствии с инструкцией по определению и нормированию потерь угля при переработке [1], они разделяются на три вида:

- технологические (нормируемые);
- механические (как правило, не нормируются): переливы зумпфов и резервуаров, смывы с производственных площадей, мелкодисперсная пыль и пр., которые необходимо устранять в технологии переработки;
- возникающие в процессе транспортировки продукции от поставщика до потребителя, подлежащие контролю, нормированию и учету в соответствии с действующими отраслевыми документами.

В настоящей работе рассмотрены технологии, направленные на сокращение последних двух видов потерь: механических и при транспортировании.

Информационно-техническим справочником по наилучшим доступным технологиям добычи и обогащения угля № ИТС 37-2017, утвержденным приказом Правительства РФ № 2841 от 15.12.2017 г., определены маркерные вещества для угледобывающей промышленности. При эмиссии в атмосферный воздух одним из таких веществ является пыль неорганическая.

Содержание пыли в атмосфере зависит, помимо источников ее образования, от скорости воздушных потоков. Выбросы неорганической пыли относятся к неорганизованным источникам, которые осуществляются со значительных территорий. Загрязнение воздуха в районе ведения работ предприятиями угольной промышленности зависит от применяемых технологий добычи, переработки, транспортировки и складирования. При мощном ветре и без применения специальных мероприятий создаются условия для интенсификации поступления пыли в приземные слои атмосферы. Сухая пыль сдувается и переносится на значительные расстояния при скорости ветра от 2 м/с и выше. Так как скорость ветра возрастает с увеличением высоты над землей, росту выбросов пыли в атмосферу способствует возведение высоких отвалов. Запыленность воздуха на угольных предприятиях открытой добычи определяется климатическими условиями и расстоянием от источника пылеобразования [2].

Источники образования пыли в Сибири с резко континентальным климатом и низкой влажностью на карьерах при добыче и переработке минерального сырья достаточно полно представлены в работах [3 – 6].

Снижение образования пыли природного и техногенного происхождения является существенной проблемой в угледобывающей отрасли. Мелкодисперсная пыль во взвешенном состоянии образуется в процессе транспортировки горной массы, а также при ее перегрузке, хранении, складировании. Именно пыль провоцирует многие профессиональные заболевания [4].

На дробильно-сортировочных комплексах и установках с методами сухого обогащения источниками образования пыли являются места перегрузки продуктов обогащения с пневматических отсадочных машин, грохотов и сепараторов на ленточные конвейеры и при последующей транспортировке. Число таких перегрузок 60–90, а уровень запыленности на рабочих местах достигает 200–350 мг/м³. Интенсивность образования пыли зависит от многих факторов: физико-механических свойств перерабатываемого угля, таких как влажность, крупность и хрупкость; способа перемещения угля и продуктов его переработки; скорости транспортирования и влажности воздуха, герметичности уплотнения пылящего оборудования.

Принимая во внимание, что угольная пыль — специфически вредное вещество, борьба с запыленностью ведется на угледобывающих и перерабатывающих предприятиях. Проектирование всех технологических процессов осуществляется с учетом мероприятий по борьбе с пылью, а установка технологического и транспортного оборудования ведется одновременно со средствами пылеподавления. Кроме того, пыление — это увеличение расходов предприятия на эксплуатацию оборудования, а также проблемы с соблюдением экологического законодательства РФ.

Для борьбы с пылением дорог достаточно широко используются растворы различных химических реагентов, позволяющие более эффективно смачивать пылящие поверхности по сравнению с технической водой.

Известны исследования по пылеподавлению на технологических дорогах в карьерах Кривбасса (Украина), которые позволили выявить эффективность связывания дорожной пыли водным раствором хлорида магния. Однако применение указанного реагента целесообразнее проводить после предварительного смачивания поверхности дороги карьера технической водой [7]. Использование указанного вещества может нанести вред здоровью человека: расстройство дыхания, аллергические реакции, нарушение функций щитовидной железы.

Известен смачиватель для подавления угольной пыли, содержащий следующие компоненты, мас. %: алкилбензосульфокислота 11.3–14.3; гидроксид натрия 6.00–9.05; неол 14.0–17.9; этиловый спирт 1.25–1.75; карбамид 1.3–1.7; хлорид кальция 1.25–1.75; бишофит 1.25–1.75; отдушка 0.2–0.5 и вода 50.0–53.5 (Пат. РФ № 2495250 С1, автор Глебов А. Ф.). К недостаткам следует отнести его сложность и многокомпонентность, которые затрудняют процесс приго-

товления смачивателя, а отдельные компоненты могут представлять вред для здоровья человека и негативно сказываться на окружающей среде.

Также известен способ пылеподавления на открытых угольных складах, который заключается в нанесении на пылящие поверхности смеси, полученной соединением карбида кальция и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы в соотношении 3:1 и растворенной в воде до концентрации в водном растворе, равной 5 % (Пат. РФ № 2532939 С1, авторы: Ковшов С. В. и др., RU). Недостатком данного способа является низкая эффективность смеси в отношении обеспечения необходимой безопасности при применении из-за активности взаимодействующих компонентов, так как карбид кальция при контакте с водой, выделяя газообразный ацетилен, образующий с воздухом взрывоопасную смесь.

Известно изобретение, в котором для пылеподавления на открытых угольных складах используют смесь, включающую хлорид кальция и натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы, (Пат. РФ № 2683014, авторы: Ковшов С. В. и др., RU). Однако натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы может представлять вред для здоровья человека и негативно сказываться на окружающей среде.

Недостатком способа пылеподавления угля, включающего обработку угля средством, нагретым до температуры 50–100 °С, при расходе средства 500–2500 г на тонну угля (Пат. ЕА 35341 В1, авторы: Шевчук П. В. и др., RU), является сложность применения состава, так как есть необходимость нагревания его перед применением.

Анализ свойств профилактических средств, применяемых при низких температурах, позволил установить, что плавящая способность бишофита меньше, чем у хлоридов кальция и натрия. Это приводит к образованию скользкой пленки на поверхности технологических дорог. Кроме того, хлористый магний обладает высокой коррозионной активностью и усиливает коррозию кузовов, металлических деталей транспортных средств, разрушает бетон. В связи с этим актуальна задача получения простого в изготовлении состава с эффективными пылеподавляющими свойствами, не оказывающими отрицательного воздействия на здоровье человека и окружающую среду [8].

Цель настоящих исследований — разработка эффективных методов пылеподавления при добыче, транспортировке, переработке, обогащении и складировании угля с использованием химических реагентов, наносящих наименьший экологический ущерб.

Задача исследований — определение не только выбора методов и инструментов экологического мониторинга процессов при разработке месторождений полезных ископаемых, но и создание новых способов закрепления пылящих поверхностей на объектах горнодобывающего и перерабатывающего комплексов.

При проведении исследований были рассмотрены следующие вопросы:

- анализ существующих способов пылеподавления при добыче, транспортировке, перевалке и хранении сыпучих материалов;
- анализ опыта применения существующих и разработка новых специальных профилактических средств для повышения эффективности пылеподавления;
- разработка новой методики оценки пыления дорожного покрытия и поверхности штабелей складирования сыпучих грузов в условиях промышленных объектов. Оценка эффективности средств пылеподавления;
- определение оптимальных расходов и способов применения новых специальных профилактических средств для достижения максимального результата.

Для решения задач, связанных с сухой и взвешенной пылью, использованы следующие методы, технологии и оборудование:

- пылеулавливающее оборудование, включающее скрубберы, циклоны, рукавные фильтры;
- применение туманогенераторов, душевых систем для более эффективного увлажнения пылящих поверхностей технической водой;
- смачивание пылящих материалов при транспортировке, массовом хранении горной массы (хвостохранилища и отвалы) с помощью новых специальных профилактических средств.

В результате проведенного анализа определены эффективные технологии пылеподавления:

- смачивание с применением профилактических средств, гидрофилизирующих поверхности крупных, мелких и тонких минеральных частиц;
- применение генераторов для туманообразования при смачивании профилактическими средствами сыпучих материалов в запыленных закрытых пространствах и открытых площадках складирования;
- образование полимерной пленки на пылящей поверхности путем нанесения пленкообразующего средства.

Для реализации технологии пылеподавления в условиях промышленных предприятий инжиниринговая компания ООО «БРЕНТ» разработала и производит мобильную систему СПД-90 (рис. 1) с туманогенератором, создающим тонкодисперсный туман (20–150 мкм). Дальность действия 90 м, площадь распыления 20000 м². Радиус поворота туманогенератора до 320°. СПД-90 полностью автономна за счет электропитания от дизельгенератора и установленной емкости 5–10 м³. Такого объема профилактического средства достаточно для непрерывной работы в течение 12 ч. При работе в условиях пониженных температур до –40°С предусмотрен обогрев форсунок, подводящих шлангов и емкостей для хранения воды или раствора профилактического средства.



Рис. 1. Мобильная система пылеподавления СПД-90.

В процессе подготовки к лабораторным исследованиям и промышленным испытаниям проанализированы имеющиеся методики определения пыления [6–8]. Все указанные методики используют расчетный метод оценки процесса пыления на основе удельных показателей. В основном речь идет об оценке пыления при проектировании объектов или за определенный отчетный период без инструментальных замеров, осуществляемых в натурных условиях. Более подробно методы рассмотрены в [12].

В 2019–2021 гг. инжиниринговая компания “БРЕНТ” совместно с федеральным исследовательским центром угля и углехимии СО РАН провели лабораторные и промышленные испытания технологии пылеподавления с применением нового профилактического средства “Антипыль”.

С помощью этого реагента продемонстрировано уменьшение пыления при погрузочно-разгрузочных работах, на дорожном полотне технологических дорог, при транспортировании авто- и железнодорожным транспортом, технологической сортировке и хранении сыпучих материалов, в технологических процессах на угольных предприятиях Кузбасса (разрез “Березовский”, “Шахта № 12” АО “Стройсервис”, разрез “Кедровский” АО “Кузбассразрезуголь”, разрез “Распадский” АО “РУК”); Хакасии (разрез “Черногорский” АО “СУЭК”); Новосибирской области (АО “Сибирский Антрацит”).

Фотография участка поверхности дороги, обработанной профилактическим средством “Антипыль” представлена на рис. 2. На снимке видна связь пылевидных и мелких частиц щебня технологической дороги после использования профилактического средства.

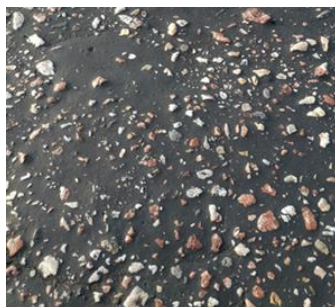


Рис. 2. Фрагмент участка поверхности технологической дороги АО “Сибирский Антрацит” (Новосибирская область), обработанной средством “Антипыль”

Для сравнительной оценки эффективности технологий применения профилактических средств пылеподавления проводились замеры в условиях промышленных предприятий в соответствии с новой разработанной методикой оценки пыления дорожного покрытия, поверхности штабелей складирования сыпучих грузов на промышленных объектах, при пересыпке угольных продуктов [12].

Новая методика включает в себя применение установки для инструментального замера анализаторами ПКА-01 или ПУ-4Э количества пыли, сдуваемого с какой-либо поверхности (рис. 3). Моделирование процесса ветровой эрозии поверхности, т. е. воздействие скоростного воздушного потока на поверхность, осуществляется в аэродинамической трубе для исключения влияния на эксперимент внешних факторов и оценки непосредственного воздействия на участок поверхности.

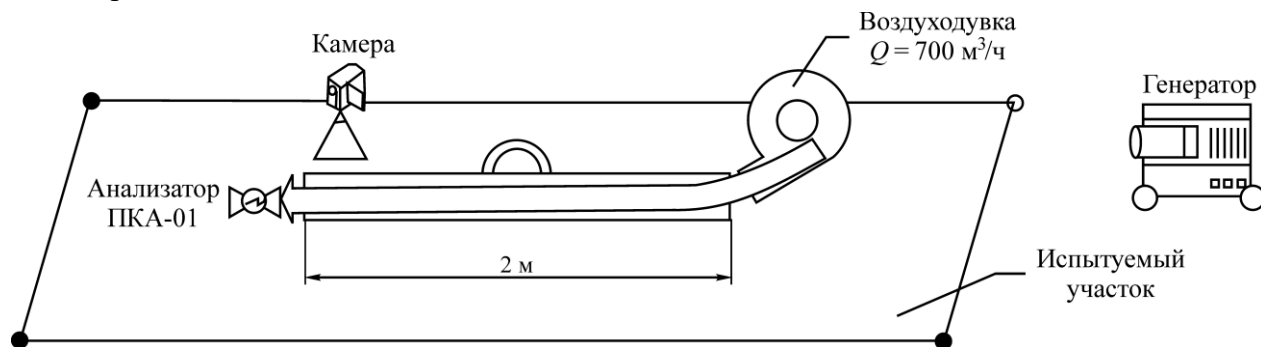


Рис. 3. Схема установки для инструментального мониторинга пылеобразования (пылеподавления)

В трубе воздухоудувкой создается поток воздуха производительностью до 700 м³/ч. Указанное значение с учетом сечения трубы обеспечивает скорость воздушного потока до 25 м/с или 90 км/ч, что соответствует максимальной скорости движения железнодорожного полувагона или скорости ветра относительно поверхности дорожного покрытия. При такой скорости профилактические средства должны исключать выветривание (пыление) верхнего слоя перевозимого сыпучего материала и поверхности дороги. Запыленный поток воздуха проходит через приборы ПКА-01 или ПУ-4Э, находящиеся на противоположной от воздухоудувки стороне аэродинамической трубы и регистрирующие концентрацию пыли в потоке.

Аналогично проводятся замеры на всех намеченных для исследований участках поверхности, обработанной пылеподавляющими реагентами, в том числе и на необработанном участке (контрольном).

Численная оценка эффективности пылеподавления $\mathcal{E}_{\text{пп}}$ на обработанном участке относительно необработанного определяется по формулам:

$$\mathcal{E}_{\text{пп}} = 100 - P_{\text{ост}},$$

$$P_{\text{ост}} = \frac{C_{\text{обр}}}{C_{\text{необр}}} \cdot 100,$$

где $P_{\text{ост}}$ — остаточное пыление на каждом испытуемом участке, %; $C_{\text{обр}}$, $C_{\text{необр}}$ — концентрация пыли на обработанном и необработанном участке, мг/м³.

Результаты мониторинга эффективности пылеподавления на поверхности технологических дорог и обочин, при хранении сыпучих материалов в массе и конусах на открытых площадках профилактическим средством “Антипыль” в условиях действующих угледобывающих предприятий показаны в табл. 1, 2 и в виде диаграмм представлены на рис. 3.

ТАБЛИЦА 1. Результаты мониторинга эффективности пылеподавления профилактическим средством “Антипыль” на технологической дороге разреза “Черногорский” АО “СУЭК-Хакасия”

Показатель	Прибор ПКА-01		Прибор ПУ-4Э	
	0.3 (первичная обработка)	0.05 (повторная обработка)	0.3 (первичная обработка)	0.05 (повторная обработка)
Расход средства, л/м ²				
Эффективность пылеподавления, %				
на 2-е сутки	99.9	—	99.8	—
на 3-и сутки	—	99.5	—	99.1
на 4-е сутки	99.6	98.5	—	97.5
на 5-е сутки	98.1	97.9	96.8	—
Среднее значение эффективности, %	99.2	98.6	98.3	98.3

ТАБЛИЦА 2. Сравнение длительности действия пылеподавляющих свойств профилактического средства “Антипыль” и воды

Объект пылеподавления	“Антипыль”, сут	Вода, ч
Дороги и обочины	5 – 7	2 – 6
Обработка сыпучих материалов в массе	20 – 30	—
Хранение сыпучих материалов в конусах на открытых площадках	20 – 30	—

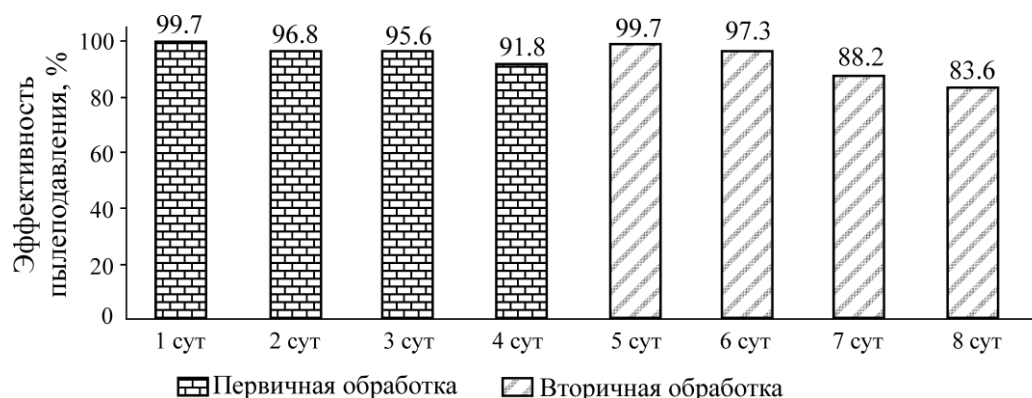


Рис. 3. Результаты мониторинга эффективности пылеподавления в условиях технологических (грунтовых) дорог на территории горного отвода ООО “Шахта № 12” (г. Киселевск)

Технический результат применения технологии заключается в получении простого в изготовлении состава с эффективными пылеподавляющими свойствами, не оказывающими отрицательного воздействия на окружающую среду. Указанный технический результат достигается также технологией пылеподавления, включающей обработку пылящей поверхности средством, полученным обычным механическим смешиванием состава для пылеподавления “Антипыль” с водой в соотношениях, рекомендованных в [8, 12]:

- 2 л 5 % раствора для пылеподавления “Антипыль” на 1 т обрабатываемых сыпучих материалов по массе при транспортировке в вагонах и в местах перегрузки;
- 1 л 5 % раствора для пылеподавления “Антипыль” на 1 м² обрабатываемой поверхности при хранении сыпучих материалов в конусах на открытых площадках, при первичной и повторной обработках с интервалом 20 – 30 дней;
- 1 л 30 % раствора для пылеподавления “Антипыль” на 1 м² поверхности технологической дороги, дорожных обочин при первичной обработке;
- 1 л 5 % раствора для пылеподавления “Антипыль” на 1 м² дороги, дорожных обочин при повторной обработке с интервалом 5 – 7 дней.

Профилактическое средство “Антипыль” — комплекс активных веществ для пылеподавления на поверхностях технологических дорог, угольных и породных конусов (штабелей) на складах и хвостохранилищах применяется в том числе для предотвращения смерзания горной массы и при транспортировании. Данное средство при взаимодействии с частицами материала образует связанные слои, обладает высокими эксплуатационными характеристиками и может применяться на различных этапах производственного процесса добычи, погрузки, складирования, транспортирования, переработки, обогащения угля и других материалов.

Средство “Антипыль” состоит из кальция дихлорида, специальных поверхностно-активных веществ (ПАВ), включая ингибиторы коррозии и воды. ПАВ снижают поверхностное натяжение, позволяют при одинаковом расходе покрывать большую поверхность обрабатываемого материала, увеличивают срок полезного действия средства. Ингибиторы коррозии, входящие в состав, исключают негативное воздействие на металл технологического оборудования и транспортных средств.

Обработанная поверхность дороги сохраняет влагу на дорожном покрытии и связывает пыль на период до 5 сут после обработки. Необработанная средством “Антипыль” поверхность имеет сухую и пылящую структуру.

Специальное средство, растворенное в воде, проникает в толщу материала и обеспечивает сцепление частиц между собой. Масса и размер агрегатов частиц увеличиваются, и они не поднимаются в воздух.

Существует большая разница между системами пылеподавления с добавками ПАВ и без них. Многие сухие пылящие материалы фактически не смачиваются технической водой. В результате часть материала будет очень влажной, а оставшаяся — сухой и пылящей. При добавлении смачивателей в воду и распылении этого раствора на сухой пылящий материал обеспечивается надежное и длительное пылеподавление.

ВЫВОДЫ

Разработана методика инструментального экологического мониторинга пыления технологических дорог, штабелей хранения минеральных ресурсов и продуктов их обогащения на промышленных объектах и оценки эффективности применяемых средств пылеподавления; установка экологического мониторинга пылеподавления в промышленных условиях при транспортировании, складировании углей, антрацитов и продуктов их обогащения.

Разработан состав для пылеподавления “Антипыль” и способ его применения, позволяющий повысить эффективность пылеподавления пылящих поверхностей в сочетании с дополнительным эффектом снижения смерзаемости обработанных средством перевозимых углей.

Проведены промышленные испытания средства “Антипыль”, подтвержденные актами о внедрении на ряде предприятий. Полученные результаты воспроизводимы в условиях различных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, что подтверждает правильность выбранных технических решений при пылеподавлении и оценке эффективности профилактических пылеподавляющих средств.

По результатам промышленных испытаний определены оптимальные концентрации и расходы профилактического средства “Антипыль”, обеспечивающие необходимый уровень пылеподавления, экологический и экономический эффекты за счет снижения расходов на эксплуатацию автополивочной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Инструкция** по определению и нормированию потерь угля (сланца) при переработке, РД 03-306-99, утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 11.08.99 № 62, внесено изменение [РДИ 03-473(306)-02], утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 27.06.2002 № 39.
2. **Методическое пособие** по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. — СПб., 2005.
3. **Порцевский А. К.** Вентиляция шахт. Аэрология карьеров. — М.: МГОУ, 2004. — 71 с.
4. **Шаров Н. А., Дудаев Р. Р., Кришук Д. И., Лискова М. Ю.** Методы пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера // Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2019. — Т. 19. — № 2. — С.184–200.
5. **Михайлов В. А., Бересневич П. В., Борисов В. Г., Лобода А. И.** Борьба с пылью в рудных карьерах. — М.: Недра, 1981. — 262 с.
6. **Пылеподавление** на угольных предприятиях // Добывающая пром-сть. — 2019. — № 4 (16). — С. 254–255.
7. **Нестеренко О. В., Комиссаренко Т. А., Домничев Н. В.** Исследования по пылеподавлению на щебеночной автодороге // Science Rise. — 2017. — № 11 (40). — С. 48–53.

8. Бегунов А. А., Еремин К. И., Кандинский В. А. Состав для пылеподавления “Антипыль” и способ его применения / Пат. № 2758145. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26.10.2021.
9. Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золоотвала ТЭС / разработана ОАО “Урал ОРГЭС”, ВНИИОГР, Агрофизический институт РАСХН. — Екатеринбург, 1998.
10. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей) / разработана Национальным научным центром горного производства Института горного дела им. А. А. Скочинского. — Люберцы, 1999.
11. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов / разработано ЗАО “НИПИОТСТРОМ”. — Новороссийск, 2000.
12. Методика инструментального экологического мониторинга пыления поверхностей технологических дорог, штабелей хранения минеральных ресурсов и продуктов их обогащения на промышленных объектах. Определение эффективности средств пылеподавления / разработана ФИЦ УУХ СО РАН. — Кемерово, 2021.

Поступила в редакцию 26/V 2022

После доработки 27/VI 2022

Принята к публикации 30/VI 2022