ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(10):5-15

УДК 622.807.2 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕНИЯ УГЛЕЙ ПРИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИИ

С.А. Эпштейн[1], Д.И. Гаврилова[1], И.Г. Завелев[2], С.А. Шамшин[2], Е.Ю. Юрин[3]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: apshtein@yandex.ru
[2] ООО «ОргХим-Технология», Москва, Россия
[3] ООО «Разрез Аршановский», Республика Хакасия, Алтайский район, с. Аршаново, Россия

Аннотация: Рассмотрены основные мероприятия, применяемые в настоящее время для подавления угольной пыли при транспортировке и перемещении углей. Показано, что одним из перспективных способов пылеподавления является использование химических реагентов разного состава. Отмечено, что оценка эффективности при выборе химических реагентов не обеспечена методическими и нормативными документами. Приведены данные по опытно-промышленной обработке длиннопламенного угля полимерной эмульсией на конвейерной ленте дробильно-сортировочного комплекса предприятия с целью снижения угольной пыли. Для контроля эффективности пылеподавления углей проводили измерения содержания взвешенных веществ (пыли неорганической), а также оксида азота, диоксида азота и оксида углерода в атмосферном воздухе рабочей зоны при пересыпе и погрузке-разгрузке угля. Полученные результаты показали, что обработка угля полимерной эмульсией приводит к снижению содержания взвешенных веществ, образующихся в атмосферном воздухе при перевалке угля сразу после высыхания раствора, а также спустя месяц после проведенной обработки за счет образуемого на поверхности угля полимерного покрытия, устойчивого к воздействию климатических условий. Показано, что обработка полимерной эмульсией не приводит к ухудшению базовых показателей качества углей. Полученные данные свидетельствуют о том, что применение полимерной эмульсии позволяет снизить содержание взвешенных веществ в воздухе рабочей зоны при перевалке углей, при этом не оказывая существенного влияния на показатели качества угольной продукции.

Ключевые слова: угольная пыль, противопылевые мероприятия, полимерная эмульсия, конвейер, дробильно-сортировочный комплекс, перевалка, хранение, открытый склад, показатели качества углей.

Для цитирования: *Эпштейн С. А., Гаврилова Д. И., Завелев И. Г., Шамшин С. А., Юрин Е. Ю.* Опыт применения полимерной эмульсии для снижения пыления углей при их перемещении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.

Application of polymer emulsion in dust emission control during coal haulage

S.A. Epshtein[1], D. I. Gavrilova[1], I.G. Zavelev[2], S.A. Shamshin[2], E.Yu. Yurin[3]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: apshtein@yandex.ru
[2] LLC «ORGHIM-Technology», Moscow, Russia
[3] Razrez Arshanovsky LLC, Arshanovo, Altai district, Republic of Khakassia, Russia

© С.А. Эпштейн, Д.И. Гаврилова, И.Г. Завелев, С.А. Шамшин, Е.Ю. Юрин. 2019.

Abstract: The article discusses basic measures currently in use in dust suppression during coal haulage. It is shown that one of the promising methods of coal dust emission control is chemical agents of different compositions. It is specified that estimation of efficiency of chemical agents lacks proved procedures and norms. This article presents the data on pilot treatment of free-burning coal on the belt of the crushing and blending plant by polymer emulsion to reduce coal dusting. The efficiency of the coal dust emission control was estimated by measuring contents of suspended matter (inorganic dust), as well as nitric oxide, nitrogen dioxide and carbon oxide of air in the working zone of coal loading/unloading or fill. The results show that coal treatment by polymer emulsion reduces the air content of suspended matters at the points of coal rehandling immediately after drying of the solution and even a month after the treatment owing to the polymeric coating resistant to climate effects. The treatment with polymer emulsion leads to no worsening of basic coal qualities. The obtained data imply that application of polymer emulsion reduces the content of suspended matter in air at the points of coal rehandling without deterioration of coal quality.

Key words: coal dust, dust emission control measures, polymer emulsion, belt, crushing and blending plant, rehandling, storage, outdoor storage, coal quality indices.

For citation: Epshtein S. A., Gavrilova D. I., Zavelev I. G., Shamshin S. A., Yurin E. Yu. Application of polymer emulsion in dust emission control during coal haulage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):5-15. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.

Введение

При разработке угольных месторождений важной проблемой является загрязнение атмосферного воздуха угольной пылью, образующейся в процессе добычи, дробления, сортировки, а также при проведении работ по погрузке-разгрузке и дальнейшей транспортировке продукции. Высокое пылевыделение оказывает негативное влияние на безопасность ведения горных работ, приводит к развитию тяжелых профессиональных заболеваний, а также наносит серьезный урон окружающей среде [1, 2]. В настоящее время более чем актуальной проблемой является пыление углей при их перемещении, особенно с учетом сложной экологической обстановки в районах погрузки и разгрузки железнодорожного и автомобильного транспорта, а также на угольных терминалах в морских портах.

Законодательные и нормативные акты РФ и международных организаций предъявляют жесткие экологические требования к мероприятиям по защите окружающей среды от воздействия угольной пыли. В связи с этим применение на всех технологических этапах различных методов, средств и технологий, направленных на снижение и устранение негативного влияния пыли, является неотъемлемой процедурой.

Традиционными мероприятиями по борьбе с образованием и распространением пыли являются применение сложных стационарных вытяжных вентиляционных систем, сепараторов-циклонов, электростатических пылеуловителей [3], а также послойная укатка угля при его хранении в штабелях; применение экранирующих решетчатых ограждений на угольных складах, закрытые способы транспортировки угольной массы и др. [4]. Одним из наиболее распространенных противопылевых мероприятий в угольной промышленности является гидрообеспыливание. Однако этот метод оказывает лишь кратковременное действие, что связано с плохой смачивающей способностью воды и гидрофобными свойствами угольной пыли [5, 6].

В некоторых случаях орошение угольной массы водой не рекомендуется применять, например, при хранении бурых, длиннопламенных или газовых углей, так как это может привести к увеличению их

пыления и склонности этих углей к окислению и самовозгоранию за счет растрескивания крупных кусков топлива при его высыхании и образованию мелких фракций [7].

В подобных случаях рекомендуется применять обработку поверхности штабелей специальными пылесвязывающими закрепителями (акрилатно-лигносульфатный закрепитель, водобитумные, латексные и др. эмульсии, отходы заводов нефтяной и химической промышленностей) [7] либо специальными химическими реагентами, удовлетворяющими требованиям санитарных норм.

Изучению влияния химических реагентов на улучшение связывания тонкой пыли посвящено много работ. Так, в [8] показано, что при распылении раствора с добавлением химических агентов (таких, как анионное ПАВ, алифатический спирт, натриевая сульфатная соль, неионогенное ПАВ, полиокситиловый эфир и амфотерное поверхностно-активное вещество, амид, пропилбетаин BS-12) осаждение и улавливание пыли улучшаются по сравнению с распылением чистой воды. В ходе проведенных исследований в работе [9] даны рекомендации по оптимальной концентрации поверхностно-активного вещества с наименьшим поверхностным натяжением, которое, по мнению авторов, из изученных ПАВ наиболее эффективно. В статье [10] был предложен новый вид химреагентов на основе двухфазного водного раствора додецилсульфата натрия с полимером полиэтиленоксид, позволяющих с высокой эффективностью удалять уже образовавшуюся пыль из воздушной среды, при этом не изменяя существенно качество угольной продукции. Аналогичные работы также были проведены авторами статей [10—16], где в качестве добавок использовали различные вещества, например, неионные и анионные ПАВ, а также магнитные частицы.

Все большее распространение получают полимерные эмульсии на основе латекса, винилацетата и акрила [17]. Распыление полимеров на водной основе является одним из самых эффективных способов пылеподавления. После нанесения эмульсии вода испаряется и полимерный продукт затвердевает. Применение таких реагентов обеспечивает защиту от распространения угольной пыли с поверхности штабелей до 6 месяцев, а также уменьшает окисление угля за счет образования полимерной пленки на его поверхности. Образующаяся пленка обладает водоотталкивающими свойствами. В зависимости от количества внесенного вещества регулируется время защитного действия — от недель до нескольких лет. Существуют химические средства, которые, как утверждают их производители, после однократной обработки поверхности штабеля, хвостохранилища выполняют функцию пылеподавления в течение 8—10 лет.

Однако в литературе практически не приводится информация о контроле эффективности применения подобных растворов, реальном времени их действия и влиянии на качество продукции. По мнению авторов [18—20], основными требованиями, которым должны отвечать используемые реагенты, являются обеспечение достаточной степени пылеподавления при минимальном расходе химреагента, а также сохранение качества обрабатываемого топлива. Реагенты должны быть негорючими, нетоксичными, а также взрывобезопасными, и при этом обладать хорошей биоразлагаемостью.

Также немаловажным является их коррозионное воздействие на оборудование и материалы, которое должно быть незначительным. В то же время химреагенты должны иметь достаточный гарантийный срок хранения, быть устойчивыми к воздействию высоких и низких

температур. Поэтому подбор ингибиторов пыли с оптимальным для конкретных условий свойствами остается актуальной проблемой. Отдельно стоит отметить отсутствие методов и обоснованных критериев, определяющих эффективность предлагаемых технологий применения растворов в промышленной обработке, так как выбор растворов для снижения подавления пыли в настоящее время осуществляется преимущественно исходя из экономических соображений.

Процедура подготовки полимерной эмульсии и обработки угля на конвейерной ленте дробильно-сортировочного комплекса

В настоящей работе приведены результаты промышленных испытаний по обработке угля эмульсией полимеров. Обработку проводили при перемещении угля на конвейерной ленте. В ходе испытаний производился контроль эффективности пылеподавления при пересыпе и погрузке-разгрузке угля.

Промышленные испытания были проведены на площадке перегрузочного пункта ООО «Разрез Аршановский». ООО «Разрез Аршановский» ведет добычу каменного угля марки Д открытым способом. Обработку угля проводили на дробильно-сортировочном комплексе, принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Обработка проводилась с целью снижения пылеобразования при пересыпе угля с конвейера на площадку с дальнейшим формированием угольных штабелей и их перемещением. Выделенная площадка для формирования штабелей обработанного и необработанного раствором угля была предварительно очищена.

Для обработки на ООО «Разрез Аршановский» был поставлен концентрат водного раствора полимерной эмульсии в герметичных бочках объемом 200 л в количестве 4 штук. Для проведения испытаний был приготовлен раствор 10% концентрации. Приготовление рабочего раствора из полимерного концентрата проводили, исходя из содержания в нем сухого вещества. Для обработки раствор был разведен водой в соотношении 1 часть раствора на 4 части воды. Две бочки полимерного концентрата (400 л) были перекачены в емкость вместимостью 7,5 м^3. В ту же емкость была закачена вода в количестве 1600 л. Общий объем приготовленного раствора составил 2000 л. После разбавления раствора водой на его поверхности образовался слой густой пены, которая полностью осела в течение получаса.

На дробильно-сортировочный комплекс (ДСК) подавали рядовой уголь крупностью 0—300 мм, который в дальнейшем измельчался до крупности 0—50 мм и поступал на ленточный конвейер *1*. Конвейер *1* сверху изолирован металли-

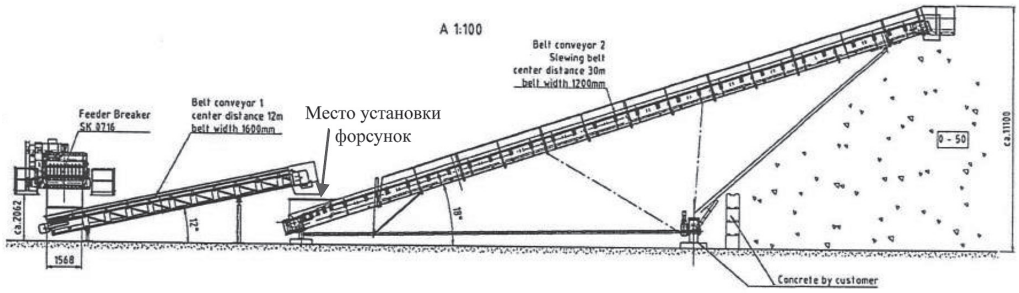

Рис. 1. Принципиальная схема дробильно-сортировочного комплекса с конвейерами
Fig. 1. Basic flow chart of crushing and blending plants with belts

Рис. 2. Общий вид обработки угля полимерным раствором на конвейере
Fig. 2. General view of coal treatment on belt by polymer emulsion

ческим кожухом, под которым установлены форсунки в количестве 5 штук (в проведении эксперимента данные форсунки не были задействованы).

Затем перемещаемый уголь по конвейеру *1* пересыпался на конвейер *2* (открытый). Для нанесения полимерного раствора в месте пересыпа (рис. 1) были использованы две полноконусные форсунки (IS ¼ HHSJ-9020-PVC) с максимальным расходом 12,7 л/мин при давлении 2 бар.

Раствор на форсунки подавался с использованием мембранного пневматического насоса Ruby 020 A-P-TTT-T, создающего максимальный напор в 7 бар.

Перед испытанием для определения расходов жидкости предварительно была проведена обработка угля с использованием воды. С использованием описанного выше оборудования подачи был зафиксирован расход воды 30 л/мин при производительности ДСК 350 т/ч. Исходя из полученных данных, расход жидкости составил 5 л/т.

Обработка угля полимерным раствором была проведена в теплый весенний период времени. Процедура обработки заключалась в следующем. Полимерный раствор 10% концентрации распылили на пустую ленту конвейера-штабелера в течение 1 мин. Затем была запущена подача рядового угля на ДСК. Обработку угля рабочим раствором проводили на месте пересыпа с одного конвейера на другой. При подаче раствора наблюдалось его эффективное распыление через форсунки на всю ширину ленты конвейера. При обработке угля раствор не образовывал пену. Общее время обработки угля полимерным раствором на конвейере составило 88 мин. Фактический расход раствора составил 5 л/т. Всего было обработано 400 т угля при средней производительности ДСК 274 т/ч. Обработанный уголь был сформирован в штабель *2*. На обработанном угле зафиксировано голубовато-белое покрытие, отчетливо видное на рис. 2. Оттенок сохранился в течение дня, в день испытания потери цвета не было установлено.

Также на ДСК было переработано 200 т рядового угля (без обработки раствором) для проведения сравнительной оценки эффективности применения полимерного раствора для подавления угольной пыли. Необработанный уголь также сформировали в штабель *1*.

В дальнейшем после подсыхания полимерного раствора для оценки эффек-

Таблица 1

Проводимые операции по перевалке и транспортировке обработанных и необработанных угольных штабелей

Operation involved in rehandling and haulage of treated and untreated coal

№	Наименование операции	Контроль атмосферного воздуха
1	Пересып необработанного угля с конвейера на площадку и формирование штабеля *1*	измерение состава атмосферного воздуха
2	Пересып обработанного угля с конвейера на площадку и формирование штабеля *2*	измерение состава атмосферного воздуха
3	Перевалка фронтальным погрузчиком необработанного угля из штабеля *1* в новый штабель *3*	измерение состава атмосферного воздуха
4	Перевалка фронтальным погрузчиком обработанного угля из штабеля *2* в новый штабель *4*	измерение состава атмосферного воздуха
5	Погрузка и транспортирование штабелей *3* и *4* на временный железнодорожный склад. Формирование штабелей *5* (необработанный) и *6* (обработанный)	измерение состава атмосферного воздуха не проводили
6	Перевалка фронтальным погрузчиком необработанного угля из штабеля *5* в новый штабель *7* (время хранения штабеля *5* — 1 месяц)	измерение состава атмосферного воздуха
7	Перевалка фронтальным погрузчиком обработанного угля из штабеля *6* в новый штабель *8* (время хранения штабеля *6* — 1 месяц)	измерение состава атмосферного воздуха

тивности его применения была проведена имитация погрузки-разгрузки угля. Фронтальным погрузчиком штабели *1* и *2* необработанного и обработанного угля были перемещены на спланированную площадку и сформированы новые штабели *3* и *4* обработанного и необработанного угля (в соответствии с табл. 1).

Результаты и обсуждения

При пересыпе обработанного и необработанного угля с конвейера-штабелера на площадку формирования штабеля, а также при имитации погрузки/разгрузки угля проводили определение содержания в воздухе взвешенных веществ (пыль неорганическая), оксида азота, диоксида азота и оксида углерода с использованием аспиратора воздуха АПВ-4-12В/220В-40. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Далее штабели *3* и *4* необработанного и обработанного угля были перемещены на временный железнодорожный склад и сформированы новые штабели — *5* (необработанный) и *6* (обработанный).

С момента закладки угольные штабели *5* и *6* находились на открытом воздухе и подвергались воздействию ветра и атмосферной влаги. Спустя месяц хранения произвели повторную имитацию погрузки-разгрузки угля. Фронтальным погрузчиком штабели необработанного и обработанного раствором угля последовательно были перемещены на спланированную сухую площадку и сформированы новые отдельно стоящие штабели *7* и *8* необработанного и обработанного угля. В момент перевалки угля также проводили определение содержания взвешенных веществ в воздухе с использо-

Таблица 2

Результаты исследования состава атмосферного воздуха
Investigation results on atmospheric air content

№ операции	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость и направление ветра	Определяемые показатели	Обнаруженная концентрация, мг/м³	Величина ПДК, мг/м³	Наименование НД на методы измерений
1	2	3	4	5	6	7	8
1	29	22	2 м/с ю/з	взвешенные вещества	0,81±0,20	–/10	РД 52.04.186-89
	29	22	2 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	29	22	2 м/с ю/з	диоксид азота	менее 0,2	2	РД 52.04.186-89
	29	22	2 м/с ю/з	оксид углерода	1,70±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»
2	28	24	2 м/с ю/з	взвешенные вещества	0,90±0,20	–/10	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	диоксид азота	менее 0,02	2	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	оксид углерода	1,75±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»
3	28	24	2 м/с ю/з	взвешенные вещества	0,36±0,20	–/10	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	диоксид азота	менее 0,02	2	РД 52.04.186-89
	28	24	2 м/с ю/з	оксид углерода	1,61±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»
4	26	25	2 м/с ю/з	взвешенные вещества	ниже предела обнаружения (менее 0,26)	–/10	РД 52.04.186-89
	26	25	2 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	26	25	2 м/с ю/з	диоксид азота	менее 0,02	2	РД 52.04.186-89
	26	25		оксид углерода	1,64±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»
5	25	37	1 м/с ю/з	взвешенные вещества	0,32±0,08	–/10	РД 52.04.186-89
	25	37	1 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	25	37	1 м/с ю/з	диоксид азота	0,195±0,049	2	РД 52.04.186-89
	25	37	1 м/с ю/з	оксид углерода	1,25±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»

6	26	40	1 м/с ю/з	взвешенные вещества	ниже предела обнаружения (менее 0,26)	–/10	РД 52.04.186-89
	26	40	1 м/с ю/з	оксид азота	менее 0,016	5	РД 52.04.186-89
	26	40	1 м/с ю/з	диоксид азота	0,049±0,012	2	РД 52.04.186-89
	26	40	1 м/с ю/з	оксид углерода	0,81±0,75	20**	руководство к прибору «Палладий 3-М»

** При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м, при длительности работы не более 30 мин — до 100 мг/м, при длительности работы не более 15 мин — 200 мг/м. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч. Одно значение гигиенического норматива, приведенное в графе 7, соответствует максимально разовой предельно допустимой концентрации вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК м.р.); если приведено два значения гигиенических норматива, это означает, что в числителе стоит значение максимально разовой предельно допустимой концентрации (ПДК м.р.), а в знаменателе — среднесменной предельно допустимой концентрации (ПДК с.с).

ванием аспиратора ПУ-4Э. Результаты представлены в табл. 2.

Полученные результаты показали, что обработка угля полимерным раствором не изменяет содержание в воздухе взвешенных частиц на этапе сброса угля с ленты конвейера в штабель. Содержание взвешенных веществ, образующихся в атмосферном воздухе при перевалке угля, обработанного полимерным раствором после его высыхания, оказалось меньше предела их обнаружения (ниже 0,26 мг/м^3). Аналогичные результаты по содержанию взвешенных веществ в атмосферном воздухе были получены при перевалке угля спустя месяц его хранения в штабеле, что указывает на хорошую сопротивляемость образованного после обработки покрытия к воздействию климатических условий (атмосферные осадки, ветер). В процессе проведения эксперимента были отобраны пробы углей, обработанного и необработанного полимерным раствором, в соответствии с ГОСТ 10742.

В дальнейшем было проанализировано влияние полимерного раствора на основные показатели качества отобранных представительных проб углей. Результаты представлены в табл. 3. Для испытаний использовали стандартные методы, регламентирующие определение базовых показателей качества.

Проведенный анализ (см. табл. 3) показал, что обработка угля полимерным раствором не приводит к ухудшению базовых показателей качества. Меньшее значение низшей теплоты сгорания на рабочее состояние угля после обработки связано с большей зольностью угля.

Выводы

Проведенные испытания показали, что применение полимерной эмульсии

Таблица 3

Результаты определения показателей качества угля до и после обработки
Resultant indices of coal quality before and after treatment

№ пробы	Обработка полимерным раствором	W^t, %	W^a, %	A^d, %	V^{daf}, %	S^d_t, %	Q^d_s, ккал/кг	Q^{daf}_s, ккал/кг	Q^r_i, ккал/кг
3	после обработки	11,6	6,6	9,7	44,8	0,56	7029	7785	5930
3	до обработки	11,2	6,7	8,9	44,4	0,62	7108	7799	6030

позволяет снизить содержание взвешенных веществ в воздухе рабочей зоны при перевалке угля не только в первые дни после обработки, но и в течение как минимум месяца. Обработка не оказывает влияние на такие качественные характеристики угля, как содержание общей влаги, низшую и высшую теплоту сгорания, зольность, выход летучих веществ и содержание общей серы. Таким образом, показано, что применение полимерной эмульсии для противопылевой обработки является перспективным мероприятием в области пылеподавления углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rout T. K., Masto R. E., Padhy P. K., George J., Ram L. C., Maity S.* Dust fall and elemental flux in a coal mining area // Journal of Geochemical Exploration, 2014, Vol. 144, No PC, pp. 443—455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.

2. *Tang Z., Chai M., Cheng J., Jin J., Yang Y., Nie Z., Huang Q., Li Y.* Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China // Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017. Vol. 138, pp. 83—91. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.11.003.

3. *Dilip Kumar, Deepak Kumar* Sustainable Management of Coal Preparation. Chapter 12 — Dust Control, 2018, pp. 265—278. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812632-5.00012-4.

4. *Скопинцева О. В., Бузин А. А.* Обеспыливание воздуха при погрузке и транспортировке твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — СВ 10. — С. 116—121. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-5-10-116-121.

5. *Arkhipov V. A., Paleev D. Y., Patrakov Y. F., Usanina A. S.* Coal dust wettability estimation // Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, pp. 587—594. DOI: 10.1134/S1062739114030193.

6. *Xu C., Wang D., Wang H., Zhang Y., Dou G., Wang Q.* Influence of gas flow rate and sodium carboxymethylcellulose on foam properties of fatty alcohol sodium polyoxyethylene ether sulfate solution // Journal of Dispersion Science and Techology, 2017, Vol. 38, pp. 961—966. DOI: 10.1080/01932691.2016.1216438.

7. *РД 34.44.101-96* Типовая инструкция по хранению углей, горючих сланцев и фрезерного торфа на открытых складах электростанций. — М.: СПО ОРКРЭС, 1997. — С. 34.

8. *Wang N., Nie W., Cheng W., Liu Y., Zhu L., Zhang L.* Experiment and research of chemical de-dusting agent with spraying dust-settling // Procedia Engineering, Elsevier, 2014, Vol. 84. pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.494.

9. *Ding C., Nie B., Yang H., Dai L., Zhao C., Zhao F., Li H.* Experimental research on optimization and coal dust suppression performance of magnetized surfactant solution // Procedia Engineering, Elsevier, 2011, Vol. 26. pp. 1314—1321. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2306.

10. *Xi Z., Feng Z., Li A.* Synergistic coal dust control using aqueous solutions of thermoplastic powder and anionic surfactant // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2017, Vol. 520, pp. 864—871. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.02.072.

11. *Huang Q., Honaker R.* Recent trends in rock dust modifications for improved dispersion and coal dust explosion mitigation // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, Vol. 41, pp. 121—128. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.009.

12. *Zhou Q., Qin B., Ma D., Jiang N.* Novel technology for synergetic dust suppression using surfactant-magnetized water in underground coal mines // Process Safety and Environmental Protection, 2017, Vol. 109, pp. 631—638. DOI: 10.1016/j.psep.2017.05.013.

13. *Fan T., Zhou G., Wang J.* Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant // Process Safety and Environmental Protection, 2018, Vol. 113, no 1, pp. 282—291. DOI: 10.1016/j.psep.2017.10.023.

14. *Xi Z., Jin L., Richard Liew J. Y., Li D.* Characteristics of foam sol clay for controlling coal dust // Powder Technology, 2018, Vol. 335, pp. 401—408. DOI: 10.1016/J.POWTEC.2018.05.037.

15. *Guo Q., Ren W., Shi J.* Foam for coal dust suppression during underground coal mine tunneling // Tunnelling and Underground Space Technology, 2019, Vol. 89, pp. 170—178. DOI: 10.1016/J.TUST.2019.04.009.

16. *Корнев А. В., Коршунов Г. И., Корнева М. В.* Современные методы оценки смачивающей способности шахтных составов для пылеподавления // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № S5—1. — С. 93—102.

17. *Howard W. Kilau, Jon I. Voltz* Synergistic wetting of coal by aqueous solutions of anionic surfactant and polyethylene oxide polymer // Colloids and Surfaces, 1991, Vol. 57, no 1, pp. 17—39. https://doi.org/10.1016/0166-6622(91)80177-P.

18. *Поздняков Г.А., Третьяков А.В., Гаравин В.Ю., Новосельцев А.И.* Требования к смачивателям для пылеподавления в угольной и горнорудной промышленности // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 10. — С. 36—39.

19. *Коршунов Г.И., Мазаник Е.В., Ерзин А.Х., Корнев А.В.* Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — ОВ 3. — С. 55—61.

20. *Поздняков Г.А., Третьяков А.В., Малышев А.В., Гаравин В.Ю.* Система пылеподавления пенным аэрозолем на конвейерном транспорте и ее эффективность // Горная промышленность. — 2014. — № 3(115). — С. 82. РИАБ

REFERENCES

1. Rout T. K., Masto R. E., Padhy P. K., George J., Ram L. C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, Vol. 144, No PC, pp. 443—455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.

2. Tang Z., Chai M., Cheng J., Jin J., Yang Y., Nie Z., Huang Q., Li Y. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. Vol. 138, pp. 83—91. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.11.003.

3. Dilip Kumar, Deepak Kumar *Sustainable Management of Coal Preparation*. Chapter 12 — Dust Control, 2018, pp. 265—278. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812632-5.00012-4.

4. Skopintseva O. V., Buzin A. A. Dusting air loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019. Special edition 10, pp. 116—121. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-5-10-116-121. [In Russ].

5. Arkhipov V. A., Paleev D. Y., Patrakov Y. F., Usanina A. S. Coal dust wettability estimation. *Journal of Mining Science*, 2014, Vol. 50, pp. 587—594. DOI: 10.1134/S1062739114030193.

6. Xu C., Wang D., Wang H., Zhang Y., Dou G., Wang Q. Influence of gas flow rate and sodium carboxymethylcellulose on foam properties of fatty alcohol sodium polyoxyethylene ether sulfate solution. *Journal of Dispersion Science and Techology*, 2017, Vol. 38, pp. 961—966. DOI: 10.1080/01932691.2016.1216438.

7. *RD 34.44.101-96 Tipovaya instruktsiya po khraneniyu ugley, goryuchikh slantsev i frezernogo torfa na otkrytykh skladakh elektrostantsiy* [RD 34.44.101—96 Typical instructions for the storage of coal, oil shale and milled peat in open warehouses of power plants], Moscow, SPO ORKRES, 1997, pp. 34.

8. Wang N., Nie W., Cheng W., Liu Y., Zhu L., Zhang L. Experiment and research of chemical de-dusting agent with spraying dust-settling. *Procedia Engineering, Elsevier*, 2014, Vol. 84. pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.494.

9. Ding C., Nie B., Yang H., Dai L., Zhao C., Zhao F., Li H. Experimental research on optimization and coal dust suppression performance of magnetized surfactant solution. *Procedia Engineering, Elsevier*, 2011, Vol. 26. pp. 1314—1321. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2306.

10. Xi Z., Feng Z., Li A. Synergistic coal dust control using aqueous solutions of thermoplastic powder and anionic surfactant. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, Vol. 520, pp. 864—871. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.02.072.

11. Huang Q., Honaker R. Recent trends in rock dust modifications for improved dispersion and coal dust explosion mitigation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2016, Vol. 41, pp. 121—128. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.009.

12. Zhou Q., Qin B., Ma D., Jiang N. Novel technology for synergetic dust suppression using surfactant-magnetized water in underground coal mines. *Process Safety and Environmental Protection*, 2017, Vol. 109, pp. 631—638. DOI: 10.1016/j.psep.2017.05.013.

13. Fan T., Zhou G., Wang J. Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant. *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, Vol. 113, no 1, pp. 282—291. DOI: 10.1016/j.psep.2017.10.023.

14. Xi Z., Jin L., Richard Liew J. Y., Li D. Characteristics of foam sol clay for controlling coal dust. *Powder Technology*, 2018, Vol. 335, pp. 401—408. DOI: 10.1016/J.POWTEC.2018.05.037.

15. Guo Q., Ren W., Shi J. Foam for coal dust suppression during underground coal mine tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2019, Vol. 89, pp. 170—178. DOI: 10.1016/J.TUST.2019.04.009.

16. Kornev A.V., Korshunov G.I., Korneva M.V. Modern methods of estimation wetting ability mine compositions for dust control. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no S5—1, pp. 93—102. [In Russ].

17. Howard W. Kilau, Jon I. Voltz Synergistic wetting of coal by aqueous solutions of anionic surfactant and polyethylene oxide polymer. Colloids and Surfaces, 1991, Vol. 57, no 1, pp. 17—39. https://doi.org/10.1016/0166-6622(91)80177-P.

18. Pozdnyakov G.A., Tret'yakov A.V., Garavin V.YU., Novosel'tsev A.I. Wetting dust control requirements in coal and mining industry. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2013, no 10, pp. 36—39. [In Russ].

19. Korshunov G.I., Mazanik E.V., Erzin A.Kh., Kornev A.V. Efficiency of surfactants using for coal dust prevention. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. Special edition 3, pp. 55—61. [In Russ].

20. Pozdnyakov G.A., Tret'yakov A.V., Malyshev A.V., Garavin V.Yu. Foam aerosol system for dust suppression at conveyor transport and the system efficiency. *Gornaya promyshlennost'*. 2014, no 3(115), pp. 82. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эпштейн Светлана Абрамовна[1] — д-р техн. наук,
старший научный сотрудник,
зав. лабораторией, e-mail: apshtein@yandex.ru,
Гаврилова Дарья Ивановна[1] — инженер,
Завелев Илья Герасимович[2] — канд. техн. наук,
зам. ген. директора, e-mail: oxtservis@gmail.com,
Шамшин Сергей Александрович[2] — зам. ген. директора,
e-mail: oxtservis@gmail.com,
Юрин Евгений Юрьевич — директор, ООО «Разрез Аршановский»,
655682, Республика Хакасия, Алтайский район, с. Аршаново,
[1] НИТУ «МИСиС»,
[2] ООО «ОргХим-Технология».
Для контактов: Эпштейн С.А., e-mail: apshtein@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.A. Epshtein[1], Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
Head of Laboratory, e-mail: apshtein@yandex.ru;
D.I. Gavrilova[1], Engineer,
I.G. Zavelev[2], Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director,
e-mail: oxtservis@gmail.com,
S.A. Shamshin[2], Deputy General Director, e-mail: oxtservis@gmail.com,
E.Yu. Yurin, Director, Razrez Arshanovsky LLC,
655682, Arshanovo, Altai district, Republic of Khakassia, Russia,
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia,
[2] LLC «ORGHIM-Technology», 117292, Moscow, Russia.
Corresponding author: S.A. Epshtein, e-mail: apshtein@yandex.ru.