

УДК 622.235.6: 622.234.57

Савельев Д.В., аспирант
(Государственный ВУЗ «НГУ»)

**ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Савельев Д.В., аспирант
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОВИДІЛЕННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ
ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

Saveliev D.V., Doctoral Student
(State N E I «NMU»)

**WAYS OF REDUCING DUST EMISSION DURING
DEVELOPMENT WORKINGS IN THE COAL MINE**

Аннотация. Использование моделирования взрывного разрушения горных пород, включающего создание модели горного массива, формирования в ней взрывных скважин, формирование в образцах горных пород взрывных полостей, их зарядание, коммутацию и взрывание в специальной камере с последующим минералогическим и гранулометрическим анализом мелкодисперсных частиц позволило выбрать эффективные способы снижения запыленности шахтной атмосферы в процессе проходки капитальных горных выработок в крепких породах, содержащих в своем составе кварц – основной источник силикозоопасности. Установлено, что при использовании забоечного материала, состоящего из песчано-глинистой смеси, доломитовой пыли, лигносульфонатов, алюмокалиевых квасцов и воды, общий уровень концентрации мелкодисперсной пыли снизился на 40-50 %. Обработка крепкого песчаника 10 % раствором Na_2CO_3 , ведет к возрастанию средне-взвешенного диаметра мелкодисперсных частиц в продуктах разрушения фракции 0-100 мкм с 10,30 до 19,25 мкм. В продуктах разрушения преобладают обломки частиц округлой формы, представленные исключительно кварцевыми зернами (90-99 %) в отличие от продуктов разрушения песчаника необработанного ПАВ, где мелкодисперсные частички представлены в основном остроугольными обломками.

Ключевые слова: углепородный массив, забойка, поверхностно-активные вещества, взрывное разрушение, гранулометрия, дисперсность.

Введение. Разработка углепородного массива на глубоких горизонтах шахт осложняется следующими факторами.

Увеличение крепости (прочности) углевмещающих пород, связанное с процессами литификации, диагенеза, изменением петрографического состава, в частности, преобладанием кварцсодержащих пород, а также структурными преобразованиями, происходящими в углевмещающей толще под действием литостатического давления, а именно: катаклаза, включающего дробление, грануляцию и растрескивание отдельных минеральных зерен или локальных зон в пределах агрегата. Данный фактор при разработке полезных ископаемых с использованием энергии взрыва (проходка капитальных и подготовительных горных выработок в скальных породах) приводит к образованию мелкодис-

персной кварцевой (силикозоопасной) пыли вследствие раскрытия многочисленных дефектов строения (микротрещин) в кварцевых зернах на контакте «ВВ-порода» [1].

Сложное напряженно-деформированное состояние углепородного массива, проявляющееся в преобладании до определенной глубины горизонтальных напряжений над вертикальными, приводит к уменьшению КИШ и, как следствие, увеличению массы взрывчатых веществ, используемых для разрушения пород, что, в свою очередь, увеличивает объем мелкодисперсной пыли и газообразных продуктов взрыва в шахтной атмосфере. Основными источниками пылеобразования при разработке углепородного массива в глубоких шахтах являются буровые, взрывные и погрузочные работы, на долю которых приходится соответственно 50-60 %, 30-40 % и 10 % поступающей в шахтные выработки пыли.

Актуальность работы. Вопрос пылеподавления при буровых работах в настоящее время путем применения боковой и центральной промывки, а на погрузочных работах — повсеместное орошение отбитой горной массы. Что же касается взрывных работ, то в сущности единственным противопылевым мероприятием, применяемым на практике, является активное проветривание забоя. Однако одна только вентиляция не может служить радикальным средством борьбы с запыленностью горных выработок.

Традиционным путем снижение пылевыделения при проведении подготовительных выработок в угольных шахтах является использование конструкций шпуровых зарядов, позволяющих увеличить время взрывного воздействия на разрушаемый массив. В частности, при использовании расширяющихся забоек [2, 3] происходит перераспределение энергии ВВ по всей колонке заряда и снижение удельного импульса в ближней зоне взрыва ($2-3r_{\text{зар}}$), являющейся основным источником образования мелкодисперсной пыли. Расширяющиеся забойки содержат в своем составе довольно большое количество компонентов и по этой причине их можно отнести к дорогостоящим материалам. Нами разработан и запатентован новый состав расширяющейся забойки [4], позволяющий значительно сократить затраты на ее изготовление. Испытание забойки с новым составом при взрывном разрушении моделей, изготовленных из прочного песчанка по специальной методике [5], позволило установить ее эффективность. Общий уровень концентрации мелкодисперсной пыли при использовании расширяющейся забойки, состоящей из песчано-глинистой смеси, доломитовой пыли, лигносульфонатов, алюмокалиевых квасцов и воды снизился на 40-50 %.

Вот почему, успешная реализация предложенного технологического метода позволит управлять и прогнозировать кусковатость горной массы, т.е. равномерное распределение гранулометрического состава при отбойке горных пород, который обеспечит общее снижение запыленности рудничной атмосферы, и, тем самым, улучшит условия труда и безопасность работ.

Новым перспективным, на наш взгляд, направлением уменьшения запыленности шахтной атмосферы являются способы взрывного разрушения, основанные на целенаправленном уменьшении прочности среды на контакте «ВВ-порода», «породоразрушающий инструмент-порода», путем воздействия на

разрушаемую полиминеральную среду поверхностно-активных веществ (ПАВ). Воздействие щелочей, например, Na_2CO_3 , как установлено в [6-7], снижает прочность кварца в 2-5 раз, что в итоге должно приводить к изменению механизма разрушения в зоне, контактирующей с ВВ.

Цель работы. С целью исследования механизма и характера взрывного разрушения крепких песчаников, являющихся одним из основных источников силикозоопасной пыли в угольных шахтах, были проведены следующие эксперименты.

Методика исследований. Из кернов геологоразведочных скважин, выбуренных алмазной коронкой диаметром 59 мм, были изготовлены 12 цилиндрических образцов (по 3 образца на каждую серию) высотой 30 мм. Во всех образцах через центр основания сверлились сквозные отверстия диаметром 5 мм. Кроме того, из этих же кернов изготавливались петрографические шлифы для установления под микроскопом минералогического состава и структуры разрушаемой взрывом породы.

Изучение минералогического состава и структурных особенностей темно-серого песчаника шахты Терновская (г. Павлоград) показало, что его главные минералы представлены обломочным кварцем – 30-40 %, обломками полевых шпатов (в основном обломками кислого плагиоклаза) – 50-55 %. Второстепенные минералы представлены глинистыми минералами групп каолинита, монтмориллонита и слюд – 5-10 %. Степень окатанности обломков 1-2 балла (угловатые и округленно-угловатые). Цемент контактный, а также цемент регенерации (порода частично окварцована), соотношение видов цемента примерно 1:1. Структура породы – мелкозернистая, размер зерен колеблется от 10 до 1000 мкм (рис. 1).

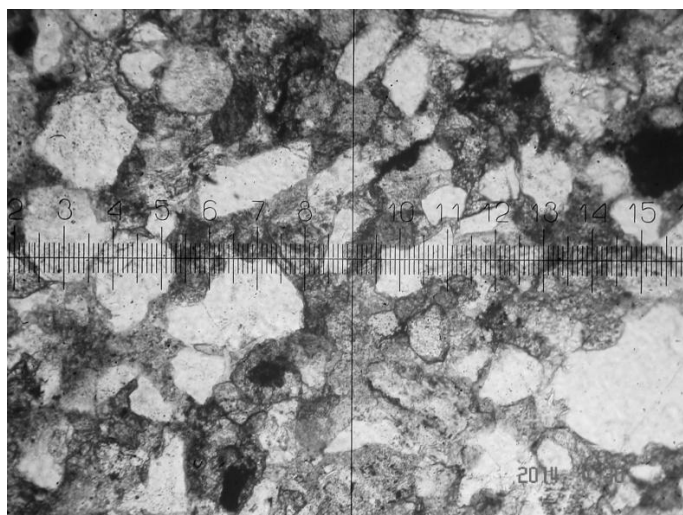


Рисунок 1 - Микрофотография темно-серого песчаника (шахта Терновская, Павлоград, Украина). Прозрачный шлиф, увеличение 96×

Подготовленные образцы экспериментальных серий (по 3 шт. в каждой серии) на 24 часа помещались в различные растворы ПАВ. В качестве ПАВ использовались 10 % растворы гидрокарбоната натрия NaHCO_3 и кальцинирован-

ной соды Na_2CO_3 , обладающих щелочной реакцией, а также омагниченная вода, получаемая путем пропускания обычной воды через бытовой омагничиватель. Контрольные образцы, не подверженные действию ПАВ, в течение 24 часов высушивались в лабораторном сушильном шкафу при температуре 50°C .

Затем образцы помещались в стальной обрешиненный бокс, и в просверленных отверстиях взрывалось 150 мг высокобризантного взрывчатого вещества. После взрыва продукты разрушения извлекали из бокса, разделяли на фракции, путем рассеивания на лабораторных ситах с размерами ячеек от 50 до 400 мкм, определяли массу каждой фракции, а гранулометрический состав мельчайшей пылевидной фракции (0 – 100 мкм) дополнительно изучали с помощью поляризационного микроскопа МП-2, укомплектованного объективами с увеличением $20\times$ и $40\times$, интеграционным столиком ИСА и отсчетным $8\times$ окуляром, что позволяло устанавливать размеры отдельных частичек разрушенной породы (зерен и их обломков, минеральных агрегатов и т.п.) при увеличении $240\times$ и $480\times$. Кроме того, в поле зрения микроскопа при увеличении $480\times$ по характерным оптическим константам определяли минералогический состав пылевидной фракции песчаника и анализировали форму частичек, образовавшихся при разрушении породы.

Данные микрогранулометрии обрабатывали методом приближения экспериментальных кривых к двухпараметрическим зависимостям, используя стандартные программы на языке BASIC. По данным ситового анализа в автоматическом режиме строились гистограммы фракционного состава пылевидной фракции (0-100 мкм) и определялись основные параметры гранулометрии: средний диаметр зерен – d_{cp} , их медианный размер – Md , квартильные размеры Q_{75} и Q_{25} , а также коэффициенты равномерности дробления – S_0 и асимметрии – S_k , вычисляемые по формулам

$$S_0 = \sqrt{Q_{75} / Q_{25}}, \quad S_k = (Q_{75} \cdot Q_{25}) / Md^2.$$

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Гранулометрические характеристики продуктов взрывного разрушения Павлогорядского песчаника, насыщенных различными ПАВ, приведены в таблице 1.

Анализ гранулометрических характеристик продуктов Павлогорядского песчаника, обработанного различными ПАВ, показывает, что омагниченная вода ($\text{pH} = 7$) не оказывает существенного влияния на характер и механизм взрывного разрушения данной полиминеральной породы. Возможно, под действием омагниченной воды и происходит некоторое снижение прочности образца, в характере разрушения это проявляется в незначительном увеличении среднего диаметра мелкодисперсных частичек (не более 15-17 %) по сравнению с мелкодисперсными частичками сухих (контрольных) образцов. Тем не менее, в продуктах разрушения мелкодисперсной фракции (0-100 мкм), представленной исключительно минералом кварцем (90-95 %), преобладают остроугольные обломки, что свидетельствуют о том, что разрушение песчаника под действием

взрывных нагрузок происходит главным образом по многочисленным дефектам в зернах кварца. Эти дефекты наблюдаются в поле зрения микроскопа в виде полосок пузырьков газа – плоскостей газовой-жидких включений.

Таблица 1 – Гранулометрические характеристики продуктов взрывного разрушения Павлоградского песчаника (шахта Терновская), обработанного ПАВ

Поверхностно-активное вещество (ПАВ)	d_{cp} , мкм	Квартили, мкм			S_0	S_k
		Md	Q_{75}	Q_{25}		
Сухие образцы	10,30	1,25	3,67	0,20	2,97	0,98
Омагниченная вода	12,20	1,92	5,59	0,65	2,94	0,98
10 % раствор $NaHCO_3$	13,70	2,08	8,40	1,01	2,90	0,97
10 % раствор Na_2CO_3	19,25	5,01	14,35	1,71	2,91	0,97

Данный факт подтверждается оценкой таких вновь образованных обломков по степени окатанности. Она находится в интервале 0-1 балла (остроугольные и угловатые), в то время как изначально (в шлифе) степень окатанности минеральных частиц, слагающих песчаник, составляет 1-2 (угловатые и округленно-угловатые).

Насыщение образцов песчаника 10 % раствором гидрокарбоната натрия ($NaHCO_3$), обладающего слабой щелочной реакцией, приводит к тому, что характер разрушения полиминеральной породы под действием взрывных нагрузок изменяется. В частности, средний диаметр мелкодисперсных (пылевидных) частичек фракции 0-100 мкм увеличивается в 1,33 раза (по сравнению с сухими образцами). Исследование морфологии обломков под микроскопом показало, что вновь образованные на контакте «ВВ–порода» поверхности формируются как по контактам зерен минералов, так и по дефектам строения (плоскостям ГЖВ в зернах кварца и плоскостям спайности в зернах полевых шпатов) в соотношении контакт «зерно–зерно»/плоскость ГЖВ примерно 4/1.

При воздействии на крепкие песчаники 10 % раствора кальцинированной соды (Na_2CO_3) характер и механизм взрывного разрушения полиминеральной породы, содержащей в своем составе до 40 % обломочного кварца, существенно изменяется. Средний диаметр мелкодисперсных частичек увеличивается почти вдвое: 10,30 мкм – сухие образцы, 19,25 мкм – образцы песчаника, обработанные раствором кальцинированной соды, обладающей более сильной щелочной реакцией по сравнению с раствором гидрокарбоната натрия. Морфологический анализ мелкодисперсных обломков фракции 0 – 100 мкм, выполненный под микроскопом при увеличении 480 \times , позволил установить, что вновь образованные взрывом поверхности развиваются только по контактам зерен.

Таким образом, в ослабленных действием щелочного раствора Na_2CO_3 крепких песчаниках разрушение происходит не по дефектам строения в виде многочисленных микротрещин в зернах минералов, а по межзерновым контактам либо по потенциальным поверхностям раздела более низкого порядка в зоне кон-

такта породи с ВВ или в зоне контакта с породоразрушающим инструментом (коронкой бурильной установки). При таком механизме разрушения полиминеральной среды на контакте «ВВ-порода» в мелкодисперсной фракции продуктов разрушения (0 – 100 мкм) преобладают более крупные частички, что способствует снижению концентрации пыли в горной выработке за счет быстрого оседания пылевидных частичек под действием сил гравитации.

Выводы. Использование забоечного материала, состоящего из песчано-глинистой смеси, доломитовой пыли, лигносульфонатов, алюмокалиевых квасцов и воды общий уровень концентрации мелкодисперсной пыли снизился на 40-50 %.

При разрушении взрывными нагрузками образцов крепкого темно-серого песчаника шахты Терновская (г. Павлоград) при целенаправленном снижении их прочности путем обработки ПАВ, обладающих щелочной реакцией, установлено следующее. В необработанных ПАВ песчаниках вновь образованные поверхности разрушения формируются, в основном, по внутризерновым дефектам строения кварца.

В насыщенных щелочными ПАВ песчаниках, где содержание минерала кварца превышает 40 %, изменение механизма разрушения происходит на микроуровне, при этом вновь образованные поверхности формируются по контактам зерен кварца с другими порообразующими минералами. С уменьшением прочности песчаника, что связано с действием ПАВ, возрастает средний диаметр мелкодисперсных частичек, образующихся на контакте «ВВ–порода». Данное обстоятельство способствует снижению концентрации пыли в горной выработке, образующейся при ведении взрывных работ, за счет быстрого оседания пылевидных частичек под действием сил гравитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов, Э. И. Влияние поверхностно-активных веществ на характер разрушения полиминеральных пород / Э.И. Ефремов, И.Л. Кратковский, К.С. Ищенко // Розробка родовищ 2013: щорічний збірник / редкол.: В.І. Бондаренко [та ін.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С.229-234.
2. Пат. № 86150 UA, МПК E 21 F 15/00, E 21 D 21/00 (2006.01). Сполука твердіючої суміші / А.Ф. Булат, В.Г. Перепелиця, К.С. Іщенко, В.Я. Осінній, Н.В. Осіння, В.М. Коновал, О.К. Іщенко; заявник та патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – а 2007 09708; заявл. 28.08.2007; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – 3 с.
3. Пат. № 86149 UA, МПК E 21 F 15/00, E 21 D 21/00 (2006.01). Сполука твердіючої суміші для забивки шпурових і свердловинних зарядів / А.Ф. Булат, К.С. Іщенко, В.Г. Перепелиця [та ін.]; заявник та патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – а 2007 09707; заявл. 28.08.2007; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – 3 с.
4. Пат. № 91042 UA, МПК F42D 1/08 (2006.01). Суміш для набійки шпурових зарядів / В.І. Голинько, Я.Я. Лебедев, Д.В. Савельєв, К.С. Іщенко, І.Л. Кратковський; заявник та патентовласник ДВНЗ «НГУ». – u2013 12826; заявл. 04.11.2013; опубл. 25.06.2014. – Бюл. № 12. – 5 с.
5. Пат. № 91043 UA, МПК F42D 3/04 (2006.01). Спосіб моделювання вибухового руйнування гірських порід / В.І. Голинько, Я.Я. Лебедев, Д.В. Савельєв, К.С. Іщенко, І.Л. Кратковський; заявник та патентовласник ДВНЗ «НГУ». - u201312831; заявл. 04.11.2013; опубл. 25.06.2014. – Бюл. № 12. – 7 с.: іл.
6. Голинько, В.И. Влияние ПАВ на дисперсность кварцевой пыли при взрывном разрушении углепородного массива / В. И. Голинько, Д.В. Савельєв, Я.Я. Лебедев [и др.] // Розробка родовищ 2014: щорічний науково-технічний збірник / редкол.: В.І. Бондаренко [та ін.]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – С.431-434.

7. Fairbairn, H.W. Synthetic quartzite // Am. Mineral. – 1950. – Vol.35. – P.735-748.

REFERENCES

1. Yefremov, E.I., Kratkovsky, I.L. and Ishchenko, K.S. (2013), "Influence of surface-active materials on polyminerals rocks destroying", *Rozrobka rodovishch 2013*, pp.229-234.
2. Bulat, A.F., Perepelitsa, V.G., Ishchenko, K.S., Osenniy, V.Ya., Osennya, N.V., Konoval, V.N. and Ishchenko, A.K. M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2009), *Spoluka tverdoy sumishi* [The composition of the mixture hardening], State register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 86150.
3. Bulat, A.F., Perepelitsa, V.G., Ishchenko, K.S., Osenniy, V.Ya., Osennya, N.V., Konoval, V.N. and Ishchenko, A.K. M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2009), *Spoluka tverdoy sumishi dlya zabyvky shpurovykh i sverdlvovnykh zaryadiv* [The hardening composition for holes chagrining], State register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 86149.
4. Holinko, V.I., Lebedev, Ya.Ya., Saveliev, D.V., Ishchenko, K.S. and Kratkovskyy, I.L., National Mining University (2014), *Sumish dlya nabiyky shpurovykh zaryadiv* [Mixture tamping holes charges], State register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 91042.
5. Holinko, V.I., Lebedev, Ya.Ya., Saveliev, D.V., Ishchenko, K.S. and Kratkovsky, I.L., Mining University (2014), *Sposib modelyavannya vybukhovogo ruynuvannya girskykh porid* [Method modeling of explosive rock breaking], State register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 91043.
6. Holinko, V.I., Saveliev, D.V., Lebedev, Ya.Ya. (2014), "Effect of surfactants on the dispersion of silica dust during the explosive destruction of the coal rock mass", *Rozrobka rodovishch 2014*, pp.431-434.
7. Fairbairn, H.W. (1950), "Synthetic quartzite", *Am. Mineral*, vol.35, pp.735-748.

Об авторе

Савельев Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина.

About the author

Saveliev Dmitry Vladimirovich, Doctoral Student, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. Використання моделювання вибухового руйнування гірських порід, що включає створення моделі гірського масиву, формування в ній вибухових свердловин, формування в зразках гірських порід вибухових порожнин, їх заряджання, комутацію і підривання в спеціальній камері з подальшим мінералогічним і гранулометричним аналізом дрібнодисперсних частинок дозволило вибрати ефективні способи зниження запиленості шахтної атмосфери в процесі проходки капітальних гірничих виробок в міцних породах, що містять у своєму складі кварц – основне джерело сілікозонебезпеки. Встановлено, що при використанні матеріалу набійки, що складається з піщано-глинистої суміші, доломітового пилу, лігносульфонатів, алюмокалієвих галунів і води загальний рівень концентрації дрібнодисперсного пилу знизився на 40-50%. Обробка міцного піщанику 10 % розчином Na_2CO_3 , веде до зростання середньозваженого діаметра дрібнодисперсних частинок в продуктах руйнування фракції 0-100 мкм з 10,30 до 19,25 мкм. В продуктах руйнування переважають уламки частинок округлої форми, представлені виключно кварцовими зернами (90-99%) на відміну від продуктів руйнування піщанику необробленого ПАР, де дрібнодисперсні частинки представлені в основному гострокутними уламками.

Ключові слова: вуглепородний масив, набійка, поверхнево-активні речовини, вибухове руйнування, гранулометрія, дисперсність.

Abstract. Simulation of the rocks explosive destruction including creation of a model of rock mass, formation of blast holes in the rock mass and explosive cavities in the rock samples, charging of the cavities, charge switching and blasting in the special chamber followed by mineralogical and size analysis of fine particles allowed to choose effective ways to reduce dust content in the mine atmosphere in the course of driving permanent workings in the hard rock containing quartz – a key

source of silicosis risk.

It was found that use of tamping material consisting of sand and clay mixtures, dolomite dust lignosulfonates, potassium alum and water reduced total concentration of the fine dust by 40-50%. Processing of strong sandstone with 10 %-sodium Na_2CO_3 increases average diameter of the fine particles in the products of the destruction with fraction 0-100 microns from 10.30 microns to 19.25 microns. In the products of destruction, round debris particles dominate being represented exclusively by quartz grains (90-99%) in contrast to the degradation products of sandstone in untreated surfactant, in which fine particles are mainly represented by V-angled debris.

Keywords: coal-rock massif, tamping, surfactants, explosive destruction, particle size, dispersion.

Статья поступила в редакцию 28.09.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г.Шевченко

УДК 622.814

Новикова Е.А., канд. техн. наук, доцент
(Государственный ВУЗ «НГУ»)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЯ КОНВЕЙЕРОМ

Новікова О.О., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВУГІЛЛЯ КОНВЕЄРОМ

Novikova Ye.A., Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(State H E I «NMU»)

ANALYSIS OF DUST DEPOSIT AT TRANSPORTING COAL BY CONVEYOR

Аннотация. Одним из самых проблемных вопросов в области взрывобезопасности угольных шахт остается отложение угольной пыли в горных выработках. Поэтому проблема защиты горных выработок от взрывов осевшей угольной пыли при ее взметывании весьма актуальна. Основная трудность, возникающая при теоретическом исследовании процесса распространения пыли в горных выработках, состоит в учете ее осаждения и взметывания, главным образом на почве выработки. Слишком упрощенные предположения о характере и механизме этих процессов приводят к качественному расхождению теоретических результатов с наблюдениями. В статье рассмотрены особенности формирования пылеотложений по длине конвейерной выработки. Предложены выражения, которые позволяют рассчитать концентрацию и дисперсный состав рудничных аэрозолей по длине и высоте горных выработок в условиях гравитационного и инерционного осаждения частиц.

Ключевые слова: пылеотложения, взрывобезопасность, конвейерные выработки.