

© В.І. Голінко¹, Д.В. Савельєв¹, І.М. Чеберячко¹, Д.С. Пустовой¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ЗНИЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ПИЛУ ПРИ ПРОХОДЦІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ

© V. Golinko¹, D. Saveliev¹, I. Cheberiachko¹, D. Pustovoi¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

REDUCING THE CONCENTRATION OF FINE DUST WHEN DRIVING MINE WORKINGS WITH THE USE OF EXPLOSIVE ENERGY

Мета. Вдосконалити спосіб зниження пилоутворювання, осадження і зв'язування дрібнодисперсної (з розміром частинок менш ніж 10 мкм), найбільш силікозо- і пневмоконіозонебезпечної фракції пилу, яка має велику кількість збагачених кремнеземом продуктів руйнування порід в забої при вибуховому способі проходки гірничих виробок.

Методика дослідження полягає у розробці нових раціональних технологічних параметрів проходки гірничих виробок (паспортів БПР) спрямованих на хімічне зв'язування і осадження дрібнодисперсного пилу, зниження вмісту у вентиляційному струмені токсичних продуктів вибуху.

Результати дослідження. Розроблені схема забою виробки з розташуванням в ній пробурених шпурів і конструкція врубу, схема розташування і конструкції врубових, відбійних, допоміжних, оконтурюючих шпурових зарядів і взривчатої речовини в компенсаційному шпурі, схема розміщення в гірничій виробки водяних заслонів і запируючого устаткування в місцях інтенсивного пилоутворювання на контакті "взривчата речовина - порода". Встановлено, що під впливом високих температур вибухових газів водний розчин гашеного вапняку, розташований в інертних проміжках (ампулах), перетворюється в суміш окислу кальцію і вуглекислого кальцію, які при взаємодії з дрібнодисперсними кварцовими частинками утворюють силікати кальцію у вигляді великих швидко осідаючих агрегатів. Реєстрація показників концентрації пилу в брудному повітрі виробки базується на оптико-абсорбційному методі фіксації окремих частинок пилу. Використання набійки, яка розширюється в шпурах і поверхнево-активних речовин для знеміцнення гірських порід при проведенні виробок буропідривним способом підвищує безпеку проходки за рахунок усунення заколів і навісів на поверхні забою, здійснює хімічне зв'язування і осадження дрібнодисперсного пилу, знижує вміст у вентиляційному струмені токсичних продуктів вибуху і поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці персоналу.

Наукова новизна. Зміна механізму руйнування вуглепородного масиву з використанням поверхнево-активних речовин сприяє зменшенню в гірничій виробці концентрації силікозо- і пневмоконіозонебезпечної пилу, що утворюється під час проведення підривних робіт, за рахунок зменшення кількості дрібнодисперсної фракції розміром до 10 мкм і швидкого осідання пилоподібних агрегованих частинок під дією сил гравітації.

Практичне значення. Застосування запропонованого способу проходки гірничих виробок у напружених гірських породах з одночасним застосуванням заходів щодо зниження запиленості в забої підготовчої виробки підвищити швидкість проходки, коефіцієнт корисної дії вибуху, знизити питомі витрати вибухової речовини, зменшити обсяг бурових робіт, ефектив-

ність роботи вантажно-транспортного обладнання та в сукупності поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці гірників.

Ключові слова: умови праці, дрібнодисперсний пил, силікозонебезпечність, поверхнево-активні речовини, буропідривні роботи, руйнування порід.

Вступ. Стабільний розвиток гірничодобувних галузей залежить, перш за все, від рівня гірничопідготовчих робіт, який полягає в розробці та впровадженні високопродуктивної технології на базі комбайнів вибіркової дії підвищеної енергоозброєності. Однак область їхнього застосування і ефективного використання обмежується верхньою межею міцності руйнування порід. Тому обсяг виробок, що споруджуються буропідривним способом, становить 30 – 40%, а в окремих галузях і всі 100%.

Проведення гірничих виробок по міцних породах вимагає проведення вибухових робіт, які супроводжуються викидом в гірничу атмосферу пилу і шкідливих газів, вносячи істотний внесок в погіршення санітарно-гігієнічних умов праці гірників.

Актуальність досліджень. Відомі способи і прилади для зниження викиду пилу та локалізації вибуху вугільного і породного пилу при проведенні гірничих виробок [1], оснований на розміщенні на спеціальних пристроях – полицях, ємностей з водою, які під дією ударної повітряної хвилі руйнуються, створюючи водяний заслон, який сприяє зниженню викиду пилу і локалізації вибуху вугільного і породного пилу.

Недоліком способів зниження пилоутворювання і локалізації вибуху вугільного і породного пилу є не забезпечення повного змочування і осадження тонкодисперсних частинок, які знаходяться в повітряному просторі гірничої виробки.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб зниження концентрації пилу при буропідривному способі проведення гірничих виробок. Він включає буріння по забою врубових, відбійних і оконтурюючих шпурів, заряджання їх вибуховою речовиною (ВР), герметизацією гирла шпурів поліетиленовими ампулами з водою, підривання всіх шпурів по забою в один прийом з уповільненням. При цьому першими підривають врубові, останніми оконтурюючі шпури [2]. Але у наведеному способі зниження пилоутворювання при буропідривному способі проходки гірничих виробок є недолік: використання водяної набійки для підвищення ефективності зниження пилоутворювання і безпеки вибухових робіт, що є малоімовірним тому, що при високій температурі в зоні вибуху (2000 – 2500°C) сприяє миттєвому випаровуванню більшої частки води і вона виключається з процесу осадження і зв'язування пилу. Саме тому ця проблема є актуальною і способи її вирішення розглянуто у даній роботі.

Метою роботи є вдосконалення способу зниження пилоутворювання, осадження і зв'язування дрібнодисперсної (з розміром фракції пилу менш ніж 10 мкм), найбільш силікозо- і пневмоконіозонебезпечної фракції пилу, яка має велику кількість збагаченого кремнеземом продуктів руйнування порід в забої при вибуховому способі проходки гірничих виробок.

Спосіб боротьби з пилом при проходці горизонтальної гірничої виробки в міцних напружених гірських породах реалізується згідно з розробленим паспортом БПР [3].

При проведенні досліджень було прийнято наступні позначення: $l_{амп}$ – довжина поліетиленової ампули; $l_{пр}$ – довжина інертного проміжку; $l_{зах}$ – довжина заходки; h – висота виробки; $l_{наб}$ – довжина набійки, $l_{вр}$ – довжина заряду ВР; b – відстань між рядами ВР, l_1 , l_2 – довжина шпурів відповідно 1-го і 2-го ярусів.

В масиві гірських порід, в місці спорудження горизонтальної гірничої виробки, наприклад квершлаг, в перерізі $16,5 \text{ м}^2$, яка проходиться по міцним напруженим породам, наприклад, пісковик, міцності по шкалі М.М. Протодьяконова $f = 8 - 10$, згідно з паспортом БПР, на поверхні забою (рис. 1) буровим пристроєм БУР-2 бурять шпури діаметром 43 мм, починаючи з центрального компенсаційного шпура (1) на глибину заходки рівної $l_{зах} = (0,7 - 0,8)h$, далі на глибину $l_1 = (0,2 - 0,3)h$ бурять шпури першого ярусу (2) прямого призматичного врубу, а навкруги шпурів першого ярусу – шпури другого ярусу (3) глибиною $l_2 = (0,5 - 0,6)h$ на відстані між рядами рівній $b = (0,1 - 0,15)h$, а відбійні (4) і оконтурюючи (5) – навкруги врубових шпурів на глибину $l = (0,4 - 0,5)h$ і на однаковій відстані між рядами. В пробурених шпурах в забої виробки формують заряди різних конструкцій.

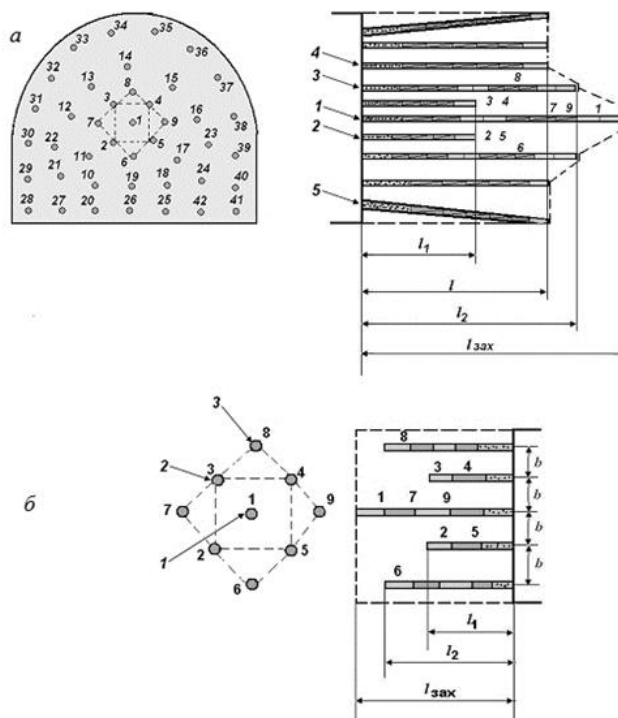


Рис. 1. Схема забою виробки (а) з розташуванням в ній пробурених шпурів і конструкція врубу (б): 1 – компенсаційний шпур; 2 – врубові шпури 1-го ярусу; 3 – врубові шпури 2-го ярусу; 4 – допоміжні і відбійні шпури; 5 – оконтурюючи шпури

При цьому в шпурах другого ярусу прямого призматичного врубу і центрального компенсаційного шпура формують розосереджені заряди ВР (рис. 2) – гирлові (1) і донні (2), які розосереджені інертними проміжками (3) довжиною $l_{пр} = 2l_{амп}$, а в горці шпурових зарядів прямого призматичного врубу першого і другого ярусу, центрального компенсаційного шпура, відбійних, додаткових і оконтурюючих шпурових зарядів розміщують інертні проміжки (4) довжиною $l_{пр} = l_{амп}$.

Інертні проміжки формують із поліетиленових ампул, які наповнюють водним розчином гашеного вапняку, при наступних співвідношеннях компонентів: гашений вапняк 70 – 80 %; решта – вода до 100 %, а герметизацію гирла шпурових зарядів виконують набійкою, яка твердіє (5).

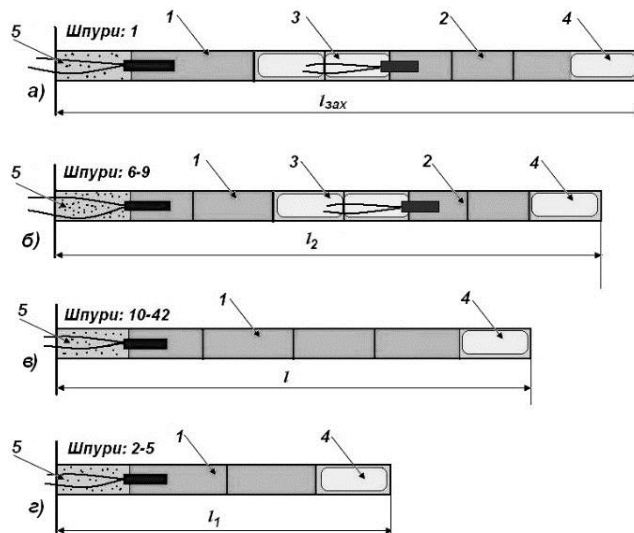


Рис. 2. Конструкції врубових (б, г), відбійних, допоміжних, оконтурюючих шпурових зарядів (в) і заряд ВР в компенсаційному шпурі (а)

Після формування зарядів ВР в шпурах на відстані $l = (0,6 - 0,7)h$ від поверхні забою виробки (рис. 3) в робочій зоні під кутом 45° відносно площини поверхні підлоги виробки формують не менш ніж три полиці (1) для ємностей (2) з водним розчином гашеного вапняку, причому верхню полицю (3) монтують на відстані $l = (0,2 - 0,3)h$ від покрівлі виробки, а інші з рівним кроком між рядами, рівним $l = (0,3 - 0,4)h$.

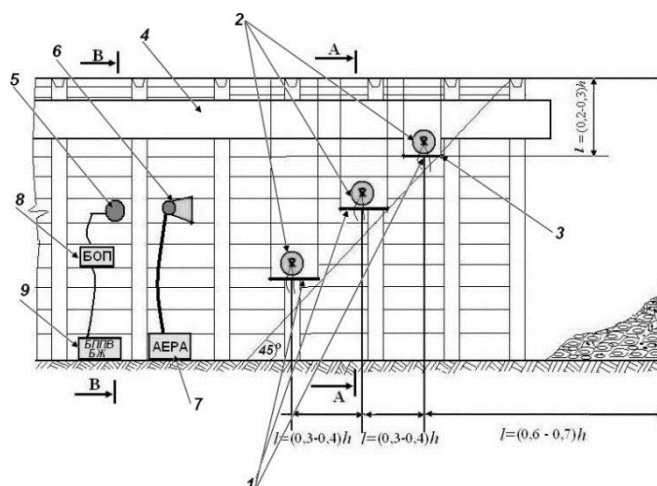


Рис. 3. Схема гірничої виробки і розміщення в ній водяних заслонів і записуючого устаткування: 1 – полиці для водяних заслонів; 2 – судини для водяного заслону; 3 – верхні полиці; 4 – вентиляційний повітропровід; 5 – стаціонарні оптичні датчики ДЗВ-500; 6 – алонжі з фільтрами АФА; 7 – електроаспіратор АЕРА; 8 – блок оптичного перетворювача; 9 – блок перетворення параметрів вимірювання і блок живлення

На підготовлених полицях (рис. 4) розміщують ємності (2) в шаховому порядку, починаючи з першої ємності на найближчій полиці до покрівлі виробки на відстані $l = (0,2 - 0,3)h$ від бічної поверхні виробки. Інші ємності рівномірно зміщують до протилежної бічної поверхні виробки на відстані між ємностями, рівній $l = (0,3 - 0,4)h$. Із підготовленого до вибуху забою демонтують бурове і допоміжне обладнання на безпечну відстань, потім заряди ВР з бойовиками встановлюють в ємностях (2) на полицях, а інші бойовики з ініціаторами в зарядах по перерізу забою.

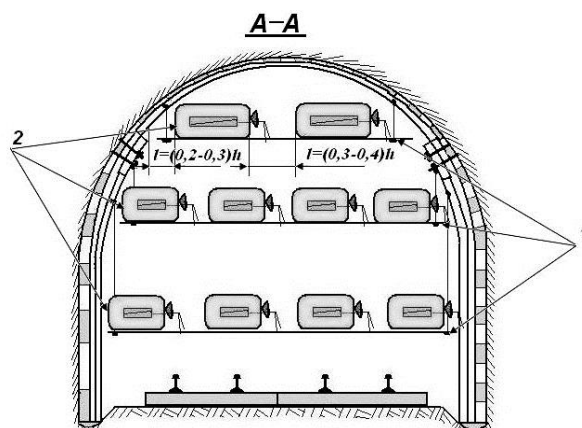


Рис. 4. Схема розміщення водяного заслону по перетину виробки:
1 – полиці для водяних заслонів; 2 – ємності для водяних заслонів

Заряди в шпурах комутують в групи і одночасно підривають в один прийом з уповільненням між групами зарядів, починаючи з врубових зарядів першого, донні і гирлові заряди другого ярусу, потім центрального компенсаційного шпура, за ними відбійні, допоміжні і оконтурюючі шпурові заряди, а в останній ступінь уповільнення – заряди в ємностях (2) з водним розчином гашеного вапняку з використанням електродетонаторів миттєвої, типу ЭДКЗ-ОП, короткоуповільненої, типу ЭДКЗ і уповільненої, типу ЭДЗД дії або неелектричної системи ініціювання (НЕСІ) "ПРИМА-ЕРА", NONEL. Після ініціювання комплексу шпурових зарядів вибухової речовини (ВР), наприклад Вугленіт 115, сформована детонаційна і ударна хвиля з великою швидкістю і кількістю вибухових газів, які мають високу температуру ($t = 2000 - 2500$ °С), впливаючи на породний масив руйнують його з отриманням зони інтенсивного подрібнення порід на контакті "ВР-порода" радіусом, рівним $(2-3)r_{зар}$, де: $r_{зар}$ – радіус шпурового заряду і дрібнодисперсних фракцій пилу. Вони представлені виключно кварцовими (двоокису кремнію – SiO_2) обломками, які мають гострий кут і середній розмір у діапазоні 2 – 4 мкм.

Далі із місць інтенсивного пилоутворювання на контакті "ВР-порода" під впливом високих температур вибухових газів водний розчин гашеного вапняку, розташований в інертних проміжках (ампулах), перетворюється в суміш окислу кальцію і вуглекислого кальцію, які при взаємодії з дрібнодисперсними кварцовими частинками утворюють силікати кальцію у вигляді великих швидко падаючих агрегатів.

Після підриву зарядів призводять запуск вентилятора місцевого провітрювання, типу ВМ-8 або ВЦПД-8 і протягом 30 хв. нагнітають повітря по прорезиненому шляхопроводу в забій виробки (рис. 5). Одночасно з запуском вентилятора вмикають електронні прилади – стаціонарні оптичні давачі ДЗВ-500 для вимірювання концентрації пилу в виробці, а якість пилу вивчають по пробам, знятим з фільтрів в алонжах, через які засмоктують брудне повітря електроаспіратором типу АЕРА-30. Прилади для реєстрації показників монтують на бічній поверхні виробки в робочій зоні на висоті не нижче висоти зони дихальних шляхів працюючого персоналу на відстані від забою рівному $l > (3 - 5)h$.

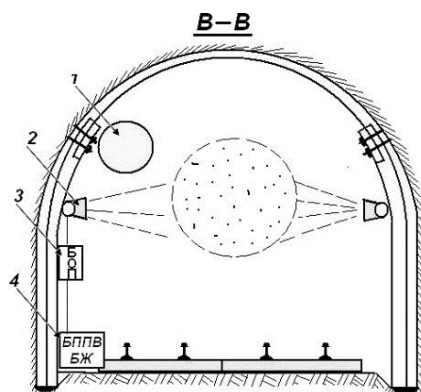


Рис. 5. Схема розміщення записуючого устаткування у забої виробки:

- 1 – вентиляційний повітропровід; 2 – стаціонарні оптичні датчики ДЗВ-500;
- 3 – блок оптичного перетворювача; 4 – блок перетворення параметрів вимірювання і блок живлення

Постійний контроль концентрації пилу C ($\text{мг}/\text{м}^3$) в виробці в діапазоні від 2 до $500 \text{ мг}/\text{м}^3$ проводять стаціонарними оптичними датчиками ДЗВ-500. Механізм реєстрації показників концентрації пилу в забрудненому повітрі виробки датчиками базується на оптико-абсорбційному методі фіксації окремих частинок пилу. Знята інформація з датчиків перетворюється в блоці оптичного перетворення з послідовним кодуванням параметрів виміру. Отримана інформація аналізується і в автоматичному режимі передається на диспетчерський пульт шахти.

Якісну оцінку пилових проб проводять шляхом відбирання їх з фільтрів АФА-ВП-10 або АФА-ВП-20, які розташовувались в алонжах, закріплених на бічній поверхні виробки в робочій зоні на висоті не нижче висоти зони дихальних шляхів працюючого персоналу, через які протягом 30 хв. засмоктувалось забруднене повітря електроаспіратором типу АЕРА. Оцінку пилових проб виконували на поляризаційному мікроскопі МП-2 з 20-ти кратним об'єктивом. За результатами аналізу проб дрібнодисперсної фракції пилу граничні показники якості оцінювались методами гранулометрії і рентгеноструктурного аналізу [4,5] – рентгеновського приладу ДРОН-3 і світлооптичної мікроскопії – поляризаційним мікроскопом МП-2.

У запропонованому способі проходки гірничих виробок з використанням енергії вибуху ефективність досягається за рахунок підриву системи розосере-

джених зарядів: торцевих і гирлових в 2-х ярусним врубі з компенсаційним шпурів; відбійних, допоміжних і контурних шпурів з інертними проміжками в донній частині – ампулами, заповненими вапняним молоком. Такі конструкції зарядів дозволяють збільшити глибину і обсяг врубової порожнини шляхом цілеспрямованого зменшення міцності середовища на контакт «ВР-порода» [6]. При цьому реалізується можливість руйнування порід до проектного перерізу виробки. Одночасно підвищується безпека проходки за рахунок усунення заколів і навісів на поверхні забою, хімічне зв'язування і осадження дрібнодисперсного пилу, зниження вмісту в вентиляційному струмені токсичних продуктів вибуху і поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці працюючого персоналу.

На підставі виконаних експериментальних досліджень можна стверджувати, що, при використанні набійки, яка розширюється в шпурах і ПАР для знеміцнення гірських порід при проведенні виробок буропідривним способом, дисперсний склад пилу істотно змінюється, тобто відбувається зниження запиленості за рахунок зменшення кількості дрібнодисперсної фракції розміром до 10 мкм. В результаті, при швидкому осіданні агрегованих частинок пилу за рахунок гравітаційних сил і різкого зменшення обсягу частинок субмікронного розміру, витання яких в повітрі практично нескінченно через конвективні повітряні потоки, час досягнення гранично допустимої концентрації пилу в шахтній атмосфері в процесі провітрювання істотно скорочується.

Таким чином, застосування запропонованого способу проходки гірничих виробок в напружених гірських породах з одночасним застосуванням заходів щодо зниження запиленості в забої підготовчої виробки дозволить підвищити швидкість проходки, коефіцієнт корисної дії вибуху, знизити питомі витрати вибухової речовини, зменшити обсяг бурових робіт, ефективність роботи вантажно-транспортного обладнання та в сукупності поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці гірників.

Перелік посилань

1. Родак, С.Н., Харитонов, В.Н., Мячина, Н.И., & Никифорова, В.Л. (1980).. Сосуд для водяного заслона. *А.с. 723181 СССР*. СССР
2. Миндели, Э., Демчук, П., & Александров, В. (1967). *Забойка шпуров* (2-е изд.). Москва: Недра.
3. Савельев, Д.В., Голінько, В.І., Лебедєв, Я.Я., Іщенко, К.С., Кратковський, І.Л., & Зубко, С.А. (2017) Спосіб зниження пилоутворювання при проведенні гірничих виробок енергією вибуху. *Пат. 121923* Україна.
4. Барон, Л. (1960). *Кусковатость и методы ее измерения* (2-е изд.). Москва: АН СССР.
5. Томсон Р., & Зейц Ф. (1973). *Строение твердых тел. Разрушение*. Под ред. Г. Либовица. Москва: Мир.
6. Савельев, Д. (2016). Исследование влияния поверхностно-активных веществ на состав пыли при разрушении горных пород взрывом. *Вісник Кременчуцького Національного Університету імені Михайла Остроградського*, (1/2016 (96), 69-75.

АННОТАЦІЯ

Цель. Усовершенствовать способ снижения пылеобразования, осаждения и связывания мелкодисперсной (с размером частиц менее 10 мкм), наиболее силикозо- и пневмокониозоопасной

фракции пыли, которая имеет большое количество обогащенных кремнеземом продуктов разрушения пород в забое при взрывном способе проходки горных выработок.

Методика исследования заключается в разработке новых рациональных технологических параметров проходки горных выработок, направленных на химическое связывание и осаждение мелкодисперсной пыли, снижение содержания в вентиляционной струе токсичных продуктов взрыва.

Результаты исследования. Разработаны схема забоя выработки с расположением в ней пробуренных шпуров и конструкция вруба, схема расположения и конструкции врубовых, отбойных, вспомогательных, оконтуряющих шпуровых зарядов и взрывчатого вещества в компенсационном шпуре, схема размещения в горной выработке водяных заслонов и записывающего оборудования в местах интенсивного пылеобразования на контакте "взрывчатое вещество - порода». Установлено, что под воздействием высоких температур взрывчатых газов водный раствор гашенного известняка, расположенного в инертных промежутках (ампулах), превращается в смесь окиси кальция и углекислого кальция, которые при взаимодействии с мелкодисперсными кварцевыми частицами образуют силикаты кальция в виде крупных быстро оседающих агрегатов. Регистрация показателей концентрации пыли в загрязненном воздухе выработки базируется на оптико-абсорбционном методе фиксации отдельных частиц пыли. Использование набойки, которая расширяется в шпурах и поверхностно-активных веществ для разупрочнения горных пород при проведении выработок буровзрывным способом повышает безопасность проходки за счет устранения заколов и навесов на поверхности забоя, осуществляет химическое связывание и осаждение мелкодисперсной пыли, снижает содержание в вентиляционной струе токсичных продуктов взрыва и улучшает санитарно-гигиенические условия труда персонала.

Научная новизна. Изменение механизма разрушения углепородного массива с использованием поверхностно-активных веществ способствует уменьшению в горной выработке концентрации силикозо- и пневмокониозоопасной пыли, которая образуется при ведении взрывных работ, за счет уменьшения количества мелкодисперсной фракции размером до 10 мкм и быстрого оседания пылевидных агрегированных частиц под действием сил гравитации.

Практическое значение. Применение предлагаемого способа проходки горных выработок в напряженных горных породах с одновременным применением мер по снижению запыленности в забое подготовительной выработки позволит повысить скорость проходки, коэффициент полезного действия взрыва, снизить удельные расходы взрывчатого вещества, уменьшить объем буровых работ, эффективность работы погрузочно-транспортного оборудования и в совокупности улучшить санитарно-гигиенические условия труда горняков.

Ключевые слова: условия труда, мелкодисперсную пыль, силикозоопасность, поверхностно-активные вещества, буровзрывные работы, разрушение пород.

ABSTRACT

Purpose. Improve the method of reducing dust formation, deposition and binding of finely dispersed (with a dust fraction less than 10 mkm), the most silicose and pneumoconiosolone dust fraction, which has a large amount of silica-enriched products of rocks destruction in the bottomhole at the drilling and blasting method of mining works.

The methodology. Consists in the development of new rational technological parameters of the excavation of mine workings, aimed at chemical binding and deposition of fine dust, reducing the content in the ventilation stream of toxic explosive products.

Findings. Designed a bottom hole production scheme with the location of drilled holes and the cutting structure, the layout and design of cutting, firing, auxiliary, contouring charges and explosive charge in the compensation holes, placement scheme in the mine working water barriers and recording equipment, from the places of intensive pilot hole on the contact "explosive-rock". It is established that under the influence of high temperatures of explosive gases an aqueous solution of slaked limestone, located in inert gaps (ampoules), turns a mixture of calcium oxide and calcium carbonate, which, when interacting with fine quartz particles, form calcium silicates in the form of large rapidly falling aggregates. Registration of dust concentration indicators in dirty air generation is based on the optical absorption method of fixing individual dust particles. The use of heels, which expands in boreholes and surfactants to soften rocks during drilling and blasting operations, improves the safety of penetration by eliminating kills and canopies on the surface of the face, carries out chemical bonding and fine dust precipitation, reduces the content of toxic blast products in the ventilation stream and improving the sanitary and hygienic working conditions of staff.

The originality. The change in the mechanism of destruction of the coal mass using surfactants helps to reduce silicosis and pneumoconiosis dangerous and concentration of dust in the mine workings, which is formed during blasting operations, by reducing the amount of fine fraction to 10 microns and the rapid sedimentation of dust particles under the action of gravity.

Practical implications. The application of the proposed method of penetration of mine workings in strained rocks with the simultaneous use of measures to reduce dust in the mine working surface will increase the rate of penetration, the efficiency of the explosion, reduce the unit costs of explosives, reduce the amount of drilling, improve loading efficiency -transport equipment and sanitary conditions of the miners.

Keywords: *working conditions, fine dust, silicosis danger, surfactants, drilling and blasting, rock destruction.*