

© Д.В. Савельєв¹, І.А. Шайхлісламова¹, А.А. Юрченко¹, І.О. Лутс¹

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

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТВЕРДІЮЧОЇ НАБІЙКИ ЗАРЯДІВ ВИБУХІВКИ

© D. Savelyev¹, I. Shaikhislamova¹, A. Jurchenko¹, I. Luts¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESULTS OF STUDIES OF HARDENING HEAP OF CHARGES OF EXPLOSIVE

Мета. Дослідження нового твердіючого складу набійки шпурового заряду вибухівки, яка поліпшує якість вибуху, знижує рівень концентрації дрібнодисперсного пилу і забезпечує загальне зниження запиленості рудникової атмосфери, і, тим самим, поліпшить умови праці та безпеку робіт.

Методика досліджень. Дослідження проведені в лабораторних умовах на об'ємних моделях з використанням методу швидкісної фотореєстрації процесу в поєднанні з поляризаційно-оптичними дослідженнями напружень відповідно до апробованих методів руйнування твердих середовищ вибухом.

Результати досліджень. В об'ємних моделях з органічного скла при їх руйнуванні вибухом заряду вибухової речовини різної конструкції реєстрували виникнення і поширення хвиль напружень з використанням спеціального стенда з фотореєструючою установкою, імпульсною лампою, системами лінз. По замірах швидкостей детонації сумішей розраховувалися параметри вибухової речовини, що характеризують їх вплив на середовище. У пробурених зарядних порожнинах моделей формувалися різні конструкції зарядів. Встановлено, що набійка з твердіючою сумішшю на 20% збільшує час перебування її в шпурі в порівнянні з іншими конструкціями зарядів, створюючи надійне замикання продуктів детонації. Це підвищує ступінь використання енергії вибуху для руйнування гірського масиву, рівномірність його подрібнення, а також знижує обсяг викидання в гірничу атмосферу дрібнодисперсного пилу.

Наукова новизна. Розроблено методику визначення оптимальних складів, властивостей твердіючої суміші та технології її приготування. Показано, що набійка з твердіючою сумішшю знижує обсяг викидання в гірничу атмосферу дрібнодисперсного пилу.

Практична значимість. Гострою проблемою для гірничих підприємств є рівномірність подрібнення гірського масиву, умови праці робочих при проведенні вибухових робіт в гірничих виробках в міцних породах, коли спостерігаються значні викиди в атмосферу пилу. Ці викиди утворюють не допущені по санітарним нормам умови праці. Дана робота спрямована на розробку заходів, що забезпечують зменшення надходження в гірничу атмосферу найбільш пневмоконебезпечного дрібнодисперсного пилу.

Ключові слова: набійка, шпурові заряди, енергія вибуху, твердіюча набійка, умови праці, дрібнодисперсний пил.

Вступ. Одним із важливих факторів, які визначають умови і ефективність вибуху шпурових зарядів, є внутрішня набійка. Її величина та якість в значній мірі визначають ступінь використання енергії вибуху для руйнування гірського

масиву, рівномірність його подрібнення. Численні дослідження [1-3] різних конструкцій набійки та застосованих матеріалів дозволили зробити висновок, що шляхом збільшення довжини набійки можливо збільшити час дії вибуху на масив, який руйнується (замикаючий ефект), і при цьому в значній мірі знизити максимальну швидкість вильоту продуктів вибуху із гирла свердловини.

Більшість розроблених методів управління подрібненням гірських порід засновані на рішеннях, в основі яких лежить зміна коефіцієнта передачі енергії вибуху заряду вибухової речовини в частину масиву, яка руйнується. В цьому відношенні різні конструкції зарядів і склад набійки є важливими. В результаті досліджень встановлено [4], що поведінка і ефективність набійки під час вибуху залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу набійки, розміру його частинок, стисливості, зчеплення зі стінками зарядної порожнини та ін. Відомо, що одним з основних чинників, які визначають вихід пилу при руйнуванні порід вибухом, є кількість заряду вибухової речовини [5], яка знаходиться в прямій залежності від ефективності вибуху зарядів. Вона визначається, в свою чергу, конструкцією і складом внутрішньої набійки шпурів.

При розробці корисних копалин з використанням енергії вибуху (проходка капітальних і підготовчих гірничих виробок в скельних породах) відбувається утворення дрібнодисперсного кварцового (сілікозонебезпечного) пилу внаслідок розкриття численних дефектів будови, мікротріщин в кварцових зернах на контакті «вибухова речовина-порода» [6]. Це пов'язане зі збільшенням міцності вуглевміщуючих порід при процесах літіфікації, діагенезу і зміні петрографічного складу.

Одним з головних недоліків при руйнуванні порід вибухом є утворення значної кількості дрібнодисперсного пилу розміром 0,5 – 5 мкм. Цей пил важко пригнічується і є найбільш небезпечним для людини. Адсорбція на його поверхні отруйних газів підвищує агресивність цього пилу і сприяє швидкому розвитку у працюючих в шахтах професійних захворювань, в тому числі пов'язаних з органами дихання – пневмоконіозу і хронічного пилового бронхіту [7].

Актуальність досліджень. Головним питанням при руйнуванні порід вибухом є процес підвищення рівня промислової безпеки, що пов'язано з впровадженням нових вибухових матеріалів та технологій [8, 9].

У початковий момент розвитку вибуху відбувається ущільнення набієчного матеріалу за рахунок впливу на торець набійки ударної хвилі і поршневого тиску продуктів детонації.

В результаті такого ущільнення на контакті набійки зі стінками шпура виникають сили бокового розпору. Оскільки ці сили більше опору зсуву набієчного матеріалу, то під час вибуху набійка не ковзає по стінках шпура, а зрізається по циліндричній поверхні. Тому процес викидання набійки із шпура можна представити таким чином:

З моменту початку вибуху газоподібні продукти детонації, впливаючи на торець набійки, прагнуть зрушити її. До тих пір, поки не відбудеться її зрушення, опір виштовхувальній дії продуктів детонації виявляється більше сил внутрішнього тертя і зчеплення частинок набієчного матеріалу за рахунок інерції спокою

власної маси набійки. Але відразу ж після ущільнення набієчного матеріалу відбувається зрушення набійки і надалі її переміщенню перешкоджають тільки вага і сили внутрішнього тертя. Проміжок часу з моменту завершення детонації до початку відриву і зсуву порід залежить від величини тиску продуктів детонації в шпурі і швидкості детонації вибухової речовини, характеру руйнуючих порід (їх міцність і тріщинуватість) і ін.

Нехай для деяких конкретних умов час відриву і зсуву порід визначається величиною t_p (рис.1). Конструкцію набійки, а, отже, і час її руху в шпурі з моменту початку детонації до повної розгерметизації шпура, можна підібрати такою, що він буде збігатися з моментом відриву і зсуву порід (т. 1 на рис.1).

Якщо конструкція набійки така, що сумарний опір сил тертя зсуву набійки менше сили, що виштовхує продукти детонації, то спостерігається підвищення швидкості її руху в шпурі. У цьому випадку повний час вильоту набійки t_1 буде менше t_p на величину Δt_1 (т. 2 на рис.1).

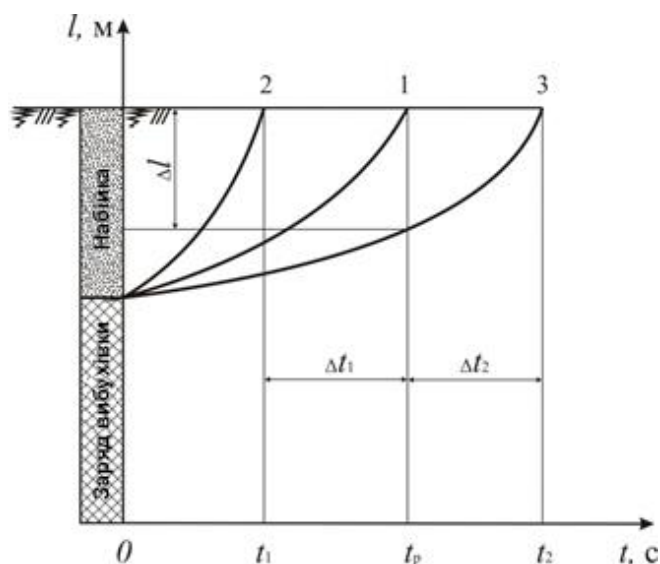


Рис.1. Час вильоту набійки зі свердловини при зміні її параметрів

Отже, в цьому випадку продукти детонації будуть впливати на масив не весь час t_p , що дозволяє гірничо-геологічними умовами руйнуються порід, а тільки в проміжку часу $t_1 = t_p - \Delta t_1$. В результаті цього частина енергії вибуху, що витрачається на руйнування гірського масиву, буде менше максимально можливої. У цих умовах швидкість виходу продуктів детонації з шпура значно зростає. Крім цього, частина заряду вибухової речовини не встигає детонувати, викидається з шпура і догорає після вибуху, підвищуючи концентрацію вибухових газів в атмосфері гірничої виробки. Руйнування гірських порід в цьому випадку буде незадовільним.

Якщо конструкція набійки така, що сумарний опір сил тертя по поверхні зсуву набійки більше виштовхує її сили продуктів детонації, то час її вильоту з шпура t_2 буде більше часу t_p на величину $\Delta t_2 = t_2 - t_p$ (т. 3 на рис.1). Таким чином, до моменту відриву і зрушення порід верхня частина зарядної камери Δl залишається заповненою набійкою. Стінки зарядної камери в цій зоні не будуть піддаватися безпосередньому впливу продуктів детонації і, отже, подрібнення масиву

в цьому місці буде незадовільним, що призводить до підвищення виходу негабариту гірської породи після вибуху.

Тому дослідження конструкцій набійки шпурових зарядів, що підвищують якість вибуху, є актуальним завданням.

Викладення основного матеріалу. Традиційним шляхом зниження утворення пилу при проведенні підготовчих виробок у вугільних шахтах є використання таких конструкцій шпурових зарядів, що дозволяють збільшити час вибухового впливу на масив, який руйнується. Зокрема, при використанні набійок, які розширюються, відбувається перерозподіл енергії вибухової речовини по всій колонці заряду і зниження питомого імпульсу в ближній зоні вибуху, що є основним джерелом утворення дрібнодисперсного пилу.

В Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» розроблений новий склад набійки, яка розширюється при затвердінні [10], що дозволяє значно скоротити витрати на її виготовлення. Випробування набійки з новим складом при вибуховому руйнуванні моделей, виготовлених з міцного піщаника за спеціальною методикою, дозволило встановити її ефективність.

Вивчення характеру руйнування твердих середовищ в залежності від матеріалу набійки в конструкції заряду вибухової речовини проводилося в лабораторних умовах на об'ємних моделях з органічного скла. Був використаний метод швидкісної фотореєстрації процесу в поєднанні з поляризаційно-оптичним дослідженням напружень відповідно до апробованих методів руйнування твердих середовищ вибухом [11].

Для обґрунтування оптимального співвідношення компонентів піщано-глинистої суміші й води в складі набійки та виду добавок, що вводяться, а також процентного співвідношення їх до загальної маси готового матеріалу набійки, необхідно було встановити вплив цих співвідношень на якість суміші.

Розмір моделей був вибраний виходячи з необхідності усунення впливу вільних поверхонь на розвиток зони утворення тріщин за рахунок дії відбитих хвиль напружень. Період часу, необхідний для формування зони утворення тріщин, не повинен бути менше подвоєного часу проходження хвилі стиснення до меж зразка, а лінійний розмір моделі повинен бути у 2 рази більше зони утворення тріщин.

Для якісного вивчення процесу виникнення і поширення хвиль напружень, а також характеру утворення тріщин в об'ємних моделях з органічного скла при їх руйнуванні вибухом заряду вибухової речовини різної конструкції, проведено лабораторні дослідження з використанням методу швидкісної фотореєстрації в режимі лупи часу згідно з розробленою методикою. Характер руйнування моделі реєстрували з використанням спеціального стенду, який складається з фотореєструючої установки СФР-2М, імпульсної лампи ІСШ-300, системи лінз, які фокусують світловий потік, пульта управління, вибухової камери, батареї накопичувальних конденсаторів і електронного приладу для синхронізації вибуху заряду вибухівки у моделі зі спалахом імпульсної лампи. Загальний вигляд стенду наведено на рис. 2.

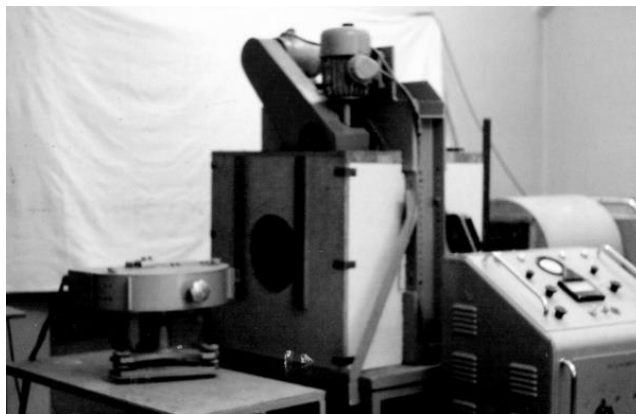


Рис. 2. Стенд для фотореєстрації швидкопротікаючих процесів

Відповідно до розробленої методики досліджень експерименти проводилися в лабораторних умовах на моделях призматичної форми розміром 200x200x150 мм, яка була обрана виходячи з розміру поля зору камери СФР-2М. Основні вимоги до моделі середовища – можливість вивчати процес утворення тріщин і зрушення середовища, що руйнується вибухом заряду вибухової речовини різних конструкцій.

У підготовлених до досліджень моделях в центрі однієї з граней свердлили шпур довжиною 105 мм і діаметром 6 мм. Так як використання штатних сумішевих вибухової речовини, застосовуваних в промислових умовах, не забезпечує стабільність детонації зарядів в експериментальних вибухах через великі значення критичного діаметра, то в якості вибухової речовини використовували сумішеві заряди на основі тена, який має малий критичний діаметр (2–4мм) . Для збільшення довжини колонки заряду і зміни детонаційних характеристик базової вибухівки використовували тен, в який додавалося тверде ракетне паливо (ТРП). По замірам швидкостей детонації сумішей розраховувалися параметри вибухової речовини, що характеризують їх вплив на середовище, і визначалися оптимальні параметри сумішевих співвідношень зарядів по стійкості детонації [12].

В даному випадку вибрано співвідношення рівне 80% тена + 20% твердого ракетного палива. Експериментальні дані і результати розрахунків наведені в табл. 1.

При зміні масової частки твердого ракетного палива щільність сумішей лишалася незмінною, рівною щільності чистого тена, який має швидкість детонації $D_{BP} = 5250$ м/с і щільність $\rho_{BP} = 935$ кг/м³.

Маса сумішевого заряду у всіх експериментах становила 200 мг, а його довжина 20 – 22 мм.

Ініціювання зарядів виконували за допомогою ніхромового містка з навішуванням азиду свинцю масою 10 мг.

Методикою експериментів встановлені параметри зйомки:

– для хвильового процесу (при $v = 2800$ м/с, $D = 0,15$ м, $\mu = 1,2$; $\delta_{cp} = 2\%$) $v = 1 \cdot 10^6$ кадр/с, $t_n = 2,7 \cdot 10^{-5}$ с, $P = 27$ кадрів;

– для процесу утворення тріщин (при $v = 840$ м/с) $v = 3,3 \cdot 10^5$ кадр/с, $t_n = 9 \cdot 10^{-5}$ с, $P = 30$ кадрів.

Основні характеристики сумішевих складів зарядів вибухівки

Масова частка ТРП в сумішах з теном	Швидкість детонації сумішей, D_{BP} , м/с	Розрахунковий тиск на стінки зарядної порожнини, P_c , ГПа	Розрахункова теплота вибуху Q , кДж/кг	Щільність, ρ_{BB} , кг/м ³	Акустичний імпеданс вибухівки, $\rho_{BP} D_{BP} \cdot 10^{-7}$, кг/(м ² ·с)
0	5250	3,22	5635	935	0,49
0,1	5150	3,10	5120		0,48
0,2	4900	2,81	4910		0,46
0,3	4500	2,37	4140		0,42
0,4	3700	1,60	2800		0,35
0,5	2800	0,92	1603		0,26

В процесі експериментів було встановлено, що оптимальна швидкість кінозйомки для аналізу процесу руйнування середовища, часу початку вильоту набійки, характеру утворення тріщин в середовищі від вибуху заряду вибухової речовини склали відповідно $\nu = 15000$ кадр/с і $\nu = 30000$ кадр/с.

Підрив і синхронізація процесу реєстрації вибуху заряду вибухівки в середовищі, яке руйнується, здійснювалися шляхом включення в схему роботи стелу спеціального електронного приладу для синхронізації роботи камери і імпульсної лампи до виходу її на режим з затримкою за часом підриву електродетонаторів. Структурна схема системи представлена на рис. 3.

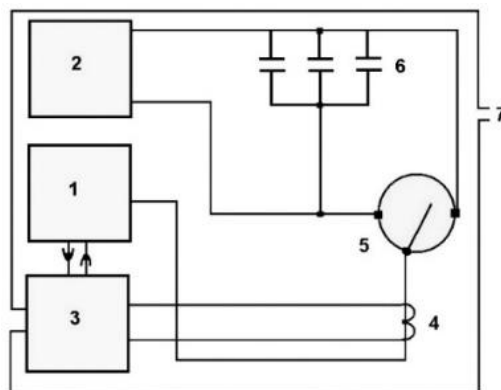


Рис. 3. Блок-схема фотореєстрації процесу руйнування напружених середовищ вибухом: 1 – пульт управління камери СФР-2М; 2 – джерело високої напруги; 3 – прилад синхронізації і затримки підриву електродетонаторів; 4 – котушка запуску приладу синхронізації; 5 – імпульсна лампа ІСШ-300; 6 – магазин конденсаторів; 7 – електродетонатор

Принцип роботи схеми наступний: Від високовольтного джерела живлення 2 заряджаються до напруги 3 кВ конденсатори 6. В момент подачі з пульта управління 1 камери СФР-2М імпульсу, який підпалює від високовольтного генератора, відбувається розряд конденсаторів 6 на імпульсну газонаповнену лампу 5 ІСШ-300. Це призводить до запуску приладу синхронізації і затримки 3 котушкою 4, в якій наводиться електрорухівна сила від імпульсу струму. Імпульс струму протікає через контур і включає імпульсну лампу. Через час затримки, встановлений на пульті приладу 3, відбувається ініціювання заряду вибухової речовини в моделі електродетонатором 7.

У пробурених зарядних порожнинах моделей формувалися різні конструкції зарядів: з піщано-глинистої набійкою, піщаною та сумішевою набійкою, яка розширюється при твердінні, основним компонентом, якої є піщано-глиниста суміш з додаванням доломітового пилу, алюмокалієвих квасців, водного розчину лігносульфонатів. Довжина досліджуваної набійки в шпурі перебувала в межах 6 – 10 діаметрів заряду. Кінограми процесу руйнування моделей представлені на рис. 4 і 5. Як видно з малюнків, для всіх серій експериментів на перших кадрах реєстрації процесу через 10 мкс після детонації заряду фронт ударної хвилі, що поширюється попереду, відбиваючись від стінки шпура і впливаючи на середовище, яке руйнується, створює хвилю напруги. Ці напруги поширюються уздовж осі заряду до вільних поверхонь моделі, що сприяє розвитку системи тріщин. І вже через 68 мкс формується мережа тріщин уздовж всієї колонки заряду.

Подальші кадри кінограм показують наростання утворення тріщин і збільшення порожнини руйнування моделі, починаючи від торця зарядної порожнини, як вглиб моделі, так і в напрямку до її гирла.

Обсяги порожнини руйнування залежать від типу застосовуваної набійки в конструкції заряду вибухової речовини. Встановлено, що граничний час початку її вильоту з піску, глини та піщано-глинистої суміші відповідає 340 – 380 мкс, а для набійки з суміші, яка твердіє, відповідає 450 – 480 мкс.

Аналіз вибухів суцільного заряду (рис. 4а), наприклад, з піщано-глинистою набійкою, показує, що фронт руйнування середовища набуває овальної форми спочатку розвитку процесу (4 – 68 мкс), а в донній частині шпура – формуються і поширюються явно виражені тріщини вглиб забою за область проєктованого руйнування на глибину до трьох-п'яти діаметрів шпура.

Дещо інша картина процесу руйнування середовища спостерігалася під час вибуху заряду з піщаною набійкою (рис. 4б). Тріщини вглиб моделі зменшуються і мають тенденцію відхилення від осі шпура, тоді як в бік гирла шпура збільшується обсяг передбачуваної воронки руйнування з утворенням розвиненої системи тріщин різної спрямованості.

При руйнуванні моделей зарядами вибухівки з набійкою з суміші, яка твердіє (рис. 5), спостерігається формування трапецієподібного фронту руйнування з розвитком тріщин як вглиб моделі, так і збільшення воронки руйнування до гирла шпура.

Зовсім інша картина руйнування моделі спостерігається на завершальному етапі розвитку процесу. Так, фронт руйнування, що рухається по моделі від вибуху сумішевого заряду вибухової речовини з набійкою з суміші, яка твердіє, має складну конфігурацію, що складається з орієнтованої системи тріщин в торцевій частині заряду, що має форму усіченого конуса, спрямовану більшою підставою вглиб моделі під кутом $45 - 50^\circ$ зі збільшенням зони руйнування до 20 – 30 радіусів заряду і радіусу воронки викиду в зоні гирла шпура. Порівняльні результати експериментальних вибухів зарядів вибухової речовини з різними типами набійок наведені в табл. 2.

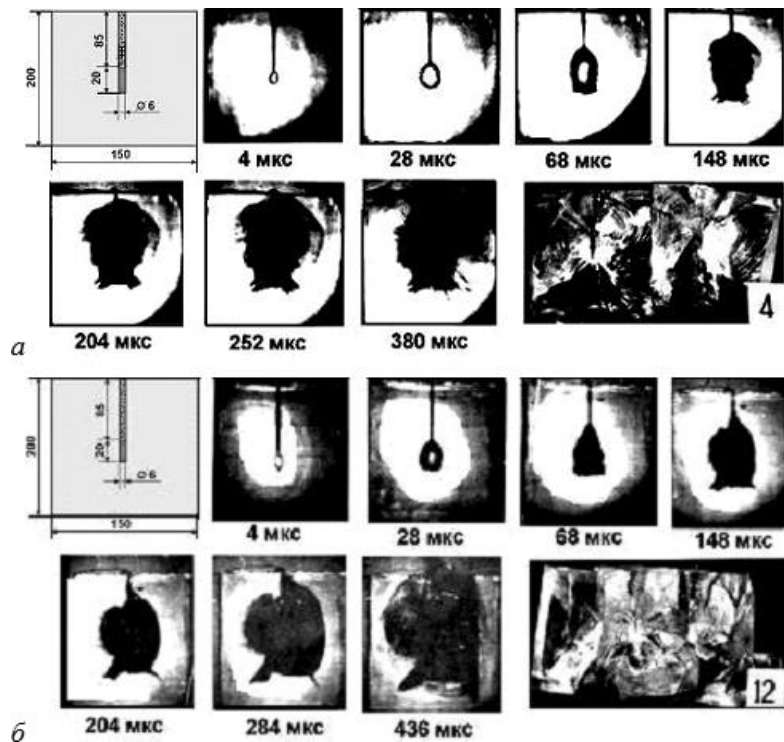


Рис. 4. Кінограми процесу руйнування моделі вибухом сумішевого заряду вибухової речовини масою 200 мг: а – набійка піщано-глиниста; б – набійка пісок довжиною $l_{заб} = 5,4 l_{вр}$

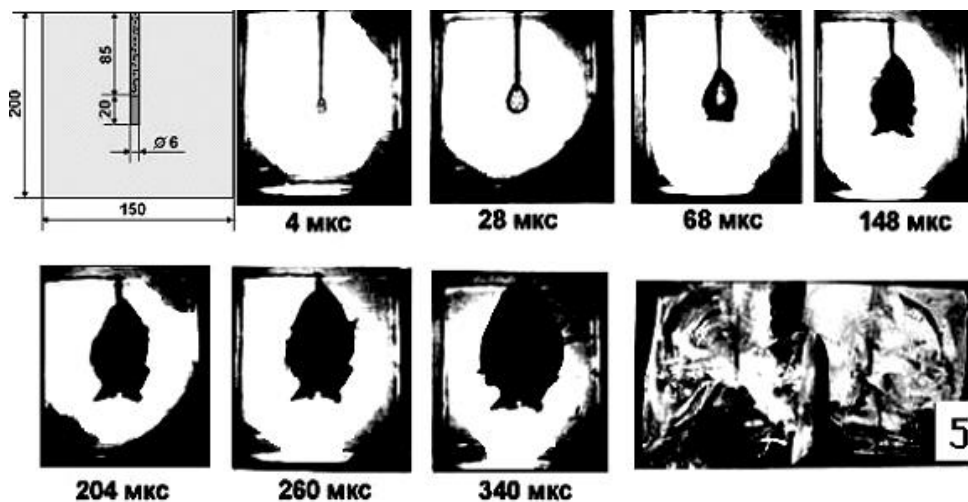


Рис. 5. Кінограми процесу руйнування моделі вибухом сумішевого заряду вибухової речовини масою 200 мг (набійка твердіюча довжиною $l_{заб} = 5,4 l_{вр}$)

Таким чином, виконаними дослідженнями встановлено, що набійка з твердіючою сумішшю на 20% збільшує час перебування її в шпурі в порівнянні з іншими конструкціями зарядів, створюючи надійне замикання продуктів детонації. Це дозволяє збільшити тривалість впливу енергії вибуху на середовище, яке руйнується. При цьому, тривалість замикання газоподібних продуктів детонації в зарядній камері зростає до 100 мкс, що на 64 мкс більше в порівнянні з набійкою з глини і на 52 мкс в порівнянні з набійкою з піску, тобто в 1,5 – 2,0 рази.

Таблиця 2

Результати експериментальних вибухів сумішевого заряду вибухової речовини з різними типами набійки

Тип набійки	Довжина набійки	Час початку тріщиноутворення, мкс	Час початку вильоту набійки, мкс	Обсяг воронки руйнування V , 10^{-6} м^3
Піщано глиниста	5,4 $l_{\text{ВВ}}$	116	188	0,65
Пісок	5,4 $l_{\text{ВВ}}$	116	200	0,78
Твердіюча суміш	5,4 $l_{\text{ВВ}}$	116	252	1,04

Висновки. Розроблено склад суміші для набійки шпурових зарядів, яка розширюється при затвердінні. Основним компонентом суміші є піщано-глиниста суміш з додаванням в'язучих добавок: алюмокалієві квасци і лігносульфонати, доломітовий пил (відходи деревообробної та гірничорудної промисловості). Розроблено методика визначення оптимальних складів, властивостей твердіючої суміші і технології її приготування.

Експериментально встановлено, що застосовувана при підриванні зарядів вибухової речовини набійка з твердіючою сумішшю на 20% збільшує час перебування її в шпурі в порівнянні з іншими конструкціями зарядів, створюючи надійне замикання продуктів детонації. При цьому, тривалість замикання зарядної порожнини зростає до 100 мкс в порівнянні з набійкою з піску і піщано-глинистої суміші. Це значною мірою підвищує ступінь використання енергії вибуху для руйнування гірського масиву, рівномірність його дроблення, а також знижує обсяг викидання в гірничу атмосферу дрібнодисперсного пилу.

Встановлено, що на відстані від центру заряду, що дорівнює 5-10 відносних радіусів заряду, радіальні напруги в хвилі стиснення середовища, яке руйнується, при застосуванні набійки з твердіючою сумішшю в 1,5 – 2,5 рази вище, ніж при застосуванні набойів з сипучих і пластичних матеріалів.

Аналіз гранулометричного складу зруйнованих вибухом моделей показав, що мінімальний вихід дрібних фракцій (41.96%) спостерігається при вибуху заряду з піщано-глинистою набійкою, мінімальний вихід дрібних фракцій (13,6%)

– при підриванні з набійкою з сумішшю, яка твердіє і розширюється. При цьому спостерігається рівномірний розподіл фракцій дроблення моделей.

Загальний рівень концентрації дрібнодисперсного пилу при використанні набійки, що складається з піщано-глинистої суміші, доломітового пилу, лигносульфонатів, алюмокалієвих квасців і води знизився на 40–50 %. Ось чому, успішна реалізація запропонованого технологічного методу дозволить управляти кусковатістю гірської маси. Рівномірний розподіл гранулометричного складу при руйнуванні гірських порід забезпечить загальне зниження запиленості рудникової атмосфери, і, тим самим, поліпшить умови праці і безпеку робіт.

Перелік посилень

1. Ефремов, Э.И., & Родак, Э.И. (1991). Роль забойки в запирании газообразных продуктов детонации. *Повышение эффективности разрушения горных пород*, 3-8
2. Миндели, Э.О., Демчук, П.А., & Александров, Е.Е. (1968). *Забойка шпуров*. Недра
3. Колесник, В.Е., & Юрченко, А.А. (2010). Снижение пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах путем совершенствования конструкции забойки скважинных зарядов. *Доклады Международного симпозиума «Неделя еколога - 2010», «Экологические проблемы горно-металлургических регионов. Прогрессивные информационные и технологические решения», 12-15 октября 2010 г.*, 10-11.
4. Блинков, В.В., & Назаренко, С.В. (2005). Влияние забойки зарядов взрывчатых веществ на коэффициент трансформации энергии взрыва в горные породы. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 10, 10-13.
5. Rai, R., Gupta, S. & Rattan, S. (2005). Determination of dust generation potential number using rock properties. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 53, 65-68.
6. Ефремов, Э. И., Петренко, В. Д., & Кратковский, И. Л. (1993). О влиянии фракционного состава кварцсодержащих пород на содержание силикозоопасной пыли в продуктах их разрушения. In *Доклады АН Украины* (No. 5, pp. 45-49).
7. Mukherjee, A. K., Bhattacharya, S. K., & Saiyed, H. N. (2005). Assessment of Respirable Dust and its Free Silica Contents in Different Indian Coalmines. *Industrial Health*, 43(2), 277–284. <https://doi.org/10.2486/indhealth.43.277>
8. Дерев'янку, О.В.(2007). Оцінка стану та рекомендації щодо підвищення безпеки праці при буро-вибухових роботах в кар'єрах блочного каменю. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*, 2 (41), 200-205
9. Махмудов, Д.Р. (2017). Влияние конструкции забойки скваженных зарядов на эффективность дробления горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал*, 4, 42-47.
10. Голінько, В. І., Лебедев, Я. Я., Савельев, Д. В., Іщенко, К. С., & Кратковський, І. Л. (2014). *Суміш для набійки шпурових зарядів* (Патент No. 91042).
11. Комир, В.М., Гейман, Л.М., Кравцов, В.С., & Мячина, Н.И. (1972). *Моделирование разрушающего действия взрыва в горных породах*. Наука.
12. Голінько, В. І., Лебедев, Я. Я., Савельев, Д. В., Іщенко, К. С., & Кратковський, І. Л. (2014). *Спосіб моделювання вибухового руйнування гірських порід* (Патент No. 91043).

АННОТАЦІЯ

Цель. Исследование нового твердеющего состава набойки шпурового заряда взрывчатки, которая улучшает качество взрыва, снижает уровень концентрации мелкодисперсной пыли и обеспечивает общее снижение запылённости рудничной атмосферы, и, тем самым, улучшает условия труда и безопасность работ.

Методика исследований. Исследования проведены в лабораторных условиях на объёмных моделях с использованием метода ускоренной фоторегистрации процесса в соединении с поляризационно-оптическими исследованиями напряжений соответственно с апробированными методами разрушения твёрдых сред взрывом.

Результаты исследований. В объёмных моделях из органического стекла при их разрушении взрывом заряда взрывчатого вещества разной конструкции регистрировали возникновение и распространение волн напряжений с использованием специального стенда с фоторегистрирующей установкой, импульсной лампой, системами линз. По замерах скоростей детонации смесей рассчитывались параметры взрывчатого вещества, характеризующие их влияние на окружающую среду. В пробуренных зарядных полостях моделей формировались различные конструкции зарядов. Установлено, что набойка с твердеющей смесью на 20% увеличивает время пребывания ее в шпуре по сравнению с другими конструкциями зарядов, создавая надежное запирающее действие продуктов детонации. Это повышает степень использования энергии взрыва для разрушения горного массива, равномерность его измельчения, а также снижает объем выброса в атмосферу мелкодисперсной пыли.

Научная новизна. Разработана методика определения оптимальных составов, свойств твердеющей смеси и технологии ее приготовления. Показано, что забойка с твердеющей смесью снижает объем выброса в атмосферу мелкодисперсной пыли.

Практическое значение. Острой проблемой для горных предприятий является равномерность измельчения горного массива, условия труда рабочих при проведении взрывных работ в горных выработках в крепких породах, когда наблюдаются значительные выбросы в атмосферу пыли. Эти выбросы создают недопустимые по санитарным нормам условия труда. Данная работа направлена на разработку мероприятий, обеспечивающих уменьшение поступления в горную атмосферу наиболее мелкодисперсной пыли.

Ключевые слова: забойка, шпуровые заряды, энергия взрыва, твердеющих забойка, условия труда, мелкодисперсная пыль.

ABSTRACT

Purpose. Investigation of a new hardening composition of the heel of a blast-hole charge of explosives, which improves the quality of the explosion, reduces the concentration of fine dust and provides an overall reduction in the dust content of the mine atmosphere, and, thereby, improves working conditions and work safety.

The methodology. The studies were carried out in laboratory conditions on volumetric models using the method of accelerated photo-registration of the process in conjunction with polarization-optical studies of stresses, respectively, with approved methods of destruction of solid media by explosion.

Research results. In volumetric models made of organic glass, when they were destroyed by an explosion of an explosive charge of different design, the appearance and propagation of stress waves was recorded using a special stand with a photo-recording device, a flash lamp, and lens systems. By measuring the detonation velocities of the mixtures, the parameters of the explosive were calculated, characterizing their effect on the environment. Different designs of charges were formed in the drilled charging cavities of the models. It has been established that a heel with a hardening mixture increases its residence time in the borehole by 20% in comparison with other designs of charges, creating a reliable locking of detonation products. This increases the degree of explosive energy use for the destruction of the rock mass, the uniformity of its crushing, and also reduces the volume of fine dust emission into the atmosphere.

Scientific novelty. A technique has been developed for determining the optimal compositions, properties of the hardening mixture and the technology for its preparation. It is shown that damming with a hardening mixture reduces the volume of fine dust emission into the atmosphere.

Practical value. An acute problem for mining enterprises is the uniformity of crushing of the rock mass, the working conditions of workers during blasting operations in mine workings in hard rocks, when there are significant emissions of dust into the atmosphere. These emissions create working conditions that are not allowed by sanitary standards. This work is aimed at developing measures to reduce the intake of the finest dust into the mountain atmosphere.

Key words: *stemming, blasthole charges, explosion energy, hardening stemming, working conditions, fine dust.*