

УДК 622.235.53

УПРАВЛЕНИЕ РАЗРУШАЮЩИМ ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВА УДЛИНЕННОГО ШПУРОВОГО ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА**С. А. Калякин, А. Н. Шкуматов, К. Н. Лабинский**

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83000, Украина. E-mail: yglenit@gmail.com

Проанализировано состояние управлением разрушающим действием взрыва при использовании сплошных и рассредоточенных зарядов. Сделано теоретическое обоснование полной и относительной работоспособности с использованием соответствующих коэффициентов и установленных функциональных зависимостей. Исследовано влияние способа инициирования детонации в шпуровом заряде на работоспособность. Приведены результаты лабораторных испытаний конструкции зарядов с рефракторами – устройствами для искривления / преломления движения продуктов взрыва. Обоснована целесообразность использования в рассредоточенных шпуровых зарядах инертных и активных рефракторов с осевым каналом и определен его рациональный диаметр. Измерена скорость канальной ударной волны в рефракторе. Приведены экспериментальные данные по бризантной и фугасной составляющим действия взрыва для рассредоточенного заряда с расположением рефракторов на его торцах. Разработана рациональная конструкция удлиненного рассредоточенного заряда взрывчатого вещества. Определено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: конструкция заряда, бризантность, фугасность, рефрактор, инициирование.

УПРАВЛІННЯ РУЙНУЮЧОЮ ДІЄЮ ВИБУХУ ПОДОВЖЕНОГО ШПУРОВОГО ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ**С. А. Калякин, А. Н. Шкуматов, К. Н. Лабинский**

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83000, Украина. E-mail: yglenit@gmail.com

Проанализован стан управління руйнівною дією вибуху при використанні суцільних і розосереджених зарядів. Зроблене теоретичне обґрунтування повної та відносної їхньої працездатності з використанням відповідних корегуючих коефіцієнтів і встановлених функціональних залежностей. Досліджений вплив способу ініціювання детонації у шпуровому заряді на працездатність. Наведені результати лабораторних випробувань конструкцій зарядів з рефракторами – пристроями для скривлення / переломлення руху продуктів вибуху. Обґрунтована доцільність використання у розосереджених шпурових зарядах інертних та активних рефракторів з осевим каналом та визначений його раціональний діаметр. Виміряна швидкість канальної ударної хвилі у рефракторі. Наведені експериментальні дані щодо бризантної та фугасної складових дії вибуху для розосередженого заряду з розташуванням рефракторів на його торцях. Розроблена раціональна конструкція подовженого розосередженого заряду вибухової речовини. Визначений напрямок подальших досліджень.

Ключові слова: конструкція заряду, бризантність, фугасність, рефрактор, ініціювання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Проблема управления разрушающим действием взрыва шпурового заряда взрывчатого вещества (ВВ) в горных породах при сооружении выработок является ключевой для повышения эффективности и безопасности взрывных работ. Особую важность она приобретает в глубоких угольных шахтах, где горный массив находится в напряженном состоянии, и проявляются газодинамические явления в виде выбросов угля, пород и газа.

Анализ литературных источников. Анализ публикаций и результатов последних исследований показал, что существуют способы управления разрушающим действием взрыва заряда ВВ, основанные на взаимодействии его отдельных частей, рассредоточенных по длине шпура. В работах [1–3] установлено, что при взрыве сплошных зарядов ВВ горные породы разрушаются в ближней зоне, прилегающей к заряду, за счет сил сжатия. На последующих фазах разрушение пород происходит за счет действия ударной волны и расширяющихся газообразных продуктов взрыва. При одновременном инициировании рассредоточенных зарядов происходит соударение продуктов детонации в проме-

жутках шпура, не заполненных ВВ. Это усиливает волновое воздействие взрыва на массив горных пород по длине заряда и увеличивает продолжительность импульса взрыва. Однако ряд теоретических и практических аспектов воздействия взрыва рассредоточенных зарядов на разрушаемый массив остаются недостаточно исследованными.

Целью работы является исследование влияния конструкции шпурового заряда ВВ и способа его инициирования на разрушающее действие взрыва. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать рациональную конструкцию шпурового заряда ВВ;
- исследовать способы инициирования ВВ в заряде;
- исследовать влияние бризантного и фугасного действия взрыва на эффективность разрушения горного массива.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Известно, что полезная работа взрыва заряда зависит от бризантных и фугасных форм работы взрыва ВВ [4]. Бризантное действие – это способность дробить массив, непосредственно прилегающий к заря-

ду ВВ. Фугасное действие – это способность разрушать и перемещать разрушенный массив за счет адиабатического расширения газообразных продуктов взрыва заряда ВВ. Однако, следует отметить, что между бризантным и фугасным действиями нет четко выраженной грани. На практике во взрывной терминологии закрепились и применяются термины «бризантность ВВ» и «фугасность ВВ».

В настоящее время бризантность и фугасность ВВ определяют при помощи соответствующих методов испытаний. Бризантность – методом Гесса (по величине обжатия свинцовых столбиков) и на баллистическом маятнике (по импульсу взрыва ВВ). Фугасность определяют методом Трауцля (по величине расширения канала свинцовой бомбы) и при помощи баллистической мотиры (по углу ее отклонения при взрыве ВВ) [5]. По этим показателям различные типы ВВ сравнивают между собой.

Задача усложняется при сравнении между собой сплошных и рассредоточенных зарядов ВВ, инициируемых различными способами.

Согласно работы [6], полная работа взрыва каждого заряда ВВ определяется его общей энергией взрыва E_3 , определяемой с помощью выражения:

$$E_3 = m_{ВВ} \cdot Q_{ВВ}, \text{ кДж}, \quad (1)$$

где $m_{ВВ}$ – масса заряда ВВ, кг;

$Q_{ВВ}$ – удельная теплота взрыва ВВ, кДж/кг.

При этом работоспособность заряда ВВ зависит от коэффициента полезного действия взрыва (КПД) и равна:

$$A_3 = \eta \cdot E_3 = \eta \cdot m_{ВВ} \cdot Q_{ВВ}, \text{ кДж}, \quad (2)$$

где η – КПД действия взрыва.

Учитывая то, что методами испытаний ВВ удается определить как бризантное, так и фугасное действие взрыва заряда ВВ, уравнение (2) можно записать в следующей форме (3).

$$A_3 = \eta \cdot m_{ВВ} \cdot Q_{ВВ} \cdot f(A_6) \cdot f(A_\Phi), \text{ кДж}, \quad (3)$$

где $f(A_6)$ – функция, описывающая долевое участие бризантной составляющей работы взрыва в полной работоспособности заряда ВВ; $f(A_\Phi)$ – аналогичная функция для фугасной составляющей.

Если для одного и того же типа ВВ применить стандартные методы испытаний на бризантность и фугасность, а одну из конструкций заряда взять в качестве эталонной, то можно определить относительную работоспособность A_0 любой другой конструкции заряда:

$$A_0 = \frac{A'_3}{A_3^{эм}} = f' \left(\frac{A'_6}{A_6^{эм}} \right) \cdot f' \left(\frac{A'_\Phi}{A_\Phi^{эм}} \right), \quad (4)$$

где $f' \left(\frac{A'_6}{A_6^{эм}} \right)$ и $f' \left(\frac{A'_\Phi}{A_\Phi^{эм}} \right)$ – отношения экспериментальных показателей, характеризующих бризантную и фугасную составляющие работы взрыва заряда ВВ к эталонным.

В данных исследованиях бризантная составляющая работы взрыва заряда оценивалась импульсом взрыва ВВ по отклонению баллистического маятника (l , мм). Фугасная составляющая – по объему воронки выброса в песчаной подушке взрывной камеры (V , см³). В качестве эталона принят сплошной удлиненный заряд с прямым инициированием ВВ. Таким образом определив по стандартным методикам бризантность и фугасность для зарядов одинаковой массы из одного типа ВВ, но имеющих разную конструкцию, с помощью уравнения (4) можно определить их относительную работоспособность и выполнить сравнение относительных работоспособностей различных конструкций зарядов.

Известно, что наиболее эффективными способами управления разрушающим действием взрыва шпурового заряда ВВ являются:

- способы инициирования детонации ВВ в шпуровом заряде [7];
- создание воздушных промежутков или инертных пересыпок между отдельными частями ВВ в шпуровом заряде [7, 8];
- применение рефракторов для изменения движения ударной волны и продуктов детонации ВВ при взрыве шпурового заряда [9].

Исследование влияния способа инициирования детонации ВВ в шпуровом заряде на его работоспособность. Отличие эффективности обратного способа инициирования по сравнению с прямым было получено при исследовании зарядов ВВ на баллистическом маятнике конструкции МакНИИ [10]. Конструкции испытываемых зарядов ВВ показаны на рис. 1.

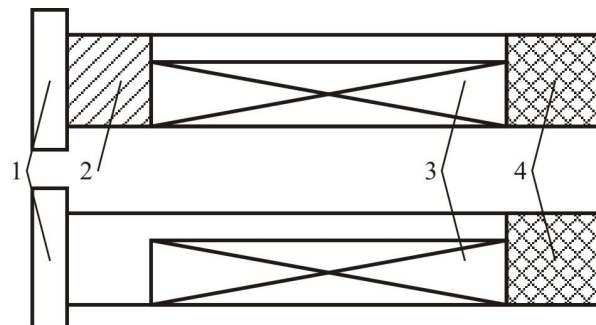


Рисунок 1 – Конструкции зарядов ВВ: 1 – носок маятника; 2 – песчано-глиняная забойка; 3 – заряд ВВ; 4 – алебастро-цементная пробка

Модель шпура представляла собой оболочку диаметром $\varnothing 36$ мм, изготовленную из плотной бумаги с алебастро-цементной пробкой в нижнем торце. В нее помещали патрон угленита-13П диаметром $\varnothing 28$ мм массой 100 г. Применялось как прямое, так и обратное инициирование заряда ВВ.

Первая конструкция шпурового заряда предусматривала заполнение свободной от заряда ВВ части оболочки песчано-глинистой забойкой, которая контактировала с носком баллистического маятника, т.е. измерялась фугасность взрыва.

Вторая конструкция не имела песчано-глинистой забойки. Поэтому при взрывании ударная волна и продукты детонации ВВ непосредственно воздействовали на носок баллистического маятника, т.е. измерялась бризантность действия взрыва.

Результаты проведенных испытаний и расчета полного импульса взрыва приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения импульсов взрыва заряда ВВ

Номер конструкции	Способ инициирования	l , мм	I , Н·с	$I_{отн} = \frac{I_{обр}}{I_{пр}}$
Первая, с забойкой	прямое	9,7	2,636	0,990
	обратное	9,6	2,609	
Вторая, без забойки	прямое	9,5	2,582	1,147
	обратное	10,9	2,962	

Относительная работоспособность шпурового заряда ВВ при обратном его инициировании оказалась выше, чем при прямом:

$$A_0 = 0,99 \cdot 1,147 = 1,136.$$

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с практическими, полученными при производстве взрывных работ с применением обратного и прямого способов инициирования зарядов ВВ [11].

Исследование влияния рефракторов, расположенных в шпуровом заряде ВВ, на его работоспособность. В патенте Украины [12] предложена конструкция шпурового заряда ВВ, у которого в обоих торцах заряда установлены рефракторы из активного (способного при взрыве заряда выделять дополнительную энергию) или инертного материала [13]. Назначение рефракторов – обеспечивать управление действием на породы продуктов детонации ВВ за счет перераспределения их действия из осевого направления в радиальное. За счет этого усиливается боковой импульс взрыва заряда ВВ и возрастает как фугасное (объем воронки выброса V), так и бризантное (импульс I) действие взрыва на разрушаемые породы. Для данной конструкции были также проведены эксперименты по определению относительной работоспособности A_0 . Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Бризантное и фугасное действие взрыва зарядов ВВ с рефракторами в донной части

Конструкция заряда	Масса, г		Бризантность		Фугасность, V , см ³	A_0
	ВВ	рефр.	l , мм	I , Н·с		
сплошной	50	–	55	14,945	36064,6	1,0
с инертным рефрактором	50	25	60	16,304	54503,7	1,648
с активным рефрактором	50	52,5	55	14,945	77553,7	2,150

Анализ полученных результатов показал, что относительная (по сравнению со сплошным эталонным зарядом ВВ) работоспособность шпурового заряда с инертным рефрактором в донной части составляет 1,648, а при использовании рефрактора из активного материала (затвердевшая смесь аммиачной селитры и эпоксидной смолы) – 2,15.

Исследование конструкций шпурового заряда с вариантами рассредоточения ВВ по длине заряда и применением различных способов инициирования ВВ. Конструкция заряда, как один из методов усиления разрушающего действия взрыва ВВ, позволяет существенно повысить его работоспособность. Исследования показали, что существенный эффект разрушения пород достигается при создании в заряде ВВ воздушных промежутков [14]. Такие заряды при взрыве позволяют:

- снизить переизмельчение породы вокруг заряда за счет снижения давления продуктов взрыва ВВ в шпуре;
- увеличить продолжительность разрушающего действия продуктов взрыва ВВ на горный массив;
- обеспечить интерференцию ударных волн в шпуре, что благоприятно влияет на качество дробления породы при взрыве.

Тем не менее, рациональные параметры рассредоточенных зарядов ВВ до конца не установлены и требуют обоснования и экспериментальной проверки. При исследовании рассредоточенных зарядов применялись следующие способы инициирования ВВ: боковое, среднее, встречное - двустороннее, линейное. В заряде между частями ВВ создавались как воздушные, так и инертные (заполненные щебнем с размером фракций 2–5 мм) промежутки. Также в промежутках между рассредоточенными зарядами ВВ применялись инертные и активные рефракторы с осевым каналом для передачи детонации от одной части заряда к другой. Общая масса заряда ВВ составляла 80 г (2 по 40 г в конструкциях г), д), ж), з)), диаметр заряда составлял 28 мм, длина заряда ВВ составляла 120 мм (2 по 60 г в конструкциях г), д), ж), з)). Конструкции исследуемых зарядов ВВ приведены на рис. 2.

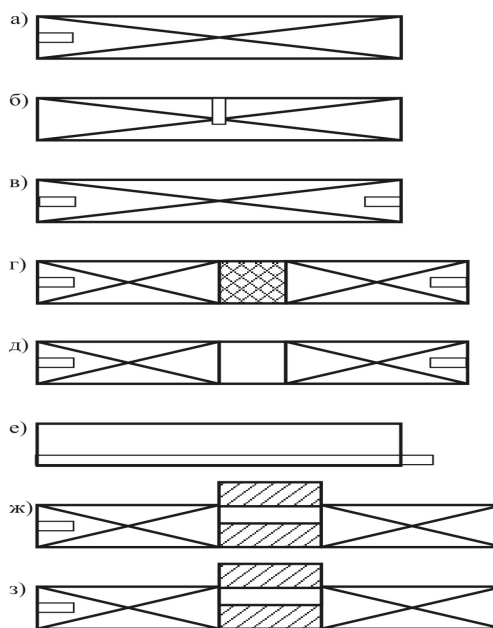


Рисунок 2 – Конструкции зарядов

Показанные на рис. 2 конструкции удлиненных зарядов ВВ инициировали следующим образом: а) инициирование с торца заряда; б) среднее инициирование; в) двухстороннее инициирование; г) двухстороннее инициирование рассредоточенного заряда с двухсантиметровым инертным промежутком из щебня; д) двустороннее инициирование рассредоточенного заряда с двухсантиметровым воздушным промежутком; е) линейное инициирование; ж) одностороннее инициирование заряда, разделенного пассивным рефрактором с наружным диаметром 36 мм, диаметром канала 11 мм, длиной 30 мм; з) то же самое, но с активным рефрактором.

Применение рефракторов с осевым каналом для рассредоточения частей заряда ВВ по длине шнура позволяет эффективно управлять разрушающим действием взрыва, снизить расход ВВ, обеспечить надежную передачу детонации от одной части заряда к другой. Это позволяет отказаться от использования большого числа патронов-боевиков или промежуточных детонаторов в рассредоточенных зарядах ВВ. Исследовались конструкции рефракторов с осевым каналом диаметром (0,5...1,0) $d_{кр}$ ($d_{кр}$ – критический диаметр аммонита № 6ЖВ). Схема установки рефракторов в заряде при проведении исследований по передаче детонации от одной части заряда ВВ к другой через осевой канал приведена на рис. 3. Диаметр активного и пассивного патрона принимался равным 32 мм; наружный диаметр рефрактора составил 36 мм; длина активного патрона – 120 мм; длина пассивного рефрактора – 100 мм; длина пассивного патрона – 80 мм; длина активного рефрактора – 90 мм. Испытания проводились в макете шнура внутренним диаметром 45 мм. Результаты испытаний рассредоточенных рефрактором с осевым каналом зарядов аммонита № 6ЖВ приведены в табл. 3.

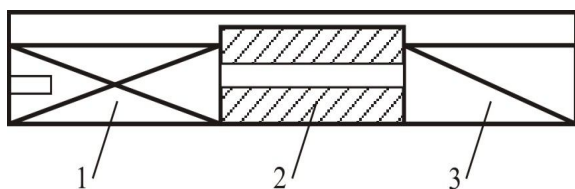


Рисунок 3 – Схема конструкции рассредоточенного заряда ВВ для проведения исследований по передаче детонации: 1 – активный патрон; 2 – рефрактор; 3 – пассивный патрон

Таблица 3 – Скорость детонации ВВ в рассредоточенном рефракторами заряде аммонита № 6ЖВ

Тип рефр.	Канал		$D_{акт.}$ м/с	$D_{кан.}$ м/с	$D_{пасс.}$ м/с
	$d_{вн.}$ мм	l мм			
Пассивн.	15	100	4604	5031	2310
Пассивн.	7	100	4638	6130	1619
Активн.	6	90	4827	5070	2689

Исследования показали, что рефрактор с центральным осевым каналом диаметром от 6 до 15 мм надежно передает детонацию от одной части ВВ к другой при длинах рефрактора и зарядов ВВ равных 120:90:80 мм. Средняя скорость канальной ударной волны в рефракторе составляет от 5030 м/с до 6130 м/с. Это в 1,3–1,4 раза выше скорости детонации аммонита в патроне-

боевике. Таким образом, доказана способность конструкции рассредоточенного заряда ВВ с рефракторами надежно передавать детонацию от активной части ВВ пассивной. Для определения их работоспособности относительно удлиненного заряда ВВ сплошной конструкции были проведены испытания зарядов, конструкции которых показаны на рис. 2. Внутренний диаметр макета шнура составил во всех случаях 45 мм. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты исследований

Констр. заряда	Фугасность		Бризантность		A_0
	V , л	V_0	l , мм	l_0	
а)	64,80	1,000	109	1,000	1,000
б)	68,76	1,061	123	1,128	1,197
в)	64,80	1,00	131	1,202	1,202
г)	66,11	1,020	121	1,110	1,130
д)	67,43	1,041	123	1,128	1,175
е)	65,45	1,010	109	1,142	1,010
ж)	69,44	1,072	106	0,970	1,042
з)	74,93	1,156	97	0,890	1,029

Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективными являются конструкции зарядов, в которых ВВ рассредоточено активным или инертным рефрактором, при среднем инициировании ВВ в заряде. При дополнительной установке рефракторов в торцах заряда ВВ можно еще более усилить разрушающее действие взрыва заряда ВВ. Учитывая это, для эффективного разрушения пород предлагается использовать шпуровые монозаряды ВВ с рефракторами из активного и инертного материалов. Это позволит уменьшить при производстве взрывных работ расход взрывчатого вещества на 50–60 % и получит значительный экономический эффект.

ВЫВОДЫ. 1. Проведенные исследования позволили установить эффективность обратного и среднего инициирования шпуровых зарядов ВВ по сравнению с прямым.

2. Обоснована конструкция рассредоточенного шпурового заряда, в котором ВВ разделено рефракторами с осевым каналом для передачи детонации от одной части ВВ другой.

3. Установлены рациональные параметры шпурового заряда, рассредоточенного рефракторами, в котором осуществляется среднее инициирование заряда ВВ.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении повышения КПД работы взрыва заряда ВВ. В практическом плане необходимо повысить объем внедрения разработанной конструкции заряда ВВ при производстве взрывных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергия взрыва и конструкция заряда / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко. – М.: Недра, 1964. – 198 с.
2. Кралевецкий М.И. Опыт взрывных работ с применением воздушных промежутков // Взрывное дело. № 54/11. – М.: Недра, 1964. – С. 318–322.
3. Воробьев В.В., Пеев А.М. Исследование влияния формы заряда в донной части шнура на изменение прочностных свойств среды при взрыве // Збірник "Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва". – Науково-виробничий збірник: КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2009. – Вип. 2/2009 (4). – С. 35–39.
4. Беляев А.Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем. – М.: Наука, 1968. – 254 с.

5. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М.: Недра, 1988. – 357 с.

6. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 595 с.

7. Миндели Э.О. Буровзрывные работы при подземной добыче полезных ископаемых. – М.: Недра, 1966. – 559 с.

8. Рублева О.И. Обоснование эффективных конструкций и параметров шпуровых зарядов при проходке вертикальных стволов: автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.15.04. – Днепропетровск, 2008. – 17 с.

9. Шкуматов А.Н. Совершенствование буровзрывной технологии проведения выработок путем управления импульсом взрыва зарядов взрывчатых веществ: автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.15.04. – Днепропетровск, 2007. – 18 с.

10. Определение брзантности действия ВВ по импульсу взрыва / Ф.М. Галаджий, С.Н. Сахненко // Безопасность взрывных работ: сбор. статей МакНИИ. – Киев: Техника, 1967. – С. 3–19.

11. Калякин С.А. Значение факторов, определяющих безопасные и эффективные параметры способа обратного инициирования заряда ВВ // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сбор. научн. трудов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 2004. – Часть I. – С.164–176.

12. Пат. 22903 У Україна МПК⁶ F420 1/00. Шпуровий або свердловинний заряд вибухової речовини / С.О. Калякін, О.М. Шкуматов. – № у 200700028; заяв. 02.01.2007; надр. 25.04.2007. – Бюл. № 5.

13. Воробьев В.В., Пеев А.М. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород // Збірник "Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва". – Науково-виробничий збірник: КДУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–22.

14. Мельников В.Н. Повышение полезной работы взрыва при отбойке полезных ископаемых // Взрывное дело. № 54/11. – М.: Недра, 1964. – С. 7–35.

CRACKING EFFECT CONTROL OF EXPLOSION OF ELONGATED BLAST-HOLE CHARGE

S. Kalyakin, A. Shkumatov, K. Labinskiy

Donetsk State Technical University

vul. Artyoma, 58, Donetsk, 83001, Ukraine. E-mail: yglenit@gmail.com

The authors have analyzed the current condition in cracking effect control of explosion when using continuous and deck charges. The theoretical grounding of full and relative operational capability with use of coefficients and functional dependences found was made in the paper. The effect of the method of detonation initiation in blast-hole charge on the strength of explosion is investigated. The paper describes obtained by the authors results of laboratory experiments of refractor charges, which are the devices for bending and refraction of the explosion products. The authors have substantiated the practicability of active and inert axial-canal refractors' use in blast-hole charges is and defined the efficient diameter of the axial canal, as well as measured the velocity of shock wave in the channel of refractor. The experimental data of strength of explosion depending on the refractors' location are shown in the paper. The authors offer a rational design of elongated explosive charge and specify further directions of research.

Key words: charge design, brisance, strength of explosion, refractor, initiation.

REFERENCES

1. Melnikov, N.V., Marchenko, L.N. (1964), *Energiya vzryva i konstruktivnyy zaryada* [The energy of the explosion and the construction charge], Nedra, Moscow, Russia.

2. Kralovetsky, M.I. (1964), "Experience with the use of blasting air gaps", *Vzryvnoye delo*, vol. 54, iss. 11, pp. 318–322.

3. Vorobyev, V.V., Pееv, A.M. (2009), "Study of the charge configuration in the hole back effecting on the variations in the rock strength properties during explosion", *Up-to-date resource- and energy-saving technologies in mining industry*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, iss. 2 (4), pp. 35–39.

4. Belyaev, A.F. (1968), *Gorenie, detonatsiya i rabota vzryva kondensirovannykh sistem* [Combustion, detonation and explosion work of ondensed systems], Nauka, Moscow, Russia.

5. Dubnov, L.V., Bakarevich, N.S., A.I. Romaonv (1988), *Promyshlennyye vzryvchatye veschestva* [Industrial explosives] Nedra, Moscow, Russia.

6. Andreev, K.K., Belyaev, A.F. (1960), *Teoriya vzryvchatykh veschestv* [The theory of explosives], Oborongiz, Moscow, Russia.

7. Mindeli, E.O. (1966), *Burivzryvnye raboty pri podzemnoi dobyche poleznykh iskopaemykh* [Blasting in an underground mining], Nedra, Moscow, Russia.

8. Rubleva, O.I. (2008), "Substantiation of efficient design and parameters of blast-hole charges during silo shafting", Thesis abstract Cand.Sc. (engineering), spec. 05.15.04 "Mine and Underground Construction", Kyiv, Ukraine.

9. Shkumatov, A.N. (2007), "Improving drilling and blasting technology of excavation by controlling pulse blast charges of explosives", Thesis abstract Cand.Sc. (engineer-

ing), spec. 05.15.04 "Mine and Underground Construction", Dnepropetrovsk, Ukraine.

10. Galadzhzy, F.M., Sakhnenko, S.N. (1967), "Determination of the BB brisance momentum explosion", *Bezopasnost vzryvnykh robot*, MakNII, pp. 3–19, Technology, Kiev, Ukraine.

11. Kalyakin, S.A. (2004), Weighting factors that determine a safe and effective way to reverse the parameters initiating explosive charge, *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovukh uslovii truda v ugolnykh shakhtakh*, part 1, pp.164–176, MakNII, Makeevka-Donbass, Ukraine.

12. Kalyakin, S.O., Shkumatov, O.M., Pat.22903 U Ukraine MПК6 F420 1/00 blast-hole or well-charge of explosion, № у 200700028; applied 02.01.2007; publ. 25.04.2007, bul. no. 5.

13. Vorobyev, V.V., Pееv, A.M. (2010), Promising directions of efficiency increase of blasting rock destruction, *Up-to-date resource- and energy-saving technologies in mining industry*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, iss. 1(5), pp. 19–22.

14. Melnikov, V.N. (1964), Increasing useful work when the explosion breaking minerals, *Vzryvnoye delo*, vol. 54, iss. 11, pp. 7–35.

Стаття надійшла 19.02.2013.