

УДК 622.236.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

В. В. Воробьев, Л. Д. Воробьева

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Изложены результаты лабораторных исследований действия взрыва рассредоточенных воздушным промежутком зарядов, одна из частей которого в торце имеет кумулятивную выемку. Эксперименты проведены на прозрачных моделях. Впервые разработана схема лабораторных исследований, позволяющая оценить поршневое действие взрыва по высоте модели. Использование специального красителя дало возможность установить проникновение продуктов детонации в трещины в различных зонах модели. Проведенные эксперименты подтвердили проникновение продуктов детонации в среду на начальной стадии развития взрыва. Обработка результатов лабораторных исследований показала, что наличие кумулятивной выемки в верхнем заряде приводит к увеличению в зоне воздушного промежутка на 16 % общего количества трещин и на 30 % – их суммарной длины (по сравнению с отсутствием кумулятивной выемки в воздушном промежутке). Наличие кумулятивной выемки в верхней части рассредоточенного заряда усиливает поршневое действие продуктов детонации не только в зоне воздушного промежутка, но и повышает динамическое нагружение нижних слоев модели, что и способствует повышению эффективности взрывного разрушения.

Ключевые слова: воздушный промежуток, взрыв, кумулятивный эффект, модель, продукты детонации, разрушение, трещина.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

В. В. Воробйов, Л. Д. Воробйова

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Викладені результати лабораторних досліджень дії вибуху розосереджених повітряним проміжком зарядів, одна із частин якого в торці має кумулятивну виїмку. Експерименти проведені на прозорих моделях. Уперше розроблена схема лабораторних досліджень, яка дозволяє оцінити поршневу дію вибуху за висотою моделі. Використання спеціального барвника дало можливість встановити проникнення продуктів детонації в тріщини в різних зонах моделі. Проведені експерименти підтвердили проникнення продуктів детонації в середовище, що руйнується, на початковій стадії розвитку вибуху. Обробка результатів лабораторних досліджень показала, що наявність кумулятивної виїмки у верхньому заряді призводить до збільшення в зоні повітряного проміжку на 16 % загальної кількості тріщин і на 30 % – їх сумарної довжини (порівняно з відсутністю кумулятивної виїмки у повітряному проміжку). Наявність кумулятивної виїмки у верхній частині розосередженого заряду посилює поршневу дію продуктів детонації не лише в зоні повітряного проміжку, але й підвищує динамічне навантаження нижніх шарів моделі, що і сприяє підвищенню ефективності вибухового руйнування.

Ключові слова: повітряний проміжок, вибух, кумулятивний ефект, модель, продукти детонації, руйнування, тріщина.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время на горнодобывающих предприятиях одной из основных задач является увеличение доли полезной энергии взрыва при разрушении массивов горных пород. Качество дробления породы зависит не только от величины заряда, но и от его конструкции, предопределяющей такое размещение взрывчатого вещества (ВВ) по длине скважины, при котором его кинетическая энергия будет распределяться пропорционально необходимой величине работы разрушения породы в различных частях уступа. Большинство исследователей под конструкцией заряда понимают совокупность геометрических и технологических параметров, таких как форма заряда и зарядной камеры (цилиндрические и плоские заряды), способы инициирования заряда, комбинация применяемых типов ВВ, длина заряда, соотношение активной и нерабочей частей скважины [1].

Первоначально возникшая конструкция скважинных и шпуровых зарядов – сплошная цилиндрическая колонка ВВ – имеет наибольшее распространение в практике ведения взрывных работ. Однако данная конструкция является наименее эффектив-

ной с точки зрения механики дробления. Двумерное движение твердой среды, окружающей сплошной скважинный заряд, при инициировании его в одной точке характеризуется большими градиентами давления и, как следствие, значительным переизмельчением породы, что и обуславливает интенсивную диссипацию энергии, особенно в ближней зоне. Для повышения эффективности взрывного разрушения скальных пород усилиями отечественных и зарубежных исследователей разработаны более эффективные с точки зрения взрывного разрушения скальных пород конструкции скважинных зарядов. К их числу можно отнести заряды с воздушными и инертными промежутками; с боковыми и осевыми сердечниками; заряды, образованные из участков ВВ с различными детонационными характеристиками; заряды, в которые промежутки заполнены легкоразлагающимися веществами или энергоактивными (недетонирующими) добавками; заряды, плотность которых изменяется по длине за счет введения в его состав гранулированного пенополистирола и ряд других [2–4].

Опыт применения зарядов с воздушными промежутками показал, что во всех породах, в том числе весьма крепких и вязких, резко снижается средний размер куска и уменьшается выход негабаритных кусков, достигается большая равномерность дробления. Физическая сущность явлений, происходящих в скважине при взрыве в ней заряда с воздушным промежутком, может быть представлена следующим образом [4, 5]: продукты взрыва основного и дополнительного зарядов движутся навстречу друг другу и в некоторый момент времени сталкиваются, вследствие чего происходит как бы запираание продуктов детонации (ПД) основного заряда газами взрыва дополнительного заряда. При этом сопротивление массива оказывается значительно меньшим, чем противодействие продуктов взрыва дополнительного заряда, вследствие чего задерживается выброс газов из скважины и происходит более интенсивное дробление горной массы. Процесс столкновения ударных волн и торможения газовых потоков представляет собой сложную газодинамическую задачу. После столкновения ударных волн и торможения газовых потоков в центре воздушного промежутка появляется источник с высоким давлением, от которого в обе стороны пойдут ударные волны. После встречи отраженных волн сжатия и разряжения к торцу заряда пойдет ударная волна, а к центру промежутка – волна разрежения. Ударная волна отразится от торца зарядной камеры и вновь изменит как свои характеристики, так и направление. После этого процесс будет повторяться. Как считает большинство исследователей [4], основной вклад в повышение эффективности взрывания зарядов с воздушными промежутками дает многократный процесс нагружения среды, осуществляемый системой дополнительных волн напряжений, генерируемых в скважине. Характерной особенностью многократного нагружения является возможность последующего развития системы микротрещин, образованных первичной волной сжатия, и повышения за счет этого степени дробления массива скальных пород.

Известны различные способы формирования воздушных промежутков между отдельными частями заряда [4, 5]:

- с помощью помещенных в скважины полиэтиленовых надувных цилиндров;
- путем подвешивания небольшого количества ВВ, упакованного в бумажную тару, и размещения поверх упаковки основного заряда ВВ;
- с использованием вспененного гранулированного полистирола;
- путем установки в месте воздушного промежутка простых деревянных приспособлений;
- с помощью пустотелых картонных цилиндров, помещенных в скважины;
- путем расположения на определенной высоте пробок из бумажных мешков;
- с помощью полиэтиленового скважинного затвора и другие.

Перечисленные способы создания воздушного промежутка имеют свои плюсы и минусы. Среди недостатков необходимо отметить, что перемычки

из мешков не всегда возможно установить в заданном месте, а использование других устройств относительно дорого и реально для создания промежутков лишь небольшой длины. Скважинный затвор, в частности, затруднительно использовать в условиях, когда заряд необходимо фиксировать на различной глубине с переменной длиной воздушного промежутка, что характерно для взрывания массивов слабых вскрышных пород с крепкими прослойками. Почти во всех существующих способах формирования воздушного промежутка используется принцип удержания части заряда на опоре, контактирующей с нижней частью заряда или заполняющей промежуток между отдельными частями заряда. В ряде случаев это бывает нетехнологично и нерационально с точки зрения ненужного многократного резервирования сил, необходимых для удержания.

Подводя итог выполненному анализу необходимо отметить, что на горнорудных предприятиях, наряду с повсеместно распространенным сплошным цилиндрическим зарядом ВВ, разработано большое количество более рациональных, с точки зрения преобразования энергии взрывчатого превращения ВВ в работу разрушения скальной породы, конструкций. Их эффективность основана на использовании определенных явлений, таких, как снижение начального давления продуктов взрыва, увеличение времени их воздействия на разрушаемую среду, усиление интерференции взрывных волн, использование оптимальной для каждого типа горной породы плотности заряжения ВВ. Большинство этих положительных факторов сочетают в себе заряды с воздушными промежутками. Однако они не получили широкого применения из-за сложности их формирования, особенно при механизированном заряжении. Приведенный анализ существующих способов создания воздушных промежутков свидетельствует о том, что до настоящего времени не разработан технологически надежный метод формирования воздушных полостей в скважинном заряде.

Поэтому разработка простого устройства, позволяющего формировать скважинный заряд с воздушным промежутком и при механизированном заряжении, и при заряжении неводоустойчивого ВВ в полиэтиленовый рукав, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность взрывного разрушения горных пород. Нами предложено формировать воздушный промежуток с помощью кумулятивного запирающего устройства (КЗУ) [6]. КЗУ представляет собой гибкую емкость, выполненную в виде усеченного конуса, дно которого имеет кумулятивную выемку. С помощью веревки и упора КЗУ устанавливаются на необходимой глубине в скважине, создавая тем самым воздушный промежуток.

Цель работы – оценить в лабораторных условиях эффективность использования кумулятивного эффекта в воздушном промежутке.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Повышение коэффициента полезного действия взрыва в твердых горных породах предопределяется увеличением полезных форм работы заряда в общем энергетическом балансе. При взрывном дроблении

массива горних порід к полезним формам работ в первую очередь следует отнести энергию, затраченную на образование новых поверхностей (трещинообразование) и перемещение среды (на конечной стадии взрыва эта составляющая не всегда играет положительную роль, т.к. во многих случаях существенный разлет кусков горной массы является отрицательным фактором). Исходя из этого, можно сделать вывод, что характер трещинообразования в среде при взрыве может служить качественной оценкой эффективности действия той или иной конструкции заряда ВВ.

При лабораторных исследованиях эффективности взрывного разрушения моделей используют различные методы [4]. Одним из наиболее распространенных является оценка взрывного разрушения по изменению диаметра среднего куска образовавшихся после взрыва осколков. Однако при этом мы получаем некий усредненный параметр, который не позволяет судить о характере разрушения модели на различном расстоянии от оси заряда, и не позволяет характеризовать эффективность действия данной конструкции по ее высоте. В некоторой степени устраняет эти недостатки способ исследования, при котором для взрывного разрушения используют песчано-цементные модели, в которых слои по высоте имеют различную окраску. Однако и этот метод не позволяет достаточно точно оценить изменение дробления среды вдоль оси заряда.

Принимая во внимание, что нас в первую очередь интересует изменение характера разрушения среды в зоне воздушного промежутка, то в этом

случае наиболее приемлемым, с нашей точки зрения, может быть метод, основанный на анализе взрывного разрушения модели, составленной из определенного количества отдельных слоев, т.е. для решения поставленной задачи наиболее целесообразно модель формировать из одинаковой толщины дисков, выточенных из оргстекла. При этом анализ характера трещинообразования отдельных дисков позволит оценить эффективность действия газообразных ПД в зоне воздушного промежутка, а также вдоль оси рассредоточенного заряда.

При проведении настоящих экспериментов параметры модели были следующие: наружный диаметр дисков – 60 мм; высота дисков – 15 мм; их общее количество в одной модели – 6 шт.; диаметр шпура – 6 мм; диаметр заряда – 4,2 мм; масса нижнего заряда – 170 мг тэна; масса верхнего заряда – 200 мг (100 мг тэна и 100 мг тонкоизмельченного кристаллического йода); длина воздушного промежутка – 15 мм. Добавление йода в заряд позволяло визуально (по характерной желтой окраске) определить, куда смогли проникнуть газообразные продукты взрыва верхнего заряда. Эксперименты проводились в лаборатории взрывных работ Донецкого национального технического университета.

Было проведено две серии экспериментов: в первой серии использовали цилиндрические заряды с плоским дном в зоне воздушного промежутка; во второй – верхний заряд в нижней части имел кумулятивную выемку с углом раствора 60°. Характер разрушения дисков представлены на рис. 1, 2 (нумерация дисков – снизу-вверх).

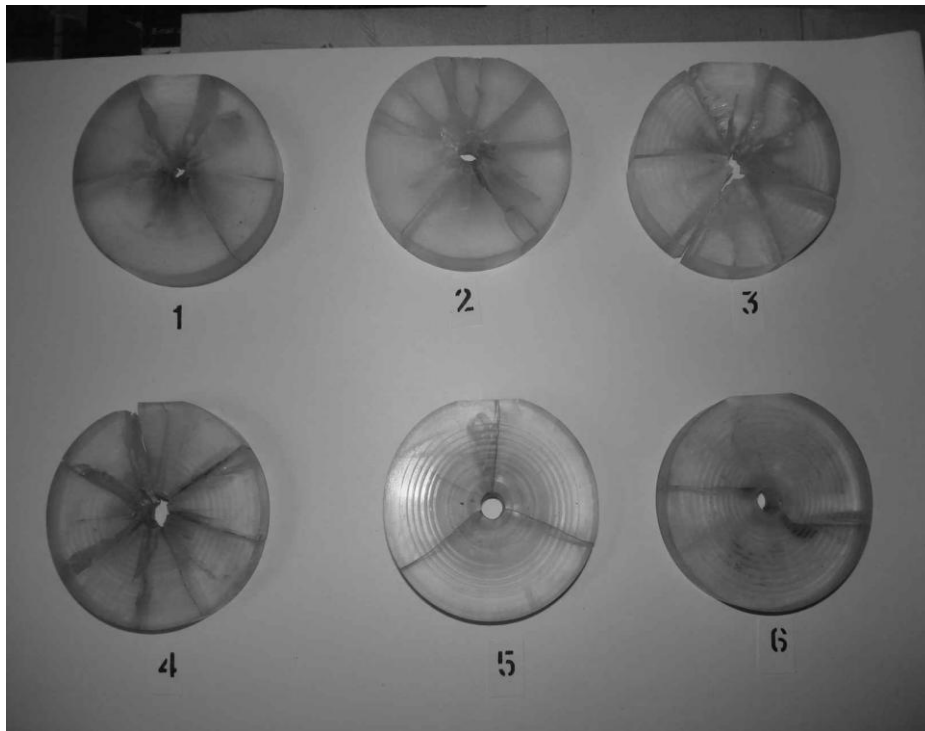


Рисунок 1 – Характер разрушения отдельных дисков составной модели при использовании рассредоточенного заряда традиционной конструкции (цифры указывают номер диска по высоте)

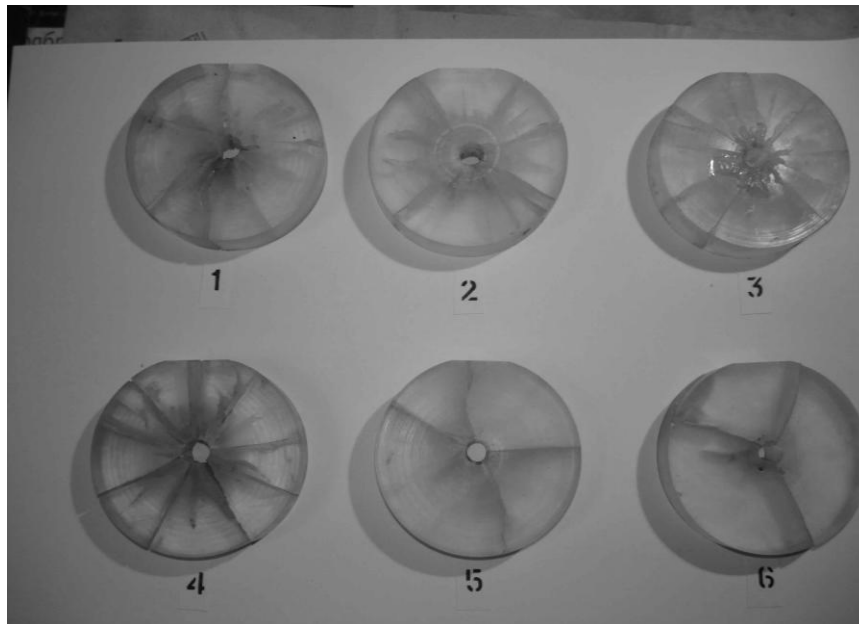


Рисунок 2 – Характер разрушения отдельных дисков составной модели при использовании рассредоточенного заряда с кумулятивной выемкой в зоне воздушного промежутка (цифры указывают номер диска по высоте)

Измерение длины и количества трещин каждого диска после динамического нагружения показало, что параметры трещинообразования имеют следующие величины (в числителе — значение при использовании обычного рассредоточенного заряда, в знаменателе — с кумулятивным эффектом):

диск	количество трещин,	длина трещин,
	шт	мм
1	14/17	289/317
2	17/22	418/463
3	17/19	386/489
4	21/25	453/590
5	5/5	135/140
6	3/4	75/88

Обработка полученных результатов экспериментов позволила установить следующее (табл. 1). Характер разрушения верхней части моделей (диски № 5 и № 6) при использовании данных конструкций рассредоточенного заряда существенным образом не изменился (количество трещин и их суммарная длина практически одинаковые). Отличия начинают наблюдаться с диска № 4, в котором находилась верхняя часть рассредоточенного заряда. Так, при наличии кумулятивной выемки в верхнем заряде количество трещин в данном диске возросло на четыре штуки (16 %), а их суммарная длина на 30 % превышает аналогичный параметр для случая взрывания заряда без кумулятивной выемки.

В зоне воздушного промежутка (диск № 3) при использовании рассредоточенного заряда с кумулятивным эффектом мы также наблюдаем (по сравнению с традиционным рассредоточенным зарядом) незначительное увеличение общего количества трещин (с 17 до 19) и существенный рост их суммарной длины – с 386 до 489 мм, т.е. превышение составляет почти 27 %.

Таблица 1 – Относительное изменение параметров трещинообразования слоистой цилиндрической модели при использовании кумулятивного эффекта

Номер диска слоистой модели	Относительное изменение (по сравнению с традиционной конструкцией), %	
	количества трещин	общей длины трещин
1	121	109
2	129	111
3	112	127
4	119	130
5	0	103
6	133	117

На уровне расположения нижней части рассредоточенного заряда (диск № 2) также произошли количественные изменения параметров зоны трещинообразования: наличие кумулятивной выемки в нижней части верхнего заряда привело к увеличению общего количества трещин с 17 до 22 шт. и росту суммарной длины трещин с 418 до 463 мм.

Аналогичная картина наблюдается и в нижней части модели: количество трещин возросло с 14 до 17 шт., суммарная длина – с 289 до 317 мм.

ВЫВОДЫ. Проведенные лабораторные исследования позволили установить следующее:

1. При взрывании без забойки продукты детонации успевают проникать в образующиеся трещины и увеличивают их длину.

2. Использование кумулятивного эффекта в зоне воздушного промежутка повышает квазистатическое нагружение среды в данной области и приводит к увеличению на 16 % количества образовавшихся трещин и на 30 % – их общей длины.

3. Наличие кумулятивной выемки в верхней части рассредоточенного заряда усиливает поршневое действие продуктов детонации не только в зоне воздушного промежутка, но и повышает динамическое нагружение нижних слоев: количество трещин в диске № 2 возросло на 30 %, а их общая длина – на 11 %.

4. Окраска трещин в диске № 2 (в случае использования рассредоточенного заряда с кумулятивным эффектом) доказывает факт проникновения продуктов детонации верхней части рассредоточенного заряда в нижние слои модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бережецкий А.Я., Воробьев В.Д., Пашков А.П. Технологии взрывных работ и оценка их конкурентоспособности на карьерах // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: збір. наук. праць. – К.: НТУУ “КПІ”, 2003. – Вип. 9. – С. 39–53.

2. Ефремов Э.И. Подготовка горной массы на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 272 с.

3. Воробьев В.В., Пеев А.М. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород // Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–22.

4. Повышение эффективности взрыва в твердой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьев, В.Н. Чебенко. – М.: Недра, 1988. – 232 с.

5. Матренин В.А. Мешки для образования воздушных промежутков в скважинных зарядах // Взрывное дело. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу», 2007. – Вип. 97/54. – С. 71–76.

6. Пат. 6916 України, МПК F42D 1/02. Кумулятивный замыкающий пристрій / В.Т. Щетинин, В.В. Воробйов, Г.В. Славко та ін. (Україна); заявл. 04.01.05; опубл. 16.05.05; Бюл. № 5. – 3 с.

INCREASE OF EFFICIENCY OF ACTION OF THE DISPERSED BOREHOLE CHARGES AT DESTRUCTION OF ROCKS EXPLOSION

V. Vorobyov, L. Vorobyova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Purpose. Evaluate the in vitro efficacy of the use of the cumulative effect of the air gap. **Methodology.** To solve this problem the most expedient form of the model is the same thickness disks carved out of Plexiglas. In this analysis of the nature of individual disks cracking will evaluate the effectiveness of the gaseous detonation products in the zone of the air gap and axially dispersed charge. In conducting these experiments, the model parameters were as follows: the outer diameter of the discs - 60 mm; disc height - 15 mm; their total number in one model - 6 pcs.; hole diameter - 6 mm; charge diameter - 4.2 mm; the mass of the lower charge - 170 mg PETN; the mass of the top charge - 200 mg (100 mg and 100 mg PETN finely crystalline iodine); the length of the air gap - 15 mm. Adding iodine in charge lets you visually (by characteristic yellow color) to determine which were able to penetrate the gaseous products of the explosion of the upper charge. **Results.** When blasting without tamping detonation products manage to penetrate into cracks and increase their length. The use of a cumulative effect in the area of the air gap increases the quasi-static load of the medium in the art and leads to an increase of 16 % and the amount of generated cracks is 30 % – of the total length. Availability cumulative recess in the top of the piston intensifies the dispersed charge detonation products act not only in the area of the air gap, but also increases the dynamic loading of the lower layers, the number of cracks in the disc number 2 has increased to 30 %, and the total length – 11 %. Coating of cracks in the disc number 2 (in the case of dispersed charge from the cumulative effect) proves the penetration of detonation products top of the dispersed charge in the lower layers of the model. **Originality.** For the first time a scheme of laboratory studies to assess the effect of the explosion piston height model. Using a special dye penetration made it possible to establish a detonation products into cracks in various areas of the model. **Practical value.** develop a simple device allows you to create a downhole charge with an air gap and mechanized charging, and when loading nevodoustoychivogo explosives in a plastic sleeve is an urgent task that will increase the efficiency of the explosive destruction of rocks. We have proposed to form an air gap by means of the cumulative locking device (PUV) [6]. PUV is a flexible container shaped as a truncated cone the bottom of which recess is cumulative. With rope and stop PUV set at the required depth in the well, thereby creating the air gap. References 6, tables 2, figures 2.

Key words: air interval, explosion, cumulative effect, model, detonation products, destruction, crack.

REFERENCES

1. Berezheckiy, A.Ya., Vorobiov, V.D., Pashkov, A.P. (2003), “Technologies of explosive works and an assessment of their competitiveness on pits”, *Girnictvo*, no. 9, pp. 39–53.

2. Efremov, E.I. (1980), *Podgotovka gornoy massy na karerakh* [Preparation of mountain weight on pits], Nedra, Moscow, USSR.

3. Vorobyov, V.V., Peev, A.M. (2010), “Perspective directions of increase of efficiency of explosive destruction of rocks», *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry, Research and practice journal*, no. 1 (5), pp. 19–22.

4. Komir, V.M., Kuznecov, V.M., Vorobyov, V.V., Chebenko, V.N. (1988), *Povyshenie effektivnosti vzryva v tverдой srede* [Increase of efficiency of explosion in the firm environment], Nedra, Moscow, USSR.

5. Matrenin, V.A. (2007) “Bags for formation of air intervals in borehole charges”, *Vzryvnoe delo*, no. 97/54, pp. 71–76.

6. Schetinin, V.T., Vorobyov, V.V., Slavko, G.V. (04.01.05), patent 6916 Ukraine, MPK F42D 1/02. *The cumulative closing device*. Field 16.05.05.

Стаття надійшла 06.07.2015.