

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАПИРАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В УДЛИНЕННЫХ
ЗАРЯДАХ**

В.В. Воробьев, Л.Д. Воробьева

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

К.В. Лотоус

ПАО «Полтавский ГОК»

ул. Строителей, 16 г. Комсомольск, 39802, Украина.

В работе обобщены методы создания воздушных промежутков в скважинных зарядах. В промышленных условиях установлена эффективность формирования воздушного промежутка с помощью разработанного авторами кумулятивного запирающего устройства. При проведении массовых взрывов данное устройство использовали в основных и контурных скважинах. Как показали промышленные исследования, использование кумулятивного эффекта в рассредоточенном заряде позволяет уменьшить количество взрывчатых веществ в скважине в среднем на 15% по сравнению с обычным рассредоточенным зарядом, и на 25% – по сравнению со сплошным.

Ключевые слова: взрыв, взрывчатое вещество, воздушный промежуток, горная порода, заряд, кумулятивный эффект, разрушение, скважина, эффективность.

**ПРОМИСЛОВА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
КУМУЛЯТИВНИХ ЗАМИКАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ В ПОДОВЖЕНИХ
ЗАРЯДАХ**

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

К.В. Лотоус

ПАТ «Полтавський ГЗК»

вул. Будівників, 16, м. Комсомольськ, 39802, Україна.

У роботі узагальнені методи створення повітряних проміжків у свердловинних зарядах. У промислових умовах встановлена ефективність формування повітряного проміжку за допомогою розробленого авторами кумулятивного замикаючого пристрою. При проведенні масових вибухів цей пристрій використали в основних і контурних свердловинах. Як показали промислові дослідження, використання кумулятивного ефекту в розосередженому заряді дозволяє зменшити кількість вибухової речовини у свердловині в середньому на 15% в порівнянні із звичайним розосередженим зарядом, і на 25% - в порівнянні з суцільним.

Ключові слова: вибух, вибухова речовина, повітряний проміжок, гірська порода, заряд, кумулятивний ефект, руйнування, свердловина, ефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Разработка полезных ископаемых, слагаемых прочными горными породами, в основном осуществляется с использованием взрывных работ. В настоящее время более 80 % объемов горных пород на железорудных карьерах разрабатывается с применением энергии буровзрывных работ, предопределяющих эффективность всех последующих технологических процессов добычи и переработки полезного ископаемого. С увеличением глубины карьеров и вовлечением в разработку крепких и крепчайших пород, усложняются условия производства взрывных работ, снижаются технико-экономические показатели отбойки, что требует их постоянного совершенствования.

В последнее время одним из перспективных направлений повышения эффективности взрывных работ является использование при открытой разработке полезных ископаемых усовершенствованных конструкций скважинных зарядов, среди которых необходимо выделить рассредоточенные заряды и заряды с радиальным зазором [1]. Применение данных зарядов позволяет существенно снизить затраты на взрывчатые вещества (ВВ). Широкое внедрение скважинных рассредоточенных зарядов при взрывном разрушении прочных горных пород сдерживается ухудшением дробления среды в зоне воздушного промежутка, а также отсутствием простых и технологичных устройств для формирования воздушного промежутка. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы может быть использование в этой зоне кумулятивного эффекта [2–3].

В горной промышленности кумулятивный эффект также нашел свое применение, одним из наиболее известных и наиболее распространенных является его применение в детонаторах [4]. Помимо этого, заряды с кумулятивными выемками длительное время используются при дроблении негабарита (накладные кумулятивные заряды), при отбойке штучного камня, контурном взрывании, резке металла и т.д. [6–7]. В меньшей степени это относится к их применению при скважинной отбойке горной массы. Однако анализ литературных источников и опыта передовых предприятий показывает, что и в этом направлении за последние годы произошли определенные изменения. И в основном это связано с тенденцией, которая наблюдается в области потребления и ассортимента ВВ – переходе большинства горных предприятий на использование простейших и вододисперсионных ВВ. Исходя из этого и совершенствования кумулятивных зарядов для горного дела в основном направлены на упрощение конструкции и обеспечение возможности их формирования из простейших ВВ.

Так, имеется целый ряд патентов [8–9], которые описывают различные конструкции вкладышей или шаблонов, размещение которых в скважине позволяют при зарядании получать удлиненные заряды с кумулятивным эффектом (заряды с продольной кумулятивной выемкой). Однако данные типы зарядов используются в основном при контурном взрывании или направленном расколе. При взрывной отбойке горных пород они не нашли широкого применения. Кроме того, сложность формирования данных зарядов и увеличение материальных затрат на взрывные работы при их использовании затрудняют их внедрение на предприятиях горнодобывающей отрасли.

Для повышения эффективности взрывного разрушения горных пород взрывом скважинных зарядов в последнее время также появились разработки, кото-

рые предполагают размещение в заряде различных пустотелых конструкций, выполненных из инертного материала. Так, в Московском геолого-разведывательном институте разработана конструкция скважинного заряда, которая содержит в себе специальные кумулятивные устройства, расположенные в верхней и нижней частях заряда. Такое их расположение позволяет осуществить встречное инициирование и, по-мнению авторов, увеличить действие взрыва в глубь разрушаемого горного массива [10].

Исследования Иляхина С.В. и Федорченко В.А. показали, что при взрывании зарядов с воздушными промежутками на эффективность взрыва оказывает значительное влияние и вид поперечного сечения воздушной полости. Ими установлено, что при использовании изменяющейся формы полости (треугольник, квадрат, прямоугольник) после взрыва формируются кумулятивные струи, возникающие в углах многоугольника [11].

В работе Игбаева Т.М. [12] предлагается в удлиненном скважинном заряде формировать воздушные промежутки с помощью пустотелых конусов, имеющих общее основание. При этом в каждой конусообразной полости фокусируется кумулятивная энергия, а от сдвоенного полого конуса образуются два встречных потока газообразных ПД, способствующих усиленному разрушению горной породы в зоне расположения данного устройства.

Однако данный способ формирования воздушного промежутка имеет существенные недостатки, к основным из которых можно отнести:

- ограниченная возможность регулирования размеров воздушного промежутка;
- сложность осевого фиксирования в скважинном заряде, особенно в зимнее время;
- невозможность использования в обводненных условиях.

Одним из возможных вариантов устранения указанных недостатков является использование для создания воздушного промежутка кумулятивного запирающего устройства (КЗУ), которое выполнено из инертного материала (резина, пластмасса и т. п.) в виде усеченного конуса, в вершине которого сформирована кумулятивная выемка. Данное устройство с помощью веревки и неподвижного упора (рейка) фиксируется на необходимой глубине в скважине и тем самым создает воздушный промежуток с заданными параметрами [13–14].

Цель работы — на основе проведенных массовых взрывов оценить экономические преимущества использования кумулятивных запирающих устройств в удлиненных зарядах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Выполненный анализ показывает, что кумулятивный эффект только начинает использоваться в скважинных зарядах. Чаще всего он применяется при проведении единичных взрывов (разрушение негабарита, резка металлических конструкций и другие специальные операции). Исходя из этого разработка недорогих устройств для его формирования в условиях проведения крупномасштабных массовых взрывов, а также определение его рациональных параметров в зависимости от условий взрывания, типа промышленных ВВ и параметров БВР является малоизученным

вопросом, решение которого позволит повысить эффективность взрывного разрушения горных пород и снизить себестоимость конечного продукта.

В течение двух лет на Днепровском руднике ПАО «Полтавский ГОК» были проведены испытания по взрыванию скважин с применением кумулятивных запирающих устройств. Было взорвано 38 блоков и использовано 3000 шт КЗУ. С помощью КЗУ формировали две конструкции скважинных зарядов:

- контурные заряды с величиной воздушного промежутка от 5 до 10 м (244 шт КЗУ) и запирающим верхним зарядом, масса которого составляла 15 – 45 кг;
- рассредоточенные заряды с воздушным промежутком от 1 до 8 м при взрывании внутривыблочных скважин (2756 шт КЗУ).

После взрывания и отработки блоков получены следующие результаты:

- несмотря на уменьшение величины заряда качество дробления горной массы не отличается от блоков, взорванных с использованием обычной конструкции скважинных зарядов;
- проработка подошвы не ухудшилась;
- уменьшение массы зарядов ВВ составило 15 %;
- при взрывании контурных скважин с применением КЗУ в количестве 244 шт не было получено экономического эффекта за счет уменьшения расхода ВВ, однако достигнуто снижение разрушения откосов и трудозатрат при зарядании скважин.

Как показали промышленные исследования, использование кумулятивного эффекта в рассредоточенном заряде позволяет для условий ПАО «Полтавский ГОК» уменьшить количество ВВ в скважине в среднем на 15 % по сравнению с обычным рассредоточенным зарядом, и на 25 % – по сравнению со сплошным.

ВЫВОДЫ.

1. Применение КЗУ как устройства для создания воздушного промежутка в удлиненном заряде упрощает технологию формирования рассредоточенных скважинных зарядов (как основных, так и контурных скважин).

2. Опытное использование КЗУ в скважинных зарядах подтвердило его экономическую целесообразность при взрывном разрушении крепких горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Застосування зарядів з повітряним зазором для підвищення безпеки та ефективності вибухів у свердловинах / В.Д. Воробйов, О.М. Масюкевич, В.С. Прокопенко, І.В. Косьмін // Проблеми охорони праці в Україні : Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 2000. – Вип. 3. – С.18–25.

2. Воробьев В.В., Пеев А.М. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КНУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–22.

3. Воробйов В.В., Помазан М.В. Використання кумулятивного ефекту для підсилення руйнування нижніх шарів масиву // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 21–25.

4. Шапурин В.А., Осадчий И.Ф. Инициирование зарядов ВВ кумулятивными промежуточными детонаторами // Известия вузов. Горный журнал. – № 8. – 1984. – С. 72–75.

5. Мандрикевич В.Н. Взрыв / Науковий вісник НГА України. – 1999. – №3. – С. 90–95.

64. Ладов С.В., Кобылкин И.Ф. Использование кумулятивных зарядов во взрывных технологиях – М.: МГТУ, 1995. – 46 с.

7. Баранов Е.Г., Клочко И.И., Петелин Э.А. Действие кумулятивного заряда в горной породе и расчет параметров нагружения // Горный журнал. Известия вузов. – 1992. – № 3. – С. 88–92.

8. Способы управления действием взрыва с применением профилированных кумулятивных зарядов / В. Н. Уваров, В. Е. Новиков, А. А. Кудряшов, С.А. Корочкин и др. // Физические проблемы разрушения горных пород. Сб. тр. 3 Международной научной конференции. Абаза (Хакасия), 9-14 сент., 2002 . – С. 169–173 .

9. He Man-chao, Cao Wu-fu, Wang Shuli. Anquan yu huanjing. J. Safety and Environ. – № 1. – 2004. – P. 8–11.

10. Дробление горных пород зарядами с неравномерными взрывными нагрузками / В.И. Комащенко, А.Л. Гапоненко, В.Г. Каналин // Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве: Всес. 10 юбил. научно-техн. совещ. Губкин, 27 – 29 сент., 1988. Тезисы докл. – М.: МГИ, 1988. – С. 119.

11. Иляхин С.В., Федорченко В.А. Исследование действия взрыва зарядов с изменяющейся формой осевой воздушной полости // Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве: Всес. 10 юбил. научно-техн. совещ. Губкин, 27 – 29 сент., 1988. Тезисы докл. – М.: МГИ, 1988. – С. 10.

12. Игбаев Т.М. Управление действием взрыва скважинного заряда встречными кумулятивными потоками // Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве: Всес. 10 юбил. научно-техн. совещ. Губкин, 27 – 29 сент., 1988. Тезисы докл. – М.: МГИ, 1988. – С. 114.

13. Пат. на корисну модель 6916 Україна: F 42 D 1/02. Кумулятивний замикаючий пристрій // В.Т. Щетинін, Г.В. Славко, Л.Д. Воробйова, В.К. Лотоус та ін.-№u200500069. - Заявлено 04.01. 2005. - Опубл. 16.05.2005. - Бюл. № 5. – 3 с.

14. Воробьева Л.Д. Исследование влияния кумулятивного эффекта на давление в воздушном промежутке при взрыве рассредоточенного заряда // Вісник НТУУ “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”. Зб. наук. праць. - Київ: НТУУ “КПІ”, 2005. – Вип. 12. – С. 53–58.

INDUSTRIAL EVALUATION OF THE CUMULATIVE EFFICIENCY OF THE LOCKING DEVICE IN THE ELONGATED CHARGES

V. Vorobyov, L. Vorobyova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

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

K. Lotous

Poltavskyj girnycho-zbagachuvalnyj kombinat

vul. Budivelnykiv, 1, Komsomolsk, Poltavaska obl., 39802, Ukraine.

Methodology. During preparation of experiments it were used elements of mathematical statistics (planning the required number of mass explosions, the definition of results reliability), and standard methods for evaluating particle size distribution and economic efficiency. **Results.** In carrying out these studies was blown up 38 blocks, and used 3,000 units of cumulative locking devices. It was formed two construction hole charges with cumulative locking devices: contour charges with the value of the air gap of 5 to 10 m (244 pcs of cumulative locking devices) and the locking overhead charge, the weight of which was 15 - 45 kg and dispersed charges with an air gap of 1 to 8 m with blasting inner block wells (2756 pcs of cumulative locking devices). After blasting and mining of blocks it found that despite the reduction in the amount of charges the quality of the rock mass crushing is not different from the blocks, blown up using conventional construction of hole charges. When blasting contour holes with cumulative locking device it has not been received economic benefit by reducing the consumption of explosives, however, it has been achieved a reduction the destruction of the slopes and labor costs when loading. **Originality.** In this paper, for the first time in industrial conditions it was studied the effectiveness of the proposed design of the dispersed elongated charge during the destruction of solid rocks. **Practical value.** As demonstrated by industrial research, the use of cumulative effect in dispersed charge reduces the amount of explosive in a borehole in an average of 50 kg in comparison with a conventional dispersed charge, and 100 kg - compared with continuous charge. References 14.

Key words: explosion, explosive, air gap, rock, charge, cumulative effect, destruction, well, efficiency.

REFERENCES

1. Vorobyov, V.D., Masykevich, O.M. (2000), "Usage charges from air gap to improve the safety and efficacy of explosions in boreholes", *Problems of labor in Ukraine*, no.3, pp.18–25.
2. 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*, vol.1, no. 5, pp.19–22.
3. Vorobyov, V.V., Pomazan, M.V. (2009), "Using cumulative effect to enhance the destruction of the lower layers of the array", *Up to date resource and energy saving technologies in mining industry*, vol.1, no. 3, pp. 21–25.
4. Shapyrin, V.A., Osadchiy, I.F. (1984), "Initiation of explosive charges cumulative intermediate detonators", *Gorniy zhurnal*, no.8, pp. 72–75.
5. Mandrykevich, V.N. (1999), "Explosion", *Scientific transactions of NGA*, no. 3, pp. 90–95.
6. Ladov, S.V., Kobylkin I.F. (1995), *Ispolzovanie kumulyativnykh zaryadov vo vzryvnykh tehnologiyakh* [The use of shaped charges in explosive technology], MGTY, Moscow, Russia.
7. Baranov, E.G., Klochko, I.I., Petelin E.A. (1992), "Action shaped charge in rock and calculation of parameters of loading", *Gorniy zhurnal*, no.3, pp.88–92.
8. Uvarov, V.N., Novikov, V.E. (2002), "Ways to control the action of the explosion with profiled shaped charges", *Fizicheskie problem razrusheniya gornuh porod*.

Zbornik trudov 3 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii [Physical problems of destruction of rocks. Conference proceedings of the 3 th International Scientific Conference], Abatha, Septem.9 – 14, 2002, pp. 169–173.

9. He Man-chao, Cao Wu-fu, Wang Shuli. Anquan yu huanjing. J. Safety and Environ. - №1. –2004. – pp. 8–11.

10. Komashchenko, V.I., Gaponenko, A.L., Kanalin, V.G. (1988), “Rock crushing charges with uneven breaking load”, *Sovershenstvovanie burovzryvnyh rabot v narodnom hozaystve. Vsesouznoe 10 ubileynoye nauchno-tehnicheskoye soveshchanie* [Improved blasting in the national economy. All-Union 10 Scientific Technical Meeting], Gubkin, Septem. 27 – 29, 1988, P. 119.

11. Ilyahin, S.V., Fedorchenko, V.A. (1988), “Investigation of the effect of the explosion of the charges with the changing shape of the axial air space”, *Sovershenstvovanie burovzryvnyh rabot v narodnom hozaystve. Vsesouznoe 10 ubileynoye nauchno-tehnicheskoye soveshchanie* [Improved blasting in the national economy. All-Union 10 Scientific Technical Meeting], Gubkin, Septem. 27 – 29, 1988, P. 10.

12. Igbaev, T.M. (1988), “Management action blast hole charges counter cumulative flows”, *Sovershenstvovanie burovzryvnyh rabot v narodnom hozaystve. Vsesouznoe 10 ubileynoye nauchno-tehnicheskoye soveshchanie* [Improved blasting in the national economy. All-Union 10 Scientific Technical Meeting], Gubkin, Septem. 27 – 29, 1988, P. 114.

13. Shetinin, V.T., Slavko, G.V., Vorobyova, L.D., Lotous, V.K (2005), The patent for utility model 6916 Ukraine: F42D1/02. Cumulative locking device.

14. Vorobyova, L.D. (2005), “Investigation of the effect of the cumulative effect on the pressure in the air gap in the explosion dispersed charge”, *Transactions of the Kiev Polytechnic Institute*, vol. 12, pp. 53–58.

Стаття надійшла 13.12.2015.