

УДК 622.235.523: 043.3

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ  
С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА**

**Ю. Н. Чебенко**

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

Охарактеризованы горно-геологические условия карьеров, на которых проводились испытания скважинных зарядов взрывчатых веществ с изменяющейся удельной энергией взрыва. Обоснованы теоретические предпосылки и практически подтверждено, что регулирование удельной энергии взрыва на контакте «заряд ВВ–порода» осуществляется за счет внедрения технологии формирования скважинных зарядов взрывчатых веществ в полипропиленовые или полиэтиленовые рукава переменного диаметра по высоте уступа (ступенчатой формы и заужениями по длине).

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, удельная энергия взрыва, скважинные заряды, качество дробления горных пород.

**ПРАКТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН  
ЗІ ЗМІННОЮ ПИТОМОЮ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ**

**Ю. М. Чебенко**

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

Охарактеризовані гірничо-геологічні умови кар'єрів, на яких проводились випробування свердловинних зарядів вибухових речовин зі змінною питомою енергією вибуху. Обґрунтовані теоретичні положення та на практиці підтверджено, що регулювання питомої енергії вибуху на контакті „заряд ВВ–порода” здійснюється за рахунок впровадження технології формування свердловинних зарядів вибухових речовин у поліпропіленові або поліетиленові рукава перемінного діаметру по висоті уступу (ступінчастої форми та завуженнями по довжині).

**Ключові слова:** вибухові речовини, питома енергія вибуху, свердловинні заряди, якість дроблення гірських порід.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Регулирование величины удельной энергии взрыва при разрушении горных пород возможно различными путями. В частности, это достигается за счет изменения площади непосредственного контакта скважинного заряда взрывчатых веществ (ВВ) с разрушаемой породой или создания условий, обеспечивающих снижение динамического воздействия взрыва на стенки скважин [1–3].

Изменение площади непосредственного контакта ВВ и породы может достигаться за счет:

– использования скважинных зарядов меньшего диаметра (при постоянной массе ВВ в скважине);

– размещения по оси скважинного заряда ВВ инертного стержня, что позволяет при сохранении постоянной массы ВВ в скважине увеличивать площадь контакта ВВ с породой.

Снижение интенсивности динамического воздействия взрыва на стенки скважин достигается за счет (уменьшения площади непосредственного контакта) создания инертного зазора между зарядом ВВ и стенками скважин. При этом эффективными способами реализации данного направления являются:

– использование ступенчатой формы скважинного заряда (диаметр нижней части заряда ВВ, размещенного в полипропиленовом рукаве, равен проектному, а верхней – уменьшен на 5–10 %);

– использование скважинных зарядов ВВ переменного сечения по высоте (при этом уменьшается не только площадь непосредственного контакта ВВ со стенками скважин, но и общий расход ВВ).

Цель работы – практическое обоснование эффективности скважинных зарядов взрывчатых веществ с изменяющейся удельной энергией при ее передаче массиву горных пород.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Промышленные испытания эффективности средств и технологических приемов регулирования удельной энергии взрыва при разрушении нерудных полезных ископаемых за счет изменения непосредственного контакта скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ типа Анемикс с породой были осуществлены в условиях карьеров:

– Крюковского и Редутского карьероуправлений Государственного предприятия «Управление промышленных предприятий Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины».

– Рыжевского гранкарьера (ОАО «Рыжевский гранитный карьер»).

*Крюковское месторождение* представлено серыми и розоватосерыми гранитами, основная масса которых представлена породами с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова  $f = 10\text{--}12$  баллов. Объёмный вес в твердом теле –  $2,38\text{--}2,64$  т/м<sup>3</sup>.

Всего на карьере подготовлено 7 добычных горизонтов. В 2011 г. добычные работы ведутся на трех горизонтах (1, 2 и 3).

Высота уступа в основном составляет 12,0 м. Фактическая ширина рабочих площадок колеблется от 25 до 70 м. Глубина карьера – 40 м. Для бурения скважин используют шарошечные буровые станки СБШ–250 МНА. Диаметр скважин при этом составляет 250 мм. Параметры сетки скважин, с учетом крепости пород и высоты уступа, при взрывной отбойке горных пород составляют: расстояние между скважинами в ряду и между рядами скважин – 6,5 м, величина перебура скважин – 2,0 м.

В 2010 г. на Крюковском гранитном карьере было взорвано 588 скважин и отбито 277, 77 тыс. м<sup>3</sup> горной массы. При этом было использовано 254,79 тонн взрывчатого вещества (Анемикса). Средний удельный расход ВВ составил 0,93 кг/м<sup>3</sup>.

Достаточно высокая крепость разрабатываемых пород и возрастающая их обводненность предопределили переход предприятия на использование высокобризантных эмульсионных взрывчатых веществ.

При этом более остро обозначились проблемы переизмельчения горных пород. Как следствие, возникла необходимость разработки способов снижающих величину удельной энергии взрыва, передаваемой массиву горных пород.

Первый экспериментальный взрыв с использованием скважинных зарядов ступенчатой формы в промышленных условиях был осуществлен на гранитном карьере Крюковского карьероуправления. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Коэффициент крепости пород на Рыжевском гранитном карьере  $f = 10-12$ , на остальных –  $f = 9-1$

Общее количество скважин на взрываемом блоке – 26, в том числе экспериментальных – 10 (табл. 1). При этом экспериментальные и контрольные скважины заряжали Анемиксом в полипропиленовые рукава.

Диаметр нижней части скважинного заряда длиной 4,0 м оставался стандартным (190 мм), а верхней части был уменьшен на 2,0 см.

При постоянной высоте колонки заряда и уменьшении площади непосредственного контакта ВВ со стенками скважин достигнуто высокое качество дробления пород (рис. 1, табл. 2).



Рисунок 1 – Общий вид развала взорванной горной массы

На экспериментальном участке при замере гранулометрического состава взорванной горной массы методом косоугольной фотопланиметрии (рис. 2), было отмечено снижение объёма мелких фракций 0–200 мм на 8,5 % (рис. 2).

Таблиця 1 – Основні показателі масових експериментальних взрывов на гранитних кар'єрах

№ п/п	Место взрыва, горизонт	Дата експер.	Участок		Высота уступа, м	Глубина скважины, м	Сетка скважины, $a \times b$ , м	Столб воды в скваж., м	Кол-во скваж., шт.	Расход ВВ на одну скваж., кг	Удельный расход, %
			Контр.	Экспер.							
1.	Крюковское карьероуправление 3 горизонт, +32 м	8.04.11	Контр.		12			0,5-2,5	16	525	0,97
			Экспер.								
2.	Крюковское карьероуправление 3 горизонт, +32 м	22.04.11	Контр.		12	14	6,5×6,5	3,0-7,0	19	480	0,95
			Экспер.								
3.	Крюковское карьероуправление 3 горизонт, +32 м	27.05.11	Контр.					1,0-4,0	19	520	0,96
			Экспер.								
4.	ОАО Рыжевский гранитный карьер 2 горизонт +17 м	10.06.11	Контр.		10	12	6,0×6,0	2,0-4,5	86	430	0,86
			Экспер.								
5.	Крюковское карьероуправление 3 горизонт, +32 м	25.07.11	Контр.		16	18	6,0×6,0	6,0-10,0	13	640	0,87
			Экспер.								
6.	Редутское карьероуправление, 6 горизонт, -23 м	26.07.11	Контр.		10	12	7,2×6,2	0,5-1,5	18	430	0,90
			Экспер.								



Рисунок 2 – Замер гранулометричного складу взорваної горної маси

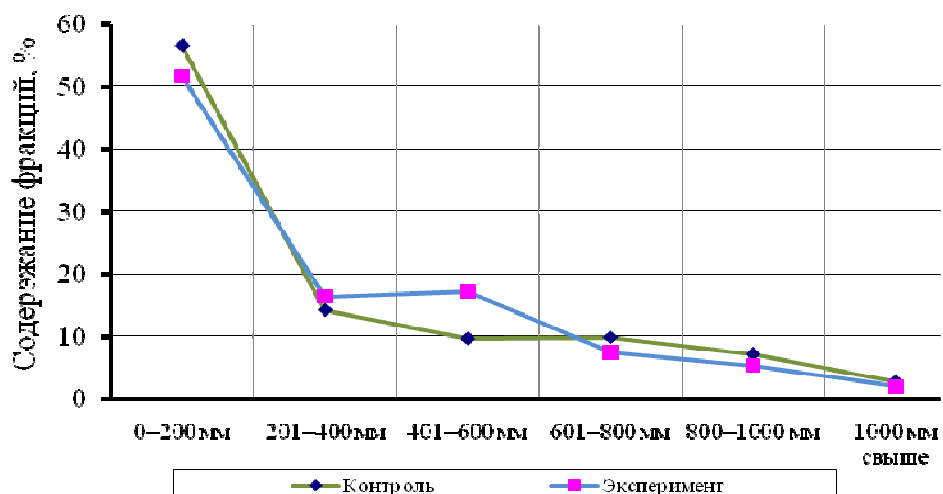


Рисунок 3 – Розподіл фракцій дроблення порід при проведенні експериментальних вибухів

Аналогічний вибув скважинних зарядів ступенчатої форми на кар'єре Крюковського кар'єроуправління був произведений 22.04.2011 г. на горизонті +32 м. Всього було взорвано 36 скважин, в том числі експериментальних – 17 скважин (табл. 1).

За рахунок зменшення діаметра рукава на кожній скважині було зекономлено околo 15 кг. Наявність води в скважинах (от 3,0 до 7,0 м) не сказалося на якості дроблення порід на обоих участках (табл. 2). При этом на експериментальном участку виход мелких фракцій зменшился на 4,5 %.

В целом при проведенні двох опытных вибухів скважинних зарядів ступенчатої форми (27 скважин) було зекономлено 505 кг Анемикса.

Одним из способів зменшення площі контакту ВВ с разрушаемой горной породой (зменшення удельной енергії вибува), как известно, является способ зменшення поперечного сечения (діаметра) скважини по высоте уступа.

Таблиця 2 – Результати дроблення горних порід при проведенні експериментальних взрывов

№ п/п	Место взрыва, горизонт	Дата экспер.	Участок	Содержание фракций в горной массе, %				
				0–200 мм	201–400 мм	401–600 мм	601–1000 мм	свыше 1000 мм
1.	Крюковское карьеро-управление 3 горизонт, +32 м	8.04.11	Контр.	56,5	14,2	9,6	16,9	2,8
			Экспер.	51,7	16,4	17,2	12,7	2,0
2.	Крюковское карьеро-управление 3 горизонт, +32 м	22.04.11	Контр.	54,3	15,0	7,9	19,4	3,4
			Экспер.	49,8	18,6	14,6	14,1	2,9
3.	Крюковское карьеро-управление 3 горизонт, +32 м	27.05.11	Контр.	57,2	11,7	13,7	14,7	2,7
			Экспер.	52,4	19,3	16,8	9,7	1,8
4.	ОАО Рыжевский гранитный карьер 2 горизонт +17 м	10.06.11	Контр.	49,2	17,5	13,3	15,8	4,2
			Экспер.	46,8	21,1	15,8	13,4	2,9
5.	Крюковское карьеро-управление 3 горизонт, +32 м	25.07.11	Контр.	50,6	15,8	11,1	19,8	2,7
			Экспер.	45,1	20,2	16,9	16,7	1,1
6.	Редутское карьеро-управление, 6 горизонт, –23 м	26.07.11	Контр.	44,9	19,7	9,6	21,9	3,9
			Экспер.	40,2	26,8	13,6	16,4	3,0

При проведенні опытного промислового взрива 27.05.2011 г. (табл. 1) експериментальні заряди в скважинах формували в рукавах с двумя заужениями по высоте уступа.

Длина зауженной части рукава с ВВ принята 0,5 м, а диаметр – 182 мм. При глубине скважин 14,0 м уровень воды в них колебался от 1,0 до 4,0 м. Всего было взорвано 31 скважину, в том числе экспериментальных – 12. При экономии на каждой экспериментальной скважине до 30 кг ВВ качество дробления пород на экспериментальном и контрольном участках оказалось достаточно высоким. При этом на экспериментальном участке за счет уменьшения площади контакта ВВ со стенками скважин выход мелких фракций (0–200 мм) сократился на 8,4 % (табл. 2).

При производстве опытного массового взрыва от 25.07.2011 г. при высоте уступа 16,0 м глубина скважины составила 18,0 м, что позволило увеличить число зауженных участков скважинного заряда.

Дальнейшее уменьшение площади контакта ВВ со стенками скважин, достигнутое в результате формирования скважинного заряда из трех заужений рукава по высоте уступа обеспечило значительное сокращение выхода мелких (0–200 мм) фракций (табл. 2).

Выход мелких фракций на экспериментальном участке, по сравнению с контрольным, уменьшился на 10,8 %. Всего было взорвано 21 скважину, в том числе экспериментальных – 8 скважин. На каждой скважине было сэкономлено до 45 кг Анемикса.

Таким образом, экономия ВВ при производстве двух экспериментальных взрывов скважинных зарядов переменного сечения по высоте уступа в условиях Крюковского карьера составила 720 кг.

В целом при проведении четырех экспериментальных взрывов в условиях Крюковского карьера сэкономлено 1225 кг Анемикса (5,5–6,1 тыс. грн.).

Открытое акционерное общество «Рыжевский гранитный карьер» разрабатывает участки *Редутского месторождения гранитов*.

В геологическом строении месторождения принимают участие кристаллические породы докембрия (гранита). Средняя мощность полезного ископаемого – 40,3 м и изменяется от 20,6 до 50,7 м. К полезному ископаемому отнесены свежие или слабо затронутые выветриванием граниты, мигматизированные граниты, гнейсы, залегающие в виде небольших ксенолитов среди основной массы гранита. Разрабатываемые породы относятся к крепким (коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова  $f = 16–18$  баллов), объёмный вес которых 2,66–2,73 г/см<sup>3</sup>.

Добыча гранитов в 2011 г. производилась на добычных уступах +54 м и +32 м. Высота уступа в пределах 10–12 м. Бурение скважин осуществлялось шарошечными буровыми станками СБШ–250. Основной тип ВВ – эмульсионное ВВ Анемикс.

В 2010 г. на Рыжевском карьере было пробурено 467 скважин, израсходовано 190,2 тонны ВВ и отбито 206,8 тыс. м<sup>3</sup> горной массы. Массовый взрыв с экс-

периментальними скважинами в умовах Рыжевского гранитного кар'єра був проведений 10.06.2011 г. Всього було взорвано 102 скважини, в тому числі експериментальних – 16 (табл. 1).

Експериментом було передбачено дослідити вплив площі контакту ВВ на вихід мелких фракцій. Формування експериментальних скважинних зарядів здійснювалось в рукавах, в яких створювали два зауженних участка. Маса заряду в експериментальних скважинах завдяки наявності зауженних участків була на 30 кг менше, ніж в контрольних скважинах. Всього на 16 експериментальних скважинах було зекономлено 480 кг Анемикса.

Як показали заміри гранулометричного складу взорваної горної маси на контрольних і експериментальних участках, якість дроблення порід на експериментальних участках виявилось вище (табл. 2).

*Редутское кар'єроуправління.* В геологічному строєнні місцезнаходження беруть участь докембрійські кристалічні породи і кайнозойські відкладення. Кристалічні породи представлені гранітами і гранодіоритами.

Граніти – сірі і темно-сірі, мелкозернисті і середньозернисті, складаються з кварца (20-40 %), плагіоклаза, біотита (10-24 %), мусковита і рідко – рогової обманки. Граніти розташовані переважно в верхній частині кар'єра. Граніт Редутського кар'єра розбит тріщинами на глыбы різної величини. Гранодіорити є найбільш розповсюдженою кристалічною породою місцезнаходження. Середня потужність вкритих порід (четвертинні суглинки і піски) становить 20 м.

Часовий опір стисненню корисної товщини порід в середньому становить  $1175 \text{ кг/см}^2$  (коефіцієнт міцності за шкалою проф. М.М. Протодьяконова  $f = 10-11$  баллів), об'ємний вага в щільному тілі –  $2,7 \text{ т/м}^3$ .

Середня висота уступу – 10 м, перебуток скважин – 2 м (табл. 1). В 2010 г. на кар'єрі було взорвано 374,5 т ВВ і відбито 438,6 тис.  $\text{м}^3$  горної маси.

Експериментальний промисловий вибух був здійснений на горизонті – 23 м. Загальна кількість скважин – 30, в тому числі експериментальних – 12. Испытувалась ефективність конструкції скважинного заряду ВВ, в якій використовували варіант змінного сечення заряду по висоті уступу з трьома зауженими участками.

Результати дослідження гранулометричного складу взорваної горної маси підтвердили (табл. 2) ефективність зарядів, конструкція яких забезпечувала зменшення площі контакту ВВ зі стенками вибухової порожнини.

Вихід мелких фракцій (0-200 мм) на експериментальному участку виявився на 10,5 % нижче, ніж на контрольному. При цьому на кожній експериментальній скважині було зекономлено від 40 до 50 кг ВВ типу Анемикс. Загальна економія ВВ становила 540 кг.

Таким чином, результати проведених шести експериментальних вибухів на гранітних кар'єрах підтвердили ефективність запропонованих конструкцій скважинних зарядів ВВ, передбачаючих зменшення площі безпосереднього контакту ВВ з руйнуваною породою.



Выход мелких фракций (0–200 мм) на экспериментальных участках уменьшился на 8,0–10,0 %, а экономия ВВ при взрыве 75 экспериментальных скважин составила 2,2 тонны Анемикса, что в денежном выражении составляет порядка 10,0–11,0 тыс. грн.

#### ВЫВОДЫ.

1. Специфика горногеологических условий залегания и технологических требований к конечной продукции при разработке нерудных полезных ископаемых открытым способом обуславливает разнообразие способов и параметров буровзрывных работ, которые должны обеспечить:

– необходимую интенсивность дробления пород, предусматривающую минимальный выход объема мелких (переизмельченных) и негабаритных фракций;  
– рациональный расход (величину удельной энергии взрыва на контакте ВВ и породы) и типы взрывчатых веществ, с учетом уровня обводненности горных массивов;

– экономичность, технологическую и экологическую безопасность взрывных работ.

2. Регулирование удельной энергии взрыва на контакте «заряд ВВ–порода» осуществляется за счет внедрения технологии формирования скважинных зарядов ВВ в полипропиленовые или полиэтиленовые рукава переменного диаметра по высоте уступа (ступенчатой формы и заужениями по длине).

3. Экспериментальные массовые взрывы в промышленных условиях скважинных зарядов с переменной удельной энергией взрыва по высоте уступа подтвердили их эффективность: достигнуто равномерное дробление пород, уменьшение выхода мелких фракций (0–200 мм) на 4,5–10,5 %, сокращение расхода ВВ на 4,0–7,0% и потерь полезных ископаемых.

4. Всего в процессе промышленных испытаний предложенной технологии отбойки нерудных полезных ископаемых было взорвано 75 скважин и отбито 24,4 тыс. м<sup>3</sup> горной массы. При этом сэкономлено 2,24 тонны ВВ (Анемикс), а также сокращены потери полезных ископаемых.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Э.И. Управление размерами зоны переизмельчения горных пород при их взрывном разрушении // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2007. – Вип. 18. – С. 36–39.

2. Влияние типа ВВ и условий взрывания на переизмельчение нерудных полезных ископаемых: матер. междунар. конф. "Форум горняков–2010" / Э.И. Ефремов, В.М. Комир, В.Н. Чебенко, А.М. Ромашко. – Днепропетровск: Нац. горн. Университет, 2010. – С. 60–63.

3. Опытные-промышленные испытания технологии заряжения и эффективности взрывания необводненных горных пород зарядами переменного диаметра / Э.И. Ефремов, М.П. Билоконь, А.В. Пономарев и др. // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2005. – № 58. – С. 13–18.

**PRACTICAL JUSTIFICATION OF EFFECTIVENESS  
DOWNHOLE EXPLOSIVE CHARGE  
WITH VARIABLE SPECIFIC ENERGY EXPLOSION**

**Yu. Chebenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

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

Characterized mining and geological conditions of quarries, which were tested with downhole explosive charges of varying specific energy of the explosion. Grounded theoretical framework and practically confirmed that the regulation of the specific energy of the explosion on contact "charge BB-breed" is due to the introduction of technology of downhole formation of explosive charges in polypropylene or polyethylene sleeves of varying diameter at shoulder height (step-shaped and made narrower in length).

**Key words:** explosives, the specific energy of the explosion, borehole charges, the quality of rock crushing.

REFERENCES

1. Efremov E.I. Managing the size of the overgrinding zone of rocks at their explosive destruction // Transactions of Kryviy Rig Technical University. – Kryviy Rig: KTU, 2007. – Iss. 18 – PP. 36–39. [in Russian]
2. Influence of the type of explosives and blasting conditions on overgrinding of nonmetallic minerals: Materials of international conference "Miners Forum-2010" / EI Efremov E.I. Komir V.M., Chebenko V.N., Romashko A.M. – Dnipropetrovsk: National Mining University, 2010. – PP. 60–63.
3. Efremov E.I., Bilokon M.P., Ponomarev A.V. and others. Pilot-scale tests of the technology of charging and efficiency of explosives of non-watered rocks with alternating diameter charges // Geotechnical engineering. – Dnipropetrovsk: IGTM National Academy of Sciences of Ukraine. – 2005. – № 58. – PP. 13–18.

Стаття надійшла 26.07.2013.

УДК 622.831.3

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ЗАПОБІЖНИХ ЦІЛІКІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**О. Є. Григор'єв**

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»  
просп. К. Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49027, Україна.

E-mail: GrigorievAE@mail.ru

Виявлені особливості формування пружно-деформованого стану породного масиву в запобіжному цілику, що розділяє лаву і капітальну виробку. Запропонована розрахункова схема та виконано математичне моделювання для системи «лава–цілик–виробка». Для гірничо-геологічних умов шахти «Білозерська» ви-